UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8mm PARA PRODUCCIÓN DE ESTRIBOS QUE SE USAN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniero en mecatrónica

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Kevin Jefferson Ayala Morillo

DIRECTOR:

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ayala Morillo Kevin Jefferson

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Máquina semiautomática dobladora de varilla trefilada de 8mm para producción de estribos que se usan en estructuras de hormigón.
AUTOR (ES):	Ayala Morillo Kevin Jefferson
FECHA: DD/MM/AAAA	31/08/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** ☐ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR /ASESOR:	Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc. Ing. Víctor Alfonso Erazo Arteaga, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de agosto de 2026

EL AUTOR: Kevin Jefferson Ayala Morillo



……

Kevin Jefferson Ayala Morillo

1724841257

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 31 de agosto de 2026

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
COSME DAMIAN MEJIA ECHEVERRIA

(f)……

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.
C.C.: 1002641288

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8mm PARA PRODUCCIÓN DE ESTRIBOS QUE SE USAN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN" elaborado por Kevin Jefferson Ayala Morillo, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
COSME DAMIAN MEJIA ECHEVERRIA

(f)……

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

C.C.: 1002641288

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
VICTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA

(f)……

Ing. Erazo Arteaga Víctor Alfonso, MSc.

C.C.: 1719188029

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Carlos Ayala e Iralda Morillo, quienes han sido mi mayor apoyo y mi fuerza en cada momento difícil, gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres Iralda Morillo y Carlos Ayala, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por enseñarme que el esfuerzo y la constancia siempre dan frutos. Este logro también es suyo. MJ.

RESUMEN

En pequeñas empresas del sector de la construcción en el Ecuador, la fabricación de estribos a partir de varilla de acero constituye una operación fundamental en el armado de estructuras de hormigón armado. Tradicionalmente, este proceso se realiza mediante dobladoras manuales, las cuales presentan limitaciones en términos de precisión angular, uniformidad dimensional y control operativo, además de implicar condiciones que pueden incrementar el riesgo ocupacional durante su ejecución. En respuesta a esta problemática, se desarrolló una máquina semiautomática dobladora de varilla, diseñada como una alternativa eficiente y de bajo costo orientada a optimizar el proceso de conformado y mejorar las condiciones de operación.

El desarrollo teórico consideró el análisis del comportamiento mecánico del acero durante la deformación plástica, así como los principios de funcionamiento necesarios para garantizar un doblado controlado. Para el diseño conceptual se aplicó la metodología QFD, permitiendo traducir los requerimientos del usuario en especificaciones técnicas, evaluar distintas alternativas y seleccionar la solución más adecuada. Como resultado, se obtuvo una máquina capaz de fabricar estribos con mayor uniformidad y precisión dimensional, cumpliendo con los lineamientos establecidos en la norma ACI 318, contribuyendo a la minimización del riesgo asociado al proceso de doblado en entornos de pequeña escala.

Palabras claves: Máquina, Dobladora, Estribos.

ABSTRACT

In small-scale construction companies in Ecuador, the fabrication of stirrups from steel reinforcing bars constitutes a fundamental operation in reinforced concrete structural assembly. Traditionally, this process is carried out using manual bending equipment, which presents limitations in terms of angular accuracy, dimensional consistency, and operational control, while also involving conditions that may increase occupational risk. To address these limitations, a cost-effective semi-automatic steel bar bending machine was developed to optimize the forming process and improve operational conditions.

The theoretical development examined the mechanical behavior of steel under plastic deformation and the operating principles required to ensure controlled bending. The conceptual design was conducted using the Quality Function Deployment (QFD) methodology, enabling the systematic translation of user needs into engineering specifications, the evaluation of multiple design alternatives, and the selection of the most suitable solution. The resulting machine produces stirrups with improved dimensional uniformity and precision, complying with ACI 318 requirements and contributing to the reduction of occupational risk in small-scale construction environments.

Keywords: Machine, Bending Machine, Stirrups.

INDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA 2
2. CONSTANCIAS 3
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR 4
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR 5
DEDICATORIA 6
AGRADECIMIENTO 7
RESUMEN 8
ABSTRACT 9
INDICE DE CONTENIDOS 10
ÍNDICE DE FIGURAS 12
INDICE DE TABLAS 14
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN 15
1.1 Planteamiento del problema 15
1.2 Objetivos 16
1.2.1 General 16
1.2.2 Específicos 16
1.3 Alcance y delimitación 17
1.4 Justificación 17
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 19
2.1 Antecedentes 19
2.2 Varilla refilada 21
2.3 Estribos 22
2.4 Hormigón armado. 26
2.5 Ergonomía 26
2.6 Máquinas dobladoras en el mercado. 29
2.7 Propiedad intelectual 30
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 32
3.1 Procedimiento metodológico 32
3.2 Enfoque de la investigación 32
CAPÍTULO 4: RESULTADOS 37

4.1 Diseño Conceptual 37
4.1.1 Revisión de información y definición de límites. 37
4.1.2 Determinación de los parámetros requeridos 40
4.1.3 Matriz morfológica 46
4.1.4 Diseño de la máquina 54
4.1.5 Sistema de Potencia 58
4.1.6 Sistema de Transmisión 58
4.1.7 Sistema Eléctrico 59
4.2.1 Estructura 59
4.2 Diseño Mecánico 60
4.2.2 Dimensiones de la máquina 60
4.2.3 Evaluaciones experimentales 68
4.2.4 Diseño de estructura 72
4.2.5 Evaluación de elementos sometidos a compresión 73
4.2.6 Evaluación de elementos sometidos a tracción 75
4.2.7 Evaluación de elementos sometidos a flexión 75
4.2.8 Diseño del plato 81
4.2.9 Diseño de la base guía para la varilla 82
4.2.10 Diseño del sistema de transmisión de potencia 83
4.2.11 Diseño eléctrico 83
4.2.12 Simulaciones 84
4.3 Construcción de las piezas 95
4.4 Ensamblaje 99
4.4.1 Ensamblaje total 99
4.4.2 Funcionamiento y pruebas 104
4.4.3 Evaluación de rendimiento 108
CONCLUSIONES 110
RECOMENDACIONES 112
REFERENCIAS 113

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Máquina de corte y doblado de varilla [8]. 19
Fig. 2. Estribo con ángulos irregulares [13]. 23
Fig. 3. Estribo adecuado [14]. 23
Fig. 4. Falla debido a esfuerzos transversales [15]. 23
Fig. 5. Parámetros geométricos para ángulos de 90° y 135° [14]. 24
Fig. 6. Doblado de varilla [14]. 25
Fig. 7. Doblado manual de varilla [19]. 28
Fig. 8. Patente US7624608B1. Principio de funcionamiento de una dobladora manual [23]. 30
Fig. 9. Patente US7739893B2. Máquina dobladora con plato rotario [24]. 31
Fig. 10. Entrada y salida de la máquina dobladora. 40
Fig. 11.Secuencia funcional. 40
Fig. 12. Estructura funcional de la máquina dobladora. 42
Fig. 13. Requerimientos de la matriz QFD. 43
Fig. 14. Competidores. 45
Fig. 15. Comparación de productos. 45
Fig. 16. Posibles soluciones. 46
Fig. 17. Solución en base a la ponderación de criterios. 54
Fig. 18. Elementos de accionamiento. 54
Fig. 19. Elementos de torque. 55
Fig. 20. Tipos de movimiento para el doblado. 56
Fig. 21. Sistemas de transmisión de potencia. 57
Fig. 22. Explosión del primer diseño. 59
Fig. 23. Balanza digital colgante. 68
Fig. 24. Análisis real de doblez. 69
Fig. 25. Motor de embrague. 71
Fig. 26. DLC caja reductora. 77
Fig. 27. Diagrama momento flector caja reductora. 77
Fig. 28. Diagrama de fuerza cortante caja reductora. 77
Fig. 29. Estructura. 80
Fig. 30. Soporte base guía. 80
Fig. 31. Parte Superior. 81
Fig. 32. Base guía. 82
Fig. 33. Representación caja reductora y motor de embrague. 83
Fig. 34. Torque aplicado sobre la pieza a simular. 86
Fig. 35.Simulación de clavijera con 484060 elementos. 87
Fig. 36. Diagrama de convergencia. 88
Fig. 37. Simulación en los puntos analizados. 91
Fig. 38. Análisis estático de la estructura. 92
Fig. 39. Resultado análisis estático en la estructura. 92
Fig. 40. Visualización de puntos críticos en la estructura. 92
Fig. 41. Factor de seguridad aplicando esfuerzo de torsión. 93
Fig. 42. Factor de seguridad aplicando esfuerzo cortante. 93
Fig. 43. Clavijera con esfuerzos cortantes y de torsión. 94
Fig. 44. Simulación de perno M10 de la caja reductora. 94
Fig. 45. Factor de seguridad de perno M10 simulado. 95
Fig. 46. Plancha de acero ASTM36 95
Fig. 47. Poleas 3 y 9 in. 97

Fig. 48. Rodamiento 6205 _____ *97*
Fig. 49. Estructura ensamblada. _____ *98*
*Fig. 50. Ventana estructural donde se ancla el motor.*_____ *99*
Fig. 51. Lista de ensamble de la máquina. _____ *100*
Fig. 52. Máquina ensamblada. _____ *104*
Fig. 53.Inserción de la varilla. _____ *104*
Fig. 54. Doblado de la varilla. _____ *105*
Fig. 55. Estribo realizado con la máquina semiautomática dobladora. _____ *105*
Fig. 56. Estribo realizado con la dobladora manual. _____ *106*

INDICE DE TABLAS

Tabla I Distancias para doblado _____ *25*

Tabla II Máquinas dobladoras en el mercado _____ *29*

Tabla III Requerimientos del cliente _____ *38*

Tabla IV Características técnicas del sistema _____ *39*

Tabla V Valoración de criterios en la matriz QFD _____ *49*

Tabla VI Ponderación entre criterios _____ *49*

Tabla VII Ponderación del criterio 1 con alternativas _____ *50*

Tabla VIII Ponderación del criterio 2 con alternativas _____ *51*

Tabla IX Ponderación del criterio 3 con alternativas _____ *51*

Tabla X Ponderación del criterio 4 con alternativas _____ *52*

Tabla XI Ponderación del criterio 5 con alternativas _____ *52*

Tabla XII Ponderación del criterio 6 con alternativas _____ *53*

Tabla XIII Tabla de criterios _____ *53*

Table XIV Potencia requerida en función del diámetro de la varilla _____ *65*

Tabla XV Características del motor _____ *71*

Tabla XVI Factor de seguridad en base al mallado _____ *87*

Tabla XVII Tiempo requerido para fabricar estribos _____ *107*

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En Ecuador, el sector dedicado a la construcción representa una de las actividades económicas más importantes del país, aportando aproximadamente el 7 % del Producto Interno Bruto (PIB) y generando más de 140 000 empleos directos, de los cuales la mayoría corresponde a MiPymes (micro, pequeñas y medianas empresas), de acuerdo con cifras del Banco Central del Ecuador [1].

El Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (COPCI) establece que una empresa se clasifica como micro o pequeña cuando su volumen anual de ventas se encuentra entre USD 100 000 y USD 1 000 000, y cuenta con un rango de 1 a 50 trabajadores [1, 2].

Este tipo de empresas son principalmente constructoras pequeñas y talleres de obra, donde la fabricación de elementos estructurales conformados por acero, tales como estribos, ganchos, patas y prensas, se continúa realizando de manera manual mediante el uso de herramientas artesanales. Al tratarse de una actividad mecánica, repetitiva y ejecutada por una sola persona, los trabajadores se encuentran expuestos a riesgos laborales, principalmente asociados a fatiga muscular y cortes por manipulación del acero.

Las condiciones ergonómicas en las que se desarrollan estas actividades evidencian que los trabajadores del área productiva están expuestos en un 14,06 % a posturas forzadas y en un 13,83 % a movimientos repetitivos, lo que deriva en la aparición de cuadros clínicos como lumbalgia, bursitis y hernias, generando ausentismo laboral y una disminución de la productividad [3].

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Desarrollar una máquina dobladora semiautomática que fabrique estribos de 8mm adecuados para armar cadenas y columnas de construcción.

1.2.2 Específicos

- Determinar los requerimientos en la producción de estribos para las estructuras de hormigón armado.
- Diseñar el sistema semiautomático y estructura base guía para la estabilidad y correcto funcionamiento de la máquina.
- Implementar la máquina diseñada para validar mediante su operación.

1.3 Alcance y delimitación

Este trabajo se enfoca en el diseño e implementación de una máquina dobladora de estribos de 8mm, esta máquina tiene principalmente el sistema de doblado de la varilla, además de contar con el calibrado para distintos tamaños de estribos; los límites para estos son de mínimo 10 cm y máximo 45 cm, también el mando de control donde se enciende/apaga la máquina, se pone en marcha el doblez de la varilla y el frenado de emergencia en caso de ser necesario.

La máquina no puede ser transportada con facilidad debido a que se necesitan sujeciones al piso que eviten movimientos que generen vibraciones, provocando fallos a largo plazo. Sin embargo, se puede transportar acatando las condiciones de uso y manejo de la máquina.

Para que la varilla pueda ser doblada se tiene que introducirla en la guía de la máquina y presionar en el mando de control el pulsador para poder ejecutar el proceso pertinente.

1.4 Justificación

El proceso manual de doblado de varilla para la fabricación de estribos en una micro y pequeña empresa del sector de la construcción en Ecuador constituye una actividad con alto riesgo ergonómico para los trabajadores ya que, durante esta labor, el operario realiza múltiples movimientos repetitivos que requieren un esfuerzo físico considerable para deformar el acero, lo que incrementa significativamente la probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos. Entre las afecciones más frecuentes se encuentran la fatiga muscular, la lumbalgia y el dolor en las extremidades superiores, las cuales representan aproximadamente el 45 % de las lesiones profesionales registradas en este tipo de actividades [4].

Además de los riesgos para el personal, el fabricar estribos con una dobladora manual presenta limitaciones a nivel técnico en la conformación del estribo, como la falta de un gancho en el estribo a 135°, que, al no estar anclado al núcleo del concreto, puede debilitar la columna [5].

El presente trabajo está orientado al análisis de la seguridad laboral que tiene el trabajador y el cumplimiento de las normas establecidas para la producción de estribos en una pequeña empresa de nombre "Carlos Ayala" dedicada a la construcción, que utiliza una máquina manual para la elaboración de estos elementos, provocando movimientos repetitivos e incumplimiento de los “ganchos” en los estribos.

La seguridad laboral es muy importante en cualquier entorno productivo; según el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, el dolor lumbar es la principal discapacidad laboral a nivel mundial y una de las principales causas de ausentismo en trabajadores menores de 45 años, en países desarrollados es la patología más común y la que mayores costos genera [6].

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el año 2014 se desarrolló un trabajo de titulación orientado al diseño y construcción de una máquina destinada al corte y doblado en serie de estribos para columnas de hormigón armado. Este proyecto propuso un sistema mecánico de doblado basado en palancas accionadas mediante un cigüeñal, permitiendo la fabricación repetitiva de estribos cuadrados. El diseño cumplió con el objetivo de automatizar parcialmente el proceso y mejorar la productividad frente al método manual; sin embargo, el sistema estaba orientado principalmente a un tipo específico de geometría y no contemplaba variaciones significativas en diámetros ni configuraciones de estribos, lo que limitaba su versatilidad para distintos entornos productivos [7].



Fig. 1. Máquina de corte y doblado de varilla [8].

Posteriormente, en el año 2016, se publicó un artículo científico derivado de dicho trabajo, en el cual se profundizó en el análisis matemático del mecanismo y en la simulación de los esfuerzos involucrados durante el proceso de doblado.

Este aporte permitió validar teóricamente el funcionamiento de la máquina y su resistencia estructural; sin embargo, el estudio se centró principalmente en el modelado y análisis estructural, dejando de lado aspectos relacionados con la ergonomía del operario, la optimización del proceso productivo y la adaptabilidad del sistema a pequeñas y medianas empresas. Adicionalmente, el costo de construcción del prototipo superó los 3 000 USD, lo que representa una limitación importante para su implementación en el tipo de empresa al que se orienta el presente proyecto, donde se requiere una solución técnicamente eficiente, pero económicamente viable [8, 7].

Más adelante, en el año 2017, se presentó un trabajo de grado enfocado en el diseño de una máquina dobladora para la fabricación de estribos cuadrados de varilla trefilada de acero de 6 mm de diámetro, destinada a cubrir una necesidad puntual de producción industrial. La máquina incorporó un sistema de transmisión por bandas y un mecanismo de biela-manivela que permitía alcanzar una velocidad de doblado de aproximadamente 60 rpm, generando ángulos constantes de 90°. Si bien el diseño cumplió adecuadamente con los requerimientos planteados para su aplicación específica, su funcionamiento estaba limitado a un único diámetro de varilla y a una geometría fija de estribo, lo que restringe su aplicación en escenarios donde se requiere mayor flexibilidad, reducción del esfuerzo físico del operario o adaptación a distintos procesos constructivos [9].

2.2 Varilla refilada

El trefilado es un proceso de conformado de metales que reduce el diámetro de las barras al hacerlas pasar en frío a través de una matriz, generalmente de forma cónica, obligando al material a estirarse y pasar por varias hileras en serie. Este proceso multipaso mejora las propiedades mecánicas del material, aumentando su resistencia y disminuyendo el riesgo de rotura, lo que es fundamental para aplicaciones industriales como el hormigón pretensado, cables de minería y pesca, y refuerzo de neumáticos en la industria automotriz [10].

La varilla de construcción trefilada o figurada son hechas de acero bajo la norma ecuatoriana NTE INEN 1511 y NTE INEN 2167, se usan principalmente para refuerzos de hormigón armado tienen sección circular con resaltes transversales, y son usadas en estribos para construcción, postes de luz, mallas, vigas, columnas etc. [11, 12].

Las barras de refuerzo son un elemento esencial en las estructuras de hormigón armado, ya que permiten que el material resista adecuadamente las cargas de flexión, cargas axiales y las acciones sísmicas. Así, se autoriza el uso de barras de acero que cumplen la norma ASTM A1035 en refuerzos transversales como estribos, zunchos y espirales. Las barras de acero corrugadas deben ajustarse a las normas INEN vigentes, lo que garantiza su calidad y comportamiento mecánico. En el caso de barras con un límite de fluencia mayor a 420" MPa", la resistencia a la fluencia se define a partir del esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de ε=0.0035, asegurando así un comportamiento dúctil adecuado [12].

En el contexto ecuatoriano, gran parte de las varillas de refuerzo utilizadas en la construcción son distribuidas por ANDEC. Estas barras de acero, sometidas a un tratamiento térmico controlado durante el proceso de laminación, presentan una alta ductilidad y adecuadas propiedades mecánicas, lo que permite su aplicación en estructuras de hormigón armado sismo-resistentes. Las varillas se fabrican conforme a la norma NTE INEN 2167 – ASTM A706, correspondiendo a un grado de acero 42, con un límite de fluencia característico y una resistencia máxima a la tracción que puede alcanzar valores cercanos a 550 MPa, garantizando un comportamiento estructural seguro frente a acciones sísmicas [11].

2.3 Estribos

Los estribos son elementos estructurales de refuerzo transversal, fabricados principalmente a partir de varilla trefilada, que se emplean en estructuras de hormigón armado. Su función principal es garantizar que el refuerzo longitudinal, ya sea en columnas, vigas o postes, resista adecuadamente los esfuerzos cortantes y de torsión que actúan sobre la estructura [9, 12].

El estribo actúa como un elemento de confinamiento del concreto, asegurando la correcta disposición y estabilidad del refuerzo longitudinal, además de impedir el pandeo de las barras sometidas a compresión. Para que cumpla eficazmente su función estructural, es fundamental que el estribo cuente con ángulos y dimensiones adecuadas durante su conformado, ya que un armado incorrecto de este refuerzo transversal reduce su aporte al confinamiento del concreto y afecta negativamente el comportamiento estructural de las juntas, especialmente frente a acciones sísmicas [9, 13].



Fig. 2. Estribo con ángulos irregulares [13].

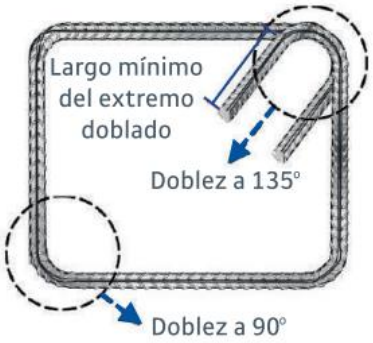


Fig. 3. Estribo adecuado [14].

Los estribos y elementos figurados son componentes de refuerzo transversal que se obtienen mediante el doblado de varillas o alambres de acero en diversas configuraciones geométricas, tales como formas triangulares, cuadradas, rectangulares, circulares y poligonales. Estos elementos se emplean ampliamente en estructuras de hormigón armado, ya que contribuyen al confinamiento del concreto y al correcto desempeño del refuerzo longitudinal frente a esfuerzos cortantes, de torsión y acciones sísmicas [11].



