

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOBLADORA DE TUBO REDONDO METÁLICO
AUTOMATIZADA PARA LA EMPRESA COLDIDACTICAS LTDA.**



Res. No. 16740, 2017-2021.



Vigilada MinEducación.

**JUAN JOSÉ GIL BRAND
2127268**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2018**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOBLADORA DE TUBO REDONDO METÁLICO
AUTOMATIZADA PARA LA EMPRESA COLDIDACTICAS LTDA.**



Res. No. 16740, 2017-2021.



Vigilada MinEducación.

**JUAN JOSÉ GIL BRAND
2127268**

**Pasantía institucional para optar por el título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
WILLIAM GUTIÉRREZ MARROQUÍN
MSc Ingeniería Énfasis Automática**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2018**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

BERNARDO SABOGAL ABRIL

Jurado

Santiago de Cali, 17 de Agosto de 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, a mis padres Eugenio Gil y Francia Enid Brand, por todo su apoyo, amor y comprensión que me demuestran, por enseñarme el valor que tiene la vida, los sacrificios y la constancia alrededor de las cosas por las que se trabaja a diario; gran parte de mis logros es gracias a ustedes y a la formación que me han brindado.

Al mismo tiempo, agradezco a mi hermano Diego Alejandro Gil por su amistad y cariño, a mi abuela María Luzmila Espinal por creer y valorar mi empeño y dedicación.

Por ultimo agradezco a mis amigos, compañeros de estudio y cuerpo de docentes de la universidad Autónoma de Occidente y en especial al director del proyecto de grado William Gutiérrez por su asesoría y compromiso.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	22
4.2 SUSTENTACIÓN TEÓRICA	25
4.2.1 Doblado o curvado.	25
4.2.2 Proceso de doblado de tubos.	25
4.2.3 Partes principales de una dobladora de tubo	27
4.2.3.1 Motor.	27
4.2.3.2 La palanca.	27
4.2.3.3 Eje de rotación.	27
4.2.4 Tipos de máquinas utilizadas para el doblado de tubos	28
4.2.4.1 Dobladora de tubos manual.	28

4.2.4.2 Dobladora de tubos electromecánica.	29
4.2.4.3 Dobladora de tubos CNC.	30
4.2.5 Métodos del doblado.	31
4.2.5.1 Doblado por compresión.	31
4.2.5.2 Doblado por arrastre.	32
4.2.5.3 Doblado por prensado con cabezal.	32
4.2.6 Influencia de las propiedades del material	33
4.2.6.1 Flexibilidad.	33
4.2.6.2 Elasticidad.	34
4.2.6.3 Resistencia.	35
4.2.6.4 Endurecimiento por conformación del frío.	35
4.2.7 Reductores de velocidad.	36
4.2.8 Tipos de reductores de velocidad.	36
4.2.8.1 Sistema de poleas con correa.	37
4.2.8.2 Transmisión por engranajes.	38
4.2.8.3 Tren de transmisión de engranes o poleas.	39
Pauta para la elección de un sistema reductor.	40
4.2.9 Automatización industrial.	41
4.2.10 Control realimentado.	41
4.2.11 Sistemas de control lazo cerrado y lazo abierto.	41
4.2.12 Controlador lógico programable (PLC).	42
4.2.13 Sistema SCADA.	42
4.2.14 Comunicación industrial.	42
4.2.14.1 Bus de campo ASI.	43

4.2.14.2 Red ethernet.	43
5. METODOLOGÍA	44
5.1 ETAPAS DEL PROYECTO	44
6. DESARROLLO CONCEPTUAL	46
6.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	46
6.2 GENERACIÓN DE CONCEPTOS	47
6.2.1 Caja negra.	48
6.2.2 Descomposición Funcional.	48
6.2.3 Exploración de soluciones.	49
6.2.4 Generación de conceptos.	50
6.3 SELECCIÓN DE CONCEPTOS	53
6.3.1 Matriz para el tamizaje de conceptos.	54
6.3.2 Resultados de diseño.	54
6.3.2.1 Asegurar y liberar el tubo:	55
6.3.2.2 Doblar el tubo:	55
6.3.2.3 Desplazar el tubo:	55
6.3.3 Elección de materiales y dispositivos	55
6.3.3.1 ¿De qué material será fabricada la estructura de la dobladora de tubos?	55
6.3.3.2 ¿Qué tipo de mecanismos se usarán para sujetar, desplazar y doblar el tubo?	56
6.3.3.3 ¿Qué sistema se usará para controlar el proceso?	57
7. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	58
7.1 ARQUITECTURA MECÁNICA	59

7.2 ARQUITECTURA NEUMÁTICA	59
7.3 ARQUITECTURA ELECTRÓNICA	60
7.4 SELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	60
7.5 COMPONENTES DE CADA MÓDULO DEL SISTEMA	61
7.5.1 Módulo 1: Sujeción y desplazamiento del tubo hacia el bloque formador.	61
7.5.2 Módulo 2: Sujeción del tubo sobre el bloque formador.	61
7.5.3 Módulo 3: Doble del tubo.	61
7.5.4 Módulo 4: Control.	61
8. DISEÑO DETALLADO	62
8.1 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DEL TUBO HACIA EL BLOQUE FORMADOR	62
8.2 SENSORES.	63
8.3 FINALES DE CARRERA.	63
8.4 SISTEMA DE SUJECIÓN DEL TUBO SOBRE EL BLOQUE FORMADOR	64
8.5 BLOQUE FORMADOR	64
8.6 ENCODER	65
8.7 SISTEMA DE TRANSMISIÓN	66
9. PROTOTIPO Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	67
10. ANÁLISIS ECONÓMICO	70
10.1 MATERIALES Y CANTIDADES	70
10.2 FABRICACIÓN	73
10.3 COSTOS DE INGENIERA	73

10.4 IMPREVISTOS	73
10.5 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA DOBLADORA DE TUBO	74
11. BENEFICIOS GENERADOS CON EL PROYECTO	75
12. CONCLUSIONES	76
13. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	81

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Necesidades del cliente.	46
Tabla 2. Métricas de diseño.	47
Tabla 3. Matriz de tamizaje.	54
Tabla 4. Matriz de tamizaje para la selección del material de la estructura.	56
Tabla 5. Matriz de tamizaje para el mecanismo de sujeción, desplazamiento y dobléz del tubo.	56
Tabla 6. Matriz de tamizaje para la selección del sistema de control.	57
Tabla 7. Arquitectura del producto.	58
Tabla 8. Cotización de materiales.	70
Tabla 9. Costo de fabricación de los sistemas.	73
Tabla 10. Costo total de la máquina.	74
Tabla 11 . Propiedades mecánicas acero AISI 4340.	94
Tabla 12. Entradas y salidas del sistema.	100

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de doblado de tubos.	17
Figura 2. Productos obtenidos mediante el doblado.	25
Figura 3. Términos en el doblado de tubos.	26
Figura 4. Naturaleza del doblado.	27
Figura 5. Dobladora de tubo manual.	28
Figura 6. Dobladora de tubo electromecánica.	29
Figura 7. Dobladora de tubo CNC.	30
Figura 8. Proceso de doblado por compresión.	31
Figura 9. Proceso de doblado por arrastre.	32
Figura 10. Proceso de doblado por prensa con cabezal.	33
Figura 11. Extensión del doblado de diferentes materiales.	34
Figura 12. Elasticidad recuperadora de la pieza de trabajo.	34
Figura 13. Sentido del laminado para el doblado.	35
Figura 14. Formación de grietas en puntos de flexión.	36
Figura 15. Sistema de poleas con correa.	37
Figura 16. Transmisión por engranes.	38
Figura 17. Sistema de engrane reductor (a) y multiplicador (b)	39
Figura 18. Tren de transmisión de engranes.	39
Figura 19. Tren de transmisión con poleas.	40
Figura 20. Sistema SCADA.	42
Figura 21. Estructura de comunicación ASI.	43

Figura 22. Caja negra.	48
Figura 23. Descomposición funcional.	49
Figura 24. Curvadora eléctrica de tubos modelos ZB 60 H.	51
Figura 25. Maquina dobladora para tubo modelo Curvac 1500.	52
Figura 26. Dobladora de tubos semiautomática.	53
Figura 27. Arquitectura Mecánica.	59
Figura 28. Arquitectura Neumática.	59
Figura 29. Arquitectura Electrónica.	60
Figura 30. Sistema de desplazamiento del tubo.	62
Figura 31. Sensor inductivo y Sensor de Color.	63
Figura 32. Final de carrera.	63
Figura 33. Sistema de Sujeción Del Tubo sobre el bloque formador.	64
Figura 34. Bloque Formador.	65
Figura 35. Encoder.	65
Figura 36. Motor Principal y sistema de trasmisión de potencia.	66
Figura 37. Layout de la planta.	67
Figura 38. Sistema de Sujeción y Desplazamiento del Tubo.	68
Figura 39. Sistema de Sujeción del Tubo sobre el Bloque Formador.	68
Figura 40. Componentes del sistema (Vista isométrica).	69
Figura 41. Sección circular hueca.	81
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre del eje principal (planos x-y-z).	86
Figura 43. Cargas aplicadas sobre el eje principal (plano x-y).	88
Figura 44. Diagrama de cortantes, momentos y torsión del eje principal.	90

Figura 45. Cargas aplicadas sobre el eje principal (plano x-z).	91
Figura 46. Diagrama de cortantes y momentos del eje principal (Plano X-Z).	93
Figura 47. Diagrama de Flujo del Sistema.	99
Figura 48. Diagrama Grafcet de primer nivel del Sistema Diseñado.	101

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Momento flector para la deformación del tubo.	81
Anexo B. Calculo del eje principal de la máquina.	86
Anexo C. Diseño del sistema de transmisión de potencia.	97
Anexo D. Diagrama de flujo.	99
Anexo E. Diagrama Grafcet del sistema.	100
Anexo F. Manual de Operación y Manual de Mantenimiento.	102

RESUMEN

En este documento se plantea el diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa COLDIDACTICAS LTDA, en desarrollo a una pasantía institucional de la facultad de ingeniería y del programa de ingeniería mecatrónica de la universidad autónoma de occidente.

La finalidad del proyecto es diseñar un sistema que reduzca el esfuerzo físico de los operarios logrando mejorar y optimizar la productividad de la empresa, disminuyendo tiempos y errores en el doblaje de tubos. Para conocer e identificar la problemática que presenta la empresa, se realizó una visita de campo con el fin de obtener información directa del encargado y los operarios que laboran en el taller de fabricación de las estructuras metálicas; logrando determinar las necesidades específicas y requerimientos con las que debe cumplir el sistema mecatrónico diseñado.

Con las necesidades obtenidas, se generaron tres conceptos de solución que fueron evaluados, comparados y ponderados mediante el método de matrices de tamizaje para determinar la viabilidad de cada uno y obtener de esta manera el mejor de los diseños. A continuación, mediante la implementación del método de la ingeniería concurrente basada en la arquitectura del producto final, se clasifican detalladamente las funciones, acciones y componentes del sistema a desarrollar.

Además, se modeló en Solidworks el sistema automático de doblado de tubos sobre el que se realizó un análisis de primer nivel para el proceso de control a partir de un PLC. Finalmente, se obtuvo el costo de implementación del sistema mediante la cotización de los materiales, construcción y ensamble de los componentes de la dobladora de tubo automática diseñada.

Palabras claves: Esfuerzo físico, productividad de la empresa, sistema mecatrónico, sistema automático de doblado de tubos.

INTRODUCCIÓN

Desde los orígenes de la revolución industrial, la cual tuvo su apogeo en Gran Bretaña desde mediados del siglo XVIII, extendido décadas después por toda Europa occidental y Norteamérica, periodo en el cual se dio el mayor cambio económico, tecnológico y social de la historia de la humanidad. Esta revolución da el paso de una economía rural que se cimentaba en la agricultura y el comercio a una economía industrializada y mecanizada. Por consecuencia de esta revolución industrial las máquinas fueron evolucionando realizando desde las tareas más primordiales, hasta las de más complejidad, todo esto con el fin de satisfacer las necesidades de una producción en serie y de mejor calidad.

No obstante, con toda esta industrialización y toda esta maquinaria que ha sido de gran ayuda para la industria, existe el factor del error humano, al ser así los procesos no son muy exactos, esto trae consecuencias en desperdicios de material y tiempo, el cual trae como resultado más gasto de dinero.

Hoy en día, la mayor parte de las industrias cuentan con procesos de producción totalmente automatizados, estos hacen que las empresas se posicionen muy bien en el mercado, porque representa menor tiempo de producción, mayor exactitud y precisión, además de la disponibilidad de tiempo en las máquinas, obteniendo de esta manera mayores beneficios económicos para las empresas.

Actualmente para el proceso de doblado de tubos en la empresa COLDIDACTICAS LTDA se tiene una máquina dobladora de tubo manual, estos métodos exigen un gran esfuerzo físico para los operarios, sumado a esto, este tipo de métodos inducen a un rendimiento deficiente e inexacto en el ángulo de doblez del tubo.

En vista que las empresas deben tener procesos automatizados, para disminuir el error humano y los problemas antes mencionados, se ha decidido diseñar una dobladora de tubos automática para beneficio de la empresa COLDIDACTICAS LTDA., con el fin de optimizar el proceso del doblado de tubos.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la empresa COLDIDACTICAS LTDA. Produce mobiliarios para aulas de educación tecnológica y superior, siendo el doblado de tubos uno de sus principales procesos para la fabricación de estos. Se enumeran varios problemas al realizar este proceso de fabricación, ya que el doblado de tubos es un trabajo complejo e implica un cuidado muy especial porque la pieza tiende a romperse o deformarse en el proceso de flexión.

Para realizar esta actividad se necesitan de dos o tres operarios, generalmente lo primero que se hace es seleccionar la matriz de doblado, la cual se escoge por el diámetro del tubo, después se inserta el tubo a doblar, seguido de esto se posiciona la barra que servirá de guía para el doblado y por último con la fuerza del operario se dobla el tubo. Ver Figura 1.

Figura 1. Proceso de doblado de tubos.



Fuente: TREJO, Oscar. Dobladora de tubo manual [Video]. Zacatlán, México: YouTube (23 de enero de 2012). 2:06 minutos [Consultado: 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <https://youtu.be/QqiiEU0s0aM>

Estos dobleces son ejecutados de una forma manual, lo que trae a colación el error humano al no tener precisión en los dobleces, ya que requieren de un esfuerzo excesivo por parte de los operarios, además de tener errores en los ángulos de curvatura y arrugas en el tubo, como se trabaja de forma manual el operario no todas las veces aplica la misma fuerza en cada doblez, esto ocasionara que no todos los dobleces sean uniformes. Esto conlleva a que el proceso del doblado de

tubo sea retardado ocasionando así pérdidas para la empresa, además de que los operarios sufran algún inconveniente de salud o ser víctimas de una enfermedad profesional a largo plazo.

Es un problema al cual se le desea dar solución con un producto automatizado, que garantice una mayor eficiencia. Este reemplazara una dobladora de tubo manual. Es un dispositivo que reducirá el esfuerzo físico de los operarios que diariamente doblan los tubos manualmente, reducirá de manera significativa los tiempos de demora, además el sistema constará con la capacidad de doblar tubos de diferentes medidas.

Con relación a lo planteado anteriormente se plantea la siguiente pregunta: ¿Será posible el diseño de una máquina dobladora de tubos con un control automatizado para la empresa COLDIDACTICAS LTDA, que permita reducir los tiempos de demora e incremente el nivel de productividad?

2. JUSTIFICACIÓN

Las empresas industriales en sus continuos procesos de cambio, buscan encontrar soluciones factibles y viables, este tipo de soluciones se encuentran al automatizar los procesos, lo que trae a la empresa mantenerse en el mercado nacional e internacional, reducción de costos, entre otros factores importantes.

Actualmente la empresa COLDIDACTICAS LTDA. Tiene la necesidad de diseñar un sistema automático para el doblado de tubos, con la finalidad de mejorar y optimizar la producción, además de garantizar el apropiado funcionamiento para satisfacer la necesidad de la empresa. Lo que se busca con la implementación de este sistema automático para el doblado de tubos, es disminuir el error humano encontrado a la hora de doblar el tubo ya que como se ha mencionado anteriormente, se necesita un mejor producto terminado, un producto con un ángulo de doblado exacto y que no tenga arrugas en el tubo.

La construcción de una dobladora de tubos automática es una opción muy favorable para la empresa, porque esta ayudara a la empresa a reducir el tiempo de doblado de tubos, por ejemplo, si antes se utilizaban entre dos (2) y tres (3) operarios para realizar este trabajo y se demoraban entre 30 segundos a 40 segundos, ahora solo será utilizado solo un (1) operario para esta actividad y el tiempo de doblado del tubo estaría disminuido alrededor de 10 segundos. Esto quiere decir que, si antes en un día laboral se doblaban aproximadamente 320 tubos y en un mes aproximadamente 9600 tubos, entonces con ésta solución se estarían doblando aproximadamente el doble de tubos, obteniendo así la empresa un beneficio económico importante no tan solo por el tiempo sino también por el número de operarios utilizados, además de disminuir el error causado por los procesos manuales como arrugas en el tubo por no aplicar una fuerza constante.

Otro beneficio importante que se puede generar es eliminar los riesgos de enfermedades o complicaciones de salud causados por el esfuerzo físico utilizado. La empresa para mantener continuidad en el proceso y para mitigar el esfuerzo hecho por los operarios, mantiene una constante rotación del personal, con empleados que normalmente están en otras áreas de trabajo. Con esta solución automática, se evitará que los operarios realicen un sobre esfuerzo físico a la hora de doblar el tubo, por lo tanto, se buscará que realicen esta labor con mayor seguridad. Con esto se evitará que la empresa tenga unos costos adicionales, ocasionados por incapacidades que tienen un valor aproximado de \$150.000 mensuales.

Por lo hablado anteriormente el beneficiado en el desarrollo del proyecto será principalmente la empresa ya que este trae beneficios económicos importantes para la empresa porque habrá mucha más producción en serie y a menor tiempo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina dobladora de tubo automatizada para la empresa COLDIDACTICAS LTDA, con el fin de reducir el esfuerzo físico de los operarios logrando así aumentar la productividad y mejorar la calidad del producto.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los elementos necesarios para el diseño del sistema de control de la máquina dobladora de tubos.
- Diseñar y simular la automatización del proceso haciendo uso de las tecnologías CAD.
- Diseñar todos los esquemas y planos de la máquina dobladora de tubos conforme a las especificaciones del cliente.
- Diseñar la estructura mecánica de la máquina dobladora conforme a las necesidades del cliente.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Actualmente existen un número considerable de máquinas automáticas utilizadas para el doblado de tubos, algunas más automatizadas y avanzadas que otras, pero en fin utilizadas para la misma funcionalidad. Después de haber hecho numerosas indagaciones en busca de antecedentes sobre el tema de estudio, se lograron encontrar varios trabajos elaborados, sirviendo estos como un punto de partida para nuestra investigación. A continuación, se presentan algunos:

Diseño y construcción de una dobladora oleo-hidráulica de tubos circulares de hasta 50mm de diámetro exterior.¹

Esta implementación surge de la necesidad de obtener una herramienta para la realización e instalación de cercos eléctricos y tubos de escape que a su vez permitiera abaratar los costos de producción. El fin era obtener una herramienta de fácil manejo, que permitiera controlar el ángulo de doblado con un accionamiento de válvulas manual.

- Resultados
- Se diseñó una herramienta de trabajo de fácil manejo, la cual permitía controlar el ángulo de doblado y acabado.
- Se comprobó que no existiera deformación en el doblado, que el proceso no presentara ningún inconveniente además que la estructura soportara todos los elementos que componen la máquina.

¹ IDROVO CASTRO, Elvis Freddy. Diseño y construcción de una dobladora oleo-hidráulica de tubos circulares de hasta 50 mm de diámetro exterior [en línea]. Trabajo de grado Tecnólogo en Mecánica Industrial. Cuenca Ecuador: Universidad del Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología, 2016. 105 p. [Consultado 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5355>

- **Diseño y construcción de un prototipo de una máquina roladora de tubo cuadrado de 50x50x2 mm semiautomática.²**

Como objetivo primordial de esta propuesta de desarrollo era reemplazar un proceso manual de doblado de tubos para la producción de partes estructurales de carrocerías para los buses. La propuesta era la construcción de un prototipo de máquina dobladora de tubos semiautomática que mejorará los niveles de producción, teniendo las ventajas de un servicio de mantenimiento local permanente para que la máquina tuviera una vida útil.