Fig. 4. Falla debido a esfuerzos transversales [15].

En Ecuador, la fabricación de estribos y elementos figurados se rige por normas técnicas nacionales e internacionales, entre ellas NTE-INEN 1511, NTE-INEN 2167 y NTE-INEN 102, así como por los estándares ASTM A-496, ASTM A706 y ASTM A615, que establecen los requisitos de calidad, propiedades mecánicas y tolerancias dimensionales del acero de refuerzo.

Estas normativas se fundamentan en los criterios de diseño estructural establecidos por el ACI 318, norma estadounidense ampliamente adoptada como referencia para el diseño de estructuras de hormigón armado sismo-resistentes, garantizando así un comportamiento estructural seguro y confiable [11, 16].

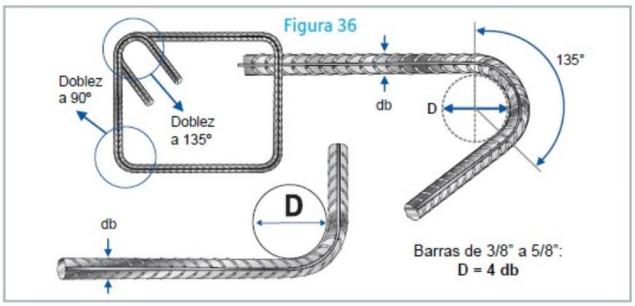


Fig. 5. Parámetros geométricos para ángulos de 90° y 135° [14].

La norma ACI 318 proporciona lineamientos fundamentales para el diseño y conformado de ganchos y estribos en estructuras de hormigón armado, con el objetivo de asegurar un anclaje adecuado y un buen desempeño estructural. En ella se establecen los tipos de ganchos más utilizados, definidos según el diámetro de la barra, indicando dobleces de 90° y 135° junto con longitudes mínimas de extensión que dependen del diámetro de la varilla (db).

Para los estribos fabricados con barras de menor diámetro, específicamente barras No. 16 y menores, se admite un diámetro interior mínimo de doblado de 4db, criterio que se basa en prácticas ampliamente aceptadas en la industria y que busca evitar daños en el acero y el aplastamiento del concreto en la zona del doblez.

Además, la normativa restringe el uso de ganchos de 90° en barras de mayor tamaño, ya que estudios experimentales han demostrado que estas configuraciones presentan mayor probabilidad de deslizamiento cuando están sometidas a cargas elevadas, particularmente en zonas sísmicas. En conjunto, estos criterios contribuyen a que los estribos cumplan eficazmente su función de confinamiento del concreto y aseguren un comportamiento estructural seguro [16].

Tabla I

Distancias para doblado

Distancia mínima del tubo a la trampa			
Diámetro del fierro (d)	Para doblar estribos a 90°	Para doblar estribos a 135°	Diámetro mínimo de doblado (D)
6mm	15mm	25mm	24mm
8mm	20mm	33mm	32mm
3/8”	25mm	40mm	38mm
12mm	30mm	50mm	48mm
½”	35mm	55mm	51mm
5/8”	45mm	70mm	64mm

Nota: Tomado de [14].

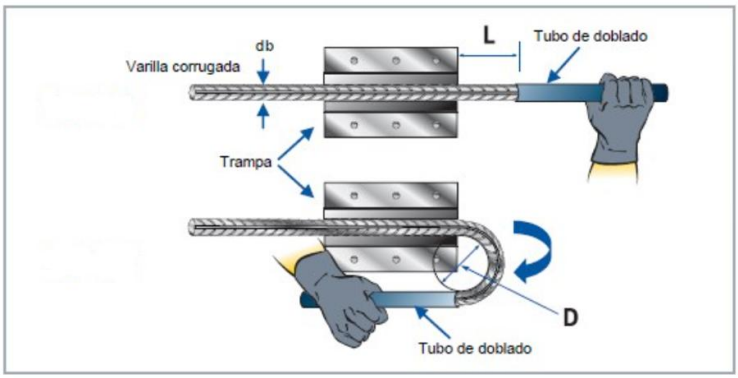


Fig. 6. Doblado de varilla [14].

2.4 Hormigón armado.

El hormigón armado es un material de construcción ampliamente utilizado en estructuras debido a su capacidad para combinar las propiedades de resistencia a la compresión del hormigón con la resistencia a la tracción del acero. Este sistema permite crear estructuras eficientes y duraderas, como columnas, vigas y losas, que pueden soportar tanto cargas estáticas como dinámicas [15, 7].

La interacción entre ambos materiales, concreto y acero, es esencial para garantizar el desempeño estructural. Sin embargo, el hormigón armado puede fallar por diversas razones, entre las cuales destacan la corrosión de las barras de acero, sobrecarga, diseño inadecuado, mala ejecución, asentamiento desigual del terreno y fatiga de los materiales. Además, factores como la expansión térmica y la pérdida de adherencia entre el concreto y el acero pueden debilitar la estructura [15].

2.5 Ergonomía

La ergonomía y la salud laboral son aspectos clave en el sector de la construcción, donde las tareas requieren un alto esfuerzo físico y la adopción frecuente de posturas forzadas. Estas condiciones incrementan el riesgo de trastornos musculoesqueléticos, siendo la zona lumbar una de las más afectadas.

El sector de la construcción es una de las actividades laborales con mayor exigencia física, ya que los trabajadores realizan diariamente tareas que requieren esfuerzo continuo y movimientos constantes.

Dentro de este contexto, los movimientos repetitivos representan un factor de riesgo importante, debido a que obliga al trabajador a repetir una misma acción durante largos periodos de tiempo, generando fatiga muscular y aumentando la probabilidad de lesiones en brazos, muñecas y hombros [17].

De igual manera, las posturas forzadas son frecuentes en este sector, especialmente cuando las tareas se realizan en espacios reducidos o sin herramientas adecuadas. Estas posturas obligan al cuerpo a mantenerse en posiciones incómodas y alejadas de la postura natural, provocando tensiones musculares y sobrecargas en zonas como el cuello, los hombros y la espalda.

Cuando los movimientos repetitivos se combinan con posturas inadecuadas, el desgaste físico del trabajador se incrementa notablemente, afectando tanto su salud como su rendimiento laboral, lo que resalta la importancia de aplicar criterios ergonómicos en el diseño de procesos y equipos de trabajo [17].

En un estudio realizado en una empresa constructora de Shushufindi, Ecuador, durante 2023, se identificó que el 39,2% de los trabajadores presentó molestias dorsales o lumbares, mientras que el 19,6% estuvo expuesto a riesgos ergonómicos asociados principalmente a posturas forzadas. Estos resultados evidencian una relación directa entre las malas posturas de trabajo y la aparición de lumbalgia, lo que resalta la importancia de implementar medidas ergonómicas para mejorar las condiciones laborales y reducir el impacto físico en los trabajadores [18].

En el proceso de doblado manual de estribos, el operario adopta posturas que implican la flexión del tronco y la aplicación repetitiva de fuerza con los miembros superiores.

Tal como se observa en el video tutorial: Dobladora de estribos manual del canal Proyectos con Carlos, el trabajador realiza el doblado manteniendo una postura forzada, con carga concentrada en brazos, hombros y zona lumbar.

Esta forma de trabajo, al repetirse de manera continua durante la jornada laboral, incrementa el riesgo de fatiga muscular y de trastornos musculoesqueléticos, especialmente en la región lumbar, evidenciando la necesidad de implementar soluciones mecánicas que reduzcan la exigencia física del operario [19].



Fig. 7. Doblado manual de varilla [19].

2.6 Máquinas dobladoras en el mercado.

Tabla II

Máquinas dobladoras en el mercado

Máquinas dobladoras comerciales	
Nombre	Descripción
Dobladora Varilla Brb-25 Marca Elan Precio: $2.762,00 Fabricante: SUD-OIL 	• Portátil. • Máquina Eléctrica de flexión y corte de barras. • Alimentación 110 – 230v. • 1600W. • Sistema de tracción eléctrico. • Marca BRB Modelo 25 Doblado de hasta 25mm. • Calibración del ángulo de doblez. • Semiautomática.
Dobladora / DEL-36 Precio: $6390,72 Fabricante: EUROMAQ 	• Dobla varilla de 25mm, 32mm o más de 32mm. • Inversor de giro a izquierda o derecha. • Transportable. • Motor de 3 H.P. • Regulación exacta del ángulo de doblado. • Gran sencillez en sus mecanismos eléctricos. • Motor-freno autoventilado 220V 3F 60Hz. • Capacidad de Doblez Max 1”.
Dobladora / DEL-50 Precio: $9509,23 Fabricante: Maquinaria Viedo 	• Dobladora eléctrica. • Dobladoras de varilla con motor trifásico modelo DEL. • Potencia de 4w. • Alimentación de 220 V. • Plato de 6 giros por minuto • Pedal desplazable a distancia e interruptor manual. • Peso 721kg • Dimensiones 115*134*101mm.

Nota: La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta una comparativa de m áquinas dobladoras de varilla comerciales disponibles en el mercado, destacando sus características técnicas, fabricantes y precios de referencia. Tomado de [20, 21, 22].

2.7 Propiedad intelectual

La patente US7624608B1 describe un dispositivo para el doblado de varillas de acero que emplea un plato giratorio unido a una placa base mediante un pasador de acero, lo que permite su rotación controlada. El sistema cuenta con un mango en el extremo del plato giratorio, a través del cual el operario aplica la fuerza necesaria para realizar el doblado. Asimismo, incorpora placas de medición y pasadores de acero que permiten posicionar correctamente la varilla antes de iniciar el proceso. La varilla se coloca entre estos pasadores y el doblado se realiza al girar manualmente el plato, logrando una deformación controlada del material. Este diseño resulta relevante como antecedente tecnológico, ya que facilita el doblado del acero de refuerzo de manera más guiada y segura, reduciendo la improvisación del operario y mejorando el control del proceso frente a métodos manuales tradicionales [23].

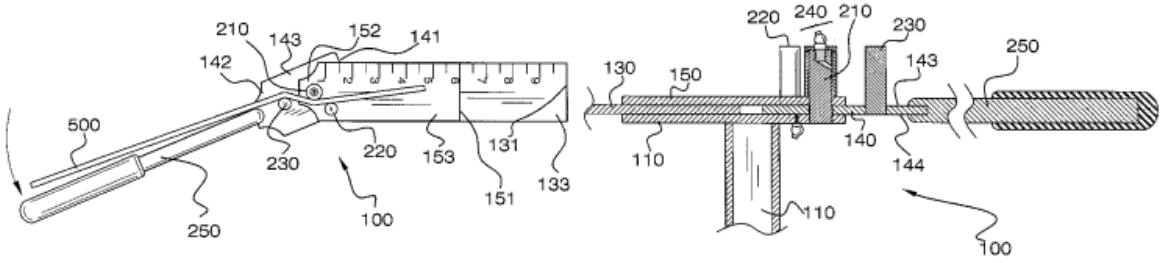


Fig. 8. Patente US7624608B1. Principio de funcionamiento de una dobladora manual [23].

En la fabricación de estribos de acero, muchas máquinas comerciales se basan en mecanismos de doblez similares al descrito en la patente US7624608B1 de Evans (2009). Estas máquinas suelen incluir una mesa de trabajo hueca con un mecanismo de accionamiento motorizado que transmite movimiento a un sistema de doblado, generalmente reducido mediante engranajes para mayor precisión.

Sobre la superficie se coloca un plato giratorio provisto de múltiples orificios de posicionamiento que permiten insertar elementos de sujeción, manteniendo la varilla en la posición correcta durante el doblez.

El mecanismo de retención, compuesto por bloques deslizantes y un cilindro neumático, permite acercar los bloques al lado izquierdo o derecho del plato giratorio para sostener el refuerzo durante la operación. Este diseño ha demostrado ser eficiente y seguro, por lo que la mayoría de las máquinas dobladoras de varilla comercializadas actualmente adoptan variantes de este principio mecánico para garantizar la precisión en los ángulos de doblado y reducir el riesgo ergonómico para los operadores [24].

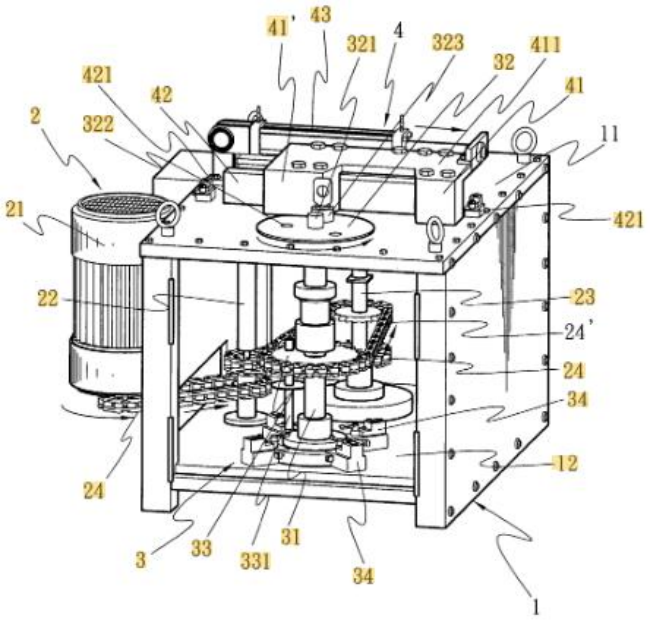


Fig. 9. Patente US7739893B2. Máquina dobladora con plato rotario [24].

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico se desarrolló de forma secuencial. En primer lugar, se identificó el problema existente en el proceso manual de fabricación de estribos de la empresa a la cual va dirigido este proyecto, poniendo énfasis en las condiciones de trabajo y las limitaciones técnicas del método actual. Posteriormente, se realizó la medición experimental de la fuerza requerida para el doblado de la varilla y el análisis de la normativa establecida.

Con base en la información obtenida, se procede a generar la matriz QFD para obtener los requerimientos de la máquina dobladora, y así la evaluación de las distintas alternativas de solución y la definición constructiva del sistema seleccionado. Finalmente, se llevó a cabo la validación técnica y ergonómica de la solución propuesta, con el objetivo de comprobar su viabilidad y su aporte a la mejora del proceso de fabricación de estribos.

3.2 Enfoque de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación, así como para el diseño, construcción y validación de la máquina dobladora de estribos, se emplearon diversas herramientas metodológicas organizadas de acuerdo con las distintas etapas del proyecto.

En la fase de investigación se aplicó la técnica de observación directa del proceso manual de fabricación de estribos en la empresa objeto de estudio, lo que permitió identificar los elevados esfuerzos físicos, los movimientos repetitivos y las principales deficiencias técnicas presentes durante la conformación del estribo.

Posteriormente, se realizó una medición experimental, basada en la aplicación de la fuerza necesaria para el doblado de la varilla, utilizando una balanza como instrumento de medición. Esta medición permitió obtener datos cuantificables del proceso de doblado, enmarcando la investigación dentro de un enfoque cuantitativo [25].

Como fuentes de información secundarias, se llevó a cabo una revisión bibliográfica y normativa, tomando como referencia los lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-HM) y la norma técnica NTE INEN 2167, con el fin que el diseño propuesto cumpla con los requisitos técnicos y reglamentarios vigentes [25, 12].

Durante la etapa de diseño se realizaron los cálculos necesarios para definir los parámetros de fuerza, velocidad y potencia del sistema, los cuales permitieron dimensionar adecuadamente sus componentes y asegurar un funcionamiento eficiente. De manera complementaria, se aplicó una metodología de diseño concurrente, facilitando la generación y evaluación de diversas alternativas conceptuales y promoviendo una visión integral del proceso de diseño.

Para la identificación de los requerimientos del sistema, se desarrolló un procedimiento investigativo de enfoque cuantitativo basado en la aplicación de encuestas, cuyos resultados fueron utilizados para la elaboración de la matriz de despliegue de la función de la calidad (QFD). Finalmente, la selección de la alternativa de diseño más adecuada se realizó mediante una matriz de ponderación de criterios, permitiendo una toma de decisión objetiva y fundamentada en función de los requerimientos técnicos y funcionales establecidos [25, 26].

En la fase de construcción se definieron los materiales y los procesos de manufactura, considerando tanto la disponibilidad en el mercado ecuatoriano como criterios de factibilidad técnica y constructiva.

Finalmente, en la etapa de validación se verificó el cumplimiento de los requerimientos técnicos, normativos y ergonómicos establecidos para la máquina dobladora propuesta.

Fases y actividades del proyecto

Fase 1: Investigación y levantamiento de información. Objetivo de la fase: identificar los requerimientos técnicos, normativos y operativos para el diseño de la máquina dobladora de estribos.

Actividades:

1. Consulta con la constructora sobre parámetros de fabricación de estribos. Recolección de información práctica sobre dimensiones, tipos de estribos y condiciones de uso en obra.

2. Recopilación de normativa técnica aplicable. Levantamiento de información en el ente regulador de construcciones civiles sobre reglamentos y normas relacionadas con la fabricación y uso de estribos.

3. Revisión bibliográfica y documental. Análisis de documentación técnica y antecedentes sobre procesos manuales y mecanizados de fabricación de estribos.

Fase 2: Diseño del sistema. Objetivo de la fase: desarrollar el diseño conceptual y estructural de la máquina dobladora.

Actividades:

4. Definición de condiciones de diseño del sistema. Establecimiento de criterios técnicos para la armadura y estabilidad del sistema, considerando cargas, geometría y operación.

5. Diseño del sistema semiautomático de doblado. Desarrollo del diseño funcional del mecanismo de doblado mediante herramientas de diseño asistido por computadora (CAD).

6. Diseño de la estructura base guía. Diseño de la estructura que soporta y guía el proceso de doblado, asegurando estabilidad y correcto funcionamiento.

Fase 3: Construcción e implementación de la máquina

Objetivo de la fase: materializar el diseño desarrollado y poner en funcionamiento la máquina.

Actividades:

7. Adquisición de materiales y componentes. Compra y selección de los elementos necesarios para la construcción de la máquina.

8. Armado de la estructura externa de la máquina. Ensamblaje de la estructura principal conforme a los planos de diseño.

9. Integración de componentes de control y guiado. Instalación de los componentes mecánicos necesarios para el control del proceso y el guiado de los estribos.

Fase 4: Validación y evaluación del funcionamiento. Objetivo de la fase: verificar el desempeño, funcionamiento y productividad de la máquina diseñada.

Actividades:

10. Pruebas de funcionamiento con varilla. Evaluación del funcionamiento de la máquina mediante pruebas reales de doblado.

11. Comparación con el proceso manual de fabricación. Análisis comparativo entre los estribos fabricados manualmente y los producidos por la máquina, evaluando calidad y eficiencia.

12. Evaluación de resultados y validación del sistema. Verificación del cumplimiento de los requerimientos técnicos y funcionales mediante comprobación del desempeño y aplicación de encuestas a personal capacitado.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Diseño Conceptual

4.1.1 Revisión de información y definición de límites.

Durante esta etapa del proyecto se toman en cuenta varios aspectos que se ha solicitado por parte de la empresa a la cual va destinada la máquina, las especificaciones vienen dadas por el entorno en el cual se trabaja y las condiciones bajo las cuales se mantendrá funcionando.

Con esto se logran establecer los límites en los cuales el proyecto resuelva el problema planteado, que el equipo esté adecuado a las necesidades que tiene la empresa y que tenga una correcta funcionalidad para el usuario final. Para esto es importante seguir la aplicación de la metodología QFD y una matriz morfológica, para obtener de manera cuantitativa los requerimientos más importantes para el cumplimiento de los objetivos, el detalle de los diferentes sistemas de la máquina y la visión cuantitativa que permita evaluar nuestra solución de manera objetiva para el correcto desarrollo de la misma.

Como resultado de esta etapa, los requerimientos del cliente, definidos a partir de la información recopilada y de las necesidades de la empresa, se presentan en la Tabla III, donde se detallan los “qués” del proyecto junto con su nivel de importancia y ponderación correspondiente.

De manera complementaria, en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se p resentan las características técnicas del sistema, que representan los “cómos” del diseño, es decir, las soluciones técnicas mediante las cuales se dará cumplimiento a los requerimientos establecidos. Ambas tablas constituyen la base para la construcción de la matriz de Despliegue de la Función de la Calidad (QFD), permitiendo relacionar de forma estructurada las necesidades del cliente con las decisiones técnicas del diseño de la máquina dobladora de estribos.

Tabla III

Requerimientos del cliente.

Requerimientos	Importancia del cliente	% de ponderación
Que doble la varilla con facilidad.	9	9,18%
Que sea seguro para el operador.	10	10,20%
Que sea de fácil operación.	7	7,14%
Que sea robusto.	4	4.08%
Que tenga repuestos del mercado local.	9	9,18%
Que tenga larga vida útil.	9	9,18%
Que sea económico.	10	10,20%
Que sea compacto.	2	2,04%
Que no contamine el ambiente.	7	7,14%
Que se ajuste el ángulo de doblez.	10	10,20%
Que sea completamente automática.	5	5,10%
Que sea veloz.	7	7,14%
Que tenga fácil mantenimiento.	9	9,18%
Total		100%

Nota: La Tabla III Muestra los requerimientos del cliente para la elaboración de la máquina dobladora.