- Resultados:
- Con la implementación de una nueva base de cabezales, la máquina dobladora de tubos era capaz de conformar diámetros entre 16 a 18 pulgadas, lo cual era de gran importancia para el proyecto.
- El 100% de la estructura fue diseñada para aguantar las fallas que pudieran ser ocasionadas por el movimiento excesivo del bastidor al instante de la salida de las tuberías.
- La columna del conjunto móvil era de gran espesor, como para permitir una deflexión sumamente baja con la que se podía evitar un desvío a la hora del doblado.

² PAREDES GONZÁLES, Sebastián Martín. Diseño y construcción de un prototipo de una maquina roladora de tubo cuadrado de 50x50x2 mm semiautomática [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Quito Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Colegio de ciencias e Ingeniería el politécnico, 2009. 33 p. [Consultado 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1096>

Implementación de un sistema de control automatizado del ángulo de dobles de tubos para incrementar el nivel de producción en el taller de accesorios para vehículos auto-krag.³

El propósito de este proyecto era ofrece una máquina de nuevas características que facilitara el trabajo del doblado de tubos, con una aplicación novedosa ya que se empleaban nuevos componentes y nuevas tecnologías que no eran tan comunes en el medio industrial. Esta implementación tenía como fin aumentar el nivel de producción en el taller de accesorios para vehículos AUTO-KRAG.

- Resultados:
- Para el sistema de control automatizado se empleó un PLC (Siemens S7-200) ya que era opción más viable debido a los requerimientos de trabajo, exactitud y compatibilidad.
- Para poder controlar el ángulo de dobles de los tubos, se utilizó un encoder absoluto de 600ppr para detener al motor cuando el mismo lea los pulsos que da en relación a un determinado ángulo.
- Con la implementación del sistema de control automatizado, se mejoró el control sobre el ángulo de dobles de los tubos, incrementando la exactitud del mismo en un 98% eliminando así el tiempo de verificación del mismo.

³ LLOACANA BASTIDAS, Milton Rodrigo. Implementación de un sistema de control automatizado del ángulo de dobles de tubos para incrementar el nivel de producción en el taller de accesorios para vehículos Auto-Krag [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Ambato Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2010. 116 p. [Consultado 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1763>

4.2 SUSTENTACIÓN TEÓRICA

4.2.1 Doblado o curvado. Los metales se pueden acoplar en las esquinas por las conexiones, o mediante el método de soldadura, pero en vez de unir, el método más económico es el doblado. El doblado, lo que hace es causar una deformación en las fibras exteriores tensándolas, mientras que las fibras interiores por el contrario se comprimen. Entre las capas de fibras interiores y exteriores se encuentran las llamadas fibras neutras, cuyas longitudes permanecen inalterables al curvar el material. Estas fibras neutras se encuentran situadas aproximadamente en la mitad del material, pero cuando la curvatura se fuerza, esas fibras neutras se sitúan más hacia el interior del material.

El doblado se utiliza para transformar chapas, alambres, barras, perfiles y tubos. En la Figura 2 se puede observar los diferentes productos obtenidos mediante el doblado.

Figura 2. Productos obtenidos mediante el doblado.

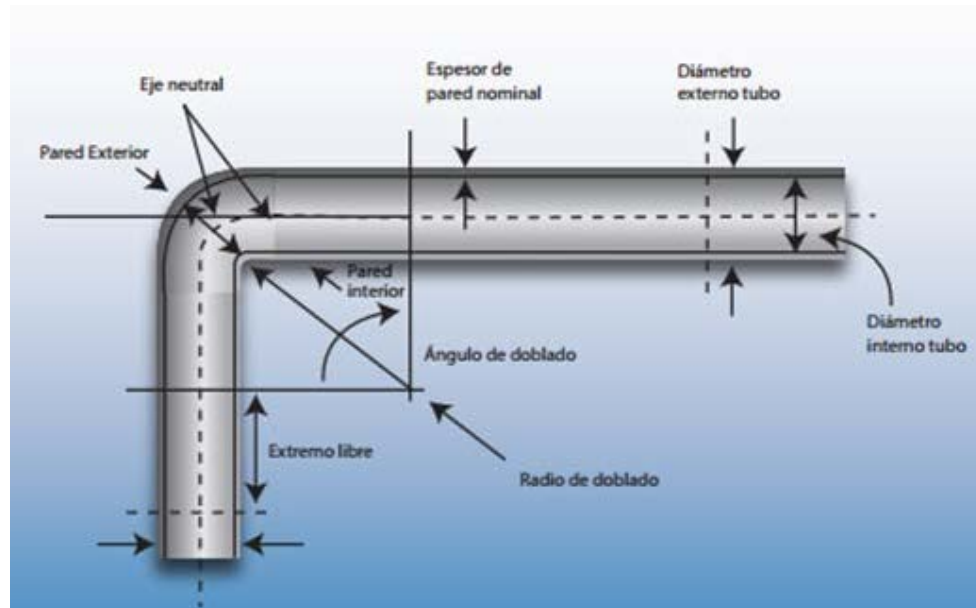


Fuente: PINOMETAL: Ningbo 3" Aluminum intercooler piping manufacturer [en línea]. Alibaba. [Consultado: 25 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: https://nbpino.en.alibaba.com/product/60764100957-804846099/Ningbo_3_Aluminum_intercooler_piping_manufacturer.html?spm=a2700.icbuShop.prewdfa4cf.7.6f9d656cR9llrD

4.2.2 Proceso de doblado de tubos. El doblado de tubos es un trabajo complejo, básicamente este doblado ocurre cuando se le aplica un esfuerzo superior al límite elástico, en una dirección diferente al eje neutral del material, así logra conseguirse una deformación permanente en la forma de curva. Uno de los problemas más comunes es la ruptura del material, por lo tanto, el objetivo primordial en el doblado de tubos es evitar esa ruptura como también el aplanamiento y formar así un doblado

uniforme para obtener un doblado correcto, es muy importante analizar todos los factores que entran en juego a la hora de realizar esta acción. Por ejemplo: el espesor y el diámetro del tubo a doblar, la cantidad de dobleces y su complejidad, el material y la forma del tubo.

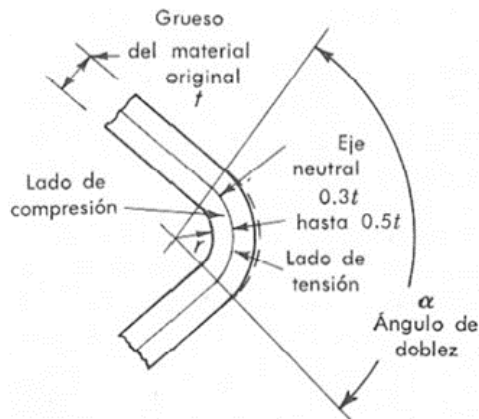
Figura 3. Términos en el doblado de tubos.



Fuente: CÁRDENAS V. Introducción al conformado mecánico [imagen]. Quito Ecuador: Andina. 1989. p. 36.

Adicionalmente, es importante considerar el límite elástico del material, llamado también “springback”, ya que todos los tubos, una vez finalizan la fuerza de flexión, tienden a manifestar cierta recuperación elástica. Si se hace un doblado hasta cierto ángulo puede esperarse que regrese hasta un ángulo un poco menor cuando se deja libre el material. Este retroceso es mayor para radios más pequeños, materiales más gruesos, ángulos de doblado más grandes y materiales endurecidos. Por lo general se devuelven entre 2° y 4°. Por ello, en operaciones de precisión, es necesario dar un ángulo o curvatura más cerrada de la necesaria como para que después de la recuperación elástica la pieza quede de la forma deseada.

Figura 4. Naturaleza del doblado.



Fuente: DOYLE, Lawrence E. Materiales y procesos de manufactura para ingenieros. 3 ed. México, Distrito Federal, México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1988. p. 336.

4.2.3 Partes principales de una dobladora de tubo

4.2.3.1 Motor. El motor es el encargado de producir la fuerza que se utiliza para vencer la resistencia, ya que ni la palanca ni el eje de rotación son lo suficientemente fuertes como para producir tal fuerza. La fuerza del motor al igual que la del eje de rotación, varían de acuerdo al tamaño del eje las características que tenga el tubo.

4.2.3.2 La palanca. La palanca funciona como el punto de apoyo que, a su vez, trabaja con un eje de rotación, el cual crea la resistencia, que va conducido por el motor que entrega la potencia. El objetivo de la palanca es determinar el giro y el ángulo de rotación que, impulsado por el motor, activa el eje de rotación, lo que en teoría es la aplicación de las palancas de tercer género, es decir, la potencia se encuentra entre el punto de apoyo y la resistencia.

4.2.3.3 Eje de rotación. Es un disco que tiene como función dar el ángulo y la forma del doblado del tubo. Su tamaño depende de la pieza y del nivel de rotación, pues no es lo mismo curvar un tubo a 90° , que doblar el tubo en tres direcciones distintas, ya que en el primer caso solo se necesita un disco pequeño por que el doblado es sencillo, mientras que, para el segundo caso, se requiere un disco con un diámetro grande y potente que tenga la capacidad de curvar el tubo sin deformarlo.

4.2.4 Tipos de máquinas utilizadas para el doblado de tubos

4.2.4.1 Dobladora de tubos manual. Conformada por una palanca manual y un eje de rotación, esta máquina responde en primer momento a la demanda básica de cualquier taller o pequeña industria, en la que se produzcan pocos dobleces por pieza. La palanca es manual porque en este caso, el operario se encarga de calibrar la máquina para el proceso de curvado, es decir coloca el tubo, determina el ángulo de curvatura y con sus manos realiza el proceso de doblado y cambia la posición del tubo, si requiere el doblado en otra dirección o se realiza dobleces consecutivos.

Figura 5. Dobladora de tubo manual.



Fuente: Curvadora de tubos. [en línea]. Solostocks.cl. [Consultado: 25 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.solostocks.cl/venta-productos/otra-maquinaria/curvadora-de-tubos-1265954>

4.2.4.2 Dobladora de tubos electromecánica. Su innovación reside en la incorporación de un selector eléctrico para la regulación del ángulo de curvatura y de un motor eléctrico, el cual es el encargado de proporcionar la fuerza necesaria para realizar el doblado. El operario es el encargado de calibrar la máquina, es decir, realiza la carga del tubo, determina el ángulo de curvatura y mediante mandos eléctricos acciona el motor, que este a su vez realiza el proceso de doblado, una vez que se ha concluido el doblado, el operario procede a la descarga del tubo y cambio de posición, si se requiere realizar dobleces en otra dirección o consecutivos. La transmisión del movimiento del motor al conformador, se lo realiza a través de un embrague mecánico. En la Figura 6, se puede observar la dobladora de tubos electromecánica.

Figura 6. Dobladora de tubo electromecánica.



Fuente: TECNOMAQUINARIA: Dobladoras electromecánicas para tubo. [en línea]. Maquinariacatalogo.com. [Consultado: 25 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: <https://www.maquinariacatalogo.com/subsub-dobladorasmanualesparatubos.html>

4.2.4.3 Dobladora de tubos CNC. Son las máquinas de su tipo, más avanzadas del mercado. Su software permite obtener distintos ángulos y direcciones de rotación, así como estimar el tiempo que durará el proceso de curvado, dependiendo de las especificaciones programadas por el usuario. En el momento de graduar varias distancias de curvado en un sólo tubo, estas máquinas dejan a un lado los posicionadores, graduados manualmente por los operarios, para automatizarlos en el software, lo que conduce al tubo a reproducir fielmente la forma que se haya programado en la máquina. En la siguiente figura se muestra una dobladora de tubos CNC.

Figura 7. Dobladora de tubo CNC.



Fuente: Mafordi Lab: Dobladora de tubos CNC. [en línea]. Mafordi.com. [Consultado: 25 de septiembre de 2016]. Disponible en internet: http://www.mafordi.com/mafordi_servicios.html

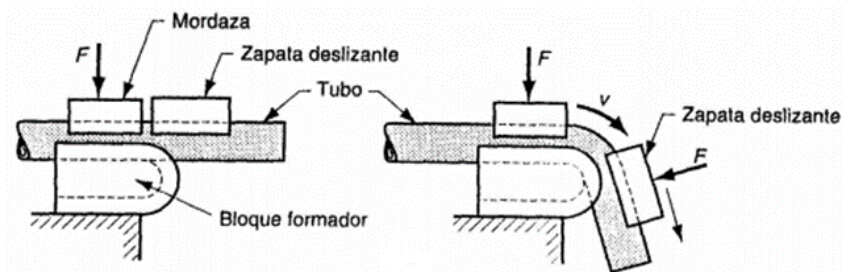
4.2.5 Métodos del doblado. Los métodos más comunes de doblado de tubos son los siguientes:

- Doblado por compresión.
- Doblado por arrastre.
- Doblado por prensado con cabezal.

4.2.5.1 Doblado por compresión. La pieza de trabajo se sujeta y se dobla alrededor de un dado estacionario con la ayuda de un bloque o un rodillo seguidor. Hay algo más de fuerza de compresión que elongación sobre la pieza de trabajo (aun cuando haya elongación sobre la parte exterior del doblé), y el nombre del método se deriva de este hecho.

El doblado por compresión es un método común, que con frecuencia se realiza a mano, sobre tubos u otros perfiles de mayores espesores de pared y radios de doblado más grandes. Los tubos de pared delgada usualmente no se doblan por este método.

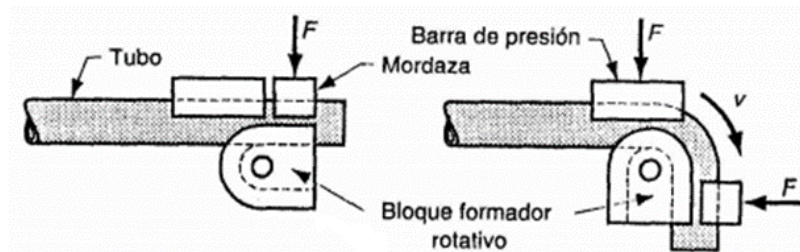
Figura 8. Proceso de doblado por compresión.



Fuente: Formado de metales y trabajo con lámina metálica: trabajo metálico de láminas / Operaciones de doblado. [en línea]. Umss.edu.bo [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia/capitulo3.htm>

4.2.5.2 Doblado por arrastre. En este método, la pieza de trabajo se sujeta contra un dado que tiene la forma del doblado, como en el doblado por compresión; pero ahora el dado gira jalando la pieza de trabajo por una matriz de presión y, en muchos casos, sobre un mandril. Este método es adecuado para tubos de pared delgada, en especial cuando se doblan en radios pequeños, permite un control más estrecho sobre la pieza de trabajo que cualquier otro método de doblado.

Figura 9. Proceso de doblado por arrastre.

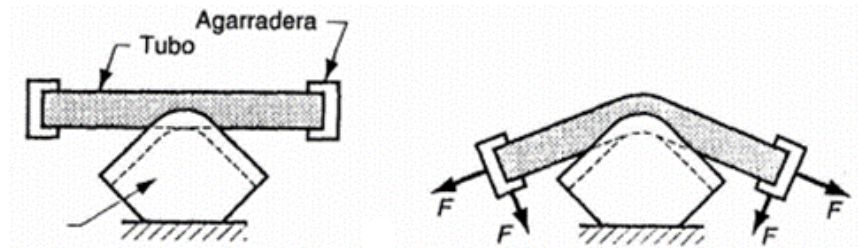


Fuente: Formado de metales y trabajo con lámina metálica: trabajo metálico de láminas / Operaciones de doblado. [en línea]. Umss.edu.bo [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia/capitulo3.htm>

Los dobleces por arrastre se hacen cuando las necesidades dimensionales son estrictas (por ejemplo, en la industria aeronáutica) o cuando se requieren dobleces muy cerrados de tubos de pared delgada. Aunque se pueden lograr radios de doblado iguales al diámetro del tubo, éstos requieren un cuidado extraordinario, un mandril interno de perfecto ajuste, así como zapatas y matrices exteriores. El doblado por arrastre es más común que el doblado por compresión cuando se emplea equipo motriz, ya que pueden hacerse dobleces de hasta 180°.

4.2.5.3 Doblado por prensado con cabezal. Con este método, la pieza de trabajo se coloca entre dos soportes y se presiona contra un dado redondo (cabeza o punzón). Los dos soportes giran sobre un pivote conforme el cabezal se mueve hacia adelante manteniendo el soporte de la pieza de trabajo.

Figura 10. Proceso de doblado por prensa con cabezal.



Fuente: Formado de metales y trabajo con lámina metálica: trabajo metálico de láminas / Operaciones de doblado. [en línea]. Umss.edu.bo [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia/capitulo3.htm>

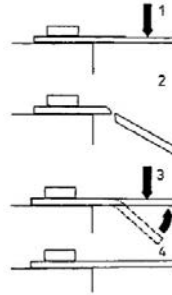
Este método, aunque brinda poco control sobre el flujo del metal, es muy rápido. Se emplea en aplicaciones donde se utilizan tubos gruesos o perfiles laminados o extruidos, siempre que se permita alguna distorsión en la sección de la pieza de trabajo y que sea importante tener una rápida producción. Con las máquinas disponibles en la actualidad, el doblado por prensado con cabeza se aplica a tuberías de 10 a 350 mm de diámetro. Este método funciona para dobleces de hasta 165° además, se pueden doblar perfiles extremadamente gruesos. El radio mínimo de doblado a la línea de centro por este método es 3 veces el diámetro a menos que sean tolerables deformaciones o aplastamientos en la sección doblada.

4.2.6 Influencia de las propiedades del material

4.2.6.1 Flexibilidad.

Solamente los materiales que posibilitan un cambio de forma se dejan doblar. Materiales templados y quebradizos no se dejan doblar, con el efecto de fuerzas de flexión muy grande se rompen. Materiales de fleje tampoco se dejan doblar, luego del efecto de las fuerzas de flexión recuperan totalmente su posición inicial como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11. Extensión del doblado de diferentes materiales.



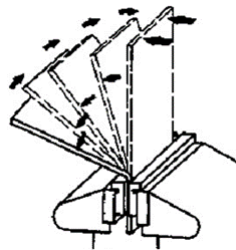
Fuente: Curso Doblado Láminas tubos y perfiles 1. [en línea]. scribd.com. [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/27428436/Curso-Doblado-Laminas-tubos-y-perfiles-1>

1- fuerza de flexión actúa sobre el material frágil, 2- ruptura de la pieza de trabajo, 3- fuerza de flexión actúa sobre la pieza de trabajo de fleje, 4- elasticidad recuperadora de la pieza de trabajo.

4.2.6.2 Elasticidad.

Los materiales elásticos se encogen en una dimensión determinada luego del efecto de la fuerza, a esto se le denomina elasticidad recuperadora, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Elasticidad recuperadora de la pieza de trabajo.



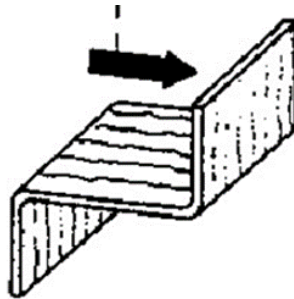
Fuente: Curso Doblado Láminas tubos y perfiles 1. [en línea]. scribd.com. [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/27428436/Curso-Doblado-Laminas-tubos-y-perfiles-1>

Esta medida debe ser tenida en cuenta siempre para el doblado. Ya que los materiales duros son de más elasticidad recuperadora que los materiales blandos.

4.2.6.3 Resistencia.

En el laminado de chapas se presenta una estructura fibrosa en el material (similar como las vetas en la madera), la cual se debe reconocer en la superficie de chapas aseadas, como se muestra en la Figura 13. Con el fin de evitar grietas en el borde exterior de las curvaturas, el borde de flexión no puede coincidir con el recorrido de la fibra.

Figura 13. Sentido del laminado para el doblado.

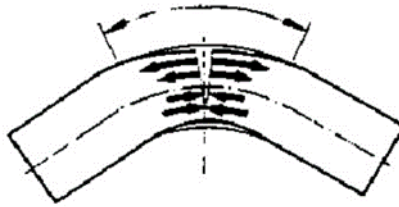


Fuente: Curso Doblado Láminas tubos y perfiles 1. [en línea]. scribd.com. [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/27428436/Curso-Doblado-Laminas-tubos-y-perfiles-1>

4.2.6.4 Endurecimiento por conformación del frío.

Con el cambio múltiple de tensiones de tracción y de presión durante el procedimiento de doblado, se deforma fuertemente la estructura del material, como se muestra en la Figura 14. Las tensiones interiores amplificadas conllevan a un endurecimiento en el punto de doblado. Entre mayor sea la frecuencia del cambio de tensiones, entonces el material se hará también más quebradizo. En caso de continuar la deformación se puede presentar un rompimiento.

Figura 14. Formación de grietas en puntos de flexión.



Fuente: Curso Doblado Láminas tubos y perfiles 1. [en línea]. scribd.com. [Consultado: 10 de enero de 2017]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/27428436/Curso-Doblado-Laminas-tubos-y-perfiles-1>

4.2.7 Reductores de velocidad. Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor. En la adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos). Al emplear reductores o motorreductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

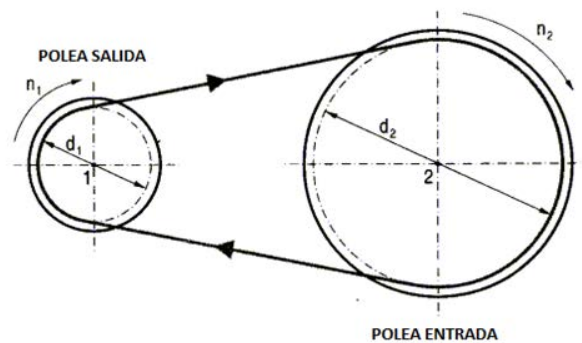
- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

4.2.8 Tipos de reductores de velocidad. Los reductores de velocidad se suelen clasificar de un modo bastante amplio, solapándose en algunos casos las definiciones de modo específico y en otros casos hay que usar diversas clasificaciones para definirlos. Se presenta a continuación algunos sistemas de reducción de velocidad.

4.2.8.1 Sistema de poleas con correa. Se trata de dos ruedas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto de una correa. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Según el tamaño de las poleas existen dos tipos:

- La polea conducida (salida) gira a menor velocidad que la polea motriz (entrada). Este es un sistema de poleas reductoras de velocidad.
- La polea conducida gira a mayor velocidad que la polea motriz, a esto se le conoce como multiplicador de velocidad.

Figura 15. Sistema de poleas con correa.



Fuente: Sistema de poleas y correas: Transmisión simple. [en línea]. Almez.pntic.mec.es. [Consultado: 12 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://almez.pntic.mec.es/~jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm#simple>

La relación de transmisión entre ambas poleas se define por el siguiente modelo

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

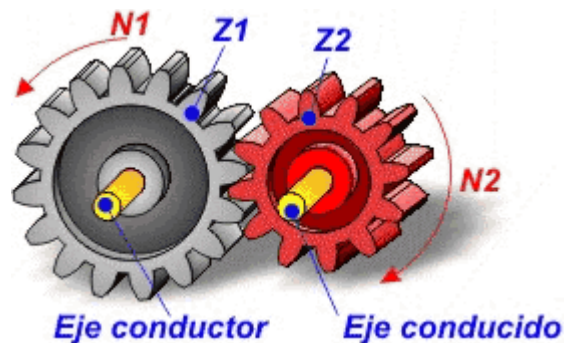
Donde:

- n_2 : Velocidad de la rueda conducida.
- n_1 : Velocidad de la rueda motriz.
- d_2 : Diámetro de la rueda conducida.
- d_1 : Diámetro de la rueda motriz.

Normalmente la velocidad de las ruedas es medida en revoluciones por minuto (rpm) o vueltas por minuto.

4.2.8.2 Transmisión por engranajes. Este sistema de transmisión de movimiento está constituido por el acoplamiento, diente a diente, de dos ruedas dentadas, una motriz y otra conducida. A la mayor se le llama corona y al menor piñón. Los engranajes giran de modo que, los más pequeños giran a mayor velocidad, de modo similar al caso del sistema de poleas con correa. En este caso, en lugar de tener en cuenta el diámetro de la polea, se tienen en cuenta el número de dientes de cada rueda.

Figura 16. Transmisión por engranes.



Fuente: Multiplicador de velocidad. [en línea]. Concurso.cnice.mec.es. [Consultado: 12 de enero de 2017]. Disponible en internet: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_eng_multiplicador.htm

La velocidad de los engranes se calcula a partir de los tamaños de los mismos y se rigen por la siguiente ecuación:

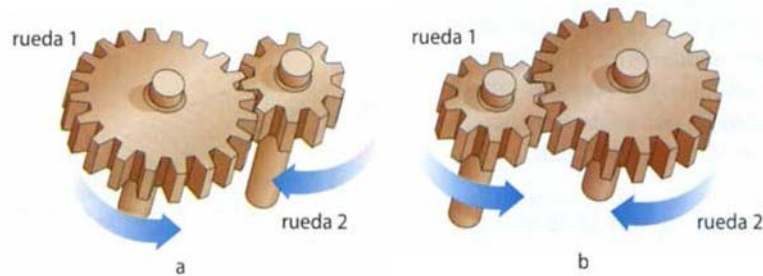
$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2$$

Donde:

- N_1 : Velocidad del engrane conductor.
- N_2 : Velocidad del engrane conducido.
- Z_1 : Numero de dientes del engrane conductor.
- Z_2 : Numero de dientes del engrane conducido.

Al igual que el sistema de poleas con correa hay dos tipos de sistemas de transmisión por engranes, el sistema reductor (ver Figura 17a) y el sistema multiplicador (ver Figura 17b)

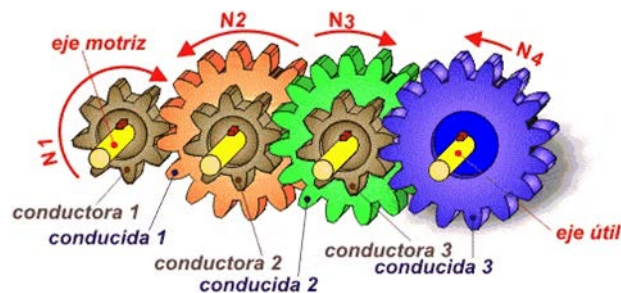
Figura 17. Sistema de engrane reductor (a) y multiplicador (b)



Fuente: Operadoorez Mecaniicooz: Tren de engranajes. [en línea]. Operadoorezmecaniicooz.blogspot.com.co. [Consultado: 12 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://operadoorezmecaniicooz.blogspot.com/2011/09/la-polea.html>

4.2.8.3 Tren de transmisión de engranes o poleas. Un tren de transmisión de engranes consiste en la combinación de dos o más engranes. También se puede conseguir un tren de transmisión de poleas, combinando dos o más poleas conjuntas.

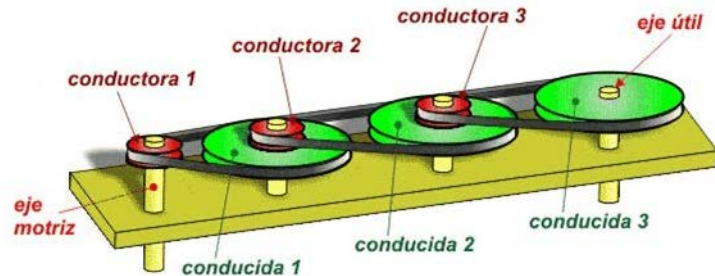
Figura 18. Tren de transmisión de engranes.



Fuente: MECANISMOS. [en línea]. Aulatecnologia.com. [Consultado: 14 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://www.aulatecnologia.com/ESO/SEGUNDO/teoria/mecanismos/mecanismos.htm>

También se puede conseguir un tren de transmisión de poleas, combinando dos o más poleas conjuntas, como se observa en la Figura 19.

Figura 19. Tren de transmisión con poleas.



Fuente: Tren de poleas. [en línea]. Concurso.cnice.mec.es. [Consultado: 14 de enero de 2017]. Disponible en internet: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_pol_trenpoleas.htm

Pauta para la elección de un sistema reductor. Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente información básica:

- **Características de operación**

- Relación de reducción.
- Torque (par) máximo a la salida del reductor.
- Potencia (HP) tanto de entrada como de salida.

- **Características del trabajo a realizar**

- Arranques por hora, inversión en marcha.
- Tipo de carga: uniforme, con choque, continua, discontinua, etc.
- Tipo de máquina motriz: motor eléctrico, gasolina, etc.
- Duración de servicio horas al día.
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.

- **Condiciones del ambiente**

- Temperatura.
- Humedad.

4.2.9 Automatización industrial. Automatizar quiere decir emplear medios artificiales, de tal forma que un proceso transcurra de forma automática. En una planta esto significa equiparla con autómatas de tal forma que trabaje automáticamente. Un autómata es un sistema artificial, que sigue un programa de forma propia o automática. Gracias al programa el sistema debe tomar decisiones basadas en las entradas y el estado del sistema, para de esta forma cumplir con tareas asignadas.

4.2.10 Control realimentado. El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema.

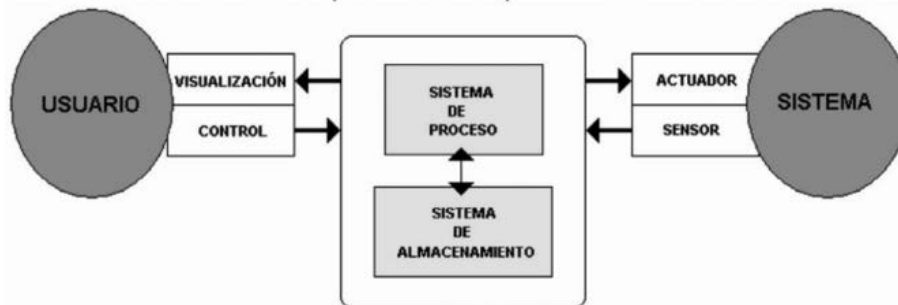
4.2.11 Sistemas de control lazo cerrado y lazo abierto. Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

4.2.12 Controlador lógico programable (PLC). El controlador lógico programable, o PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico programable encargado de controlar en tiempo real y en ambiente industrial. Este fue diseñado para la automatización industrial, para el control de una máquina o procesos industriales. Los PLC's contienen múltiples canales para medir distintas señales las cuales provienen de sensores de procesos que estén controlando, además tienen canales de salida de señal que actúan sobre la máquina o sobre el proceso que controlan. Un PLC permite controlar o proteger un proceso industrial, posibilitando además las opciones de monitoreo y diagnóstico de condiciones (alarmas), presentándolas en un HMI (Human-Machine Interface) o pantalla de operación, o presentándolas a una red de control superior.

4.2.13 Sistema SCADA. Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) es un software de aplicación especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Figura 20. Sistema SCADA.

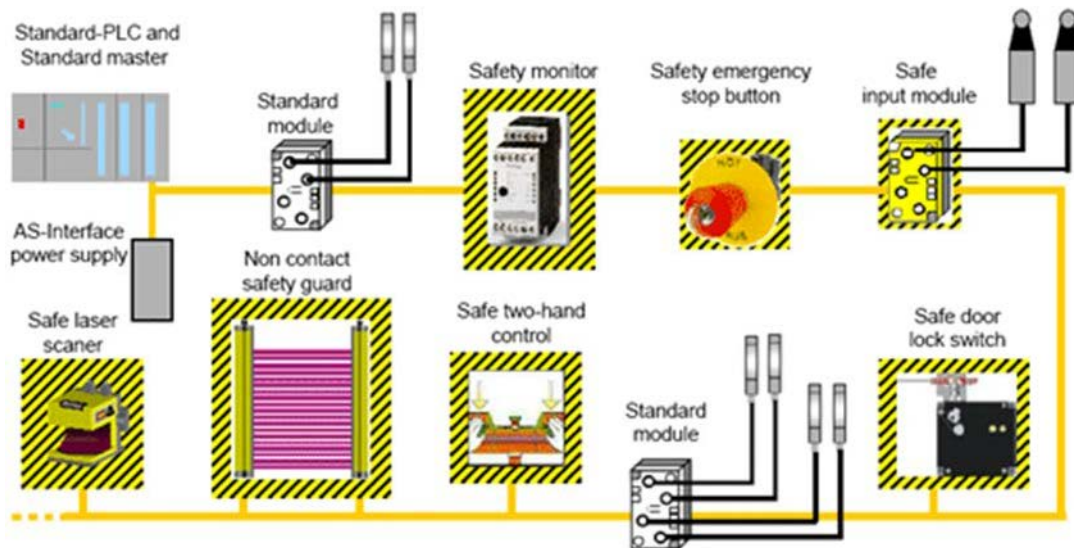


Fuente: Seguridad SCADA: Implementar IDS. [en línea]. Seguinfo.wordpress.com. [Consultado: 15 de enero de 2017]. Disponible en internet: <https://seguinfo.wordpress.com/2012/05/17/seguridad-scada-implementar-ids/>

4.2.14 Comunicación industrial. Hoy en día las comunicaciones industriales adquieren una gran importancia en los sistemas de automatización. Los equipos tienen la necesidad de comunicar entre sí de una manera segura y basándose en los últimos estándares de comunicación.

4.2.14.1 Bus de campo ASI. Es el bus donde se encuentra el nivel de sensores y actuadores, está formado por elementos de medida (sensores) y mando (actuadores tales como motores, válvulas) distribuidos en una línea de producción. Son los elementos más directamente relacionados con el proceso productivo ya que los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para modificar el proceso productivo, como característica los sensores y actuadores suelen ser dispositivos que necesitan ser controlados por otros elementos.

Figura 21. Estructura de comunicación ASI.



Fuente: Tutorial sobre la Tecnología AS-i. [en línea]. Smar.com. [Consultado: 15 de enero de 2017]. Disponible en internet: <http://www.smar.com/espanol/asi>

4.2.14.2 Red ethernet. Es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que se basa en el principio de todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación. Se utiliza para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones. El Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del diseño de una máquina dobladora de tubos metálicos, se optará por aplicar una metodología, la cual establece una serie de etapas que permiten la construcción de una solución a un usuario en específico. El diseño consta básicamente de 6 fases las cuales deben realizarse de forma secuencial para así garantizar el mejor diseño que da solución a la situación problema. Las fases son las siguientes:

- **Planeación:** consta básicamente de las actividades previas antes del desarrollo conceptual, recopilación de la información, identificar las diferentes restricciones del proyecto y establecer las estrategias para lograr gestionar el proyecto.
- **Desarrollo conceptual:** hace referencia a las primeras etapas de desarrollo que consta de identificar las necesidades del cliente, establecer especificaciones, generar alternativas de solución y posteriormente seleccionar la mejor alternativa.
- **Diseño a nivel de sistema:** generar las arquitecturas del producto y definir los principales subsistemas e interfaces para refinar el diseño industrial.
- **Diseño detallado:** se define la geometría de las partes, selecciona los materiales y componentes además de definir los elementos que podrían ser reemplazados por otros que garanticen el correcto funcionamiento.
- **Prueba y refinamiento:** en esta parte del diseño se realizan las diferentes pruebas de fiabilidad, tiempo de vida, desempeño, se obtienen las aprobaciones regulatorias, además de realizar los cambios necesarios para el diseño.
- **Escalado de la producción:** evaluar los primeros productos salidos al mercado, el diseño ya estaría terminado y listo para empezar a realizar la implementación.

5.1 ETAPAS DEL PROYECTO

Las etapas del proyecto con las cuales se cumplirán uno a uno los objetivos específicos para así lograr el diseño de una máquina dobladora de tubo son las siguientes:

- **Fase 1 - Apropiación del contexto:** reconocimiento preliminar del contexto en el cual va intervenir nuestro sistema, búsqueda de la información con respecto a los procesos de doblado de tubo, mediante una revisión bibliográfica, recolectando información mediante libros físicos y digitales relacionados con la automatización industrial y el proceso de doblado, además de un análisis de antecedentes.
- **Fase 2 - Analizar la información:** con la información anteriormente adquirida se determinan los parámetros necesarios, estudiando así las variables físicas involucradas en cada uno de los procesos.
- **Fase 3 – selección de dispositivos:** se selecciona los sensores, dispositivo de control y actuadores que cumplan con las características específicas requeridas para el diseño.
- **Fase 4 – Diseño del sistema:** cuando ya se tiene la adquisición de la información necesaria hace falta los planos e inventario de los componentes ya existentes, para de esta manera determinar las dimensiones donde será diseñado el proceso, garantizando así optimizar los espacios para la instalación de los componentes.
- **Fase 5 - Validación:** finalmente se realizan varias simulaciones haciendo uso de software de diseño para tener una idea del funcionamiento del diseño a implementar.

6. DESARROLLO CONCEPTUAL

6.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

A través del método de observación del producto en uso, se identificaron y ponderaron dado su nivel de importancia las siguientes necesidades.

Tabla 1. Necesidades del cliente.

No.	NECESIDAD	IMP.
ERGONOMÍA		
1	La máquina debe ser simple para el manejo del operario.	4
2	La interfaz de comunicación entre hombre-máquina debe ser amigable.	2
SEGURIDAD LABORAL		
3	Los movimientos de la máquina deben ser controlados.	5
4	El operario no debe realizar actividades riesgosas.	5
CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS		
5	La máquina debe ajustarse al medio donde será instalada.	4
6	El tamaño de la máquina debe ser adecuado para las actividades que realiza.	3
7	Las piezas de fabricación de la máquina deben ser comerciales.	5
FUNCIONAMIENTO		
8	La máquina debe doblar diferentes diámetros de tubo.	5
9	La máquina debe doblar a diferentes ángulos.	
10	La máquina debe realizar varias actividades.	4
11	Las funciones de la máquina deben ser precisas.	
12	La máquina debe disminuir los tiempos de producción.	4
13	La máquina debe funcionar adecuadamente en tiempos de trabajos continuos.	4
14	En caso de alguna falla, dar aviso inmediatamente al operario.	5
15	La máquina debe ser de fácil mantenimiento.	3
CALIDAD DEL PRODUCTO		
16	La máquina debe ser resistente al desgaste.	4
17	Los materiales de la máquina deben ser amigables con el medio ambiente.	4

En la tabla 1 se ordenaron las necesidades identificadas, también se clasifico en 5 grupos de acuerdo al tipo de requerimiento encontrado, además cada una de estas tiene una ponderación de acuerdo a su importancia.

En la siguiente tabla se muestra la relación entre las necesidades del cliente y las métricas.

Tabla 2. Métricas de diseño.

No.	No. necesidad	Métrica	Imp.	Unidad
1	1, 2	Fácil manejo	4	E, B, R, M
2	3,4	Nivel de riesgo laboral	5	B, M, A
3	5,6	Volumen de ocupación	3	m ³
4	7	Porcentaje de margen comercial	4	%
5	8,9,11	Precisión	5	Grados, Cms
6	12,13,15	Capacidad productiva de la maquina	5	tubos/Hora
7	14	Tiempo de respuesta	5	Seg
8	15	Tiempo de mantenimiento	5	Min
9	10	Número de actividades por producto	5	Operaciones/pr oducto
10	13,16	Ciclo de vida de los elementos de la maquina	4	h/año
11	17	Materiales	3	Lista

Con la cuantificación de las métricas de las necesidades mostrada en la Tabla 2 se determinarán las posibles falencias que pueda presentar la máquina de no cumplir con los requerimientos del cliente.

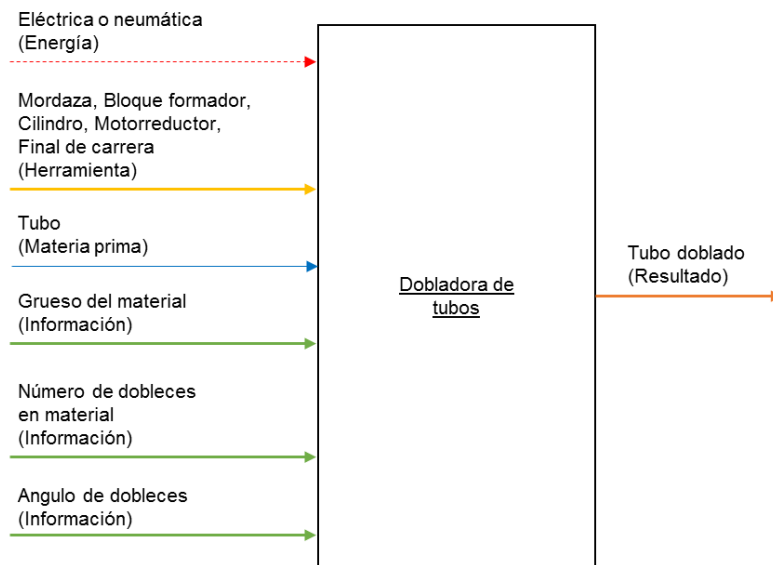
6.2 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Basado en la identificación y el análisis de las necesidades del cliente, se genera mediante el uso de la caja negra la descomposición funcional del sistema.