En base a la Tabla III presentada con los requerimientos que necesita tener la máquina se observa que existen características que destacan por sobre otras siendo las que tienen mayor porcentaje las que tienen más importancia para nuestro usuario final.

La comparación de estos atributos enfoca una idea clara de cuáles son los puntos más importantes a tener en cuenta para cumplir con los objetivos de manera adecuada, satisfaciendo cada una de las necesidades establecidas.

Tabla IV

Características técnicas del sistema

Criterio	Características técnicas	Descripción
C1	Torque de doblado	Capacidad del sistema para generar el momento necesario para el doblado de la varilla.
C2	Calidad de materiales	Tipo y resistencia de los materiales empleados en la estructura y mecanismos.
C3	Materiales disponibles en el mercado local	Disponibilidad de componentes y repuestos en el mercado ecuatoriano.
C4	Mecanismo de transmisión de potencia (TP)	Sistema mecánico encargado de transmitir la fuerza de accionamiento al mecanismo de doblado.
C5	Nivel de automatización	Grado de intervención del operador durante el proceso de dobla
C6	Dimensiones del equipo	Tamaño general de la máquina y espacio requerido para su insta
C7	Peso del equipo	Masa total del sistema, relacionada con estabilidad y facilidad d
C8	Costo	Costo estimado de fabricación y adquisición de la máquina.
C9	Seguridad del operador	Elementos de protección y diseño seguro durante la operación d

Nota: La Tabla IV Muestra las características del sistema para la elaboración de la máquina dobladora.

4.1.2 Determinación de los parámetros requeridos

Para iniciar con el proceso de diseño re realiza un desglose funcional que valora los aspectos más importantes de la maquina teniendo una idea más clara de las características que se deben priorizar al momento de diseñar la dobladora la cual sigue una secuencia de operaciones para llegar al resultado deseado que es la elaboración del estribo.

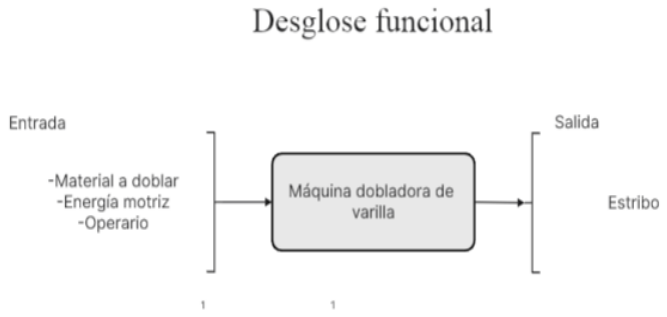


Fig. 10. Entrada y salida de la máquina dobladora.

Como se muestra en la Figura 9 la máquina dobladora tiene un desglose simple que facilita al operador y evita que este haga uso de la fuerza para generar los dobleces necesarios para convertir las varillas de acero en estribos, a la misma se debe introducir la varilla previamente cortada a la media a la cual se establezca el estribo, luego, mediante un accionamiento manual inicia el proceso de doblado y se retira un estribo que se usa en estructuras de hormigón armado.

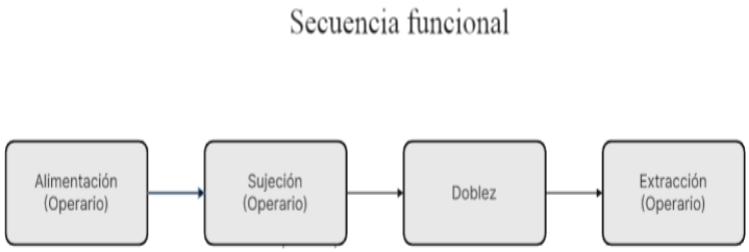


Fig. 11.Secuencia funcional.

Para llegar a tener un estribo usando la máquina dobladora de varilla es necesario tener en cuenta que un operador será el encargado de alimentar la máquina con la varilla accionar el mecanismo para el doblado y extraer el estribo realizado, este proceso se divide en 4 fases: Alimentación, que se encarga de suministrar la varilla a la máquina; la sujeción, que evita que el estribo presente deformaciones o dimensiones incorrectas; el doblez, que constituye la función principal de la máquina; y finalmente la extracción del estribo, retirándolo de la máquina para que esta pueda ser nuevamente suministrada con material y continuar el ciclo de operación.

El doblez es la parte más importante de la máquina dobladora, ya que corresponde a un movimiento repetitivo mediante el cual se conforma el estribo. El primer y el último doblez se realizan a un ángulo de 135°, con el fin de generar un gancho que proporciona una sujeción adicional, tanto para el amarre del estribo previo al vertido de la mezcla de concreto como para el refuerzo estructural que este brinda. Los dobleces intermedios se realizan a 90°, definiendo la geometría del estribo. Para ello, el operario acciona la máquina una vez que la varilla se encuentra correctamente posicionada. Una vez culminado el proceso de doblado, el operario extrae el estribo conformado, dejando la máquina lista para la fabricación de una nueva pieza.

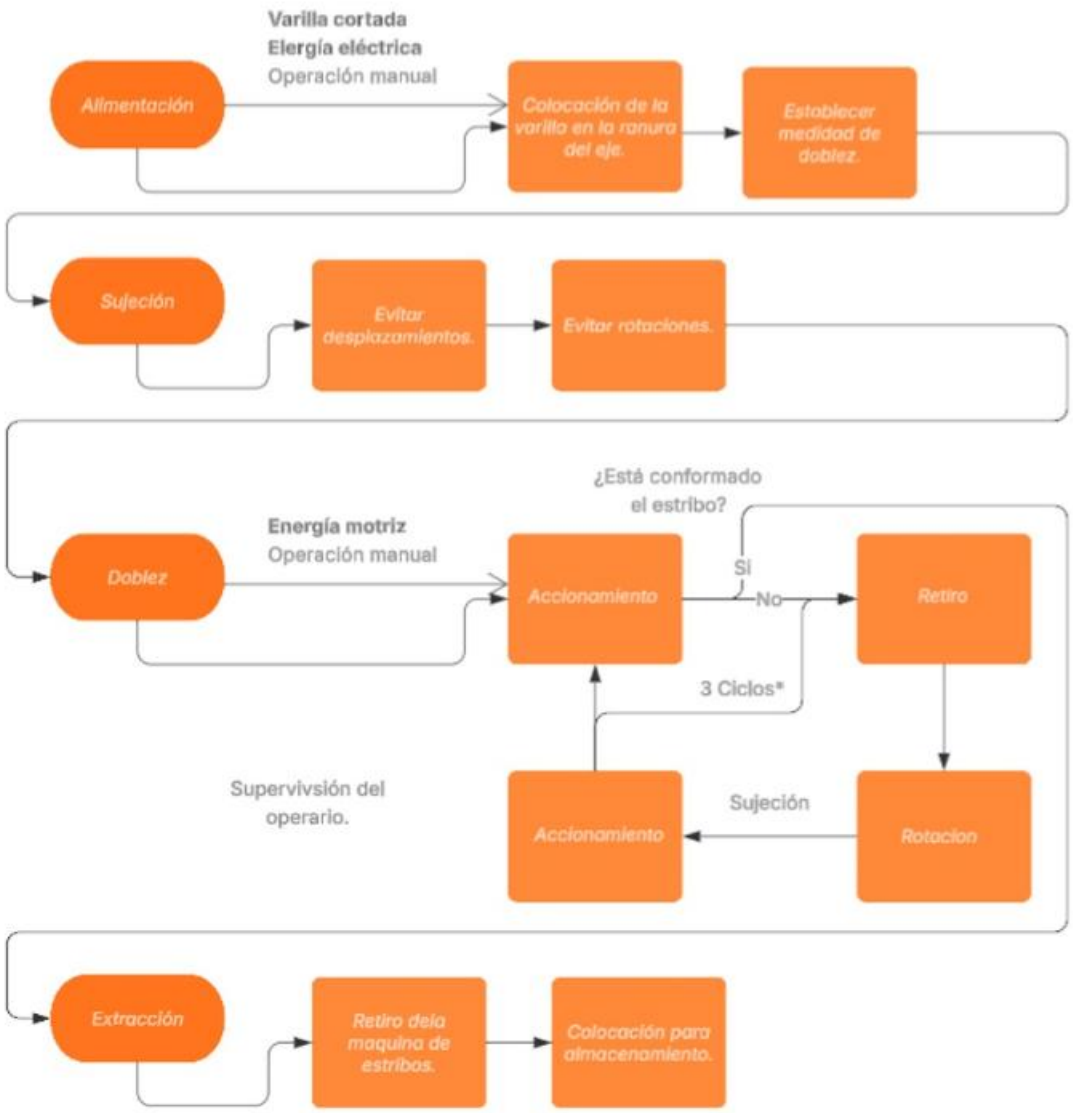


Fig. 12. Estructura funcional de la máquina dobladora.

Nota: Desglose funcional de la máquina dobladora de varilla.

Una vez realizado el análisis funcional de la máquina dobladora se definen los criterios derivados de la aplicación de la matriz QFD los denominados ¿Cómo?, a partir de la interpretación de los requerimientos del cliente (¿Qué?). Estos ¿Cómo? representan características técnicas y cuantificables que debe cumplir la máquina dobladora de varilla y se presentan en la Tabla IV.

Posteriormente, mediante la aplicación de la Casa de la Calidad o matriz QFD, se establece la relación entre los requerimientos del cliente y los requerimientos técnicos definidos, lo que permite priorizar los criterios de diseño en función de su impacto sobre las necesidades del usuario. De esta manera, la matriz QFD no genera los ¿Cómo?, sino que actúa como una herramienta de análisis y apoyo para identificar los aspectos más relevantes que deben considerarse durante el desarrollo del diseño de la máquina dobladora, lo cual se muestra en la figura correspondiente.

					Columna #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
					Direction of Improvement	▲	▲	▲	◇	▲	◇	▼	▼	▲	
Row #	Peso	Peso Relativo	Importancia del Cliente	Relación máxima	Requerimiento del Cliente (Explicit and Implicit) / Functional Requirements	Torque	Calidad de materiales	Materiales dentro del mercado	Mecanismo de TP	Automatización	Dimensiones	Peso	Precio	Velocidad	Seguridad
1		9%	9	9	Que doble la varilla con facilidad.	●			●				○	○	●
2		10%	10	9	Que sea seguro para el operador				●	●			○		●
3		7%	7	9	Que sea de fácil operación				○	●					
4		4%	4	9	Que sea robusto	●	●					●	○		○
5		9%	9	9	Que tenga repuestos del mercado local		○	●					○		
6		9%	9	9	Que tenga larga vida útil	●	●								
7		10%	10	9	Que sea económico	▽	▽	●	▽	○			●		▽
8		2%	2	9	Que sea compacto				●	○	●	○			
9		7%	7	3	Que no contamine el ambiente	○		○							○
10		10%	10	9	Que se ajuste el àngulo de doblez					●			○		
11		5%	5	9	Que sea completamente automática					●			▽		
12		7%	7	9	Que sea veloz	●	○				○		○	●	
13		9%	9	9	Que tenga fácil mantenimiento			●			○				○

Fig. 13. Requerimientos de la matriz QFD.

En este apartado se exponen los resultados más relevantes obtenidos a partir de su análisis. La aplicación de la matriz QFD permitió relacionar los requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos del diseño, así como evaluar la viabilidad del desarrollo de la máquina dobladora de varilla frente a soluciones existentes en el mercado.

En este análisis se realizó una comparación entre los requerimientos establecidos para la máquina propuesta y tres máquinas similares disponibles comercialmente, con el objetivo de analizar su posicionamiento frente a la competencia. Dos de las máquinas consideradas están orientadas a aplicaciones industriales, mientras que la tercera corresponde a una alternativa de menor costo, fabricada con materiales accesibles, la cual presenta deficiencias que justifican la necesidad del desarrollo del presente proyecto.

La comparación se llevó a cabo mediante un criterio de evaluación basado en las características técnicas y funcionales consideradas esenciales para una máquina dobladora de estribos orientada a pequeños volúmenes de producción, tomando como referencia los requerimientos del cliente establecidos en la Tabla III, así como la información técnica disponible en las plataformas de comercialización de los equipos analizados. Entre los aspectos evaluados se incluyen la operación, facilidad de uso, velocidad de trabajo y seguridad, entre otros.

A partir de este análisis, se elaboró la comparación de productos como se puede apreciar en la Fig. 15 en la que se evaluaron las cualidades de las tres máquinas seleccionadas frente a los requerimientos establecidos para el diseño.

Luego, se generó un gráfico comparativo que representa las ponderaciones asignadas a cada uno de los requerimientos, destacando cómo cada una de las opciones se desempeña frente a los criterios establecidos. Este gráfico permite visualizar claramente las diferencias en las prestaciones de cada máquina. Esto proporciona una visión clara de las ventajas y limitaciones de cada alternativa en relación con la máquina diseñada, facilitando la toma de decisiones para el desarrollo del proyecto.



Fig. 14. Competidores.

Row #	Peso	Peso Relativo	Importancia del Cliente	Relación máxima	Requerimiento del Cliente (Explicit and Implicit) / Functional Requirements	Our Product	Competidor #1: *Maquina Manual*	Competitor #2: *Dobladora Brb-25 E*	Competitor #3: *Del-36*	Competitor #4: *SIMA Modelo Del-50*
1		9%	9	9	Que doble la varilla con facilidad.	5	0	4	4	5
2		10%	10	9	Que sea seguro para el operador	5	1	3	3	4
3		7%	7	9	Que sea de fácil operación	3	2	4	3	4
4		4%	4	9	Que sea robusto	3	1	3	3	4
5		9%	9	9	Que tenga repuestos del mercado local	5	4	1	2	1
6		9%	9	9	Que tenga larga vida útil	3	2	3	3	4
7		10%	10	9	Que sea económico	5	5	1	2	1
8		2%	2	9	Que sea compacto	2	5	4	3	2
9		7%	7	3	Que no contamine el ambiente	3	5	4	3	2
10		10%	10	9	Que se ajuste el ángulo de doblez	2	2	3	3	4
11		5%	5	9	Que sea completamente automática	3	0	4	4	4
12		7%	7	9	Que sea veloz	3	1	3	4	3
13		9%	9	9	Que tenga fácil mantenimiento	4	4	3	3	3
14										
15										
16										

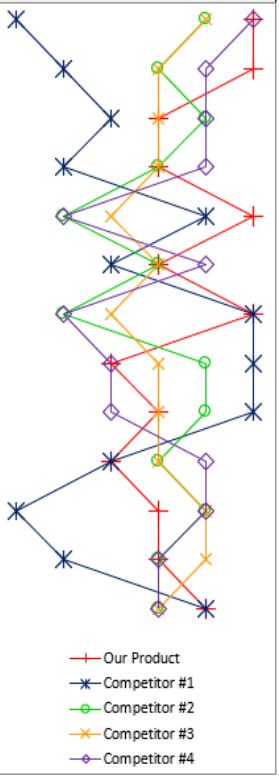


Fig. 15. Comparación de productos.

4.1.3 Matriz morfológica

Una vez analizado y organizado las funciones esenciales que comprenden el proyecto se puede distinguir que el eje principal del proyecto se enfoca en el doblez de la varilla y el control de la máquina dobladora por lo que se establecen soluciones a los problemas presentados en el mismo, con posibles conexiones entre cada una de estas soluciones.

Luego de trazar las conexiones entre los requerimientos del cliente y los requerimientos técnicos se descarta aquellas relaciones que no sean viables o que, en el caso de emplearse, no ayude con el diseño y perjudique aún más los aspectos que debería cumplir la máquina teniendo en cuenta todos los caminos viables que puedan llegar a ser una posible solución para el diseño de esta. Debido a que la máquina no es completamente automática, un operador va a encargarse del suministro y la sujeción de la varilla en el proceso de doblado por lo que no se toman en cuenta para el desarrollo de la matriz.

Así mismo ninguna solución que contenga la transmisión manual puede ser considerada ya que es específicamente lo que se debe evitar, las lesiones que con esto conlleva.

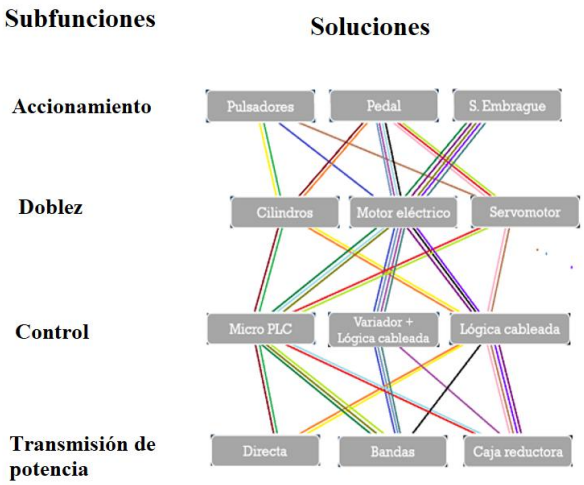


Fig. 16. Posibles soluciones.

Así se descarta directamente Las opciones que tengan suministro, sujeción y extracción teniendo con las siguientes opciones viables, obtenidas en Fig. 16.

S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S10 S11 S12 S13 S14 S15 S16 S17 S18

Para el accionamiento de la máquina se tiene que tener en cuenta que el operador va a mantener las manos ocupadas sujetando la varilla por lo que una botonera sería inviable y traería más problemas, dificultando la correcta operación de la máquina, es aquí donde interviene el uso de un pedal o un sistema de embrague que pueda accionar el mecanismo con el pie y mantenga las manos libres para operar la varilla.

También se puede descartar cualquier opción que tenga que ver con accionamiento por botones quedando únicamente 14 alternativas viables, que tiene un suministro, sujeción y extracción de varilla manualmente.

Ahora, un variador de frecuencia tiene varias ventajas que pueden facilitar el proyecto, sin embargo posee al igual varias desventajas a comparación de los otros métodos para controlar el sistema de doblado, en primer lugar la complejidad de accionamiento ya que se necesitaría incrementar lógica cableada para monitorear la operación, además en este proyecto es importante tener un control preciso de la velocidad para evitar que los estribos sean irregulares, y siendo un trabajo que necesita un alto torque para cumplir los objetivos se descarta este método de doblado.

Se descarta las opciones de servomotor con micro PLC ya que para un movimiento oscilatorio no es necesario un control complejo y usar ambos para este fin puede llegar a ser exagerado, al igual que el uso del micro PLC con los cilindros ya que este no mejoraría la automatización sino más bien ampliaría la complejidad del proyecto sin generar beneficios.

Quedando las siguientes soluciones válidas para este proyecto.

S6: Accionamiento por pedal, con cilindro neumático con transmisión directa, usando lógica cableada para el control.

S9: Accionamiento por pedal de un motor eléctrico controlado por un micro PLC usando una caja reductora para la transmisión de potencia.

S10: Accionamiento por pedal de un motor eléctrico control a través de lógica cableada y un sistema de bandas para la transmisión de potencia.

S11: Accionamiento por pedal de un servomotor controlado a través de lógica cableada, usando una caja reductora para la transmisión de potencia.

S14: Accionamiento mediante un sistema de embrague controlado por un motor eléctrico, gestionado por un micro PLC, utilizando un sistema de bandas para la transmisión de potencia.

S15: Accionamiento mediante un sistema de embrague controlado por un motor eléctrico, gestionado a través de lógica cableada, usando una caja reductora para la transmisión de potencia.

S17: Accionamiento mediante un sistema de embrague controlado por un motor eléctrico, gestionado a través de lógica cableada, utilizando un sistema de bandas para la transmisión de potencia.

Para cada uno de los criterios se establecen ponderaciones que lo valoran de forma precisa, para posteriormente cuantificarlo por el porcentaje de importancia obtenido en la matriz QFD obteniendo una valoración cuantitativa de las características que tiene nuestro proyecto, finalmente se suman los resultados de cada solución y se determina la de mayor valor, siendo esta la mejor alternativa que reúne la mayor ponderación de las soluciones.

Segundo paso:

Establecer el porcentaje de importancia de los criterios obtenidos en la matriz QFD mostrada en Fig. 13.