6.2.1 Caja negra.

Al utilizar la caja negra como elemento de descomposición funcional se definen las entradas del sistema apoyadas en requerimientos de funcionamiento como son: Energía, materia prima, información y herramientas de trabajo que apoyadas en el sistema implementado buscan la solución a la salida deseada del sistema.

Figura 22. Caja negra.

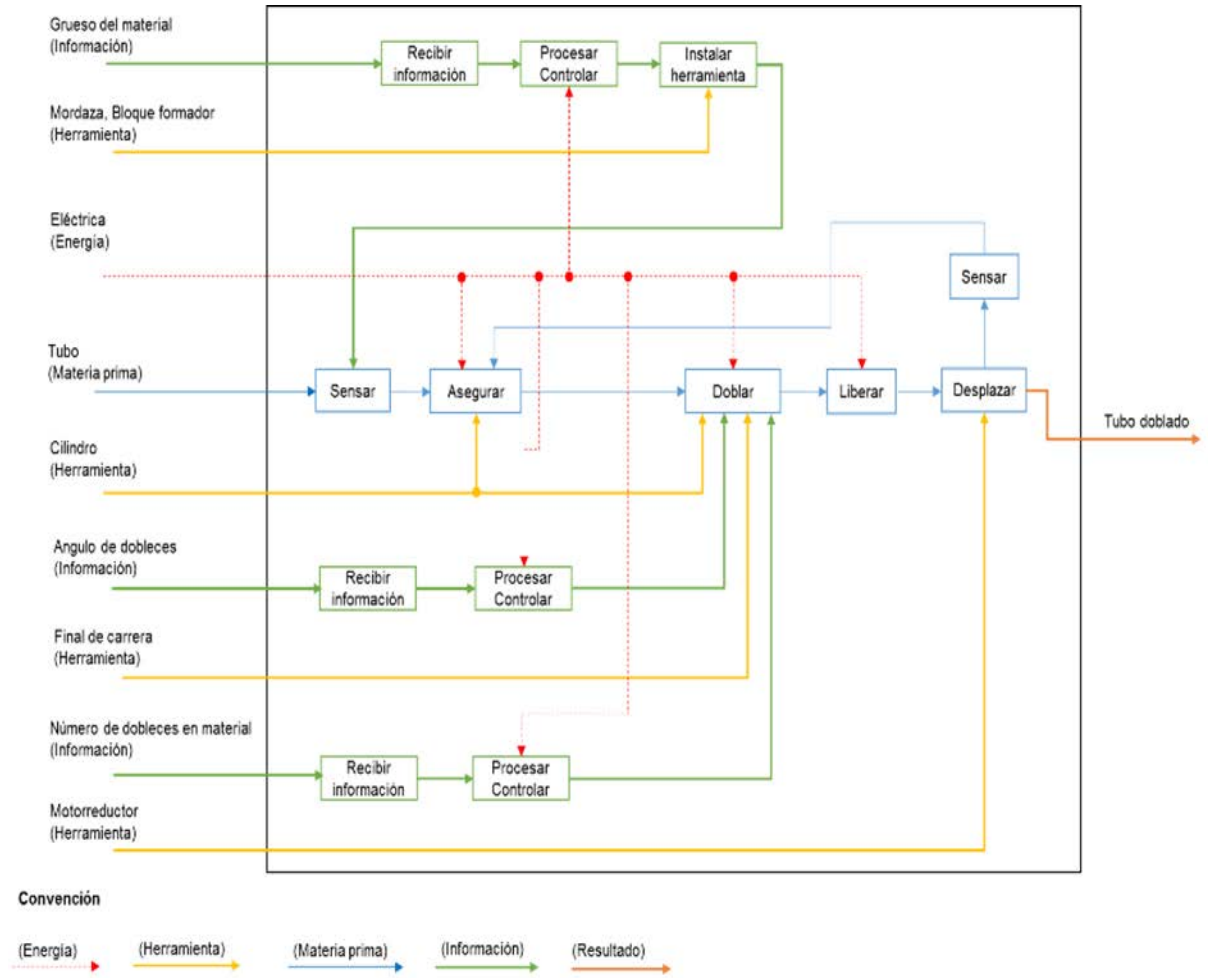


Como entradas se tiene la energía necesaria para la puesta en marcha de la máquina, la materia prima, que son los tubos sobre los que se harán las operaciones de doblado con la ayuda de las herramientas, por medio de la información requerida por el sistema se logra cumplir con uno de los requerimientos más importantes del cliente que es la precisión en el ángulo y la cantidad de dobleces.

6.2.2 Descomposición Funcional.

Con la descomposición funcional se identifican las funciones principales y secundarias con las que debe cumplir el sistema para lograr finalmente el curvado de tubos.

Figura 23. Descomposición funcional.



De la figura 23 se resalta que la función principal en el diseño de la máquina para lograr la salida deseada es: asegurar, doblar, liberar y desplazar el tubo durante el proceso, además de identificar que acciones como recibir información, procesar, controlar e instalar herramientas son acciones secundarias necesarias y fundamentales para conseguir el objetivo de doblar finalmente el tubo.

6.2.3 Exploración de soluciones.

A continuación, se plantea una exploración de soluciones que consiste en investigar y generar ideas para cada una de las funciones principales del sistema.

- **Asegurar y liberar el tubo**
- Mordaza plana (barra de presión)
- Tornillo de banco (Prensa de sujeción)
- Mandril
- **Doblar tubo**
- Por compresión
- Por arrastre
- Por prensa o cabezal
- **Desplazar el tubo (transmitir movimiento traslacional al elemento)**
- Transmisión por tornillos de potencia
- Guías líneas y husillo
- Mecanismo Tornillo sin fin – Corona
- Mecanismo Piñón - cremallera

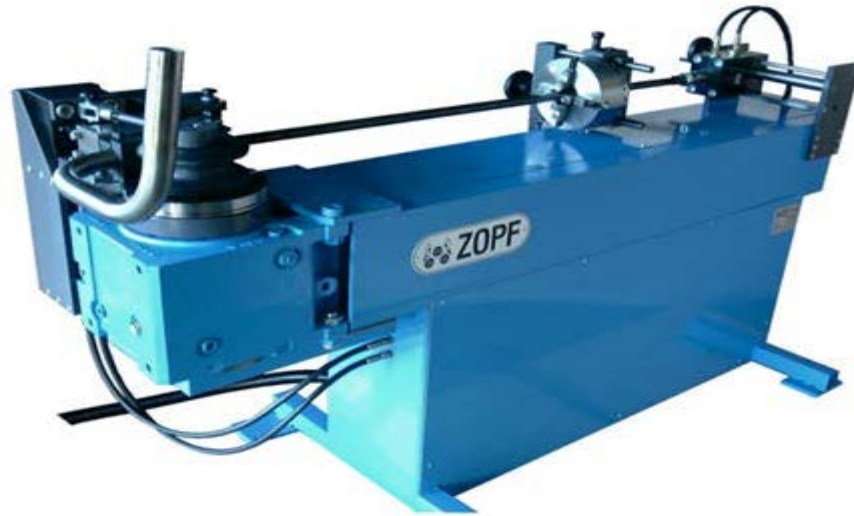
6.2.4 Generación de conceptos.

Teniendo en cuenta las necesidades obtenidas por medio del método de identificación del producto en uso, logramos entender el funcionamiento y los requerimientos que debe tener el prototipo funcional que se desea elaborar.

Para lograr un diseño de conceptos que cumpla satisfactoriamente con las necesidades planteadas anteriormente, se generan tres alternativas basadas en máquinas existentes en el mercado (consultadas en internet) para cumplir con el proceso de doblado de tubos.

Concepto 1. Las partes principales de esta máquina son: mandril de cambio rápido, larguero porta mandril, juego herramental intercambiable dado el diámetro del tubo, mecanismo de transmisión para el desplazamiento de la materia prima, sistema electrohidráulico de tracción y sujeción con ciclo de doblez automático y un control electrónico de ángulo de doblez. Para doblar un tubo en esta máquina inicialmente se ingresa y asegura el tubo en el mandril, se ajusta el ángulo de doblez y el número de curvas que tendrá el proceso seguido de la puesta en marcha de la máquina.

Figura 24. Curvadora eléctrica de tubos modelos ZB 60 H.



Fuente: Máquina curvadora eléctrica de tubos de mandril ZB 60 H. [en línea]. Directindustry.es. [Consultado: 2 de marzo de 2017]. Disponible en internet: <http://www.directindustry.es/prod/zopf/product-26746-1788140.html>

Concepto 2. Las partes principales de esta máquina son: larguero porta mandril guiado por un larguero para topes de bandera, un sistema mecánico de posición de ángulos, un tablero selector de ángulos, un dispositivo manual de accionamiento rápido de tracción y sujeción de tubos, un pedal de arranque y retroceso. Para doblar un tubo en esta máquina se debe ajustar el ángulo de doblez en el control mecánico de posición, se colocará el tubo a doblar entre la mordaza de tracción y sujeción, se accionará el pedal de arrastre hasta que llegue al ángulo elegido y la máquina se detenga, seguidamente se debe liberar el dispositivo de sujeción, desplazar manualmente el tubo para el próximo doblez y finalmente accionar el pedal de retroceso hasta llegar a la posición original.

Figura 25. Máquina dobladora para tubo modelo Curvac 1500.



Fuente: CURVAC 1500. [en línea]. Curvac.com. [Consultado: 3 de marzo de 2017]. Disponible en internet: <http://curvac.com/product/curvac-1500/>

Concepto 3. Las partes principales de esta máquina son: el bloque formador, mordaza o barra de presión, Porta mordaza, mandril, dado auxiliar, larguero porta mandril, larguero para topes de bandera, una prensa para la sujeción de tubos, un pedal de arranque y retroceso. La transmisión de la matriz de doblado se hace por medio de un sistema de piñón – cadena halada por actuador neumático. Para doblar un tubo en esta máquina se colocará el tubo a doblar entre la barra de presión y el bloque formador, se accionará el pedal de arrastre hasta que llegue al ángulo elegido y la máquina se detenga, seguidamente se debe liberar el tubo de la prensa de sujeción, retirar el tubo y retroceder manualmente el bloque formador hasta la posición original.

Figura 26. Dobladora de tubos semiautomática.



Fuente: Desarrollo de máquinas semiautomáticas para doblar tubos y perfiles. [en línea]. Boletinindustrial.com. [Consultado: 3 de marzo de 2017]. Disponible en internet: <http://www.boletinindustrial.com/producto-imagen.aspx?pid=88130>

6.3 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

En esta parte se muestra la evaluación de los conceptos anteriores de acuerdo a los criterios de selección basados en las necesidades más relevantes del cliente, obteniendo de esta manera la mejor opción de diseño para el sistema. Estos criterios son

- Fácil manejo
- Segura
- Margen comercial
- Precisa
- Eficiente
- Fácil mantenimiento

6.3.1 Matriz para el tamizaje de conceptos.

Para identificar el concepto que más se ajusta a los requerimientos del cliente se implementa la matriz de tamizaje la cual evalúa y compara a cada uno de ellos con los requerimientos del cliente. Las calificaciones asignadas a las comparaciones son: igual que (0), mejor que (+), menor que (-).

Tabla 3. Matriz de tamizaje.

No.	Criterio de selección	Concepto		
		1	2	3
1	Fácil manejo	+	0	0
2	Segura	+	0	0
3	Margen comercial	-	-	+
4	Precisa	+	+	-
5	Eficiente	+	+	-
6	Fácil mantenimiento	0	0	+

Positivos	4	2	2
Negativos	1	1	2
Iguals	1	3	2
Total	3	1	0
Orden	1	2	3
¿Continua?	Si	No	No

Aunque los conceptos 1 y 2 no obtuvieron una evaluación negativa, la tabla 3 muestra que el concepto más apropiado para el desarrollo de la dobladora de tubos es el 1, motivo por el que será tenido en cuenta para lograr la solución deseada.

6.3.2 Resultados de diseño.

Teniendo en cuenta el concepto 1 y los análisis realizados anteriormente, se logra que el diseño de la máquina dobladora de tubo cuente con las siguientes funciones principales.

6.3.2.1 Asegurar y liberar el tubo:

Sistema de sujeción unidimensional que permita acoplar y ubicar manualmente el tubo sobre el que se realizarán los dobleces, evitando que este se deslice erróneamente sobre la máquina diseñada. De este sistema de sujeción depende la calidad en cada uno de los dobleces realizados sobre el tubo.

6.3.2.2 Doblar el tubo:

Con la implementación de una matriz compuesta de un bloque formador y una barra de sujeción se obtendrá sobre el tubo el ángulo de doblez deseado, para lograr una presión adecuada sobre la barra de sujeción se deberá implementar un mecanismo o sistema de apoyo.

6.3.2.3 Desplazar el tubo:

Mecanismo traslacional que sujeta y desplaza el tubo automáticamente desde la posición inicial hasta la siguiente posición de doblez, logrando así realizar más de un doblez sobre el tubo de trabajo.

6.3.3 Elección de materiales y dispositivos

Mediante matrices de tamizaje y criterios de selección definidos, se hace la evaluación y posterior elección de los materiales, mecanismos y sistemas de control para la dobladora de tubos. Los materiales y dispositivos evaluados cumplen con las especificaciones y necesidades manifestadas por la empresa.

6.3.3.1 ¿De qué material será fabricada la estructura de la dobladora de tubos?

Para seleccionar el material de la dobladora de tubos se tuvo en cuenta, la resistencia mecánica del material y la vida útil del mismo, buscando que sea resistente y duradero acorde a las labores y exigencias de la empresa.

Tabla 4. Matriz de tamizaje para la selección del material de la estructura.

Criterio	Acero	Aluminio
Resistencia mecánica	+	-
Vida útil	+	+
Peso	-	+
Costo	+	+
Positivos	3	3
Negativos	1	1
Iguales	0	0
Total	2	2
Continuar	Si	Si

6.3.3.2 ¿Qué tipo de mecanismos se usarán para sujetar, desplazar y doblar el tubo?

Por medio de los conceptos planteados, se analiza la importancia que tiene para la máquina el garantizar la eficiencia de los sistemas de sujeción, desplazamiento y precisión en el doblar del tubo. Por lo que a continuación serán evaluados los mecanismos que permitirán lograr estas acciones.

Tabla 5. Matriz de tamizaje para el mecanismo de sujeción, desplazamiento y doblar del tubo.

Criterios	Sujeción		Desplazamiento		Doblez	
	Mordaza Plana	Mandril	Tornillo de Potencia	Guía lineal y husillo	Cilindro Neumático	Motorreductor
Eficiente	+	+	+	+	-	+
Funcionalidad	-	+	=	=	-	+
Mantenimiento	+	-	-	+	+	+
Costo	+	-	=	=	+	-
Positivos	3	2	1	2	2	3
Negativos	1	2	1	0	2	1
Iguales	0	0	2	2	0	0
Total	2	0	0	2	0	2
Continuar	Si	No	No	Si	No	Si

6.3.3.3 ¿Qué sistema se usará para controlar el proceso?

A través de la siguiente matriz de tamizaje se realiza el análisis y selección de la plataforma de control idóneo para los sistemas que conforman la dobladora de tubos, teniendo en cuenta la facilidad y versatilidad en el mantenimiento y soporte técnico de la misma.

Tabla 6. Matriz de tamizaje para la selección del sistema de control.

Criterio	PLC	Micro controlador
Vida útil	+	+
Eficiencia industrial	+	-
Flexibilidad	+	-
Mantenimiento	+	+
Costo	-	+
Positivos	4	3
Negativos	1	2
Iguales	0	0
Total	3	1
Continuar	Si	No

7. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

Con la selección del concepto a desarrollar, se procede a implementar la metodología de la ingeniería concurrente basada en el diseño a nivel de sistema o arquitectura del producto final, en la que se muestran las funciones, acciones y partes físicas del sistema detalladamente.

En esta parte del diseño las funciones del producto son divididas en arquitectura mecánica, arquitectura neumática y arquitectura electrónica.

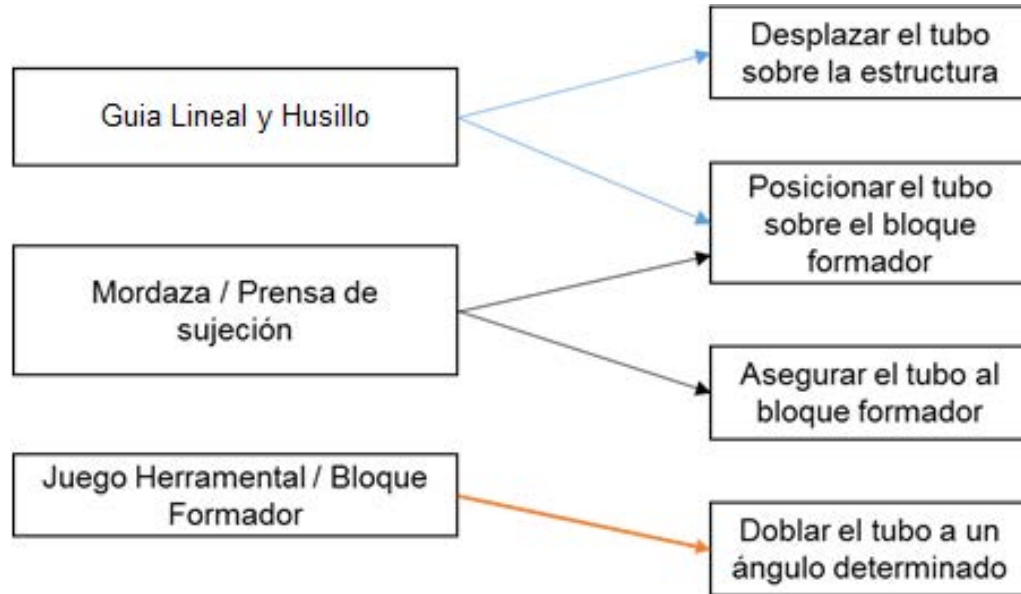
Tabla 7. Arquitectura del producto.

	Función	Acción	Elementos
Dobladora de tubos Automática	Ingreso del tubo en la maquina	Posicionar	Sensor
		Desplazar	Motor
	sujeción del tubo al bloque formador	Posicionar	Sensor
		Asegurar	cilindro neumático
	Doble del tubo a un ángulo determinado	Asegurar	cilindro neumático
		Doblar	Bloque formador
	Liberación del tubo del bloque formador	Liberar	cilindro neumático
		Posicionar	Sensor
	Desplazamiento del tubo	Desplazar	Motor / Guía lineal
		Posicionar	Sensor

A continuación, se muestra la arquitectura mecánica, neumática y electrónica del concepto seleccionado, en la que se relacionan los elementos físicos con los elementos funcionales de la dobladora de tubos.

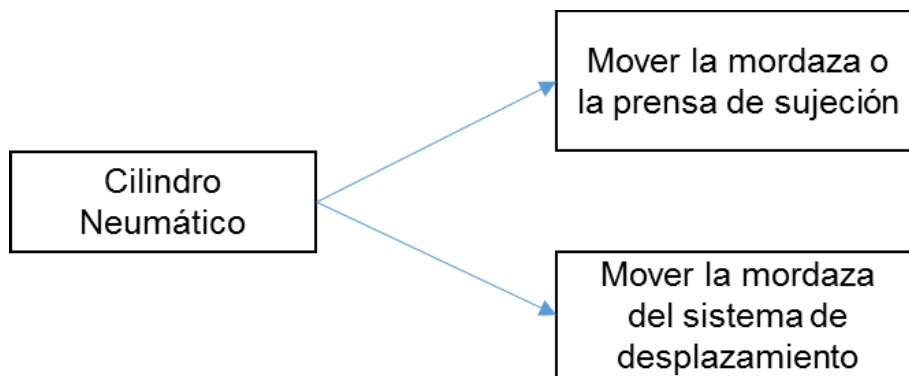
7.1 ARQUITECTURA MECÁNICA

Figura 27. Arquitectura Mecánica.