Basado en la matriz QFD se obtiene la siguiente tabla:

Tabla V

Valoración de criterios en la matriz QFD

Criterios	Código	Ponderación
Materiales	C1	24%
Sistema de doblado	C2	27%
Automatización	C3	17%
Dimensión y peso	C4	6%
Precio	C5	13%
Seguridad	C6	13%

Tabla VI

Ponderación entre criterios

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	No de veces	Importancia
C1		0	1	1	1	1	5	23.8%
C2	1		1	1	1	1	6	28.6%
C3	0	0		1	1	1	4	19.0%
C4	0	0	0		0	0	1	4.8%
C5	0	0	0	1		0.5	2.5	11.9%
C6	0	0	0	1	0.5		2.5	11.9%

Tabla VII

Ponderación del criterio 1 con alternativas

	Materiales								
Criterio 1	Alternativas	S6	S9	S10	S11	S14	S15	S17	No veces	Importancia
	S6		0	0	1	1	0	0	2	9.5%
	S9	1		0	1	1	0	0	3	14.3%
	S10	1	1		1	1	1	1	6	28.6%
	S11	0	0	0		0	1	0	1	4.8%
	S14	0	0	0	1		0	0	1	4.8%%
	S15	1	1	0	0	1		0	3	14.3%
	S17	1	1	0	1	1	1		5	23.8%
				Total					21	100%

Tabla VIII

Ponderación del criterio 2 con alternativas

	Sistema de doblado								
Criterio 2	Alternativas	S6	S9	S10	S11	S14	S15	S17	No veces	Importancia
	S6		1	0	0	1	0	1	3	14.3%
	S9	0		1	0.5	1	0.5	1	4	19.0%
	S10	1	0		0	0.5	0	0.5	2	9.5%
	S11	1	0.5	1		1	0.5	1	5	23.8%
	S14	0	0	0.5	0		0	0.5	1	4.8%
	S15	1	0.5	1	0.5	1		1	5	23.8%
	S17	0	0	0.5	0	0.5	0		1	4.8%
				Total					21	100%

Tabla IX

Ponderación del criterio 3 con alternativas

	Sistema de doblado								
Criterio 3	Alternativas	S6	S9	S10	S11	S14	S15	S17	No veces	Importancia
	S6		0	0.5	0	0	0.5	1	2	9.5%
	S9	1		1	1	0.5	1	1	5.5	26.2%
	S10	0.5	0		0	0	0	0.5	1	4.8%
	S11	1	0	1		0	1	1	4	19.0%
	S14	1	0.5	1	1		1	1	5.5	26.2%
	S15	0.5	0	1	0	0		1	2.5	11.9%
	S17	0	0	0.5	0	0	0		0.5	2.4%
				Total					21	100%

Tabla X

Ponderación del criterio 4 con alternativas

	Sistema de doblado								
Criterio 4	Alternativas	S6	S9	S10	S11	S14	S15	S17	No veces	Importancia
	S6		0	0	0	0	0	0	0	0%
	S9	1		1	0	1	0.5	1	4.5	21.4%
	S10	1	0		0	0	0	1	2	9.5%
	S11	1	1	1		1	1	1	6	28.6%
	S14	1	0	1	0		0	1	3	14.3%
	S15	1	0.5	1	0	1		1	4.5	21.4%
	S17	1	0	0	0	0	0		1	4.8%
				Total					21	100%

Tabla XI

Ponderación del criterio 5 con alternativas

	Sistema de doblado								
Criterio 5	Alternativas	S6	S9	S10	S11	S14	S15	S17	No veces	Importancia
	S6		1	0	0.5	1	1	0	3.5	16.7%
	S9	0		0	1	0	1	0	2	9.5%
	S10	1	1		1	0	1	1	5	23.8%
	S11	0.5	0	0		0	0	0	0.5	2.4%
	S14	0	1	1	1		0.5	0	3.5	16.7%
	S15	0	0	0	1	0.5		0	1.5	7.1%
	S17	1	1	0	1	1	1		5	23.8%
				Total					21	100%

Tabla XII

Ponderación del criterio 6 con alternativas

	Sistema de doblado								
Criterio 4	Alternativas	S6	S9	S10	S11	S14	S15	S17	No veces	Importancia
	S6		0	0	0	0	0	0	0	0%
	S9	1		1	0.5	1	0.5	1	5	23.8%
	S10	1	0		0	0	0	0.5	1.5	7.1%
	S11	1	0.5	1		1	0.5	1	5	23.8%
	S14	1	0	1	0		0	1	3	14.3%
	S15	1	0.5	1	0.5	1		0	4	19%
	S17	1	0	0.5	0	0	1		2.5	11.9%
				Total					21	100%

Tabla XIII

Tabla de criterios

	Criterios							
Tabla de criterios	Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Ponderación de las soluciones
	S6	0.02	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00	0.101
	S9	0.03	0.05	0.05	0.01	0.01	0.03	0.188
	S10	0.07	0.03	0.01	0.00	0.03	0.01	0.146
	S11	0.01	0.07	0.04	0.01	0.00	0.03	0.160
	S14	0.01	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.118
	S15	0.03	0.07	0.02	0.01	0.01	0.02	0.166
	S17	0.06	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.120

Finalmente tenemos la tabla de Alternativas vs criterios que muestra las ponderaciones de cada una de las soluciones en base a la ponderación de los criterios.



Fig. 17. Solución en base a la ponderación de criterios.

4.1.4 Diseño de la máquina

Una vez obtenidos los requerimientos del diseño y la información aportada por la competencia que se encuentra en el mercado local se inicia con el boceto de la máquina dentro del cual se encuentren los parámetros para que pueda funcionar la máquina con normalidad y su implementación sea exitosa, se analizar todos los componentes para obtener una mayor información de estos y tener en cuenta ciertas restricciones que se puedan encontrar en la implementación de la máquina.



Fig. 18. Elementos de accionamiento.

El uso de botones o pedales en una máquina dobladora ofrece ventajas y desventajas según las necesidades operativas.

Ventajas de los botones incluyen mayor precisión en el control, ya que permiten al operador realizar ajustes más finos al tener las manos cerca de los comandos, lo cual es ideal para trabajos que requieren alta precisión. Sin embargo, desventajas como la menor velocidad y la necesidad de mover constantemente las manos entre el material y los controles pueden hacer que sea un proceso más lento. Por otro lado, los pedales permiten ventajas como mayor ergonomía y velocidad, ya que el operador puede usar los pies para accionar la máquina mientras manipula el material con las manos, optimizando la eficiencia.

La desventaja principal es que puede requerir más coordinación, lo que puede no ser ideal para tareas que demanden una alta precisión o para operadores menos experimentados.



Fig. 19. Elementos de torque.

El uso de un motor eléctrico, cilindros neumáticos y un servomotor en una máquina dobladora tiene ventajas y desventajas según el tipo de trabajo y precisión requerida. Los motores eléctricos son fiables, fáciles de mantener y tienen un costo relativamente bajo. Son ideales para aplicaciones donde no se necesita una precisión extrema, pero su control de velocidad y posición es limitado.

Los cilindros neumáticos ofrecen una operación rápida y sencilla, siendo ideales para trabajos repetitivos de baja a media complejidad; sin embargo, carecen de precisión en el control de la fuerza y el movimiento, y pueden requerir un sistema de aire comprimido, lo que añade costos adicionales.

El servomotor, por otro lado, proporciona una precisión y control excepcionales, permitiendo ajustar con exactitud la velocidad, posición y fuerza, lo que es ventajoso para trabajos que demandan alta precisión y repetibilidad. No obstante, su costo es mayor y puede requerir un mantenimiento más especializado comparado con los otros sistemas.

Movimiento y transmisión.

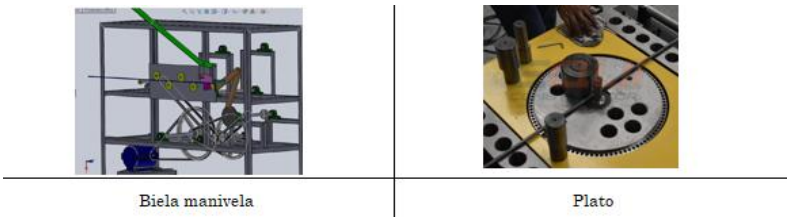


Fig. 20. Tipos de movimiento para el doblado.

La automatización en una máquina dobladora puede lograrse de diferentes maneras, cada una con sus ventajas y desventajas al usar PLC, lógica cableada o un variador de frecuencia. El PLC (Controlador Lógico Programable) ofrece la mayor flexibilidad y escalabilidad, ya que permite programar y ajustar fácilmente secuencias complejas, integrar sensores y realizar diagnósticos, lo que facilita el mantenimiento y la adaptación a nuevos procesos. Sin embargo, puede requerir una inversión inicial mayor y conocimientos especializados en programación.

La lógica cableada, es más económica y simple para procesos fijos, pero presenta desventajas como la falta de flexibilidad, ya que cualquier cambio o ajuste requiere una modificación física del cableado, lo que puede ser lento y costoso.

El variador de frecuencia se destaca en aplicaciones donde el control de la velocidad del motor es clave, permitiendo ajustes dinámicos y mejorando la eficiencia energética. Sin embargo, su automatización es limitada a las funciones de control de velocidad, y no tiene la capacidad de gestionar secuencias complejas como lo haría un PLC.

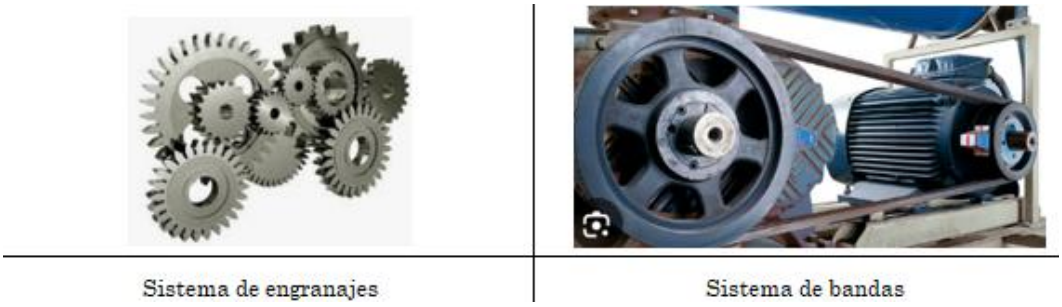


Fig. 21. Sistemas de transmisión de potencia.

La automatización de una máquina dobladora de varilla puede implementarse utilizando distintos mecanismos, como un sistema biela-manivela, un sistema de engranajes o un sistema de bandas accionadas por un motor con inversión de giro. El sistema biela manivela es robusto y confiable para doblar varilla, proporcionando un movimiento repetitivo y mecánicamente sencillo. Su ventaja es la simplicidad y bajo costo de mantenimiento, pero su desventaja es que tiene una flexibilidad limitada en cuanto a la precisión y el ajuste de ángulos de doblado.

El sistema de engranajes, en cambio, permite mayor precisión y control en el proceso de doblado, ya que la relación de engranajes puede ajustarse para obtener diferentes ángulos y fuerzas. Aunque es más eficiente para aplicaciones de alta precisión, es más costoso y su mantenimiento es más complicado debido al desgaste de los engranajes. Por último, el sistema de bandas accionadas por un motor con inversión de giro proporciona ventajas como la capacidad de invertir el movimiento rápidamente y ajustarse fácilmente mediante un control eléctrico.

Este sistema es más flexible para aplicaciones que requieren cambios frecuentes en el sentido de doblado, pero su desventaja es que las bandas pueden desgastarse más rápidamente y requieren un mantenimiento más frecuente, además de que pueden no ser tan precisas como los engranajes en operaciones de alta precisión.

4.1.5 Sistema de Potencia

Este sistema proporciona la potencia suficiente para doblar materiales de acero sin esfuerzo excesivo. Además, la inversión de giro permite doblar en ambas direcciones sin necesidad de reposicionar la varilla, optimizando el proceso de trabajo.

4.1.6 Sistema de Transmisión

La potencia del motor se transfiere al plato doblador mediante un sistema de bandas. Este plato cuenta con un eje móvil, el cual dobla la varilla apoyándose sobre un eje fijo en la mesa. Los rodamientos en los puntos clave reducen la fricción y permiten un movimiento suave y preciso durante el proceso de doblado.

Este sistema absorbe las vibraciones y reduce el desgaste, prolongando la vida útil de los componentes. Además, garantiza precisión en el doblado gracias al eje fijo en la mesa que mantiene la varilla en su posición. La inclusión de rodamientos permite suavidad en el movimiento al reducir la fricción, haciendo que el sistema sea más eficiente.

4.1.7 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico se encarga de la protección, control y operación segura de la máquina. Los contactores y relés térmicos aseguran la seguridad del motor frente a sobrecargas, mientras que los pulsadores y pedales permiten un control ergonómico, dejando las manos libres al operador. Las lámparas indicadoras y finales de carrera monitorean el estado de la máquina, y el botón de paro de emergencia permite detener la máquina de forma rápida en caso de cualquier eventualidad.

4.2.1 Estructura

La estructura de la máquina está construida con tubos cuadrados, seleccionados para soportar las fuerzas generadas durante el doblado y brindar una base estable y segura además de ser muy comunes dentro del mercado.

La estructura ofrece robustez y estabilidad, proporcionando una plataforma sólida que soporta el trabajo de doblado sin deformarse. Además, la resistencia del material asegura la durabilidad de la máquina, permitiendo una larga vida útil. El diseño ergonómico permite que el operador trabaje en una postura cómoda, mejorando la productividad y reduciendo la fatiga.

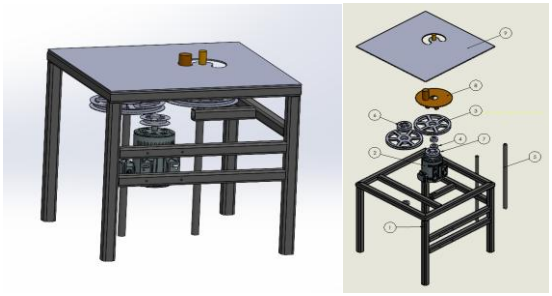


Fig. 22. Explosión del primer diseño.

Si bien el diseño presentado en la Fig. 22 no es el diseño final de la máquina nos da bastante información para poder iniciar con la seño final que va a tener en cuenta dolo lo antes mencionado, principalmente el resultado del análisis de soluciones por ponderación de criterios.

4.2 Diseño Mecánico

4.2.2 Dimensiones de la máquina

Es importante tener en cuenta que durante el diseño que la máquina sea compacta no es tan necesario teniendo una calificación no tan significativa, se tienen que tomar aspectos que le afectan directamente como el precio que tienen los materiales de los cuales se va a construir, por lo que se lo hará lo más compacta posible cumpliendo con los objetivos planteados y los alcances definidos previamente.

Teniendo el diseño preliminar se puede apreciar que la estructura tiene alrededor de 80cm * 50cm de ancho por lo que se tomaron estas medidas iniciales para empezar a dibujar, ahora, los componentes seleccionados que van a dar pie a la construcción de la máquina son principalmente el motor, la caja reductora y sistema base-guía por lo que el tamaño de la estructura seleccionado es el correcto, para insertar los componentes de tienen que tener en cuenta los puntos donde van sujetas cada uno de los componentes.

En el presente diseño conceptual de la máquina dobladora automática, se detalla el cálculo de la fuerza necesaria a ser aplicada como elemento de la selección preliminar del sistema motriz, con el propósito de deformar plásticamente una varilla de acero a un ángulo de 135 y 90 grados.

Caracterización del Material y Dimensiones de la Varilla

Para un dimensionamiento preciso, se establecen las siguientes propiedades mecánicas y dimensiones de la varilla de acero:

Diámetro de la varilla (d): 8 mm (0.008 m).

Longitud de la varilla: 6 cm (0.06 m). La varilla se doblará desde para formar el gancho, lo que define la longitud de la palanca efectiva.

Límite Elástico (σy): 482 MPa (482×10^6 N/m2). Este valor es crucial, ya que representa la tensión a la que el material comienza a deformarse permanentemente, el objetivo principal del proceso de doblado.

Módulo de Elasticidad (E): 200 GPa (200×10^9 N/m2). Aunque importante para la rigidez del material y la recuperación elástica, este valor no se utiliza directamente en el cálculo de la fuerza de doblado plástico para esta fase conceptual.

Para el método de doblado en dos puntos, la longitud efectiva de la palanca (L) es la distancia desde el punto de sujeción (donde comienza la flexión) hasta donde se aplica la fuerza. Al doblar la varilla por la mitad, esta longitud es:

Longitud de la palanca (L): = 0.06 m.

Determinación del Módulo de Sección Plástico

El módulo de sección plástico (Zp) es una propiedad geométrica intrínseca de la sección transversal de la varilla. Cuantifica la resistencia de la sección a la deformación plástica bajo flexión. Para una sección transversal circular, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Zp = \frac{\pi . d^3}{32} \quad (1)$$

Sustituyendo el diámetro de la varilla tenemos que:

$$Zp = \ 0.00000005026m\text{^}3$$

Cálculo del Momento Flector Plástico Requerido

El momento flector plástico (Mp) es el momento mínimo necesario para que toda la sección transversal de la varilla fluya plásticamente en el punto de doblado. Se calcula multiplicando el límite elástico del material por el módulo de sección plástico:

$$Mp = \sigma . Zp \tag{2}$$

Al introducir los valores pertinentes:

$$Mp = 24.23\ N \cdot m$$

Cálculo de la fuerza requerida para doblado en dos puntos

En una configuración de doblado en dos puntos (análoga a una viga en voladizo), el momento flector máximo se produce en el área de sujeción. La fuerza (F) aplicada en el extremo de la palanca (L) debe generar este momento plástico. La relación fundamental es:

$$Mp = F . L \tag{3}$$

Despejando la fuerza (F):

$$F = \frac{Mp}{L} \tag{4}$$

Sustituyendo los valores calculados:

$$F = 403.83N$$

Por lo tanto, la fuerza mínima requerida en el extremo de la varilla para iniciar y mantener la deformación plástica es de aproximadamente 403.83 Newtons.

Dimensionamiento del Motor Eléctrico y Reductor de Velocidad

La selección del motor se basa en la capacidad del sistema motor-reductor para entregar el torque y la velocidad angular necesarios en el eje de doblado.

5.1. Torque de Diseño con Factor de Seguridad

Para garantizar la robustez del sistema y compensar posibles ineficiencias o picos de carga, se aplica un factor de seguridad (FS) de 1.5 al torque calculado. Esto determina el torque de diseño requerido en el eje de doblado. De modo que:

$$TM = Mp.FS \tag{5}$$

$$24.23\ N.m * 1.5 = 36.35\ N.m$$

El sistema motor-reductor debe ser capaz de proporcionar un torque de salida mínimo de 36.35 N·m.

5.2. Definición de la Velocidad Angular de Salida

Se ha definido que la velocidad angular máxima esperada del eje de salida sea de 10 RPM. Esta es una velocidad de operación comúnmente utilizada para procesos de doblado de metales, permitiendo control y precisión. En este sentido, convertimos esta velocidad a radianes por segundo (ω):

$$\omega = 10rpm.(2.\pi)/60 = 1.047\ rad/s$$

5.3. Cálculo de la Potencia Mínima Requerida

La potencia de salida del motor (o del conjunto motor-reductor) se calcula con la siguiente fórmula:

$$PM = TM.\omega \tag{6}$$

Utilizando el torque de diseño y la velocidad angular deseada:

$$PM = 36.35\ N \cdot m \cdot 1.047\ rad/s \approx 38.06\ Watts$$

Convertido a caballos de fuerza (HP), donde 1 HP equivale aproximadamente a 746 Watts:

$$PM = 0.051\ HP$$

Este cálculo indica que se requiere un motor con una potencia de salida neta de al menos 0.051 HP en el eje de doblado. En la se resumen las evaluaciones realizadas en función del diámetro de la varilla que se quiere doblar a manera de estimar la potencia requerida para realizar la acción. De igual manera en el Gráfico 1 y Gráfico 2 se muestra el comportamiento del torque requerido en función del diámetro de la varilla a doblar y la potencia necesaria para el motor en función del torque.

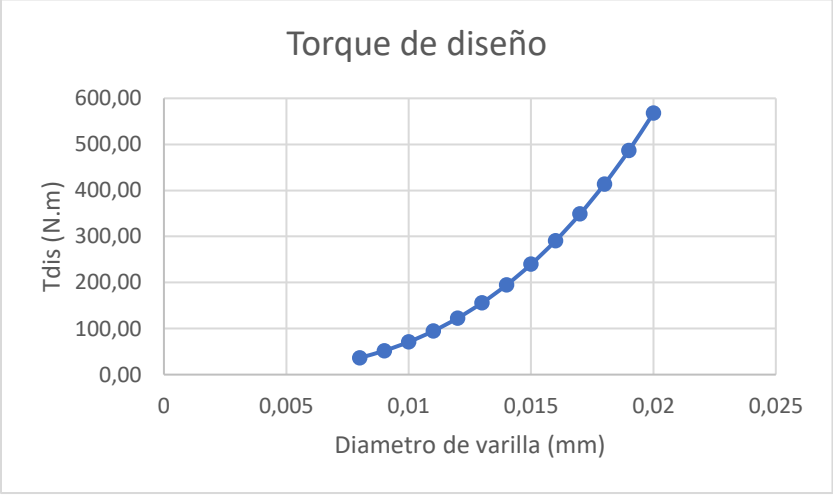


Gráfico 1. Torque de diseño en función del diámetro de la varilla.



Gráfico 2. Potencia requerida del motor en función del torque de diseño.

Table XIV

Potencia requerida en función del diámetro de la varilla

d (m)	L (m)	Zp (m3)	Mp(N.m)	F(N)	Tdis	Pdis(W)	Pdis(Hp)
0.008	0.12	5.02655E-08	24.23	403.80	36.34	38.06	0.051
0.009	0.12	7.15694E-08	34.50	574.94	51.74	54.19	0.073
0.01	0.12	9.81748E-08	47.32	788.67	70.98	74.33	0.100
0.011	0.12	1.30671E-07	62.98	1049.72	94.47	98.93	0.133
0.012	0.12	1.69646E-07	81.77	1362.82	122.65	128.44	0.172
0.013	0.12	2.1569E-07	103.96	1732.71	155.94	163.30	0.219
0.014	0.12	2.69392E-07	129.85	2164.11	194.77	203.96	0.273
0.015	0.12	3.3134E-07	159.71	2661.76	239.56	250.87	0.336
0.016	0.12	4.02124E-07	193.82	3230.40	290.74	304.46	0.408
0.017	0.12	4.82333E-07	232.48	3874.74	348.73	365.19	0.490
0.018	0.12	5.72555E-07	275.97	4599.53	413.96	433.50	0.581
0.019	0.12	6.73381E-07	324.57	5409.49	486.85	509.83	0.683
0.02	0.12	7.85398E-07	378.56	6309.37	567.84	594.64	0.797

5.4. Dimensionamiento del Reductor de Velocidad

Dado que la mayoría de los motores eléctricos comerciales operan a velocidades nominales elevadas (por ejemplo, 1500 RPM o 3000 RPM para frecuencias de 50 Hz). Para alcanzar la velocidad de salida de 10 RPM, será necesario un reductor de velocidad.

Asumiendo las características de un motor con una velocidad nominal de 1500 RPM, la relación de reducción necesaria sería:

$$Rr = \frac{V_{motor}}{V_{sal}} \tag{7}$$

$$\frac{1500rpm}{10rpm} = 150:1$$

Por lo tanto, se especifica un reductor de velocidad con una relación de al menos 150:1. Este reductor reducirá la velocidad del motor y multiplicará su torque.

Considerando un motor comercial estándar, por ejemplo, uno de 0.125 HP (aproximadamente 93 Watts) con una velocidad nominal de 1500 RPM, su torque nominal sería:

$$T_m = \frac{P}{\omega_m} \tag{8}$$

$$\frac{93}{1500rpm.\frac{2.\pi}{60}} \approx 0.59\ N \cdot m$$

Con una relación de reducción de 150:1 (y asumiendo una eficiencia del reductor del 85%):

$$T_{sal} = T_m.Rr.85\% \tag{9}$$

$$T_{sal} \approx 75.2\ N \cdot m$$

Este torque de salida de 75.2 N·m es superior al torque de diseño de 36.35 N·m, lo que confirma que un motor de 0.125 HP (o incluso uno ligeramente menor, como 0.1 HP, que también sería adecuado) con un reductor 150:1 sería una opción robusta y eficiente.

Componentes Clave de la Dobladora Automática

El diseño de la dobladora automática requerirá la integración de los siguientes elementos fundamentales:

Para lo cual se usaron los siguientes elementos que son los que, sacados de la ponderación de criterios existen en el mercado y se pueden conseguir con facilidad:

- Estructura Mecánica Robusta: Un bastidor rígido para soportar las fuerzas de doblado sin deformarse.

- Mecanismo de Doblado: Este componente, accionado por el eje de salida del motor-reductor, aplicará la fuerza a la varilla para su deformación plástica.

- Sistema de Sujeción: Un mecanismo que asegure firmemente la varilla, evitando deslizamientos durante la operación (operario).

- Motor Eléctrico: Un motor de Corriente Alterna (CA), preferiblemente de 0.125 HP a 0.25 HP, por su fiabilidad y facilidad de mantenimiento, con una velocidad nominal estándar (ej. 1500 RPM).

- Reductor de Velocidad: Una caja reductora y un sistema de bandas con una relación de al menos 150:1 para adaptar la alta velocidad del motor al torque y la velocidad angular de 10 RPM requeridos.

- Sistema de Control: Un panel que permita la gestión de la operación (inicio/parada), con el sistema de embrague para determinar el doblez y la supervisión del proceso.

- Final de carrera (Opcional): La incorporación de sensores de posición o ángulo puede automatizar la detención del doblado en el ángulo deseado, mejorando la precisión y la repetibilidad.

4.2.3 Evaluaciones experimentales

Para encontrar el motor adecuado se tomó en cuenta un análisis practico en el doblez de la varilla, realizado con una balanza digital colgante que mide la fuerza que se necesita para realizar el doblez

Se sujeta la balanza a una distancia conocida y se procede a medir la fuerza con la que rompe el límite elástico del material y pasa a tener una deformación plástica, la mayor fuerza que se realiza es al iniciar esta deformación.



Fig. 23. Balanza digital colgante.



Fig. 24. Análisis real de doblez.

Luego de realizar las pruebas correspondientes se tiene como valor máximo 175N que es el punto de partida para iniciar con los cálculos correspondientes y elegir con criterio la potencia que tiene el motor y la velocidad a la cual se trabaja.

Medición del torque

Teniendo en cuenta que la distancia a la cual se sujetó la balanza es de 0.8m y recibió marco como valor máximo 175N tenemos que:

$$T = 140N * m$$

Donde T = torque necesario para realizar el doblez (N * m)

Ahora manteniendo un factor de seguridad de 1.5 para nuestra máquina se determina la potencia con la que se trabaja en esas condiciones.

Cálculo de potencia

$$To = 1.5 * 140N * m$$

$$To = 210N * m$$

Donde To = Torque aplicando un factor de seguridad de seguridad (N * m)

Finalmente se calcula la potencia del motor necesaria para romper el límite elástico.

$$P = T * w \tag{10}$$

$$w = 2\,\pi * \frac{N}{60}$$

Donde P = Potencia del motor (W).

T = To (N * m).

w = Velocidad angular en radianes por segundo (rad/s).

N = Velocidad en RPM.

Calculando tenemos que:

$$P = 220W$$

$$P(HP) = 0.295\ HP$$

Donde P(HP) es la potencia necesaria que requiere nuestro motor para cumplir con el diseño por lo que se busca en el mercado un motor con potencia similar.

En el mercado se encontró un motor que cumple con estas características como los que se utilizan en las máquinas de coser de la marca Jotex.

Tabla XV
Características del motor

Modelo: DOL12H			
Voltaje:	110/220V	Potencia:	400W/0.5HP
V AMP:	4.8/2.4	RPM:	3450
Hertz:	60 Hz	Fase:	1



Fig. 25. Motor de embrague.

Teniendo en cuenta que el motor tiene una velocidad relativamente alta se procede a seleccionar una caja reductora para disminuir esa velocidad en lo más posible, para esto se usa una caja reductora de 60:1 que con un sistema de bandas de transmisión puedan llegar a nuestra velocidad de operación.

Las medidas entre el motor de embrague y la caja reductora non las más importantes porque deben ir dentro de la estructura que se va a armar sin embargo no llegan a sobrepasar lo que se había estimado en la estructura por lo que se inicia con el diseño de esta.

4.2.4 Diseño de estructura

La estructura tiene la funcionalidad de soportar el peso de todos los componentes que va a tener la máquina dobladora, tiene que soportar las vibraciones y movimientos que tenga durante la producción de estribos, además de ser un material que se pueda encontrar fácilmente en el mercado, como las opciones que nos ofrecen ferreterías locales, siendo ideal para colocar los componentes ya que el área de adhesión es ancha para utilizar pernos M10.

Basándose en los parámetros de diseño definidos previamente, se ha considerado una construcción como la propuesta en la Fig. 22, sobre la cual se estimaron las cargas estáticas necesarias para mantener la construcción, soportar su peso, el del motor y el de la caja reductora, así como la de la acción de doblez que debe realizar. Los elementos estructurales básicos considerados fueron las vigas de refuerzos laterales más largas, las patas de la mesa y el elemento doblador en sí.

La estructura se concibe como un entramado de tubos cuadrados de 40×40×4 mm, unidos mediante soldadura perimetral continua para asegurar su rigidez e integridad. Su función primordial es la sustentación de la masa total de los componentes de la máquina, la absorción de las solicitaciones dinámicas generadas por vibraciones y movimientos inherentes al proceso de producción de estribos, y la utilización de materiales de fácil disponibilidad en el mercado local. La integración de pernos M10 y la amplia superficie de adhesión en las uniones son factores relevantes en el diseño.

4.2.5 Evaluación de elementos sometidos a compresión

El esfuerzo de compresión se define por la aplicación de dos fuerzas coaxiales y opuestas que inducen un acortamiento o aplastamiento del elemento. En el contexto de esta estructura, los elementos verticales constituyen los principales candidatos a experimentar compresión, siendo los responsables de la transferencia de las cargas gravitacionales desde los componentes superiores hacia la cimentación o base de la máquina.

El análisis se centró en la determinación de la Carga Crítica de Pandeo (según Euler) y la evaluación de la fluencia del material bajo compresión, asumiendo las siguientes condiciones y propiedades:

Geometría del Elemento: Tubo cuadrado (perfil hueco) de 40×40×4 mm.

- Lado exterior (B): 40 mm (0.040 m)
- Espesor (t): 4 mm (0.004 m)
- Lado interior (b): B−2t=40−2(4)=32 mm (0.032 m)
- Área de la sección transversal (A): B2−b2=(0.040)2−(0.032)2=5.76×10−4 m2.
- Momento de Inercia (I): I=(B4−b4)/12=((0.040)4−(0.032)4)/12=1.26×10−7 m4.

Propiedades del Material (Acero estructural):

- Módulo de Young (E): 200 GPa (2.00×1011 Pa).
- Tensión de Fluencia (σy): 250 MPa (2.50×108 Pa).

Parámetros de la Columna (Elemento Vertical):

- Longitud del elemento (L): Basado en el plano, se asume una longitud de 800 mm (0.80 m) para el elemento vertical principal.

- Factor de Longitud Efectiva (K): Debido a las conexiones soldadas y la firmeza de la estructura, se adopta un valor de K=0.7, que corresponde a una condición de apoyo de "extremo fijo-extremo articulado", representando un comportamiento intermedio entre columnas perfectamente articuladas y perfectamente fijas en un marco rígidamente conectado.

Los cálculos se realizaron para determinar la Carga Crítica de Pandeo de Euler (Pcr) y la Tensión Crítica de Pandeo (σcr) mediante las ecuaciones respectivas, la cual se compara con la Tensión de Fluencia del material (σy).

$$Pcr = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \tag{11}$$

$$\sigma cr = \frac{Pcr}{A} \tag{12}$$

El análisis comparativo entre la tensión crítica de pandeo y la tensión de fluencia del material es fundamental para determinar el modo de falla predominante en los elementos a compresión. Se observa que la carga critica de pandeo es igual a 80814.59 kg y la tensión crítica de pandeo resultante 1376.37 MPa es superior a la tensión de fluencia del acero (250.00 MPa). Esto implica que el elemento vertical, con las dimensiones y condiciones de apoyo consideradas, fallaría por fluencia del material (deformación plástica permanente) antes de alcanzar la carga que induciría el pandeo elástico teórico según la fórmula de Euler.En otras palabras, el acero del tubo cuadrado alcanzará su límite de resistencia a la fluencia y cederá plásticamente bajo una carga considerablemente menor que la requerida para que el elemento se pandee por inestabilidad elástica.

4.2.6 Evaluación de elementos sometidos a tracción

En esta estructura, los elementos conectados a cargas suspendidas o aquellos que experimentan fuerzas de "arrastre" durante la operación de doblado podrían estar sometidos a tracción, como, por ejemplo, elementos diagonales o tensores que contrarrestan movimientos laterales.

Las consideraciones de diseño para los elementos a tracción son las siguientes:

Identificación de cargas de tracción: Es crucial identificar las fuerzas que puedan inducir tracción en los elementos. Las vibraciones y movimientos operacionales pueden generar fuerzas dinámicas que, en ciertos instantes, actúen como solicitaciones de tracción en las conexiones o en los propios elementos.

Resistencia a la tracción del material: El acero exhibe una elevada resistencia a la tracción. Se debe verificar que la tensión de tracción calculada no supere el límite elástico del material.

Robustez de las Uniones (Soldadas y Atornilladas): Las soldaduras deben ser capaces de transferir las cargas de tracción de manera segura. El diseño de las conexiones atornilladas con pernos M10 debe contemplar la resistencia al corte y a la tracción de los propios pernos, así como el área efectiva de contacto.

4.2.7 Evaluación de elementos sometidos a flexión

Las vigas o elementos horizontales que soportan cargas transversales son los principales elementos en la estructura que experimentarán flexión.

Las consideraciones de diseño para los elementos a flexión son las siguientes:

Caracterización de cargas transversales: El peso de los componentes de la máquina que se apoyan sobre los elementos horizontales, sumado a las fuerzas generadas por el proceso de doblado, inducirán momentos flectores significativos. Las vibraciones también pueden aportar cargas dinámicas que contribuyan al estado de flexión.

Aprovechamiento del momento de inercia de la sección: La sección cuadrada del tubo (40×40×4 mm) ofrece un momento de inercia favorable, lo que contribuye positivamente a la resistencia a la flexión del elemento. Una mayor inercia se correlaciona directamente con una mayor rigidez a la flexión.

Análisis de deflexión: Además de la resistencia a la rotura por flexión, es fundamental evaluar la deflexión máxima admisible. Deflexiones excesivas pueden comprometer la precisión dimensional y la funcionalidad de la máquina dobladora.

Esfuerzos cortantes: La flexión intrínsecamente genera esfuerzos cortantes, que actúan perpendicularmente a la sección transversal del elemento. Aunque no se solicite una evaluación específica de corte, es un componente inherente al análisis de flexión.

Continuidad de las uniones soldadas: La soldadura continua alrededor de todo el contorno es vital para asegurar una transmisión efectiva de los momentos flectores entre los elementos, manteniendo así la rigidez global de la estructura.

Teniendo 17.8 kg en la caja reductora que mide 225 mm multiplicamos por la gravedad y transformamos a kN/m para calcular el esfuerzo cortante y momento flector, realizamos el diagrama de cuerpo libre mostrado en la gráfica 4, que tiene la caja reductora y determinamos los gráficos de esfuerzo cortante y momento flector que este elemento genera.

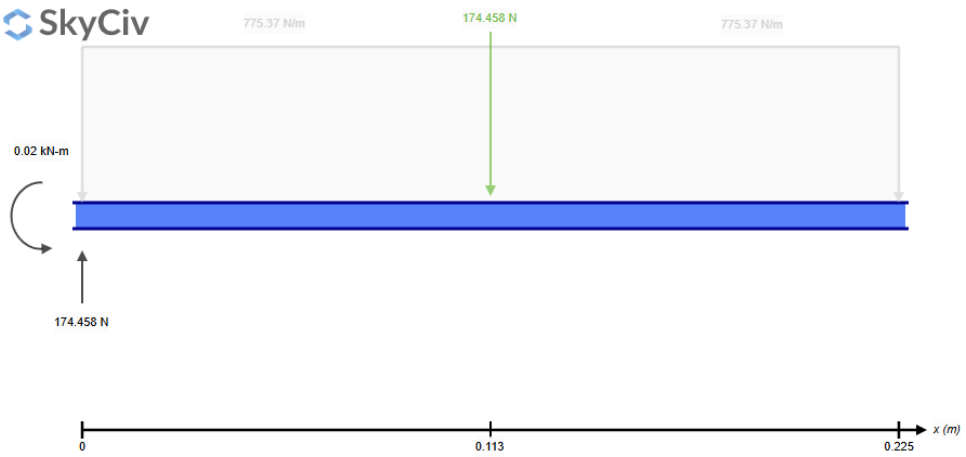


Fig. 26. DLC caja reductora.

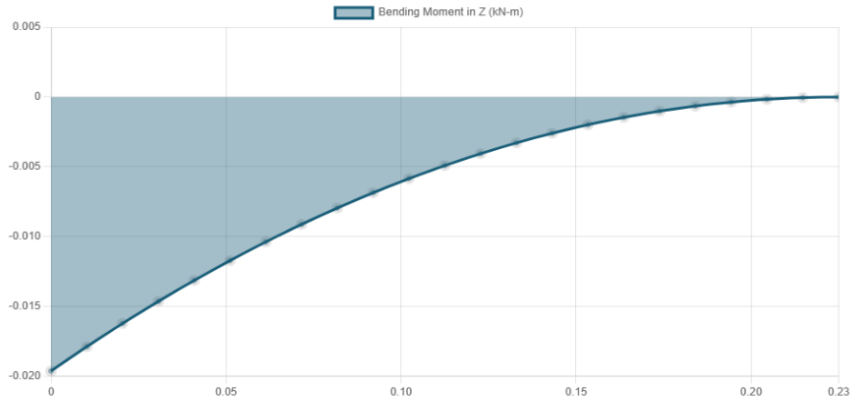


Fig. 27. Diagrama momento flector caja reductora.

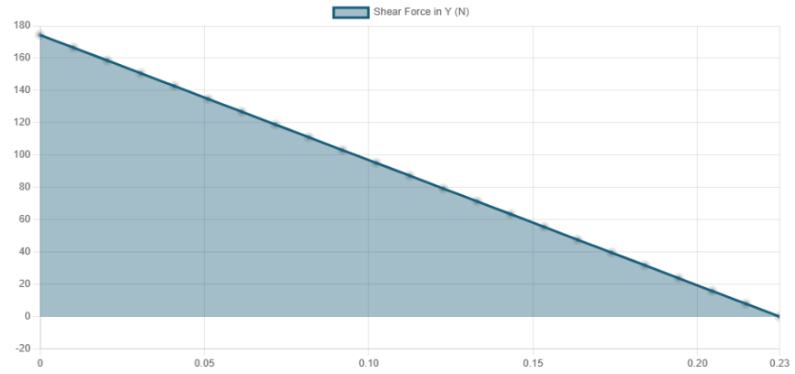


Fig. 28. Diagrama de fuerza cortante caja reductora.

Para obtener las cargas aplicadas a la estructura a partir del peso de los componentes, se utilizó la ecuación del peso.

$$F = m * g \tag{13}$$

Donde F = fuerza aplicada [N].

m = masa del componente [kg].

g = aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2).

Luego de determinarlos esfuerzos que va a tener al usar los componentes seleccionados so procede a colocarlos sobre la estructura, estos esfuerzos incluyen el momento flector que ocurre al colocar la caja reductora, la parte superior de la mesa que pesa alrededor de 10kg y el motor con 15 kg por lo que tenemos las siguientes cargas aplicadas usando la ecuación del peso.

154.02 N en la caja reductora.

175 N aplicados por el motor de embrague.

147.5 N aplicados por la plancha de acero superior de la máquina.

20 N.m aplicado en las 2 barras transversales en la ventana de la estructura.

En este sentido, la tensión máxima de flexión calculada es de 7.17 MPa. Para un acero estructural típico, cuyo límite elástico (punto de fluencia) suele ser mucho mayor, por ejemplo, 250 MPa o más. Esto sugiere que la estructura está muy por debajo de su capacidad de resistencia a la fluencia bajo esta carga, lo cual es favorable.

Por otro lado, la deflexión máxima es de 0.10 mm, la cual es una deflexión muy pequeña, considerada para una máquina dobladora, en la que la rigidez es importante para la precisión, y una deflexión tan mínima indica que la estructura es bastante rígida para la carga aplicada.

Consideraciones Adicionales para la Evaluación Estructural

Los "análisis estáticos que demanda el proyecto" constituyen la base para determinar las distribuciones de fuerzas y tensiones bajo cargas permanentes y operacionales. Esto comprende el cálculo de diagramas de fuerza cortante y momento flector para los elementos en flexión, y las fuerzas axiales para los elementos en compresión y tracción.

Factor de Seguridad: La aplicación de un factor de seguridad es indispensable en todo diseño estructural para garantizar un margen de resistencia ante cargas no previstas o variaciones en las propiedades del material.

Cumplimiento Normativo: La evaluación debe ceñirse a las normativas de diseño estructural y de soldadura aplicables al tipo de material y la funcionalidad de la máquina.

Simulación de la estructura

Después de hacer una simulación el software SolidWorks de puede apreciar que las cargas estructurales pueden generar deformaciones en las estructuras, pero son inapreciables, por lo que el material seleccionado es una de las mejores opciones que se tiene para fabricar la máquina, tanto por lo cotizado que es en el mercado ese material como por el costo al que nos ofrecen los distribuidores.

La estructura cuenta con en soporte para el motor que generará el torque necesario para realizar los dobleces, y un marco ideado para soportar el peso de una caja reductora que reduzca la velocidad y aumente el torque de la máquina, además de una superficie donde se inserte la parte superior de la dobladora.



Fig. 29. Estructura.

La representación que se muestra en la figura anterior se usó para determinar los puntos críticos que puedan llegar a generar fallos, por lo que sobre esta se van a colocar elementos soldados que soporten otras cargar que son insignificantes para nuestro estudio, además, tiene perforaciones para que los elementos que se monten sobre esta puedan permanecer fijos utilizando pernos M10 ya que estos son los que se usaron para el análisis de esfuerzos.