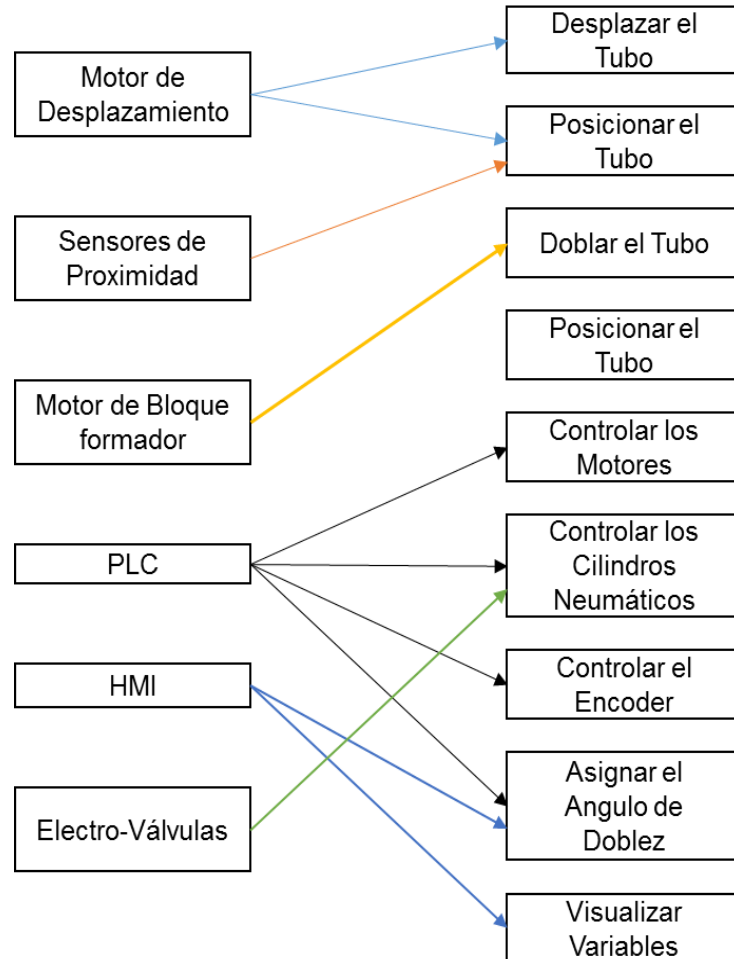
7.2 ARQUITECTURA NEUMÁTICA

Figura 28. Arquitectura Neumática.



7.3 ARQUITECTURA ELECTRÓNICA

Figura 29. Arquitectura Electrónica.



7.4 SELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

En la selección de la arquitectura del producto, se decide implementar una arquitectura modular ya que esta, satisface las necesidades del cliente en cuanto a la disposición y sencillez en el mantenimiento y recambio de piezas de la máquina.

A continuación, se mencionan los componentes físicos de cada módulo del sistema.

7.5 COMPONENTES DE CADA MÓDULO DEL SISTEMA

7.5.1 Módulo 1: Sujeción y desplazamiento del tubo hacia el bloque formador.

- Sensor para la posición inicial del sistema.
- Guía lineal con husillo.
- Motor eléctrico para el desplazamiento horizontal del tubo sobre el larguero guía de la dobladora.
- Finales de carrera – llegada y partida del husillo.
- Cilindro neumático para la sujeción del tubo sobre el husillo.
- Finales de carrera – llegada y partida del vástago del cilindro neumático.
- Mordaza para la sujeción del tubo con el husillo.
- Sensor de proximidad para detectar el tubo de trabajo.

7.5.2 Módulo 2: Sujeción del tubo sobre el bloque formador.

- Bloque formador.
- Cilindro neumático para la sujeción del tubo sobre el bloque formador.
- Finales de carrera – llegada y partida del vástago del cilindro neumático.
- Mordaza para la sujeción del tubo con el bloque formador.
- Cilindro neumático para mantener el posicionamiento del tubo.
- Rodillos de apoyo para el posicionamiento del tubo.

7.5.3 Módulo 3: Doble del tubo.

- Bloque formador.
- Motor eléctrico para el doblez.
- Sistema de transmisión de potencia.
- Encoder del motor de doblez.

7.5.4 Módulo 4: Control.

- PLC

8. DISEÑO DETALLADO

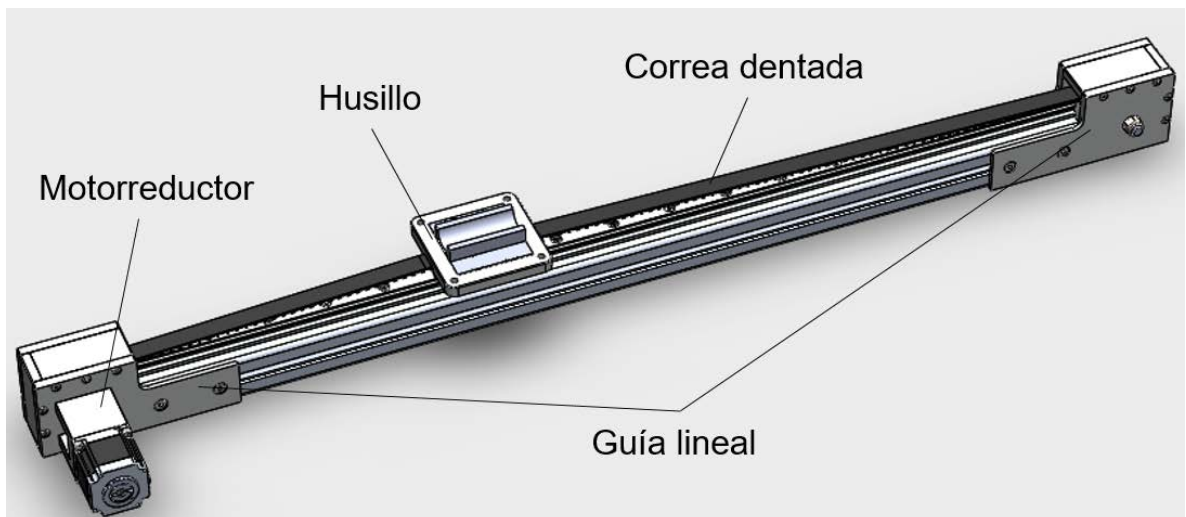
8.1 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO DEL TUBO HACIA EL BLOQUE FORMADOR

Inicialmente, el tubo es ingresado de forma manual sobre la máquina, de allí es sensado y sujetado por una mordaza plana asistida por un cilindro neumático encargado del desplazamiento del tubo a lo largo del sistema mediante un mecanismo de guía lineal y husillo impulsado por un motor eléctrico hasta el bloque formador. Esta acción se cumplirá y efectuará siempre y cuando se detecte por medio de un sensor materia prima sobre la máquina, de lo contrario se encenderá un piloto informando de la ausencia de materia.

El diseño de los mecanismos que conforman la dobladora de tubos es modular garantizando la eficiencia del funcionamiento de cada uno al igual que flexibilidad a la hora de realizar los determinados mantenimientos.

Este sistema es impulsado por un motorreductor, que transmite el movimiento rotacional de su eje a una transmisión mecánica compuesta por dos engranajes y una correa dentada, que generan el desplazamiento del husillo sobre el que se encuentra la primera mordaza de sujeción a lo largo del sistema.

Figura 30. Sistema de desplazamiento del tubo.

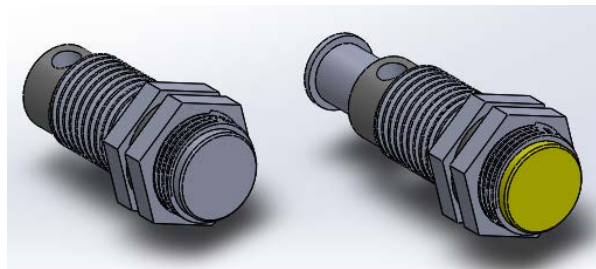


8.2 SENSORES.

Estos sensores serán los encargados de verificar inicialmente la presencia de material sobre la máquina y así ponerla en marcha, también detectarán las marcas puestas por el operario donde se indica una a una las dimensiones en las que se realizara cada dobléz.

En la verificación de la presencia de material se usará un sensor inductivo mientras que para detectar las dimensiones de cada dobléz se implementará un sensor de color.

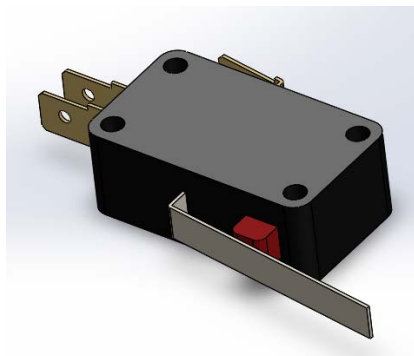
Figura 31. Sensor inductivo y Sensor de Color.



8.3 FINALES DE CARRERA.

Con estos finales de carrera se verificará y mantendrá la posición del husillo y los actuadores neumáticos utilizados en los sistemas de sujeción del tubo, con el fin de procesar esta información por medio del sistema de control.

Figura 32. Final de carrera.

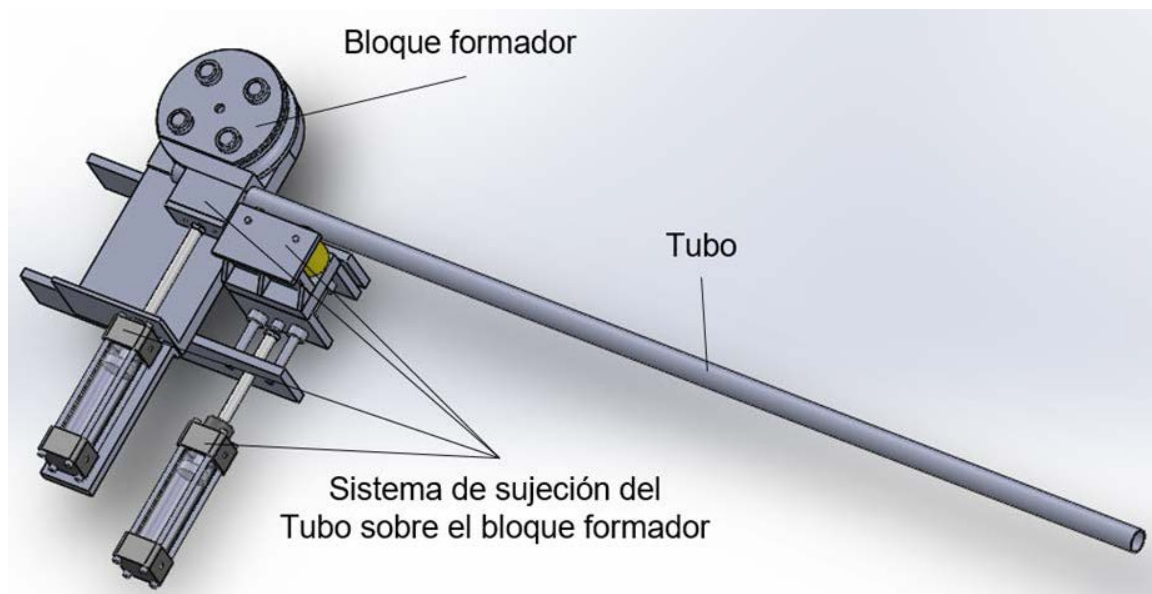


8.4 SISTEMA DE SUJECIÓN DEL TUBO SOBRE EL BLOQUE FORMADOR

Este sistema será el encargado de sujetar y liberar el tubo con el bloque formador cada vez que se desee realizar un doblé. Estará compuesto por una mordaza de acero con un espesor cuatro veces mayor al diámetro del tubo con el que se va a trabajar; el movimiento lineal requerido para la sujeción del tubo será accionado por un sistema de prensas neumáticas que permitirá hacer la presión necesaria sobre el material.

Al poner en marcha la máquina, este sistema se encuentra recogido esperando que el sensor de color detecte la primera marca de doblé, una vez detectada esta marca, el sistema de sujeción se acciona y asegura el tubo con el bloque formador; después de realizar el doblé el sistema de sujeción libera el tubo y regresa a su posición inicial esperando nuevamente la orden.

Figura 33. Sistema de Sujeción Del Tubo sobre el bloque formador.

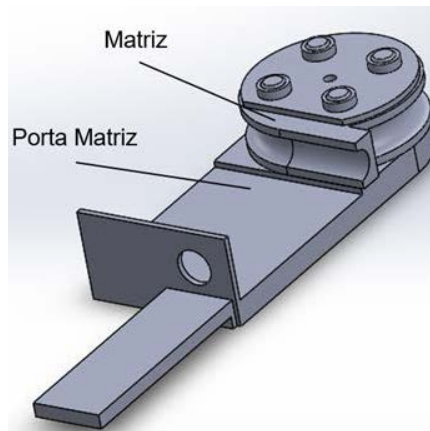


8.5 BLOQUE FORMADOR

En esta parte encontramos el juego herramental para el formado de ángulos sobre tubos, compuesto de un soporte principal en el que se ubica la matriz de formado y los sujetadores que la fijan; al igual que el eje de transmisión de potencia del mecanismo rotacional diseñado para doblar los tubos.

Para lograr el doblado ideal sobre el tubo, el diámetro de la matriz de formado será cuatro veces mayor al diámetro externo del tubo a doblar.

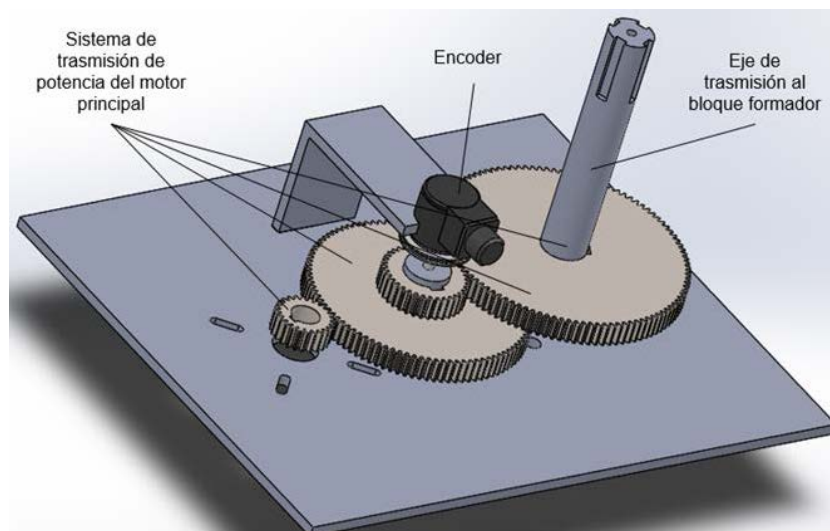
Figura 34. Bloque Formador.



8.6 ENCODER

Con este encoder se logrará el ángulo especificado por el operario para cada doblado, controlando la posición de giro del motor principal acoplado al bloque formador de la máquina.

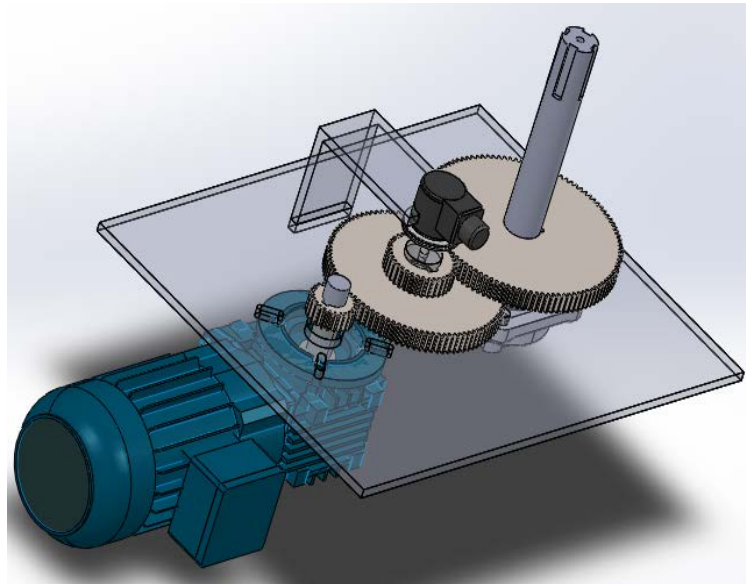
Figura 35. Encoder.



8.7 SISTEMA DE TRASMISIÓN

Del sistema de transmisión depende el incremento del par motor del motorreductor y la rotación del bloque formador, este será diseñado acorde al momento flector necesario para doblar el tubo; al motorreductor tendremos un piñón fijo acoplado a dos engranes que transmiten su movimiento rotacional al eje principal del bloque formador.

Figura 36. Motor Principal y sistema de transmisión de potencia.



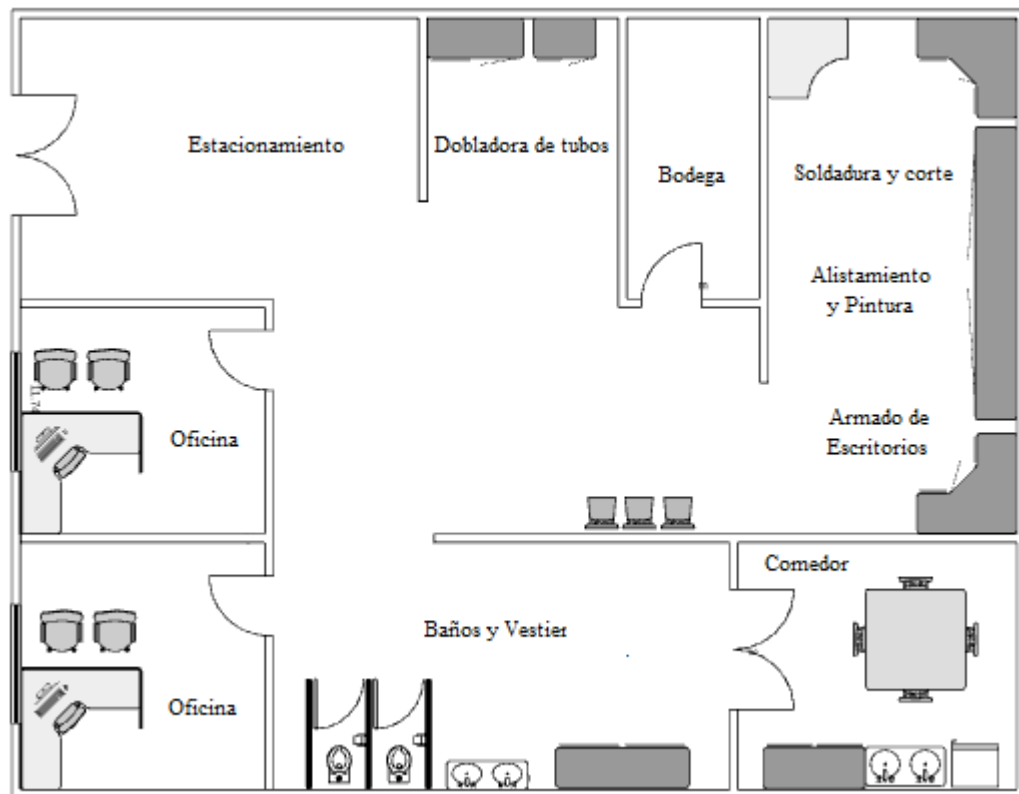
En los anexos (A y B), se calcula el momento flector necesario para la deformación del tubo y el diseño del sistema de transmisión requerido para los esfuerzos de la máquina.

9. PROTOTIPO Y DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La empresa COLDIDACTICAS LTDA. cuenta con un taller para la fabricación de sillas escolares tipo pupitres y universitarias. En este taller, se encuentra la materia prima de trabajo e insumos, al igual que los equipos de soldadura, corte, curvado, compresores, herramientas manuales, sistemas eléctricos y neumáticos necesarios para la elaboración de las sillas.

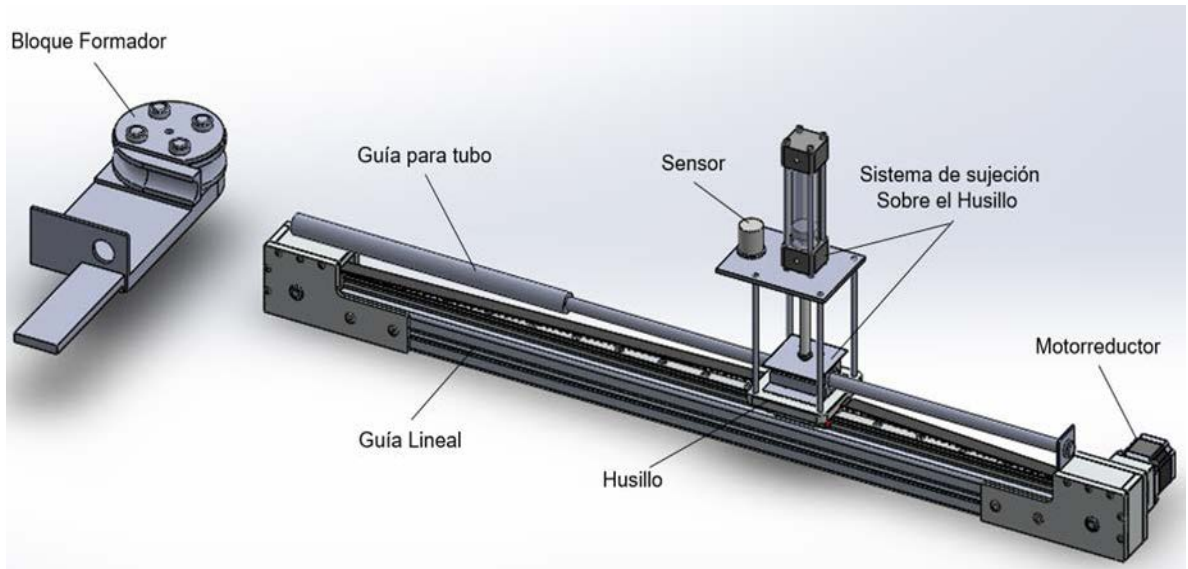
La dobladora de tubos diseñada y sus componentes, tendrá un área de distribución en planta de 6 metros de ancho por 7 metros de largo espacio que actualmente es ocupado por las dobladoras de tubo manuales que tiene la empresa.