Otro elemento que entra en este apartado es el soporte le la basé guía que ayuda a reducir los esfuerzos que se generen por vibraciones y demás factores que generen movimientos no deseados en la máquina.

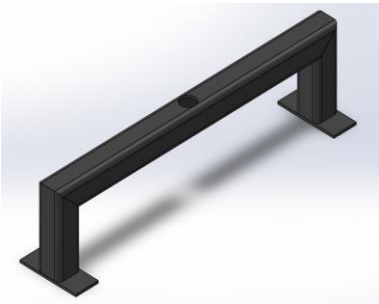


Fig. 30. Soporte base guía.

4.2.8 Diseño del plato

El plato está basado en el diseño que se tiene de una maquina dobladora manual que se ha utilizado durante varios años y ha cumplido con el objetivo de hacer estribos, por su sencilles se puede extraer las dimensiones de esta para asegurar que no existan arcos holgados en los estribos y se mantengan con las mismas características de los estribos manuales.

El plato consiste en una circunferencia de acero que posee un pin con el que se ejerce la fuerza necesaria para que este genere los dobleces y que esté libre para que este pueda regresar a su estado original mediante un resorte ubicado debajo de la base guía de nuestra máquina, hay que destacar que este elemento es rota sobre un eje por lo que va anclado a otros elementos (chumaceras, rodamientos) para que no exista fuerzas de fricción que afecten a los cálculos realizados y mantengan un movimiento suave y centrado.

Este elemento está muy relacionado con el diseño de la base guía ya que ambos tienen relación y están situados como un mismo componente, sin embargo, es necesario dividir ambos conceptos para tener una mejor idea para que durante el ensamble se puedan distinguir y mencionar de ser necesario cada diseño, además se puede decir que esta tiene más que ver con la parte superior de la mesa ya que el plato es el sistema que va a mover la varilla para poder doblarla.

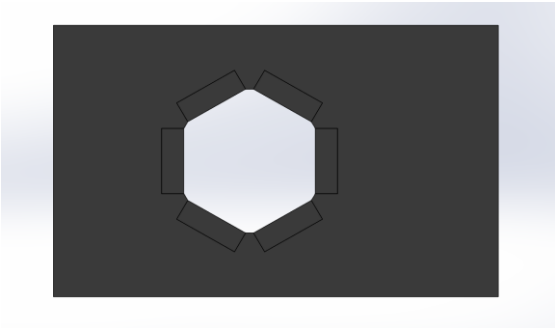


Fig. 31. Parte Superior.

La parte superior conta de varios topes colocados para que dado el caso de existir movimientos de traslación por parte de la base guía puedan mantener la estabilidad y llegar a corregir errores durante la operación de la máquina.

4.2.9 Diseño de la base guía para la varilla

La guía está compuesta por una clavijera que es la que facilita la estabilidad de la varilla al momento de doblado, el disco con el pin que se utiliza se basa en el diseño de una maquina manual como se explica en varios puntos anteriores, por lo que las medidas que esta va a tener se rigen en base a esto, esta base guía es un elemento de acero A36 que resiste las cargas a las que se somete el material para ser doblado, tiene un soporte para evitar movimientos de traslación y estará soldado a la estructura para que se mantenga con una posición horizontal al operario facilitando la colocación y extracción de la varilla.

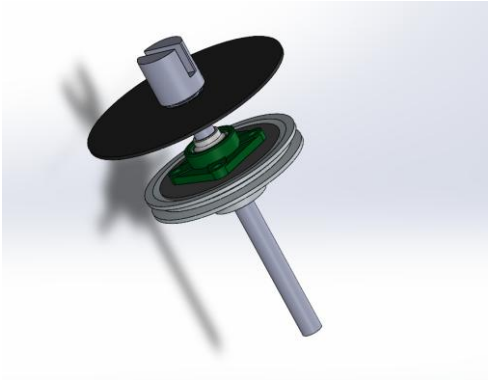


Fig. 32. Base guía.

Posee un soporte para que los esfuerzos que se realicen al momento de generar y estribo no afecten en gran medida a la posición sobre todo del clavijera que es la que soporta la mayor cantidad de esfuerzos, posee además una polea de 8 in sujetada con un disco de acero a una chumacera y un rodamiento limitando cualquier rozamiento que se pueda generar y que limite el correcto funcionamiento de la máquina.

4.2.10 Diseño del sistema de transmisión de potencia

Teniendo en cuenta el desglose funcional, la matriz QFD y todos los criterios que tener el diseño se llega a la conclusión que el sistema de transmisión de potencia inicia con un motor de embrague de 0.5hp y 3600 rpm tanto por la disponibilidad en el mercado como los cálculos realizados parta que este pueda ejercer el trabajo sin dificultades, este se conecta a una caja reductora de 150:1 que además de reducir la velocidad, aumenta el torque generado aumentando la eficiencia.

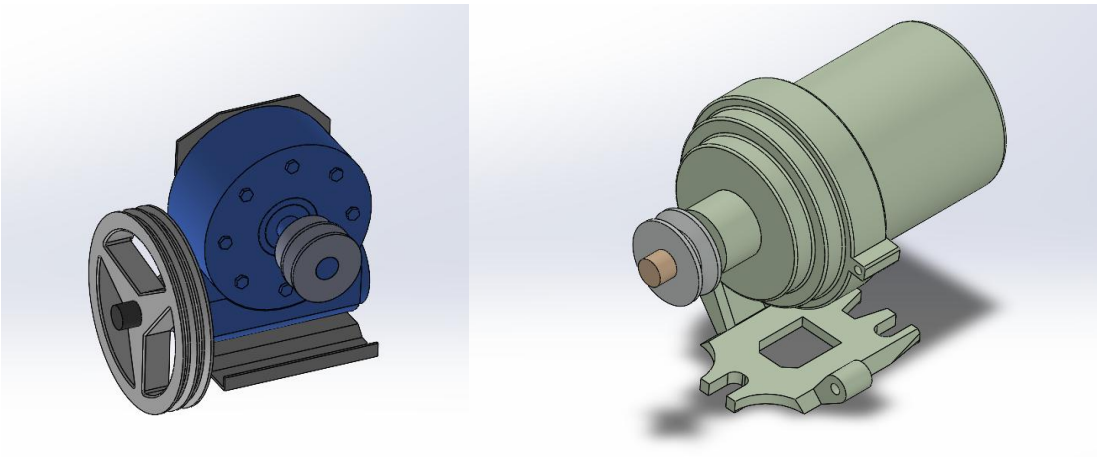


Fig. 33. Representación caja reductora y motor de embrague.

4.2.11 Diseño eléctrico

El sistema eléctrico está compuesto principalmente por el motor que es el que genera el movimiento para que se puedan generan los estribos por lo que se tenían varias opciones para que este funcionara adecuadamente, sin embargo, en el diseño se ocupa un motor monofásico con embrague, dependiendo del distribuidor se tenían varios modelos que podían facilitar las conexiones.

El motor seleccionado es un motor de embrague de la marca Jontex este tiene una característica muy peculiar, puede cambiar el tipo de conexión eléctrica de 110V a 220V para facilitar al consumidor final y que esté a disposición cualquiera de los dos estados, Para el encendido del motor de usa una botonera con 2 botones On/off que enclava en circuito y lo desactiva dependiendo del caso.

Este motor al tener un embrague cuenta con una palanca que activa el sistema de embrague y produce el movimiento rotativo en una sola dirección dependiendo del estado en el que esté el motor para el sentido de giro, el motor permanecerá encendido durante todo el tiempo de operación de la máquina y se controlará mediante el embrague y un muelle para regresar a su estado inicial después de haber realizado el doblez.

4.2.12 Simulaciones

En este apartado de desarrolla un análisis de convergencia para encontrar el mallado que no altere las simulaciones que se hacen para las piezas consideradas críticas teniendo en cuenta el cálculo analítico basado en un punto de flexión que ejerce el peso del motor en la estructura.

En primer lugar, se analizó el elemento que soporta toda la carga al momento de doblar la varilla, el clavijera para esto se usaron los siguientes parámetros para obtener el cálculo analítico y compararlo con los resultados de la simulación.

Diámetro: d = 25.4 [mm].

Radio: r = 12.7 [mm].

Torque aplicado: T = 140 [N*m].

Material = AISI 340; $\sigma y = 200$ [MPa].

El elemento tiene una sección circular maciza y se encuentra empotrado por un extremo para aplicar la fuerza de torsión por lo que la ecuación para de determinar el esfuerzo cortante máximo sería:

$$Tmax = \frac{T * r}{J} \tag{14}$$

Donde J es el momento polar de inercia del elemento.

$$J = \frac{\pi * d^4}{32}$$

$$J = 4084\ mm^4$$

Usando el criterio de von Misses obtenemos el esfuerzo cortante resultante de aplicar la fuerza de torsión sobre el elemento.

$$Tmax = 43.6\ MPa$$

$$\sigma(\text{vm}) = \sqrt{3} * Tmax \tag{15}$$

$$\sigma(\text{vm}) = 75.5\ Mpa$$

Finalmente obtenemos el factor de seguridad del elemento.

$$FS = \frac{\sigma y}{\sigma(\text{vm})} \tag{16}$$

$$FS = 2.64$$

Ahora se evalúa la simulación del clavijera en el software usando el mallado por defecto del programa, esto con el fin de constatar que se está analizando correctamente los componentes.



Fig. 34. Torque aplicado sobre la pieza a simular.

Como se puede observar en la simulación no se tiene una gran variación con los resultados analíticamente propuestos, sin embargo, para obtener un mallado adecuado se procede a realizar varias iteraciones de este variando la cantidad de elementos así llegando a un valor en el cual no varíe el valor simulado.

Tabla XVI

Factor de seguridad en base al mallado

Elementos	FDS	Variación porcentual
1672	3.910	2.910%
2606	4.033	3.033%
4274	4.130	3.130%
11130	3.940	2.940%
16503	3.873	2.873%
34246	3.703	2.703%
72999	3.473	2.473%
95732	3.555	2.555%
148698	3.373	2.373%
218895	3.013	2.013%
309735	2.883	1.883%
408999	2.640	1.640%
484060	2.628	1.628%

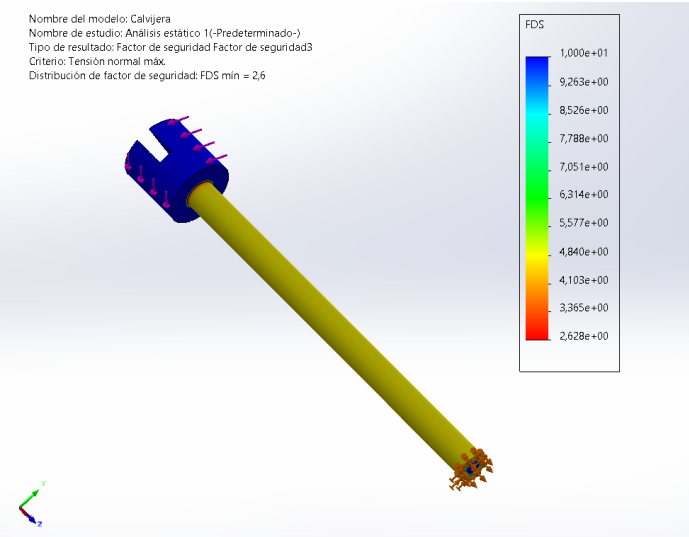


Fig. 35.Simulación de clavijera con 484060 elementos.

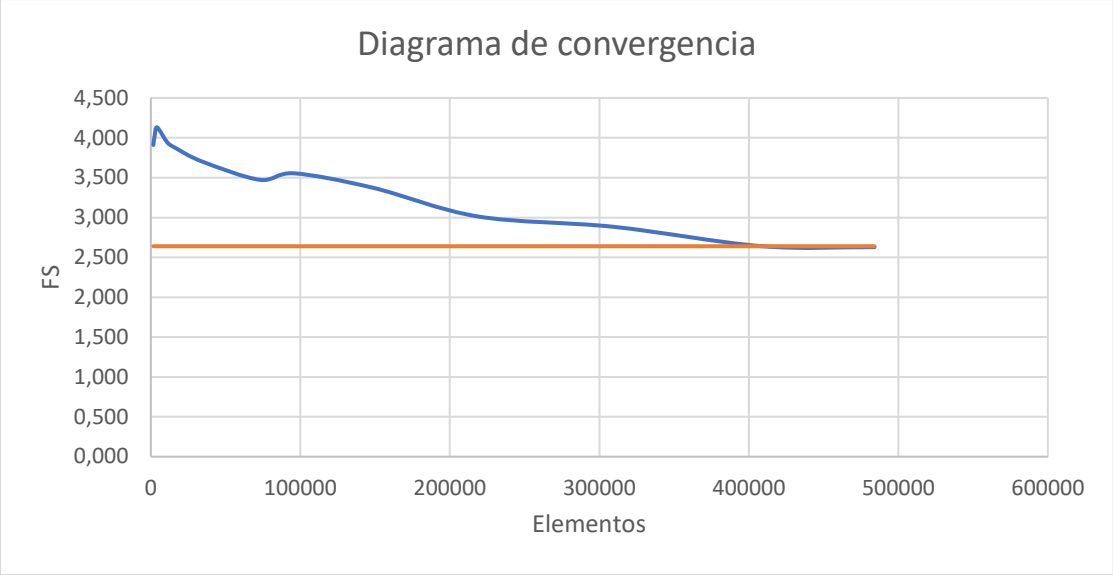


Fig. 36. Diagrama de convergencia.

El tamaño máximo de los elementos fue bajando hasta verificar que el valor correspondiente al factor de seguridad ya no tuvo variaciones y se mantuvo con una tendencia a un FS de 2.628 en el punto más crítico del diseño. El número de elementos se obtuvo en detalles de mallado ya que no se puede configurar directamente en el programa. Para muestra de los datos se muestra la gráfica obtenida y los detalles de la malla de las distintas iteraciones. En este caso se pude hacer simulaciones usando un tamaño de 1.5 mm en un mallado basado en curvatura con 484060 elementos para que la simulación sea adecuada.

Previo a la ejecución de la simulación estructural, se definieron las condiciones de borde necesarias para representar el comportamiento real de la estructura durante la operación de la máquina dobladora. Se impuso una condición de empotramiento fijo en la base inferior de las columnas verticales, restringiendo los desplazamientos y rotaciones en los tres ejes, simulando el anclaje de la estructura al piso del taller.

Las cargas correspondientes al peso del motor y la caja reductora se aplicaron de forma distribuida sobre las superficies de montaje respectivas, mientras que las uniones entre los perfiles estructurales fueron modeladas como contactos completamente unidos, representando las uniones soldadas del conjunto.

El diagrama de convergencia muestra la relación que tiene la variación del tamaño de malla con el factor de seguridad que tiene la pieza en el punto crítico, se puede notar que a medida que se reduce el tamaño de los elementos se llega a un factor de seguridad cada vez menos variable y ajustándose al valor analítico previamente calculado, si reducimos el tamaño de los elementos (o en el caso de SolidWorks se varía el tamaño del elemento) este valor va a mantenerse y ,como se muestra en la Figura 34 y la Tabla 16 el error que se tiene a partir del elementos con un valor máximo de 2.5mm el error porcentual no varía más del 2%, un valor aceptable para tener un diseño confiable por tanto se usa este mallado para contemplar todas las simulaciones posteriores.

Para establecer una simulación coherente y que ofrezca cálculos reales de tiene en cuenta un análisis de convergencia que conducen a una línea de tendencia donde la variación que esta presenta tiene un error que se mantenga lo más pequeño posible ya que es inviable alcanzar una precisión del 100%.

Para ello corroboramos un valor obtenido de forma analítica con una simulación en este caso el tubo cuadrado transversal que soporta el peso del motor.

Se tiene:

2 tubos que soportan el peso del motor 154N/2 para un peso de 77N.

El tubo tiene una dimensión de 0.42m.

$$\Sigma Ma = 0 \tag{17}$$

$$-77(0.21) + 0.45By = 0$$

$$By = 38.5N$$

Y, para obtener el momento en cualquier punto de la barra:

$$M - 38.5N * X = 0$$

$$Mmax = 8.08\ N.m$$

Siendo X cualquier punto a lo largo del tubo y Mmax el momento máximo que puede llegar a tener el tubo con las condiciones planteadas.

Ahora se calcula el esfuerzo máximo que va a tener en el punto con el mayor momento para esa sección transversal, para ello tomamos la inercia previamente calculada y los datos en la siguiente ecuación:

$$C = 0.02$$

$$I = 1.26\ x\ 10^{-7} m^4$$

$$= \frac{Mmax * C}{I} \tag{18}$$

$$\theta max = 1.283\ Mpa$$

Finalmente, calculamos el factor de seguridad.

$$\theta y = 250MPa$$

$$Fs = 194.0$$

También se calcula los soportes transversales obteniendo los siguientes valores:

$$By1 = 38.5N$$

$$Mmax1 = 15.4\ N.m$$

$$\theta max1 = 2.44\ Mpa$$

$$Fs1 = 102$$

Se compara con la simulación que tiene el mallado obtenido en el análisis de convergencia y se verifica que efectivamente coinciden ambos valores, por lo tanto, se establece el mallado en elementos de 1.5 mm para las simulaciones.

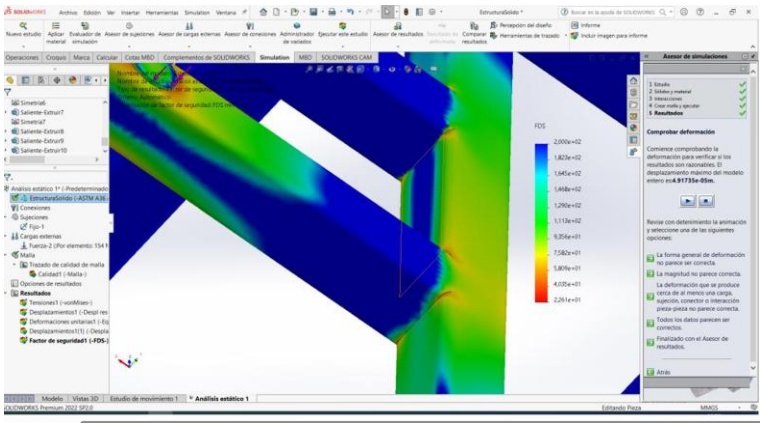


Fig. 37. Simulación en los puntos analizados.

SolidWorks ofrece un reconocimiento de las zonas críticas de nuestro diseño, usando el complemento de simulación que este ofrece, para ello realizamos el dibujo de la estructura que es la que soportará todas las cargas por lo que se analiza está como prioridad.

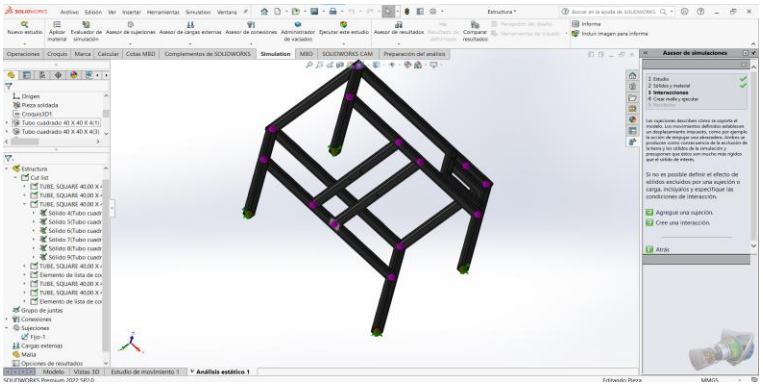


Fig. 38. Análisis estático de la estructura.

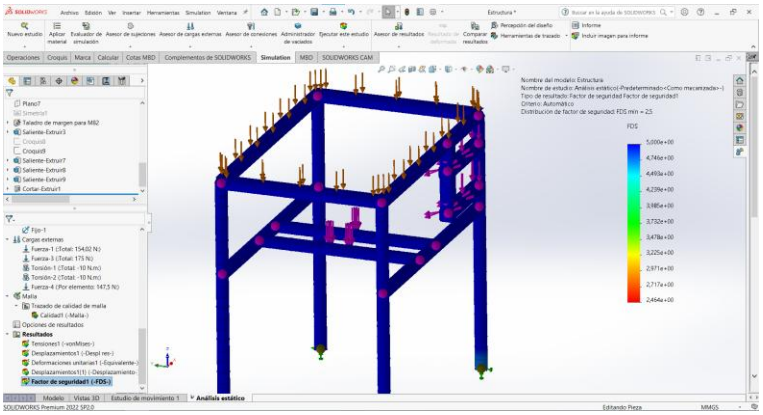


Fig. 39. Resultado análisis estático en la estructura.

Los demás elementos que conforman la máquina no representan un esfuerzo considerable teniendo en cuenta los que ya se aplicaron en esta y al tener un factor de seguridad mayor a 2.5 estos esfuerzos pueden ser despreciables.

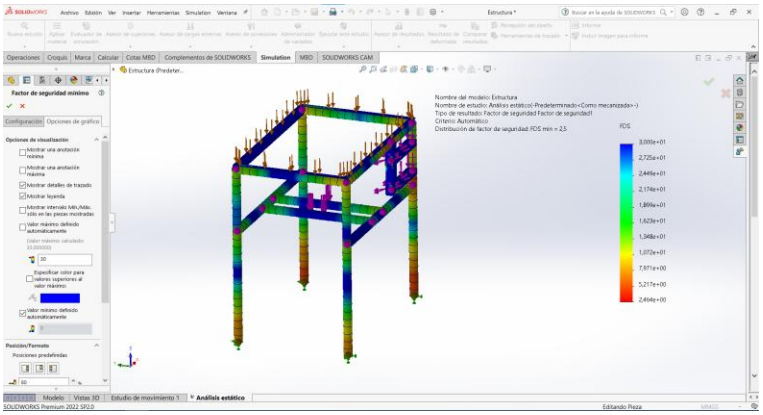


Fig. 40. Visualización de puntos críticos en la estructura.

Para tener una mejor visibilidad de los puntos creativos arrojados por el software cambiamos los límites de representación en las configuraciones del estudio estático y podemos observar que los puntos más vulnerables son en la ventana que soporta la caja reductora y la parte inferior de la estructura.

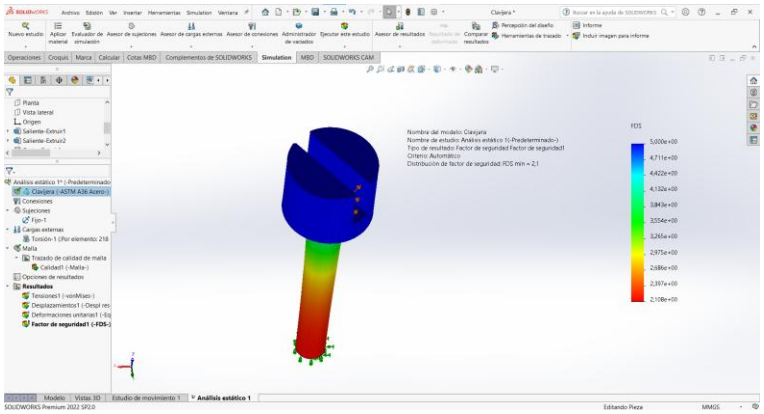


Fig. 41. Factor de seguridad aplicando esfuerzo de torsión.

Se realiza el análisis estático en el clavijero de nuestra máquina para evitar deformaciones en esta ya que es la que va a soportar todo el esfuerzo de doblado de la varilla por lo que tiene tanto un esfuerzo de torsión como uno cortante. Por lo que aplicamos ambos esfuerzos sobre el clavijero y se simula.

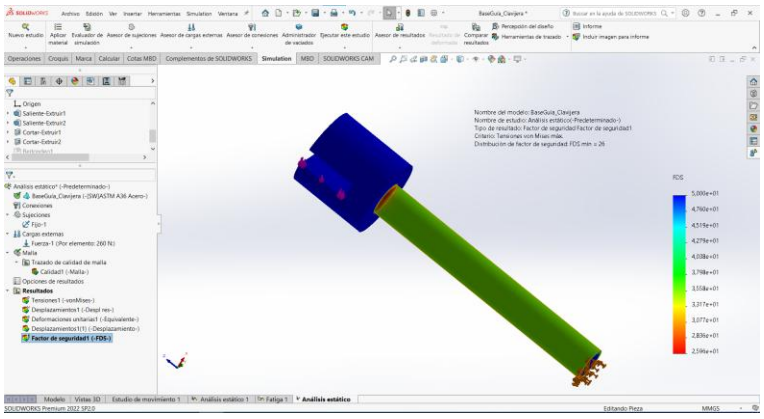


Fig. 42. Factor de seguridad aplicando esfuerzo cortante.

Además de esto se realiza un análisis de fatiga porque al ser movimientos repetitivos se tiene en cuenta que se van a realizar varios dobleces en periodos de tiempo cortos, sin embargo, el estudio nos arroja que aplicando estos esfuerzos en acero A36 puede llegar a más del millón de acciones por lo que no se considera un problema para el desarrollo de este proyecto.

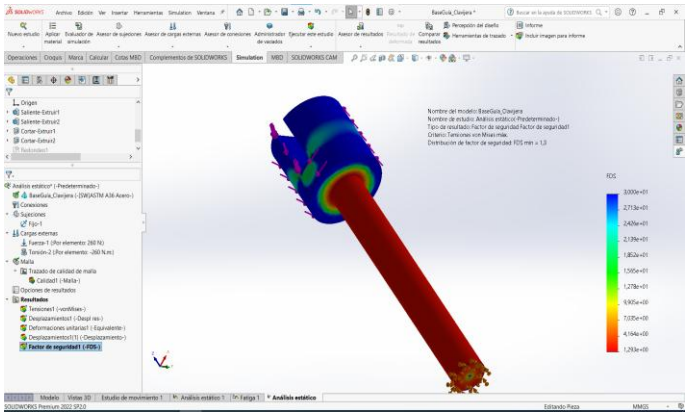


Fig. 43. Clavijera con esfuerzos cortantes y de torsión.

Finalmente, de muestra la simulación sobre el perno que tiene in punto crítico más alto ya que lo afecta un momento generado por el peso de la caja reductora que se encuentra en cantiléver, por lo que tiene 2 fuerzas que lo afectan la primera que soporta el peso de la caja que tiene un total de 147 N distribuidas en 4 pernos por lo que la simulación se hará con 43.3 N de fuerza y la segunda la que presiona el perno de 20N.

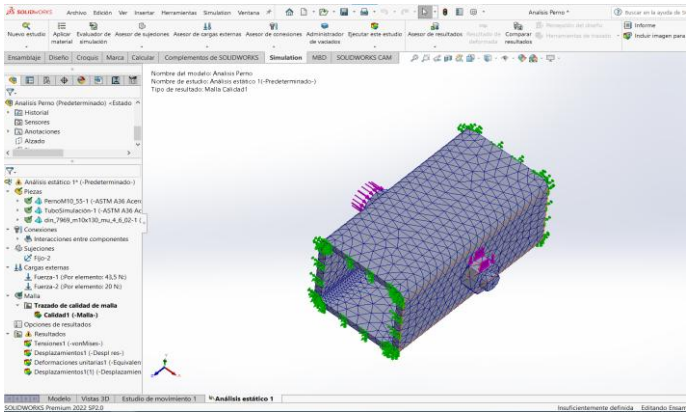


Fig. 44. Simulación de perno M10 de la caja reductora.

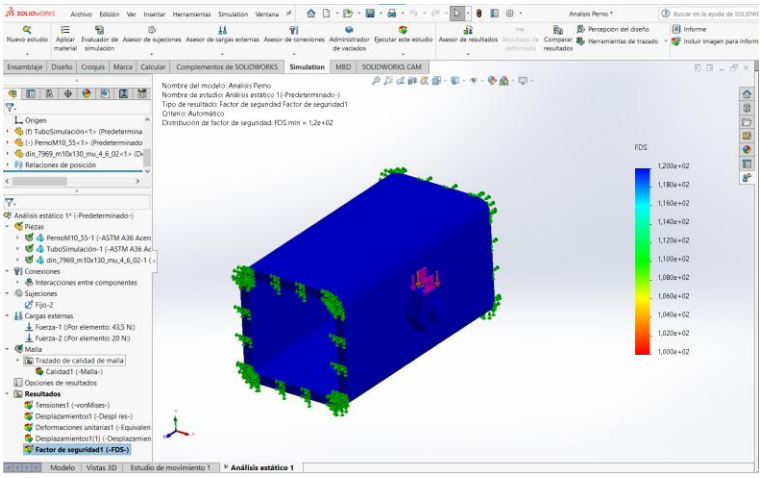


Fig. 45. Factor de seguridad de perno M10 simulado.

El factor de seguridad en este perno supera las 100 unidades por lo que el anclaje de la caja reductora no presenta problemas de fallo al momento de ensamblar la máquina.

4.3 Construcción de las piezas

El proceso de construcción de una máquina dobladora de varillas, abarca desde la adquisición de los componentes y materiales hasta la manufactura y ensamblaje de sus elementos clave. El diseño y la ejecución se enfocaron en la optimización de la transmisión de potencia para lograr el torque necesario para el doblado de varillas, utilizando materiales de fácil acceso y técnicas de fabricación estándar.

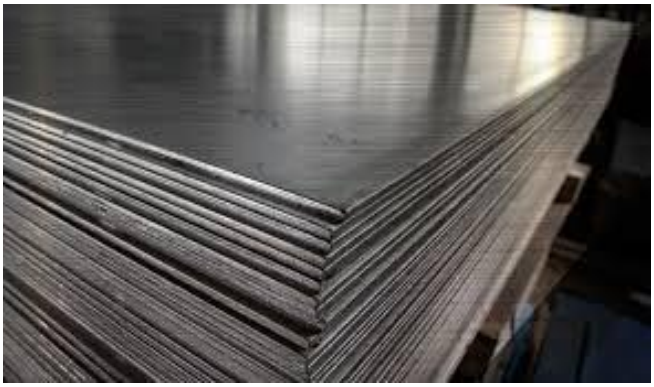


Fig. 46. Plancha de acero ASTM36

La selección y compra de los componentes se realizó de forma secuencial, priorizando aquellos elementos que condicionarían la elección de otros, garantizando la compatibilidad y funcionalidad del conjunto. La adquisición inicial fue el motor, cuya potencia y características determinaron la selección de los componentes eléctricos asociados, tales como la botonera y el cableado. Se destaca que el motor se obtuvo con los elementos necesarios para su montaje directo.

Posteriormente, se adquirió el material para la estructura principal, consistente en tubo cuadrado de dimensiones 40×40×4 mm. Este material constituye el "esqueleto" de la máquina, estimándose un consumo aproximado de 1.5 tubos de 6 metros cada uno. Seguidamente, la caja reductora fue el siguiente componente crítico en ser adquirido, dada su importancia en la reducción de velocidad y aumento de torque, comprándose las poleas destinadas a la distribución de potencia desde el motor hacia la caja reductora, así como los rodamientos y la chumacera necesarios para el soporte y la operación del sistema.

Finalmente, se obtuvo la plancha de acero que conformaría la mesa de trabajo superior, donde se efectuaría el proceso de doblado. Esta plancha, de acero ASTM A36, fue adquirida en Dipac con dimensiones de 1200×500×4 mm, sirviendo como material base para la manufactura de otros elementos de la máquina.

Para la interconexión entre el motor y la caja reductora, se emplearon poleas de diámetros estándar (3, 5 y 9 pulgadas), disponibles en ferreterías locales, sobre el cual, el sistema de transmisión por bandas fue diseñado para una reducción de velocidad y un incremento de torque progresivo, partiendo de velocidad inicial del motor de 3450 rpm se redujo a 1150 rpm mediante un mecanismo de bandas con poleas de 3 y 9 pulgadas antes de la entrada a la caja reductora.



Fig. 47. Poleas 3 y 9 in.

La caja reductora, con una relación de 150:1, disminuyó la velocidad a 19.16 rpm en su eje de salida, por lo que, para lograr la velocidad de operación final de la máquina, se utilizaron dos poleas adicionales (3 y 9 pulgadas), estableciendo la velocidad en 6.38 rpm al conectarse a la base guía. Esta baja velocidad final asegura un torque significativamente elevado, facilitando el doblado de la varilla.

Los ejes para el acople de las poleas fueron suministrados con la caja reductora, sin embargo, las poleas requirieron manufactura en torno para garantizar un acople preciso y la integración de los rodamientos, para los cuales se utilizó el modelo 6205, con un diámetro interior de 25 mm, seleccionados por su compatibilidad con el diámetro de la clavijera y su fácil disponibilidad comercial.



Fig. 48. Rodamiento 6205

Seguidamente se fabricaron dos discos a partir de la plancha de acero adquirida, los cuales sirven como soporte. Estos discos se anclan a una polea de 8 pulgadas, encargada de transmitir la potencia desde la salida de la caja reductora al eje que realiza el doblado de la varilla. Para asegurar una rotación suave y minimizar la fricción, se incorporaron rodamientos y una chumacera en este conjunto.

La estructura de la máquina se construye utilizando tubo cuadrado de acero, distribuido por una ferretería local (Ferrigonz). Empleándose dos piezas de 6 metros de este material tanto para el armazón principal de la estructura como para el soporte de la base guía, ensamblándose con un proceso de soldadura y perforación precisos para asegurar la robustez y funcionalidad de la máquina como se muestra en la figura 45.



Fig. 49. Estructura ensamblada.

Para la fijación del motor reductor, se soldó una "ventana" en la estructura y se realizaron cuatro perforaciones para el anclaje mediante pernos M10, soportando así el peso del conjunto motor-reductor, como se evidencia en la figura 46. Adicionalmente, se perforó el disco que transmite la potencia a la polea para asegurar una sujeción óptima en conjunto con la chumacera.



Fig. 50. Ventana estructural donde se ancla el motor.

Los ejes donde van acoplados las poleas vinieron incluidos en la caja reductora, sin embargo, las poleas si tuvieron que ser manufacturadas en un torno ya que se necesita que esta se acople perfectamente en los ejes que ya se tenían que incluir rodamientos en la polea de 9 pulgadas debido a que esta necesita la menor fricción posible para tener un giro sin fricción.

4.4 Ensamblaje

4.4.1 Ensamblaje total

En esta sección se presenta un proceso de ensamblaje paso a paso para la máquina dobladora, describiendo las actividades clave y la lógica de la construcción, más que un manual de ensamblaje estricto, representándose el ensamblaje más como la culminación de las fases de diseño y construcción de piezas, donde todos los componentes se integran para formar el equipo funcional como los observados en la siguiente imagen.

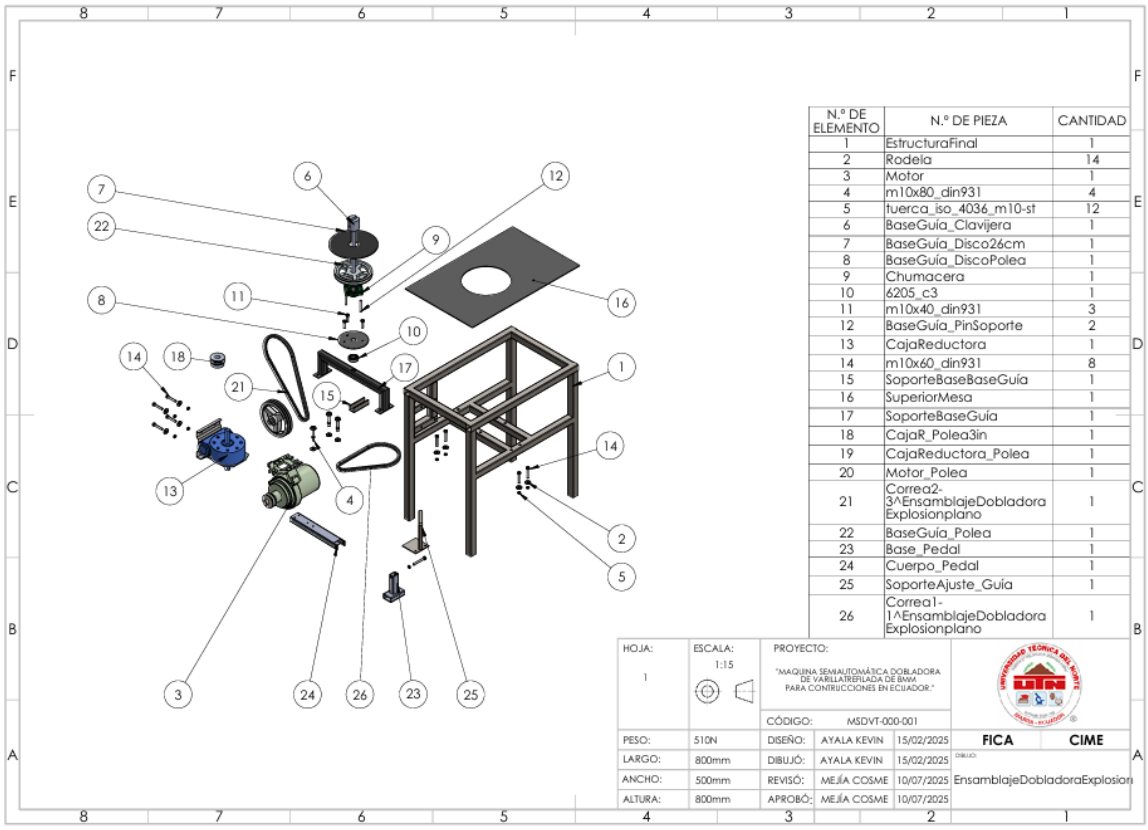


Fig. 51. Lista de ensamble de la máquina.

Paso 1: Adquisición y preparación de materiales y componentes

Antes de iniciar el ensamblaje, se deben tener todos los componentes listos:

Adquirir el motor (N.º 17), preferentemente un motor de embrague Jotex DOL12H de 0.5 HP y 3450 RPM, ya que su elección dictará otros elementos eléctricos.

Comprar el tubo cuadrado de acero de 40×40×4 mm para la estructura, se estima que se usó aproximadamente un tubo y medio.

Obtener la caja reductora (N.º 16) con una relación de 150:1 y sus ejes incluidos.

Adquirir las poleas estándar de 3, 5 y 9 pulgadas (N.º 7, N.º 15), los rodamientos modelo 6205 (N.º 18) con 25 mm de diámetro interior, y la chumacera (N.º 10).

Comprar la plancha de acero superior de la mesa (N.º 2) de 1200×500×4 mm, que servirá de base para otros componentes.

Asegurarse de tener todos los elementos de fijación necesarios: pernos M10 de varias longitudes (m10x40, m10x60, m10x80), rodelas y tuercas.

Disponer de los componentes eléctricos como contactores, relés térmicos, pulsadores, pedales, lámparas indicadoras y finales de carrera.

Paso 2: Fabricación y adaptación de piezas

Algunas piezas requieren ser manufacturadas o adaptadas antes del ensamblaje final:

Cortar los dos discos de acero (N.º 5 BaseGuía_Disco26cm y N.º 6 BaseGuía_DiscoPolea) de la plancha de acero adquirida.

Manufacturar las poleas en un torno, especialmente la de 9 pulgadas, para asegurar un acople perfecto con los ejes y la inclusión de rodamientos, minimizando la fricción.

Paso 3: Ensamblaje y soldadura de la estructura principal

Cortar los perfiles de tubo cuadrado a las longitudes especificadas para la estructura (ej. 760 mm, 800 mm, 500 mm, etc.).

Soldar la estructura principal (N.º 1 EstructuraFinal) según las dimensiones del diseño, utilizando soldadura perimetral continua para garantizar robustez y estabilidad.

Soldar una "ventana" en la estructura para facilitar la instalación del motor reductor.

Soldar los soportes para la base guía (SoporteBaseBaseGuía N.º 8, SoporteBaseGuía N.º 9) a la estructura.

Paso 4: Realización de perforaciones para anclaje

Hacer cuatro perforaciones en la "ventana" soldada para montar el motor reductor con pernos M10, soportando su peso.

Realizar perforaciones en las guías que soportarán el peso del motor de embrague.

Perforar el disco (N.º 6 BaseGuía_DiscoPolea) que transmite la potencia a la polea para asegurar una mejor sujeción junto con la chumacera.

Perforar la plancha SuperiorMesa (N.º 2) para su fijación a la estructura.

Paso 5: Montaje del sistema de transmisión de potencia

Instalar el motor (N.º 17) y la caja reductora (N.º 16) en sus ubicaciones designadas en la estructura, fijándolos con pernos M10.

Acoplar las poleas (N.º 7 BaseGuía_Polea8in, N.º 15 CajaReductora_Polea3in) a los ejes del motor y la caja reductora. Los rodamientos 6205 (N.º 18) y la chumacera (N.º 10) deben ser integrados para permitir una rotación fluida y minimizar la fricción.

Colocar las correas (N.º 20, N.º 21) para el sistema de transmisión de bandas, conectando el motor a la caja reductora (poleas de 3 y 9 pulgadas) y la salida de la caja reductora al mecanismo de doblado (otras poleas de 3 y 9 pulgadas) para lograr la reducción de velocidad deseada (de 3450 rpm del motor a 6.38 rpm en el eje final de doblado).

Ensamblar el plato (N.º 5 BaseGuía_Disco26cm y N.º 6 BaseGuía_DiscoPolea) y la base guía de la varilla (N.º 3 BaseGuía_PinSoporte, N.º 4 BaseGuía_Clavijera) que se anclan a la polea de 8 pulgadas y al eje que dobla la varilla. Asegurar que estos elementos estén alineados con los topes de la parte superior de la mesa (N.º 2).

Paso 6: Montaje del circuito eléctrico y controles

Realizar el montaje del circuito eléctrico que incluye los contactores y relés térmicos para la protección del motor contra sobrecargas.