Figura 37. Layout de la planta.



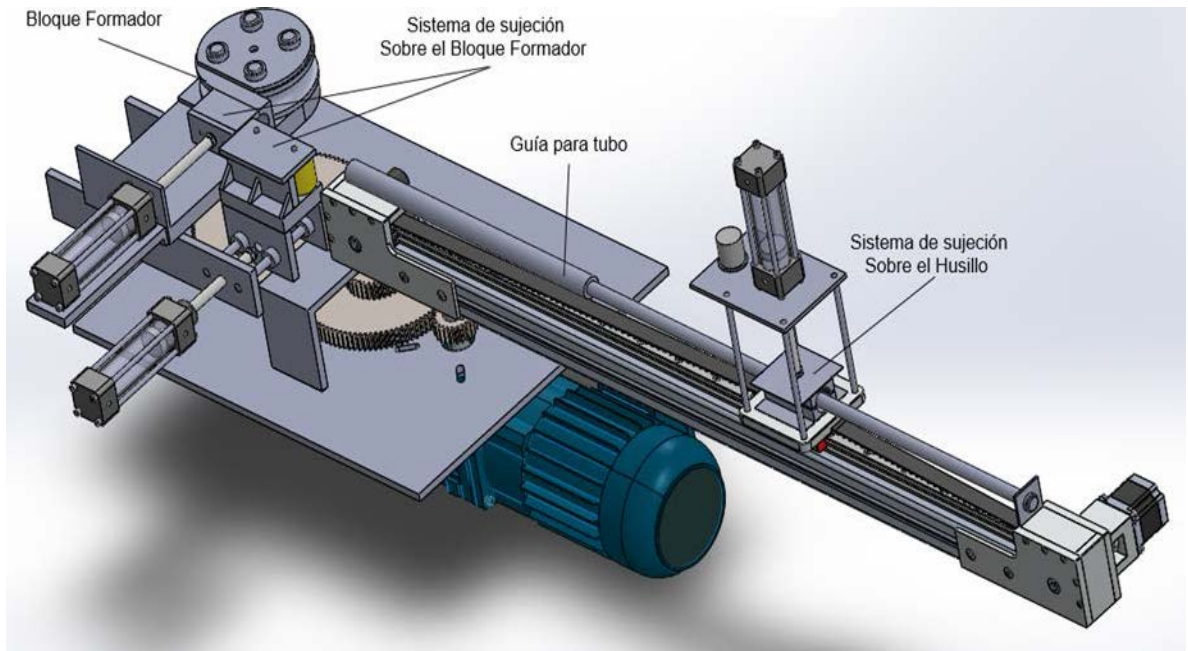
A continuación, se mostrará mediante una vista isométrica los sistemas y componentes diseñados.

Figura 38. Sistema de Sujeción y Desplazamiento del Tubo.



En la figura 36 se ilustra el sistema de sujeción sobre el husillo que tiene la guía lineal para el desplazamiento del tubo desde la posición inicial hasta el bloque formador.

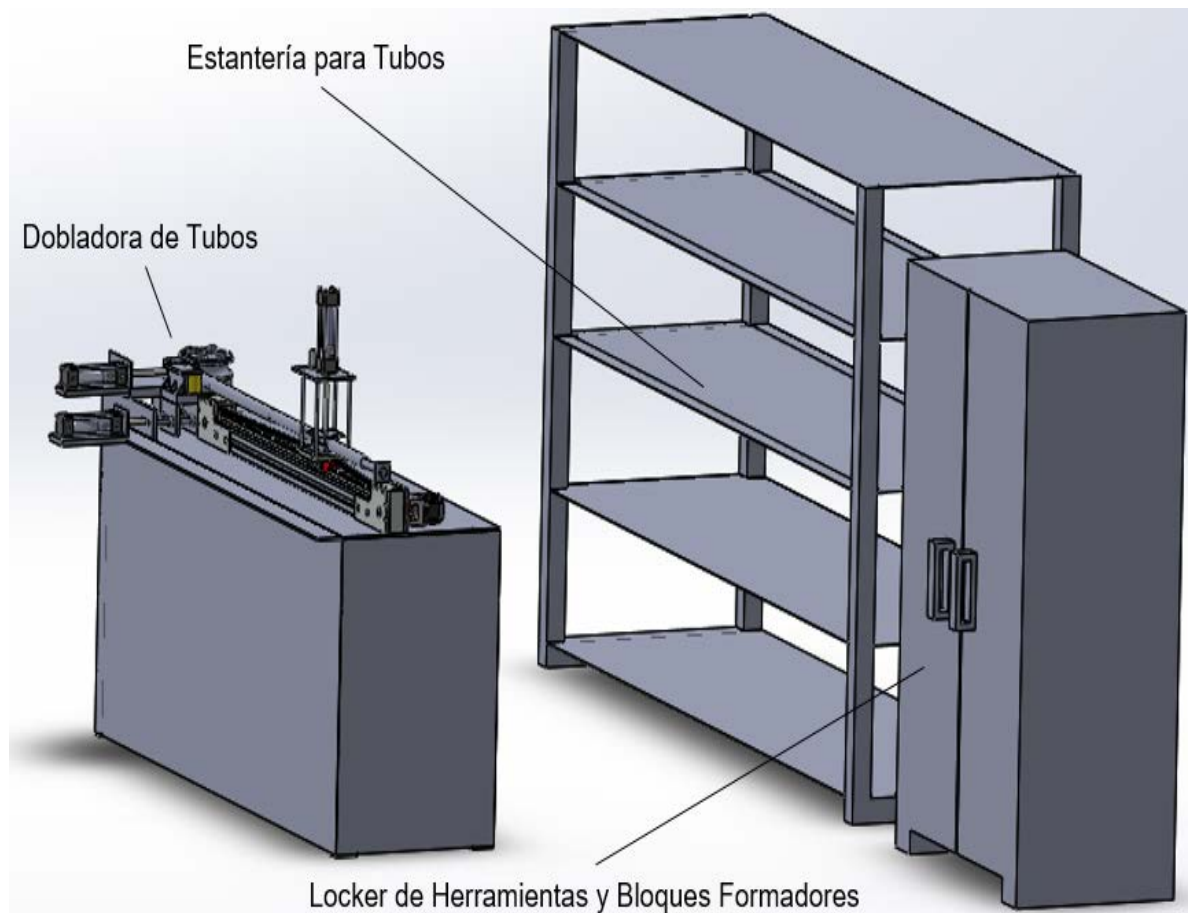
Figura 39. Sistema de Sujeción del Tubo sobre el Bloque Formador.



En la figura 37 observamos el sistema de sujeción que ancla el tubo sobre el bloque formador mediante un mecanismo de prensa neumática conformado por dos cilindros neumáticos, una mordaza de sujeción para el diámetro externo del tubo y dos rodillos de apoyo para ejercer presión y ayudar al sistema en el posicionamiento del tubo.

A continuación, se enseñará la distribución en planta de los sistemas y componentes diseñados junto a la estantería de almacenamiento de tubos nuevos y el locker donde se guardan las herramientas y bloques formadores adicionales del sistema.

Figura 40. Componentes del sistema (Vista isométrica).



10. ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo total de fabricación de la dobladora de tubos diseñada se da a partir de los siguientes requerimientos:

- Materiales y elementos
- Fabricación, construcción y ensamble
- Ingeniería, diseño
- Imprevistos

10.1 MATERIALES Y CANTIDADES

Tabla 8. Cotización de materiales.

Componentes	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Sistema de Desplazamiento y sujeción			
Lamina de aluminio 6063 calibre 10mm (1000x1000mm)	1	140.600	140.600
Perfil de aluminio 6063 calibre 4mm (50x50mm) L 1000mm	1	116.752	116.752
Riel de guía lineal HGH25CA1R1000ZOC	1	226.740	226.740
Husillo para guía lineal HGH25CA (40x48x84mm)	1	114.000	114.000
Rodamiento KOYO 6800Z (10x19x5mm)	4	17.610	70.440
Eje de acero 1020 (L 1000mm Ø 5mm)	1	23.160	23.160
Eje de acero 1045 (L 1300mm Ø 22mm)	1	37.530	37.530
Correa dentada de poliuretano LL-5gt-21	1	60.900	60.900
Polea dentada de acero 20L075	4	32.951	131.804
Cilindro neumático de doble efecto ADVU-16-70-A-PA	1	163.380	163.380
Electroválvula biestable 5/2 MVSC220-4E2-DC24	1	171.100	171.100
Racort rápido para aire 6mm	2	8.322	16.644

Tabla 9. (continuación)

Racort rápido para aire en T 6mm	1	10.150	10.150
Sensor inductivo SIEN-M8B-PO-S-L	1	306.124	306.124
Sensor de proximidad SMED-1-LED-24-B	3	101.650	304.950
Servo motor HC-KFS43K	1	906.050	906.050
Tornillo allen hexagonal M5x15	30	300	9.000
Subtotal de componentes sistema de desplazamiento y sujeción		Subtotal	2.809.324

Sistema de sujeción al bloque formador			
Cilindro neumático doble efecto ADVU-16-70-A-PA	1	163.380	163.380
Cilindro neumático simple efecto ESNU-16-70-P	1	157.750	157.750
Electroválvula biestable 5/2 MVSC220-4E2-DC24	1	171.100	171.100
Electroválvula monoestable 3/2 MVDC220-3E1-DC24	1	116.000	116.000
Racort rápido para aire 6mm	4	8.322	33.288
Racort distribuidor de aire 6mm	1	18662	18.662
Sensor de proximidad SMED-1-LED-24-B	3	101.650	304.950
Polea de NYLON (8x50x50,8mm)	2	28.640	57.280
Eje de acero 1020 (L 200mm Ø 8mm)	1	9.200	9.200
Lamina de aluminio 6063 calibre 10mm (1000x1000mm)	1	140.600	140.600
Subtotal de componentes del sistema de sujeción al bloque formador		Subtotal	1.172.210

Matriz			
Platina de acero calibre 10mm (410x500mm)	1	57.739	57.739
Fundición (Matriz de doblado)	1	235.000	235.000
Perno de sujeción	4	2.200	8.800
Unidad de rodamiento Y SKF E2.YAR 208-2F	1	199.140	199.140
Subtotal de componentes de la matriz		Subtotal	500.679

Tabla 10. (continuación)

Sistema de transmisión de potencia			
Motorreductor de 1Hp	1	1.800.000	1.800.000
Eje de acero 1045 (L 500 Ø 43mm)	1	24.500	24.500
Engranajes	2	67.000	134.000
Lamina de acero 1020 calibre 10mm (1000x1000mm)	1	70.730	70.730
Unidad de rodamiento Y SKF E2.YAR 208-2F	1	199.140	199.140
Subtotal de componentes del sistema de transmisión de Potencia		Subtotal	2.228.370

Sistema de posición			
lamina de acero 1020 calibre 10mm (500x500mm)	1	43.000	43.000
Encoder OMRON E6CP-AG5C	1	282.750	282.750
Catalinas	2	6.400	12.800
Subtotal de componentes del sistema de posición		Subtotal	338.550

Sistema de control			
PLC DVP32EH00T3 (Input 16 Output 16)	1	1.575.772	1.575.772
Pulsadores	8	9.700	77.600
Terminales	50	170	8.500
Cable flexible 22AGW (L 20m)	2	89.216	178.432
Caja metálica	1	60.000	60.000
Subtotal del sistema de control		Subtotal	1.900.304

Estructura			
Perfil de acero en ángulo (L 6Mts - 3/16x1-1/4 pulg)	4	43.650	174.600
Lamina de acero 1020 calibre 10mm (1200x2000mm)	3	76.300	228.900
Tubo rectangular calibre 0.8mm (50x25mm) L 6Mts	1	20.900	20.900
Subtotal de componentes de la estructura		Subtotal	424.400

10.2 FABRICACIÓN

En los costos de fabricación están relacionados los costos de maquinado de piezas, soldadura de estructuras y partes, ensamblajes, armado y alistamiento de cada uno de los sistemas de la dobladora de tubos.

Tabla 11. Costo de fabricación de los sistemas.

Fabricación de los sistemas		
Sistema	Tiempo de fabricación	Valor
Desplazamiento y sujeción	2 días	350.000
Sujeción al bloque formador	2 días	200.000
Matriz	3 días	60.000
Trasmisión de potencia	1 día	40.000
Sistema de posición	1 día	40.000
Sistema de control	1 día	200.000
Estructura	1.5 días	150.000
	Subtotal	1.040.000

10.3 COSTOS DE INGENIERIA

Para los costos de ingeniería, se considera aplicar el 20% del costo total de los materiales y el costo de fabricación.

$$\text{Costos de ingeniería} = 20\% (\text{Costo total de materiales} + \text{costos de fabricación})$$

$$\text{Costos de ingeniería} = 20\% (9.373.837 + 1.040.000)$$

$$\text{Costos de ingeniería} = 2.082.767$$

10.4 IMPREVISTOS

Para los imprevistos, se le aplicara el 20% del costo total de la dobladora de tubos.

$$\text{Imprevistos} = 20\% \times (9.373.837 + 1.040.000 + 2.082.767)$$

$$\text{Imprevistos} = 2.499.321$$

10.5 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA DOBLADORA DE TUBO

Tabla 12. Costo total de la máquina.

Valor total de la maquina	
Valor total por sistema	9.373.837
Valor total de ensamble	1.040.000
Costo de ingeniería	2.082.767
Imprevistos	2.499.321
Total	14.995.925

11. BENEFICIOS GENERADOS CON EL PROYECTO

Disminución de esfuerzos físicos: Con la automatización del proceso de doblado de tubos en la empresa, se logra eliminar y evitar las lesiones de los operarios por exceso de sobreesfuerzos físicos repetitivos, logrando que realicen esta labor con mayor seguridad ya que lo único que deberá hacer es posicionar el material y poner en marcha el sistema. Evitando que la empresa tenga costos adicionales ocasionados por incapacidades e indemnizaciones.

Mejora de la productividad: Con la implementación de la dobladora de tubos automática, se conseguirá reducir el tiempo de fabricación de las estructuras de las sillas y escritorios en 10 segundos, ya que los operarios anteriormente tardaban entre 30 y 40 segundos en realizar un solo doblez sin tener en cuenta lo que tardaban en posicionar adecuadamente el tubo. De esta manera la empresa obtendrá un beneficio económico adicional al obtenido por los tiempos de producción al disminuir el error causado por los procesos manuales como arrugas en el tubo por no aplicar una fuerza constante permitiendo, controlar la cantidad de desperdicios.

Reducción de la carga laboral: Actualmente el operario encargado de realizar el doblaje manual de tubos es el mismo que suelda y pule las estructuras metálicas, con el sistema automatizado la carga laboral se reducirá a la operación de un tablero de control que opera la máquina.

12. CONCLUSIONES

Se logró realizar el diseño de una dobladora de tubo automática para la empresa COLDIDACTICAS LTDA que reduce la intervención directa de los operarios con el proceso de doblado, disminuyendo así los riesgos de enfermedades o incapacidades de salud por sobreesfuerzos físicos repetitivos. Esto mejora la productividad de la empresa ya que garantiza la calidad del producto terminado reduciendo tiempos y errores en el doblaje de los tubos.

Gracias al diseño concurrente se analizaron detalladamente los conceptos generados permitiendo ver que mejoras o combinaciones podían hacerse sobre estos con el fin de mejorar el diseño del producto final e ir descartando soluciones débiles y dar una adecuada solución a las necesidades planteadas.

Gracias al análisis por medio de matrices de tamizaje se logró ampliar la visión de cada concepto, ya que este proceso permitió identificar cuáles de los conceptos no era necesario seguirlos desarrollando y cuales sí.

Es importante tener una muy buena descomposición funcional para poder ver a fondo la gran mayoría de funciones que debe tener el dispositivo, ya que con esto será más fácil convertir estas funciones a elementos específicos para generar una arquitectura y posteriormente agruparlos en subsistemas.

Encontrar las relaciones entre los elementos físicos y los elementos funcionales es muy útil para saber qué tan modular o integral es nuestra arquitectura.

Los sistemas y componentes que conforman el diseño de la dobladora de tubo están compuestos en su totalidad por partes comerciales, permitiendo reemplazarlos fácilmente en caso de daños o fallas, aumentando la mantenibilidad la misma.

13. RECOMENDACIONES

Los componentes mecánicos, electrónicos, neumáticos y de control deben ser comerciales y de uso común en el mercado, para mantener el costo de fabricación y también evitar demoras en el mantenimiento y reparación de partes de la máquina.

Es importante que la dobladora sea manipulada por personal capacitado y entrenado para que de esta manera se garantice el normal funcionamiento del sistema, evitando accidentes que comprometan físicamente la máquina y la integridad misma del operario.

Tener en cuenta que la matriz y el juego de herramientas para el doblaje varía de acuerdo al diámetro externo del tubo, por lo que se recomienda diseñar y fabricar un juego de matrices y herramientas para cada uno de los diámetros utilizados. Teniendo en cuenta que los mecanismos fueron calculados en base a un diámetro máximo de 38.5 mm.

Conservar la integridad de la estructura y del sistema en general, manteniendo en perfecto estado cada una de sus componentes evitando golpear y reemplazar erróneamente alguna de ellas.

BIBLIOGRAFÍA

ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 4 ed. México, Distrito Federal, México: International Thomson Editores S.A. de C.V., 2004. 790 p.

BECERRA GALLON, Isabel Consuelo. Fundamentos de ergonomía aplicada. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 1990. 115 p.

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter y KNIGHT, Wiston A. Product Design for Manufacture and Assembly. 3 ed. Taylor & Francis Group, 2010. 698 p.

BUDYNAS, R. y NISBETT, J. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8 ed. México, Distrito Federal, México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2008. 1091 p.

CASTILLO J, Antonio H y CASTILLO M, Heberto. Análisis y diseño de estructuras: Resistencia de materiales. México, Distrito Federal, México: Alfaomega Colombiana, S.A., 1997. Vol. 1. 345 p.

CORTÉS D. José María. Seguridad e higiene del trabajo: Técnicas de prevención de riesgos laborales. 3 ed. México, Distrito Federal, México: Alfaomega Colombiana, S.A., 2001. 321 p.

DEGARMO, E. Paul; BLACK, J. Temple y KOHSER, Ronald A. Materiales y procesos de fabricación. 2 ed. España, Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1988. 1255 p.

DOYLE, Lawrence E. Materiales y procesos de manufactura para ingenieros. 3 ed. México, Distrito Federal, México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1988. 1041 p.

GÓMEZ ETXEBARRIA, Genaro. Manual para la formación en prevención de riesgos laborales: especialidad de ergonomía y psicología aplicada. 4 ed. Madrid, España: Wolters Kluwer España S.A., 2007. 519 p.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México, Distrito Federal, México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2007. 1022 p.

IDROVO CASTRO, Elvis Freddy. Diseño y construcción de una dobladora oleo-hidráulica de tubos circulares de hasta 50 mm de diámetro exterior [en línea]. Trabajo de grado Tecnólogo en Mecánica Industrial. Cuenca Ecuador: Universidad del Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología; 2016. 105 p. [Consultado 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5355>

KUO Benjamín C. Sistemas de control automático. 7 ed. México, Distrito Federal, México: Pearson Prentice Hall Hispanoamericana, 1996. 897 p.

Linear Guideway [en línea]: Technical information. Taichung, Taiwan: HIWIN technologies corp., 2016. 211 p. [consultado 14 de mayo de 2018]. Disponible en internet: https://www.hiwin.com/pdf/linear_guideways.pdf

LLOACANA BASTIDAS, Milton Rodrigo. Implementación de un sistema de control automatizado del ángulo de dobles de tubos para incrementar el nivel de producción en el taller de accesorios para vehículos Auto-Krag [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Ambato Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2010. 116 p. [Consultado 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1763>

MELO, José Luis. Ergonomía practica: guía para la evaluación ergonómica de un puesto de trabajo, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación MAPFRE, 2009. 193 p.

MENA, Juan Carlos. Conceptos básicos de control y aplicaciones. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. 2014.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, Distrito Federal, México: Pearson Prentice Hall Hispanoamericana. 2006. 944 p.

PAREDES GONZÁLES, Sebastián Martín. Diseño y construcción de un prototipo de una maquina roladora de tubo cuadrado de 50x50x2 mm semiautomática [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Quito Ecuador: universidad San Francisco de Quito. Colegio de ciencias e Ingeniería el politécnico, 2009. 33 p. [Consultado 24 septiembre 2016]. Disponible en internet: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1096>

PYTEL, Andrew. Resistencia de materiales: Introducción a la mecánica de sólidos. 4 ed. México, Distrito Federal, México: Pearson Prentice Hall Hispanoamericana, 1994. 584 p.

Rodamientos Y y unidades de rodamientos Y SKF energéticamente eficientes [en línea]. Grupo SKF., 2015. 44 p. [consultado 15 de mayo de 2018]. Disponible en internet: www.skf.com/binary/92-244309/SKF-Energy-Efficient-Y-bearing---12759_4-ES.pdf

ROJAS, Álvaro José. Introducción – Proceso de diseño. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. 2015.

SINGER, Ferdinand L y PYTEL, Andrew. Resistencia de materiales, 3 ed. México, Distrito Federal, México: Editorial Oxford, 1982. 560 p.

VIÑAS A. José M. Formación básica en prevención de riesgos laborales. Programa formativo para el desempeño de las funciones de nivel básico. Madrid, España: Lex Nova. 2007. 21 p.

ANEXOS

Anexo A. Momento flector para la deformación del tubo.

El momento flector calculado para la deformación del tubo se determina en base al diámetro y el espesor máximo que se va a doblar en la máquina; este será de 38.1 mm de diámetro externo y 1,5mm de espesor. el tubo que más se trabaja en el taller es un tubo para muebles con norma ASTM A500.

Figura 41. Sección circular hueca.



$$I = \frac{\pi}{64} * (D^4 - d^4)$$

Características del tubo:

- I = Momento de inercia
- D = 38,1 mm = 0,0381 m
- d = 34,1 mm = 0,0341 m

$$I = \frac{\pi}{64} * (0,0381 \text{ m})^4 - (0,0341 \text{ m})^4$$

$$I = 0,000000037 \text{ m}^4$$

Propiedades mecánicas de los aceros metálicos estructurales circulares.

- Resistencia a la tracción: 310 MPa.
- Límite de fluencia: 228 MPa.

A continuación, se calcula el momento plástico.

$$M_p = \frac{3 * \sigma_y * I}{2 * C}$$

Donde:

- M = Momento plástico
- σ_y = Limite de fluencia
- C = Distancia del eje neutro a la fibra en estudio más alejada

$$M_p = \frac{3 * (228 \times 10^6 \frac{N}{m^2}) * (0,000000037 m^4)}{2 * (0,026 m)}$$

$$M_p = 487,523 N - m$$

Calculo de la fuerza de doblado.

Para calcular la fuerza necesaria para el doblado del tubo se utilizará la siguiente formula:

$$F = \frac{6 * S_y * I}{C * L}$$

Donde:

- L = Radio matriz de doblado

$$F = \frac{6 * (228 \times 10^6 \frac{N}{m}) * (0,000000037 m^4)}{(0,026 m) * (0,0765 m)}$$

$$F = 25491 N$$

Para verificar que la fuerza calculada es la ideal para doblar el tubo, el esfuerzo (σ_y) debe cumplir lo siguiente:

$$\sigma_y < \sigma_d$$

Donde:

$$\sigma_d = \frac{M_P * C}{I}$$

$$\sigma_P = \frac{(487,526 \text{ N} - \text{m}) * (0.026 \text{ m})}{0,000000037 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_P = 342 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_P = 342 \text{ MPa}$$

Por tanto, se comprueba que la fuerza calculada es la ideal para doblar el tubo puesto que:

$$\sigma_y < \sigma_d$$

$$228 \text{ MPa} < 342 \text{ MPa}$$

Calculo del torque.

Datos:

- $F = 25491 \text{ N}$
- $L = 0,0765 \text{ m}$ (Radio matriz de doblado)

$$T = F * L$$

$$T = (25491 \text{ N}) * (0,0765\text{m})$$

$$T = 1950 \text{ N} - \text{m} \rightarrow 1438,25 \text{ lbf} - \text{ft}$$

Calculo de la potencia del motor.

Considerando que la velocidad de doblado sobre los tubos será lenta, tendremos una velocidad angular de $W = 0,300 \text{ rad/seg}$.

$$P = T * W$$

$$P = (1438,25 \text{ lbf} - \text{ft}) * \left(0,300 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right) * \left(\frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ lbf} - \text{ft}}\right)$$

$$P = 0,7845 \text{ HP}$$

De acuerdo a la potencia que se requiere para doblar el tubo con mayor diámetro posible en la máquina, se considera que con un motor de un caballo de potencia es más que suficiente para el calibre de tubos que se trabajan en la empresa.

Calculo de la velocidad del sistema.

Regularmente el tiempo que tarda un operario en doblar un tubo es de 25 segundos, de acuerdo a lo manifestado por el jefe del taller, se requiere que este tiempo no sea mayor a 6 segundos por doblado. En base a lo anterior, se hace necesario combinar la velocidad del motor principal con la velocidad final del engranaje.

Para cumplir con el requerimiento anterior, el motor principal debe tener las siguientes características:

- Par de salida = 200,22 Nm

- Velocidad de salida ($n_p = 35,5$ rpm)
- Relación de velocidad ($VR = 7,16$)
- Potencia ($P = 1$ HP)

La velocidad de la maquina está dada por la siguiente ecuación:

$$n_g = \frac{n_p}{VR}$$

$$n_g = \frac{35,5 \text{ rpm}}{7,16}$$

$$n_g = 4,958 \text{ rpm}$$

Y la velocidad de línea será:

$$V_t = \frac{\pi \times D_g \times n_g}{12}$$

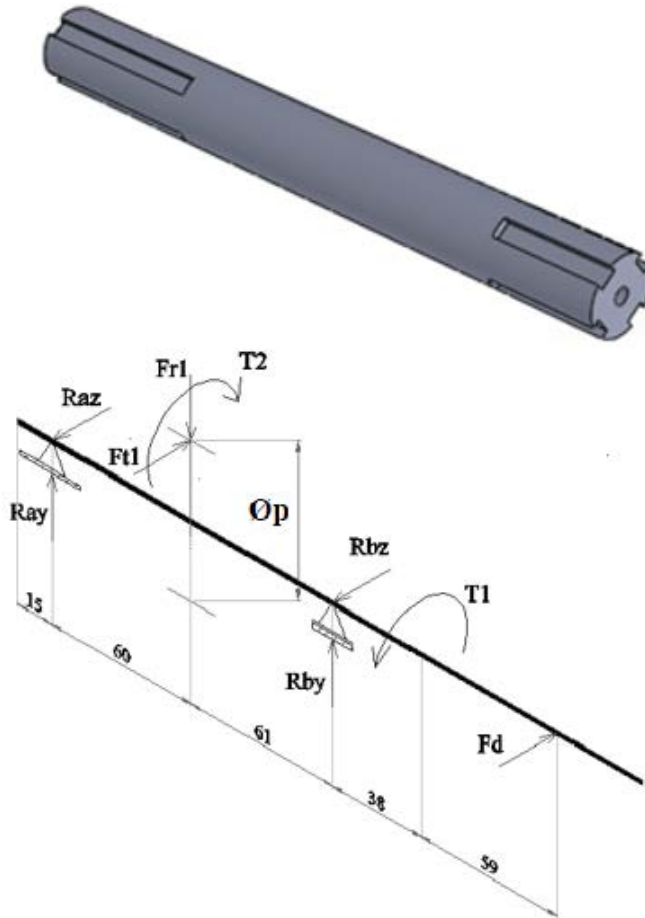
$$V_t = \frac{\pi \times (17.029 \text{ pulg}) \times (4,958 \text{ rpm})}{12}$$

$$V_t = 22,14 \frac{\text{pies}}{\text{min}} = 0,112 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Anexo B. Calculo del eje principal de la máquina.

A través del sistema de trasmisión de potencia y el eje principal de la máquina, se transmitirá el torque necesario para realizar el dobléz del tubo mediante la sujeción de este sobre el bloque formador

Figura 42. Diagrama de cuerpo libre del eje principal (planos x-y-z).



Datos:

- $F = 25491 \text{ N}$
- $T_1 = 1950 \text{ N-m}$
- $\phi_p = 0,045 \text{ m}$
- $\varphi = 20^\circ$ (Angulo de presión)

Para calcular la fuerza tangencial (Ft1) tenemos:

$$T1 = Ft1 * \frac{\phi_P}{2}$$

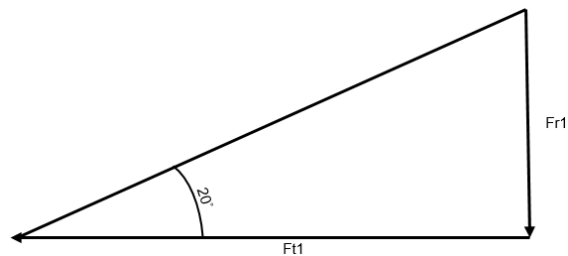
Despejando Ft1:

$$Ft1 = 2 * \frac{T1}{\phi_P}$$

$$Ft1 = 2 * \frac{1950 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,045 \text{ m}}$$

$$Ft1 = 86666,6 \text{ N}$$

Por medio de funciones trigonométricas se determina Fr1.



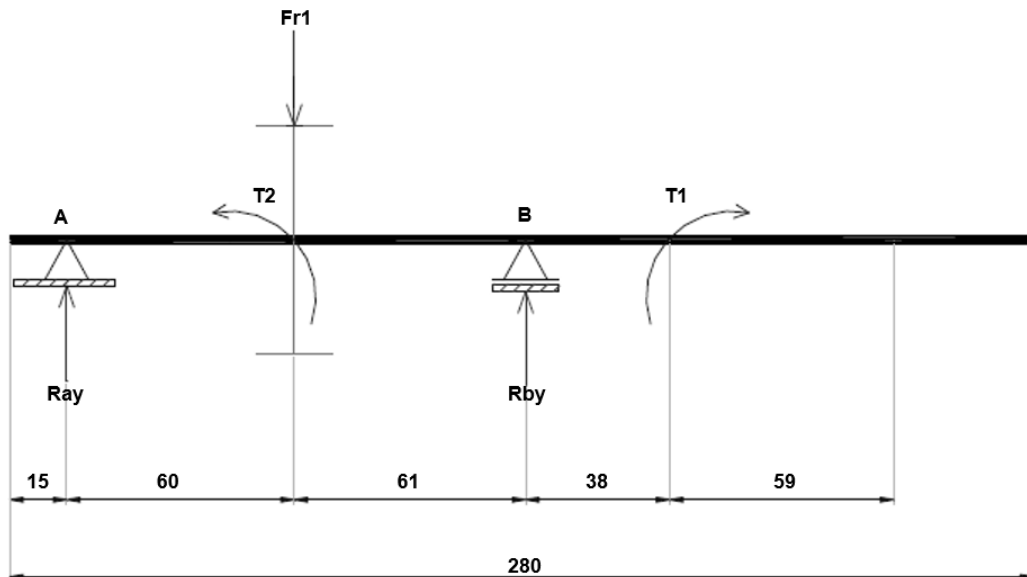
$$\tan 20^\circ = \frac{Fr1}{Ft1}$$

$$Fr1 = 86666,6 \text{ N} * \tan 20^\circ$$

$$Fr1 = 31544 \text{ N}$$

Al determinar las fuerzas Ft1 y Fr1, se calculan las cargas en los apoyos R_{ay} y R_{by}.

Figura 43. Cargas aplicadas sobre el eje principal (plano x-y).



Sumatoria de momentos en A: $\sum M_A = 0$

$$Fr1(60\text{mm}) - R_{by}(121\text{mm}) = 0$$

$$R_{by} = \frac{(31544 \text{ N}) * (60 \text{ mm})}{(121 \text{ mm})}$$

$$R_{by} = 15641,65 \text{ N}$$

Sumatoria de fuerzas en y: $\sum M_y = 0$

$$R_{ay} - Fr1 + R_{by} = 0$$

$$R_{ay} = (31544 \text{ N}) - (15641,65 \text{ N})$$

$$R_{ay} = 15902,35 \text{ N}$$

Calculamos los momentos M_A y M_B .

$$M_A: \quad M_A = (15902,35 \text{ N}) * (0.06\text{m})$$

$$M_A = 954,14 \text{ N} - \text{m}$$

$$M_B: \quad M_B = (15641,65 \text{ N}) * (0.061\text{m})$$

$$M_B = 954,14 \text{ N} - \text{m}$$

A continuación, en la figura 44 se muestran los diagramas de cortantes, momentos y torsión del eje principal del sistema.

Figura 44. Diagrama de cortantes, momentos y torsión del eje principal.

(Plano x-y).

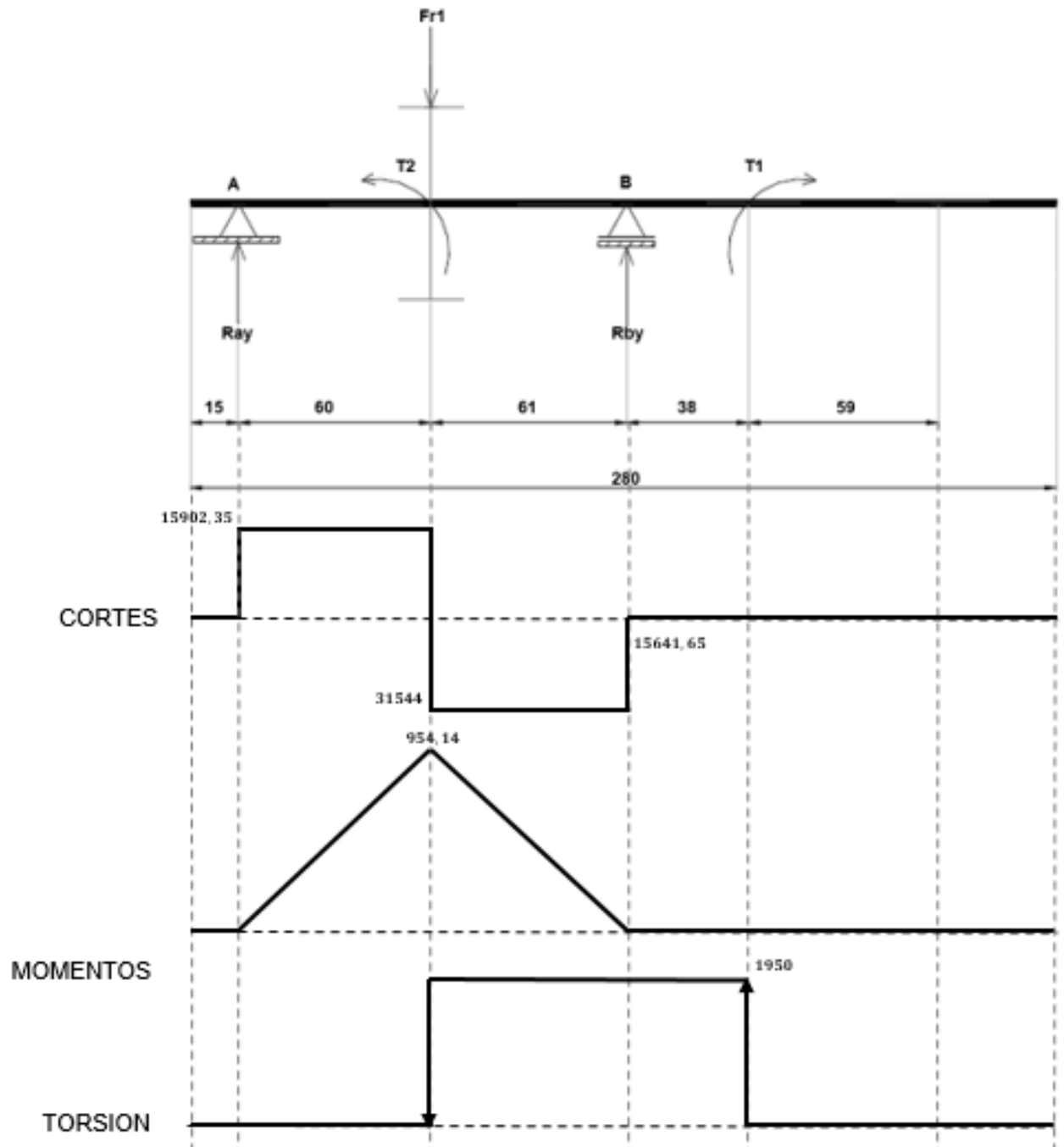
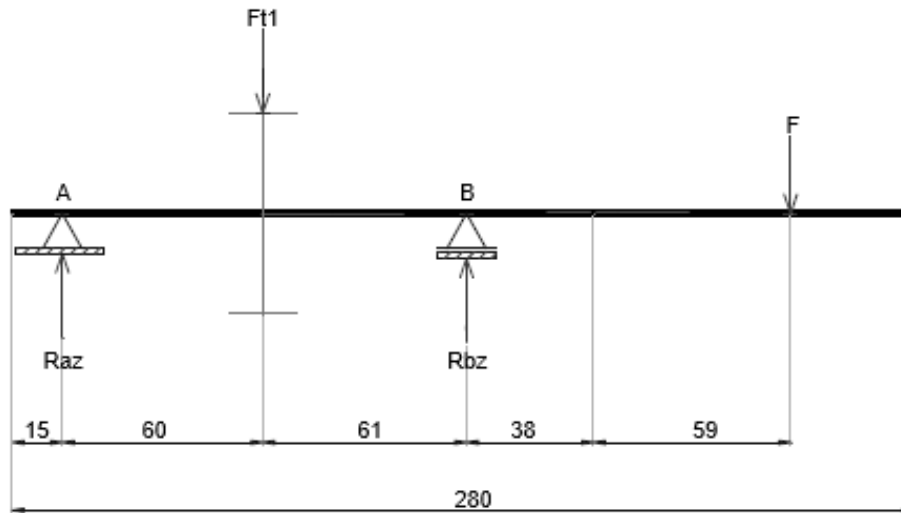


Figura 45. Cargas aplicadas sobre el eje principal (plano x-z).



Sumatoria de momentos en A:

$$\sum M_A = 0$$

$$Ft1(60\text{mm}) - R_{bz}(121\text{mm}) + F(218\text{ mm}) = 0$$

$$R_{bz} = \frac{(86666,6\text{ N}) * (60\text{ mm}) + (25491\text{ N}) * (218\text{ mm})}{(121\text{ mm})}$$

$$R_{bz} = 88901,1\text{ N}$$

Sumatoria de fuerzas en y:

$$\sum M_y = 0$$

$$R_{az} - Ft1 + R_{bz} - F = 0$$

$$R_{az} = (86666,6\text{ N}) + (25491\text{ N}) - (88901,1\text{ N})$$

$$R_{az} = 23256,5\text{ N}$$

Calculamos los momentos M_A , M_B y M_F .

$$M_A: \quad M_{A'} = R_{az} * (0.06m)$$

$$M_{A'} = (23256,5 \text{ N}) * (0.06m)$$

$$M_{A'} = 1395,39 \text{ N} - \text{m}$$

$$M_B: \quad M_{B'} = R_{bz} * (0.061m)$$

$$M_{B'} = (88901,1 \text{ N}) * (0.061m)$$

$$M_{B'} = 5422,96 \text{ N} - \text{m}$$

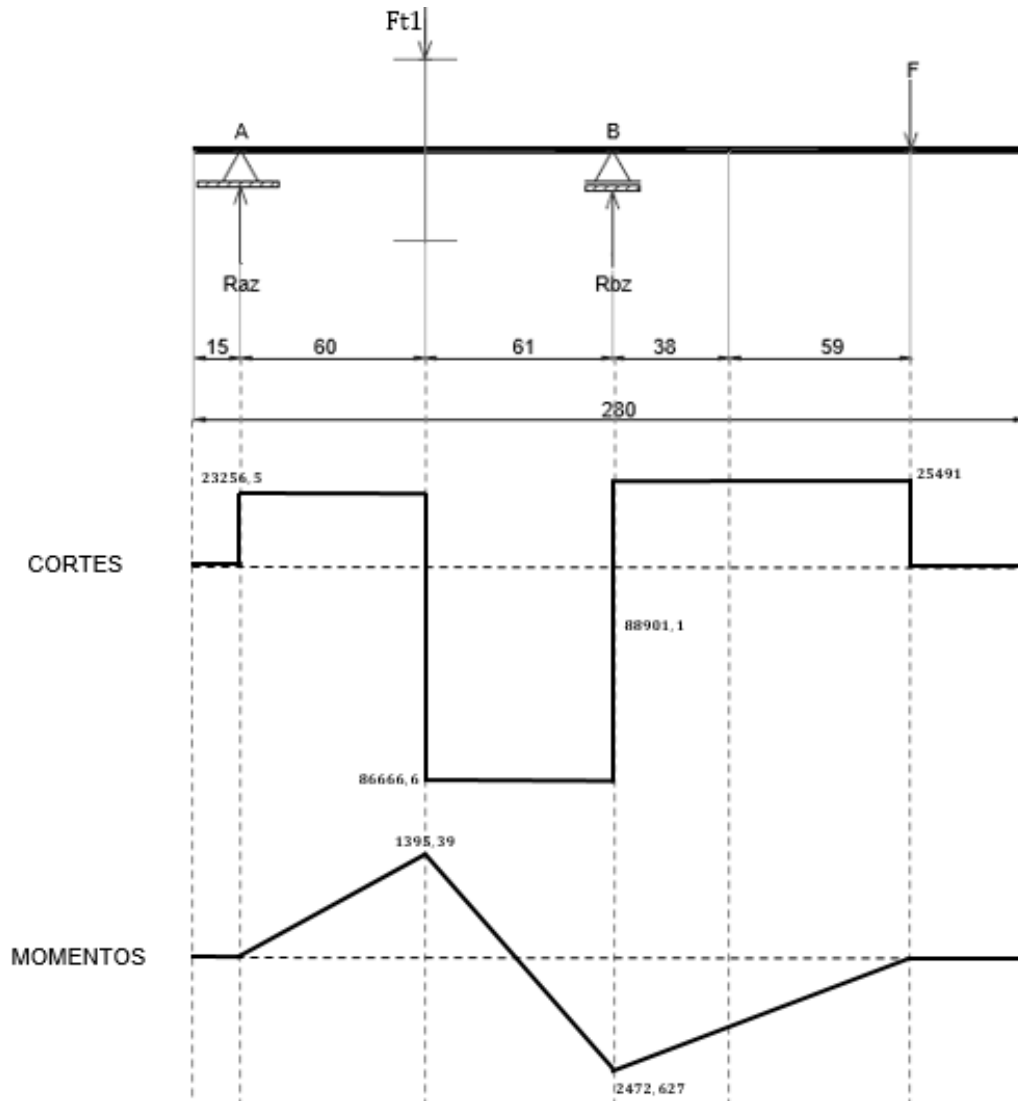
$$M_F: \quad M_F = F * (0,097m)$$

$$M_F = (25491N) * (0.097m)$$

$$M_F = 2472,627 \text{ N} - \text{m}$$

En la figura 46 se muestran los diagramas de cortantes, momentos y torsión del eje principal del sistema.

Figura 46. Diagrama de cortantes y momentos del eje principal (Plano X-Z).



Momento máximo.

Con el cálculo del momento máximo se determinará el diámetro del eje principal indicado para soportar las cargas ejercidas por el sistema de transmisión de potencia.

$$M_{Max} = \sqrt{(M_A)^2 + (M_F)^2}$$

$$M_{Máx} = \sqrt{(954,14 \text{ N} - \text{m})^2 + (2472,627 \text{ N} - \text{m})^2}$$

$$M_{\text{Max}} = 2650,33 \text{ N} - \text{m}$$

El material que se usará para la fabricación del eje principal será un acero AISI 4340 puesto que, es un acero altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión.

El diámetro del acero utilizado estará entre 41 -100 mm

Tabla 13 . Propiedades mecánicas acero AISI 4340.

Propiedades mecánicas acero AISI 4340				
Diámetro (mm)	Resistencia mecánica (MPa)	Límite de fluencia (Mpa)	Elongación % Min.	Dureza ROKWELL B
16 o mas	1200 - 1400	1000	9	240 -380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 -380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Con un factor de seguridad de 2, el esfuerzo permisible del acero AISI 4340 es:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_y}{f_s}$$

$$[\sigma] = \frac{800 \text{ MPa}}{2}$$

$$[\sigma] = 400 \text{ Mpa}$$

Para establecer el diámetro del eje principal se calcula el esfuerzo de flexión y de cortante máximo.

Esfuerzo de flexión máximo:

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{32 * M_{M\acute{a}x}}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{(32) * (2650,33 \text{ N} - \text{m})}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{26996 \text{ N} - \text{m}}{d^3}$$

Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{M\acute{a}x} = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{M\acute{a}x} = \frac{(16) * (1950 \text{ N} - \text{m})}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{M\acute{a}x} = \frac{9931,27 \text{ N} - \text{m}}{d^3}$$

Con el teorema de falla se determina el diámetro del eje principal.

Teorema de falla: $[\sigma] = \sqrt{(\sigma_{M\acute{a}x})^2 + 3(\tau_{M\acute{a}x})^2}$

$$400 \times 10^6 \text{ Pa} = \sqrt{\left(\frac{26996 \text{ N} - \text{m}}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{9931,27 \text{ N} - \text{m}}{d^3}\right)^2}$$

$$400 \times 10^6 \text{ Pa} = \frac{32010,54 \text{ N} - \text{m}}{d^3}$$

$$d^3 = \frac{32010,54 \text{ N} - \text{m}}{400 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$d = \sqrt[3]{80,02635 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$d = 0,043 \text{ m} \approx 43 \text{ mm}$$

Anexo C. Diseño del sistema de transmisión de potencia.

A continuación, se calcula la relación del engranaje y el piñón envolventes a 20° para transmitir 1Hp, asumiendo que la relación de velocidad (VR) que se va a utilizar es de 7,16.

$$P_d = \frac{N_g}{D_g} = \frac{N_p}{D_p}$$

Donde:

- P_d = Paso diametral
- D_g = Diámetro de paso del engrane
- D_p = Diámetro de paso del piñón
- N_g = Numero de dientes del engranaje
- N_p = Numero de dientes del piñón

Se asume que el material de los engranes del sistema de transmisión de potencia será acero forjado 3250 endurecido superficialmente por cementación con un límite de fatiga ($S'_n = 83$ Ksi) y dureza Brinell (BHN = 600).

Del engrane se asume que:

- Numero de dientes ($N_g = 172$)
- Diámetro de paso ($D_g = 432,54$ mm)
- Paso diametral ($P_d = 256,54$ mm = 10,1 pulg)

Por tanto, para determinar el diámetro del piñón (D_p) tenemos que:

$$VR = \frac{D_g}{D_p}$$

Despejando D_p :

$$D_p = \frac{432,54 \text{ mm}}{7.16}$$

$$D_p = 60,40 \text{ mm} = (2,38 \text{ pulg})$$

Ahora para encontrar el número de dientes del piñón (N_p), relacionamos la siguiente fórmula.

$$P_d = \frac{N_p}{D_p}$$

Despejando N_p :

$$N_p = (P_d) \times (D_p)$$

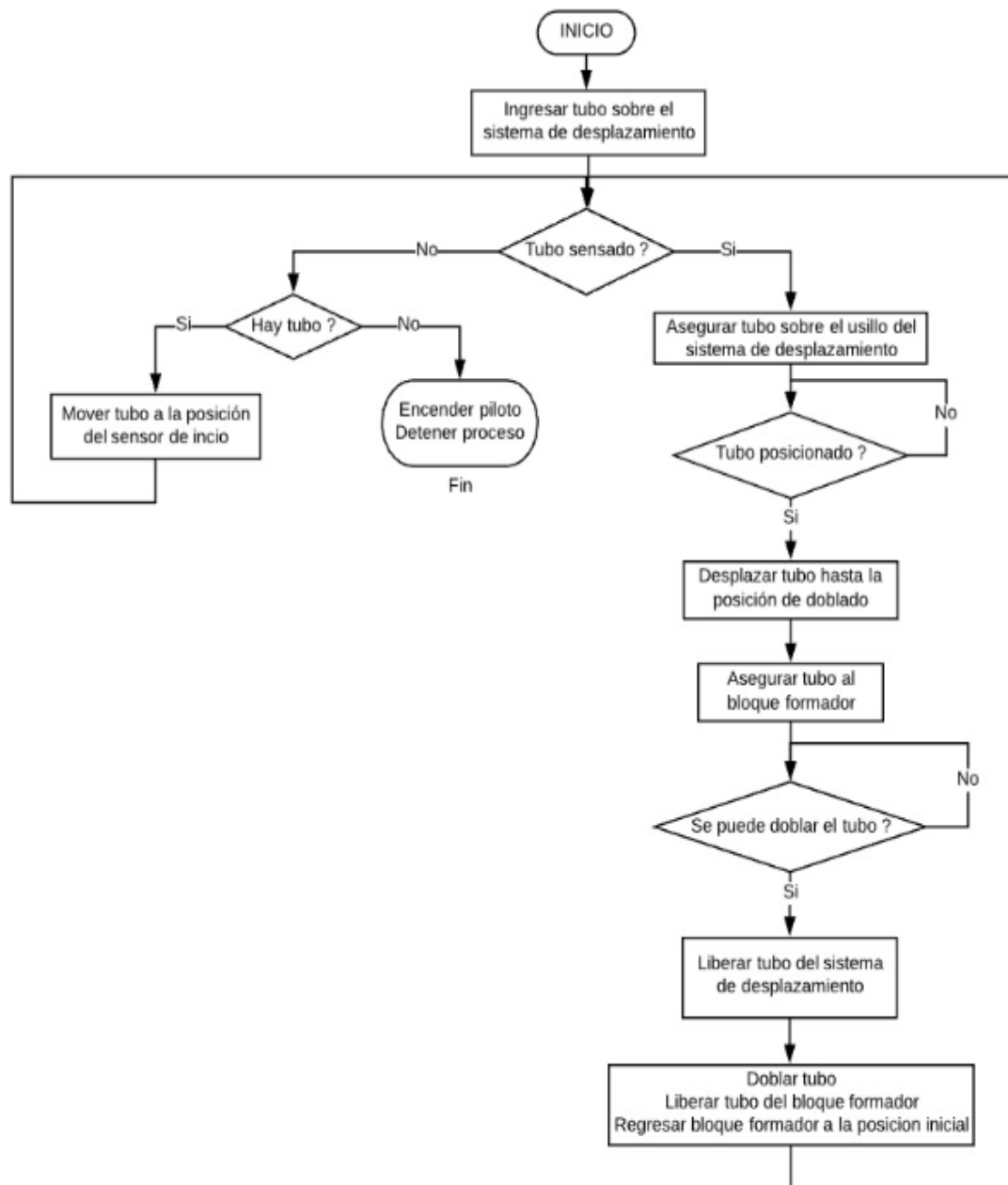
$$N_p = (10,1 \text{ pulg}) \times (2,38 \text{ pulg})$$

$$N_p = 24,038 \approx (24 \text{ dientes})$$

Anexo D. Diagrama de flujo.

Con el diagrama de flujo, se muestran paso a paso las funciones y condiciones de operación del sistema de doblado de tubos diseñado.

Figura 47. Diagrama de Flujo del Sistema.



Anexo E. Diagrama Graficet del sistema.

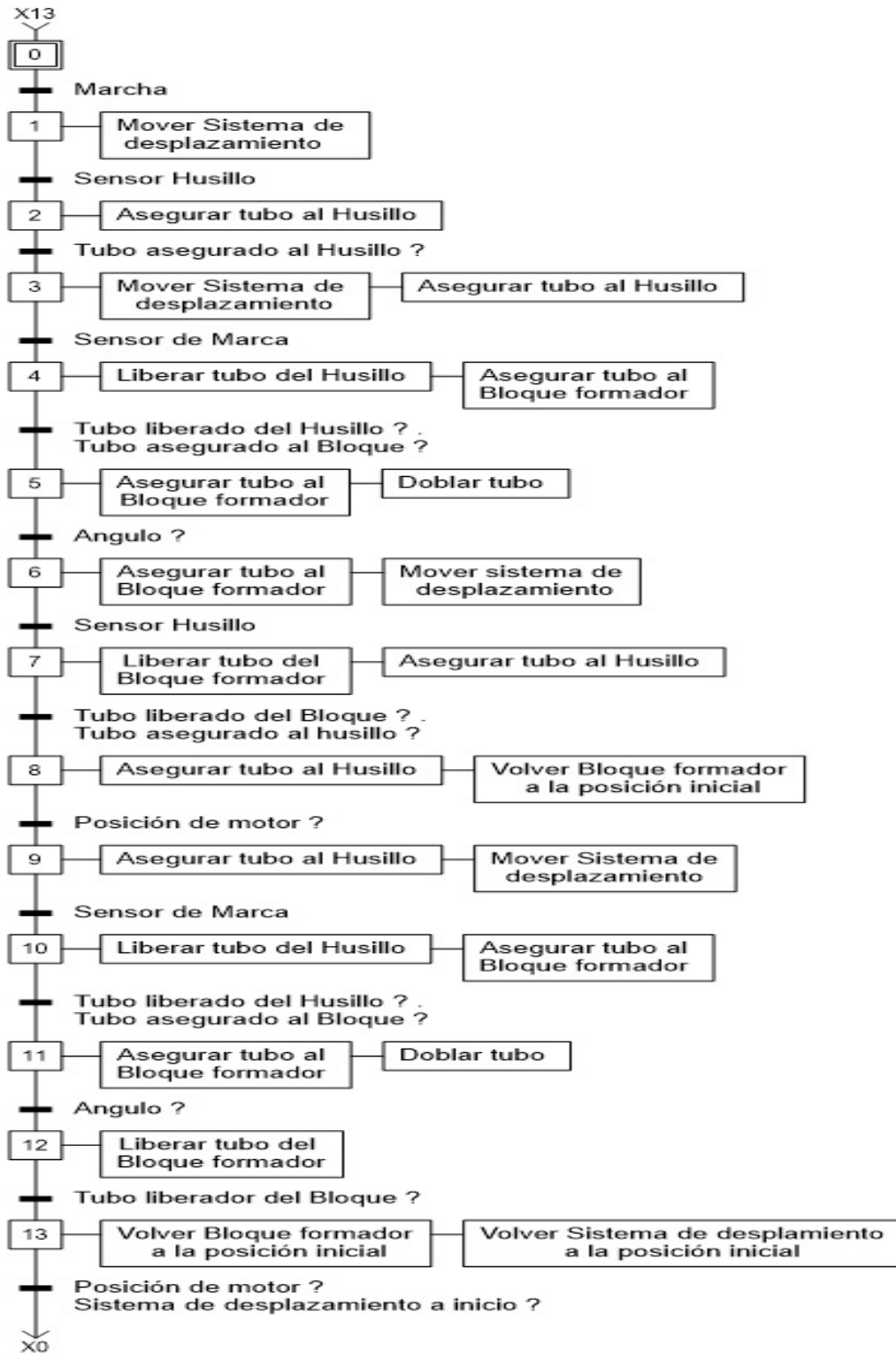
En la tabla 9, se definen las entradas y salidas del sistema de control de la dobladora de tubos diseñada, la etiqueta asignada a los sensores del sistema es la letra S mientras que para los finales de carrera de los actuadores neumáticos es FC lo que genera la correspondiente tabla de símbolos.

Tabla 14. Entradas y salidas del sistema.

ETIQUETA	DIRECCION	DESCRIPCION
S1	I0.0	Sensor de Husillo (Detecta Tubo)
FC1	I0.1	Final de carrera cilindro husillo (Adentro)
FC2	I0.2	Final de carrera cilindro husillo (Afuera)
S2	I0.3	Sensor de Color (Detecta marca de dobléz)
FC3	I0.4	Final de carrera cilindro de sujeción al Bloque formador (Adentro)
FC4	I0.5	Final de carrera cilindro de sujeción al Bloque formador (Afuera)
FC5	I0.6	Final de carrera cilindro de rodillos guías (Afuera)
A30	I0.7	Pulsador de dobléz a 30 grados
A45	I1.0	Pulsador de dobléz a 45 grados
A90	I1.1	Pulsador de dobléz a 90 grados
A180	I1.2	Pulsador de dobléz a 180 grados
EncoderPos		Posición de motor (Recorrido de acuerdo al ángulo de dobléz indicado)
EncoderNeg		Posición de motor' (volver el motor a la posición inicial)
SDMov	Q0.0	Mover sistema de desplazamiento
SDStop	Q0.1	Detener sistema de desplazamiento
Apos	Q0.2	Asegurar tubo al husillo (Bajar cilindro de husillo)
Aned	Q0.3	Liberar tubo del husillo (Subir cilindro de husillo)
Cpos	Q0.4	Guiar tubo (Sacar cilindro de rodillos para guiar el tubo)
Bpos	Q0.5	Asegurar tubo al bloque formador (Cilindro de bloque formador Afuera)
Bneg	Q0.6	Liberar tubo del bloque formador (Cilindro bloque formador Adentro)
Mpos	Q0.7	Doblar tubo (Girar motor sentido horario)
Mneg	Q1.0	Volver motor a la posición inicial (Girar motor sentido anti-horario)

Después de definir las entradas y salidas del sistema de control, se realiza el Graficet descriptivo o de primer nivel que cumple con las funciones de la máquina dobladora de tubo automática diseñada

Figura 48. Diagrama Grafset de primer nivel del Sistema Diseñado.



Anexo F. Manual de Operación y Manual de Mantenimiento.

Antes de poner en marcha y manipular la máquina lea detenidamente este manual de operación y de mantenimiento.

MANUAL DE OPERACIÓN.

Requisitos que se debe tener el operario para manipular la máquina.

- Leer el manual de operación.
- Recibir capacitación y entreno en la operación de la máquina.
- Portar los elementos de protección y seguridad personal.
- Identificar cada uno de los sistemas que conforman la máquina.
- Ubicar el paro de emergencia de la máquina.
- Mantener el espacio de operación de la máquina.

Operación.

- Verificar que todos los sistemas de la máquina están libres de objetos extraños que puedan bloquearlos.
- Limpiar y engrasar las partes móviles de la máquina.
- Conectar la máquina a la red de alimentación de 220V
- Revisar el espesor del tubo a doblar, recuerde que este no debe ser mayor de 1.5mm
- Revisar el diámetro extremo del tubo a doblar, recuerde que este no debe ser mayor a 38.1 grados.
- Poner las marcas de doblez sobre el tubo.
- Presionar el paro de emergencia de la máquina.
- Instalar la matriz y el juego de herramientas acorde al diámetro del tubo a trabajar.
- Colocar el tubo sobre la guía lineal de la máquina y verificar que quede sobre el husillo.
- Presionar el botón de INICIO y esperar a que se ponga en marcha la máquina.
- Presionar el botón del ángulo indicado para el doblez.
- En caso de colocar bien el tubo sobre el husillo la máquina se detendrá y alertará para que se corrija este erro.
- Una vez terminado el doblez, retire el tubo e ingrese el siguiente y repita de nuevo el proceso.
- Si es necesario detener la máquina, se debe presionar el botón de PAUSA.

Precauciones.

- La dobladora debe ser manipulada solo por personal capacitado.
- Usar los elementos de seguridad personal.
- Seguir al pie de la letra cada una de las recomendaciones.
- Verificar que los componentes de la maquina están en buen estado
- Evitar el contacto del operario con los sistemas de la maquina cuando este en operación, si es necesario intervenir se debe pulsar el botón de PAUSA.

MANUAL DE MANTENIMIENTO.

Es importante conservar el buen estado de la máquina, por lo que recomienda la inspección diaria donde se verifique el estado físico de los componentes mecánicos, electrónicos, neumáticos y de control al igual que la revisión de cables y mangueras de los sistemas eléctricos y la red de aire comprimido. De encontrar daños e imperfecciones en algunos componentes estos deberán ser reemplazados antes de poner en marcha la máquina.

Una vez por semana se debe limpiar y lubricar si es necesario el sistema de transmisión de potencia de la maquina evitando el desgaste de los engranajes y rodamientos con los que esta cuenta.

Una vez al mes se debe engrasar las unidades de rodamiento (chumaceras) del eje principal del sistema de transmisión al igual que la limpieza de la guía lineal del sistema de desplazamiento.