Instalar los pulsadores y pedales para el control ergonómico de la máquina, permitiendo al operador accionar el doblado con el pie y tener las manos libres para manipular la varilla.

Verificar la conexión eléctrica del motor (110 V o 220 V) y su sentido de giro, ya que un cambio incorrecto podría dañar el motor. El motor de embrague se controla mediante una palanca para activar su movimiento rotatorio.

Paso 7: Verificaciones finales y ajustes

Realizar una inspección visual completa para asegurar que todos los componentes estén correctamente ensamblados y fijos.

Verificar la alineación de las poleas, ejes y el plato de doblado para asegurar un movimiento suave y preciso.

Asegurar que no haya interferencias entre las partes móviles.

Al seguir estos pasos, se logra el ensamblaje de la máquina dobladora, para luego ser sometida a rigurosas pruebas para validar su funcionamiento y rendimiento.



Fig. 52. Máquina ensamblada.

4.4.2 Funcionamiento y pruebas

La fase de funcionamiento y pruebas es esencial para verificar el correcto funcionamiento de la máquina y asegurar que cumple con los objetivos de diseño y rendimiento, por lo que las pruebas se enfocaron en el doblado de varillas, la evaluación de la productividad y el análisis de la integridad estructural.

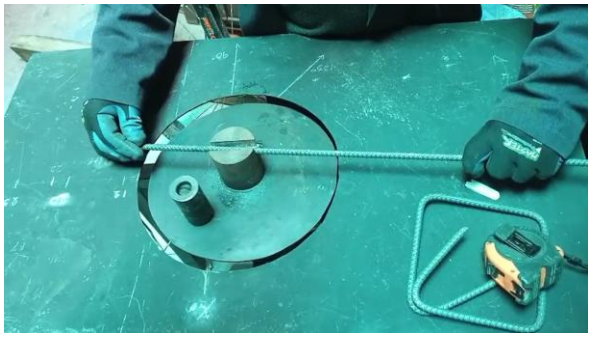


Fig. 53.Inserción de la varilla.



Fig. 54. Doblado de la varilla.

En este sentido, se llevaron a cabo múltiples pruebas de doblado utilizando varillas de 8 mm para evaluar la precisión y consistencia de los ángulos de doblado, confirmándose que el diseño permite la creación de estribos con los ángulos correctos (90º y 135º) para los ganchos, lo cual es fundamental para el refuerzo estructural y el cumplimiento de las normativas. En el proceso, se verificó que el mecanismo de doblado, con su sistema de transmisión de potencia optimizado y una baja velocidad de operación (6.38 rpm), proporciona el torque necesario para doblar la varilla con facilidad.



Fig. 55. Estribo realizado con la máquina semiautomática dobladora.



Fig. 56. Estribo realizado con la dobladora manual.

Protocolo de pruebas de funcionamiento ergonómico

- Material: varilla de acero Ø 8 mm
- Tipo de operación: ciclo completo de doblado de un estribo
- Número de ciclos evaluados: 10
- Variables observadas:

  Intervención manual del operario

  Número de movimientos repetitivos por ciclo

  Esfuerzo físico requerido durante el doblado

  Necesidad de correcciones manuales

  Criterio de evaluación:

  Eliminación de movimientos repetitivos respecto al método manual

  Operación asistida mecánicamente durante el doblado

Tabla XVII

Tiempo requerido para fabricar estribos

Estribo	Máquina manual Tiempo (s)	Máquina semiautomática Tiempo (s)
1	51	45
2	45	43
3	40	44
4	38	45
5	50	46
6	52	45
7	43	44
8	36	42
9	35	45
10	40	47

Como se muestra en la tabla 17 el tiempo de doblado en la máquina manual es muy variable teniendo una suma de 430 segundos en las 10 pruebas, teniendo así un promedio de 43 segundos por estribo, por otro lado la máquina semiautomática tiene un tiempo de conformado del estibo más estable y en las 10 pruebas se calculó un tiempo total de 446 segundos que arroja un promedio de 44.6 segundos por estibo, sim embargo la máquina semiautomática elimina los movimientos que el operario realiza al conformar el estribo por tanto se evita el riesgo que este pueda presentar al ejecutar esfuerzos para doblar la varilla.

Además, como se visualiza en las figuras 55 y 56 el estribo cumple con una de las características más importantes en el conformado del estribo que es el gancho, que se establece en la norma ACI 318 y que en máquina manual del taller no se puede realizar.

4.4.3 Evaluación de rendimiento

La fase de validación se desarrolló con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de la máquina dobladora y evaluar su aporte en la reducción de esfuerzos físicos y movimientos repetitivos del operario durante la fabricación de estribos, considerando que este aspecto constituye el eje central del presente trabajo de investigación.

Para ello, se estableció y ejecutó un protocolo de pruebas de funcionamiento utilizando varillas de acero de 8 mm de diámetro, comúnmente empleadas en la elaboración de estribos. El procedimiento consistió en la realización de diez ciclos completos de doblado, manteniendo condiciones constantes de operación, con el fin de observar la interacción del operario con la máquina y el comportamiento del sistema mecánico. Las Figuras 50 y 51 muestran el estado de la varilla antes del doblado y durante el proceso de conformado.

Durante las pruebas se analizaron variables cualitativas relacionadas con la ergonomía del proceso, tales como el grado de intervención manual, la cantidad de movimientos repetitivos requeridos por ciclo, y el esfuerzo físico ejercido por el operario. Se observó que el proceso de doblado se realiza principalmente mediante la acción del sistema mecánico, limitándose la participación del operario a la colocación inicial de la varilla y a la activación del mecanismo, eliminando la necesidad de aplicar fuerza directa durante el conformado.

Asimismo, se verificó que el diseño del sistema de transmisión de potencia y la velocidad de operación del mecanismo (6,38 rpm) permiten realizar el doblado de forma continua y controlada, sin requerir correcciones manuales posteriores, lo que contribuye a disminuir movimientos repetitivos asociados a la rectificación de estribos, comunes en el método tradicional.

Los resultados de las pruebas evidencian que la máquina cumple con su función principal de reducir la carga física y los movimientos repetitivos del trabajador, mejorando las condiciones ergonómicas del proceso de fabricación de estribos y disminuyendo el riesgo de fatiga y lesiones musculoesqueléticas asociadas al método manual.

CONCLUSIONES

El presente capítulo se platean las conclusiones basadas en el desarrollo del trabajo expuesto, las cuales subrayan la relevancia y la factibilidad del proyecto.

- La producción de estribos es indispensable en el proceso de construcción ya que garantizan una resistencia estructural al momento de constituir hormigón armado, los estilos de los estribos dependen de la aplicación para la cual estén diseñados que pueden ser cuadrados o rectangulares, su fabricación afecta directamente a la resistencia que tenga en la estructura por lo que dependiendo del método de producción estos van a cumplir con las características necesarias para ser utilizados.

- El análisis estático del elemento denominado clavijera, el cual es el elemento crítico de la máquina, obtuvo un factor de la seguridad de 2.4 usando las ecuaciones de resistencia.

- La simulación apoyada en SolidWorks tuvo un error de aproximadamente 1,6% con respecto al cálculo analítico lo que demuestra que la máquina puede resistir los esfuerzos empleados al momento de realizar estribos.

- Se determinó que no existe una reducción significativa del tiempo promedio de fabricación al comparar directamente ambos métodos; sin embargo, la máquina semiautomática presenta una mayor uniformidad en los tiempos de producción, reduciendo la variabilidad propia del proceso manual asociada a correcciones y ajustes del operario, además de facilitar el uso de ambas manos durante el doblado y asegurar una formación más precisa y repetitiva de los ángulos, lo que asegura la calidad del producto final y la estabilidad del proceso productivo.

- Se seleccionaron los elementos que conforman la máquina dentro del mercado local facilitando de una mejor manera el ensamblaje y mantenimiento de la máquina dobladora de varilla.

RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de hondar en el diseño, se recomienda realizar ensayos de fatiga de manera experimental, durante su uso y mejorar los elementos afectados aplicando consecuentemente esta metodología.

- Para preservar la vida útil de la máquina y sus componentes, se recomienda mantenerla en un ambiente con condiciones adecuadas que prevengan su deterioro, diseñando y aplicando una rutina de mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento óptimo a largo plazo.

- Desde el punto de vista operacional, se recomienda usar un sistema de engranajes que permitan generar el torque máximo de la máquina evitando usar sistemas que pueden llegar a perder el momento.

- La máquina ha sido diseñada para operar con un motor de embrague específico. Por lo que se advierte que la inclusión de un motor sin esta característica resultaría en un fallo operacional. En caso de considerarse una variación en la potencia del motor, se ha indicado la indispensabilidad de realizar nuevos cálculos para asegurar que no se afecte negativamente la máquina, particularmente la base guía, un elemento sometido a altos esfuerzos.

- Dado que el diseño permite una operación asistida y un control preciso de los ángulos, se ha recomendado explorar la posibilidad de utilizar esta máquina para realizar otros tipos de doblados de varilla trefilada, tales como la creación de ganchos o patas para zapatas, parrillas y otras estructuras de acero, lo que ampliaría su utilidad en el sector de la construcción.

REFERENCIAS

[1] Á. Candelario, E. Ordóñez y V. Vera, «El sector de la construcción,» de *Realidad socioeconómica del Ecuador*, Quito, Abya-Yala, 2023.

[2] Asamblea Nacional del Ecuador, *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones,* Quito, Pichincha, 2010.

[3] R. R. A. R. E. B. C. H. J. F. J. R. Guillermo Neusa Arenas, «Riesgos disergonómicos: Biometría postural de los trabajadores de plantas industriales en Ecuador,» *Revista de Ciencias Sociales (Ve), vol. Esp. 25, pp. 415-428, 2019,* 2019.

[4] M. López Alonso, M. D. Martínez Aires y E. Martín González, «Análisis de los riesgos musculoesqueléticos asociados a los trabajos de ferrallas. Buenas prácticas,» *Revista Ingeniería de Construcción,* vol. 26, nº 3, pp. 284-298, 2011.

[5] Construyendo Seguro, [En línea]. Available: https://www.construyendoseguro.com/asi-se-hace-una-distribucion-de-los-estribos-en-columnas/.

[6] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, «Dolor lumbar: Guía Práctica Clínica (GPC),» 2015. [En línea]. Available: http://salud.gob.ec.

[7] P. Zurita, «Diseño y construcción de una máquina para cortar y doblar estribos en serie para columnas de hormigón armado [Tesis de grado],» 2014.

[8] P. Trujillo Zurita y J. Pérez Silva, «Diseño de una máquina para cortar y doblar estribos en serie para columnas de hormigón armado,» *Revista Ingenius,* vol. 16, julio 2016.

[9] D. F. Guerrero Lomas, «Máquina dobladora para fabricar estribos cuadrados de varilla trefilada de acero de 6mm de diámetro,» Ibarra, 2017.

[10] F. Gálvez, M. Atienza, J. Ruiz y M. Elices, «trefilados, Influencia de la velocidad de deformación en el comportamiento mecánico de alambres de acero,» *Anales de Mecánica de la Fractura,* vol. 18, 2001.

[11] ANDEC S.A., 2021. [En línea]. Available: https://www.andec.com.ec/wp-content/uploads/2021/10/CATALOGO-ANDEC-2021.pdf.

[12] Ministerio de Hábitat y Vivienda del Ecuador, «NEC-SE-HM: Estructuras de hormigón armado,» 2014. [En línea]. Available: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf.

[13] M. Blanco, «Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela,* vol. 27, nº 3, pp. 71-84, 2012.

[14] Aceros Arequipa S. A., 2014. [En línea]. Available: http://www.acerosarequipa.com/manual-para-propietarios.html.

[15] F. Leonhardt, Estructuras de hormigón armado. Tomo I, 1984.

[16] American Concrete Institute, «Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05),» 2005. [En línea]. Available: https://ingenieria-civil.github.io/chile/normas/NormaACI318_05espa_ol.pdf.

[17] Ergo / IBV, «Prevención de riesgos ergonómicos en la construcción,» 2025. [En línea]. Available: https://www.ergoibv.com/es/posts/prevencion-riesgos-ergonomicos-construccion/.

[18] M. V. González, «Factor de riesgo ergonómico y la presencia de lumbalgia en el personal de una empresa constructora en Shushufindi-Ecuador 2023,» Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2023.

[19] Proyectos con Carlos, *Tutorial: Manual Strip bending machine,* YouTube, 2021.

[20] Mercado Libre, «Dobladora Varilla Brb-25 25mm Marca Elan – US$ 2.762,» 2024. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-520125049-dobladora-varilla-brb-25-25mm-marca-elan-_JM#polycard_client=search-

nordic&position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=6e1bab5c-69ba-428c-90d7-40452a546c07.

[21] Construex Ecuador, «DOBLADORA DE VARILLA – Construex Ecuador,» 2024. [En línea]. Available: https://www.construex.com.ec/exhibidores/coeconst/producto/dobladora_de_varilla.

[22] Autek Maquinaria, «Dobladoras de Varillas Eléctricas Sima DEL-50 | Venta CDMX,» 2024. [En línea]. Available: https://autekmaquinaria.com.mx/equipo-para-la-construccion/dobladoras-de-varillas-electricas-sima-del-50/.

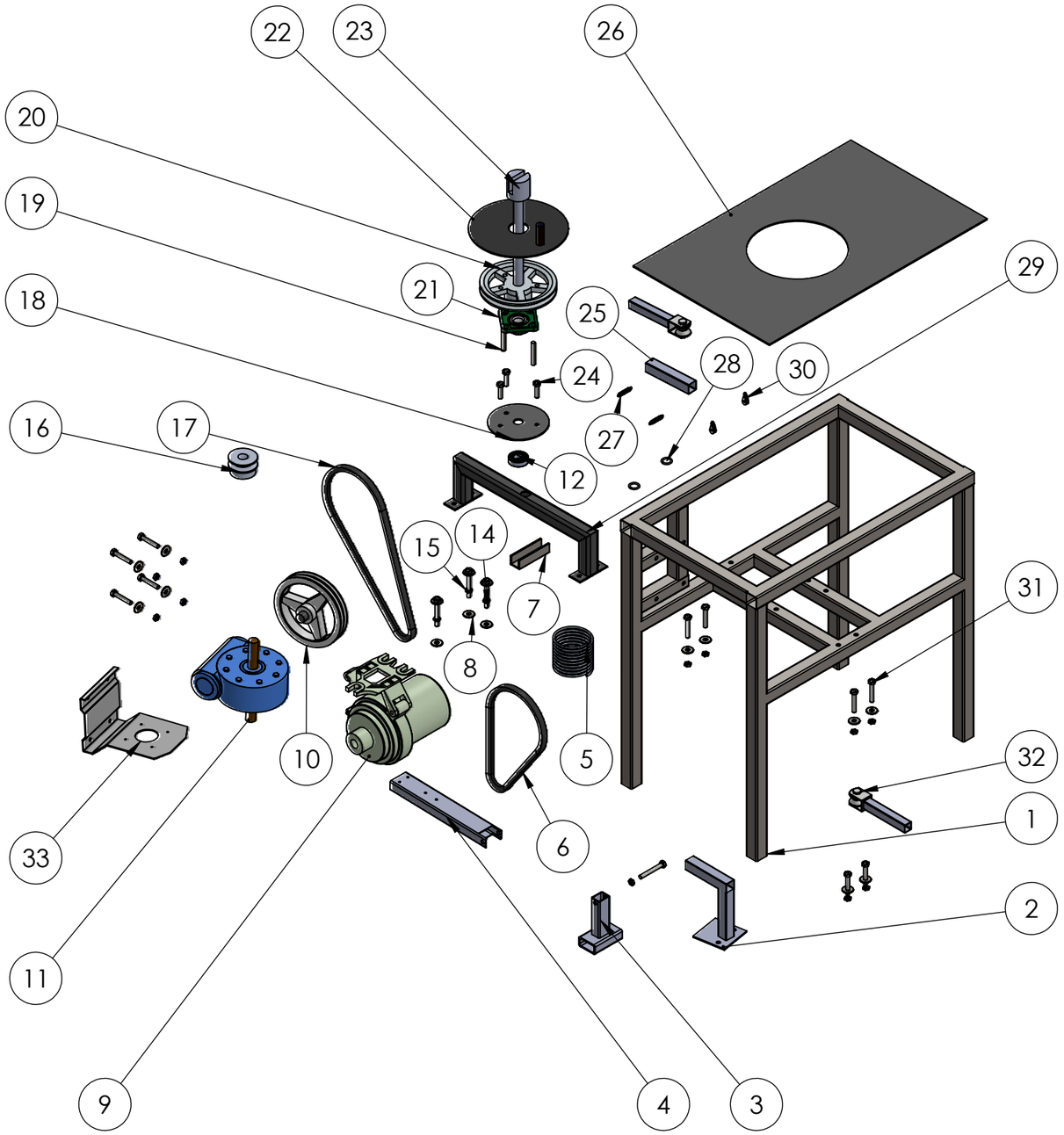
[23] R. J. Evans.Estados Unidos Patente US7624608B1, 2009.

[24] C. Chien.United States Patent and Trademark Office (USPTO) Patente US7739893B2, 2010.

[25] G. y. A. C. D. G. Morán Delgado, Métodos de investigación, Pearson Educación, 2010.

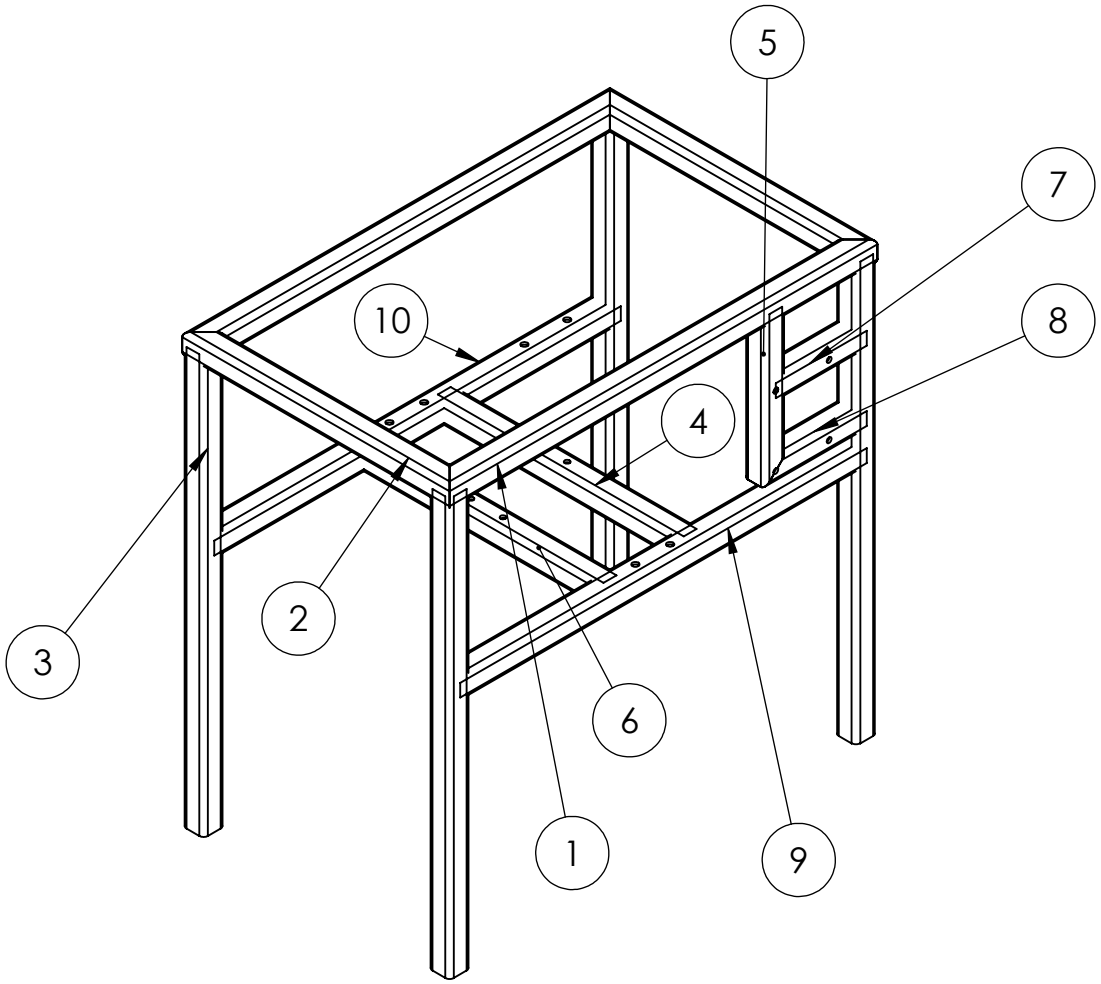
[26] I. T. V. C. S. &. R. M. C. Suárez, Técnicas e instrumentos de investigación: Diseño y validación desde la perspectiva cuantitativa, Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (FEDUPEL), 2022.

[27] A. Morey, Pandeo en estructuras verticales, España: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.



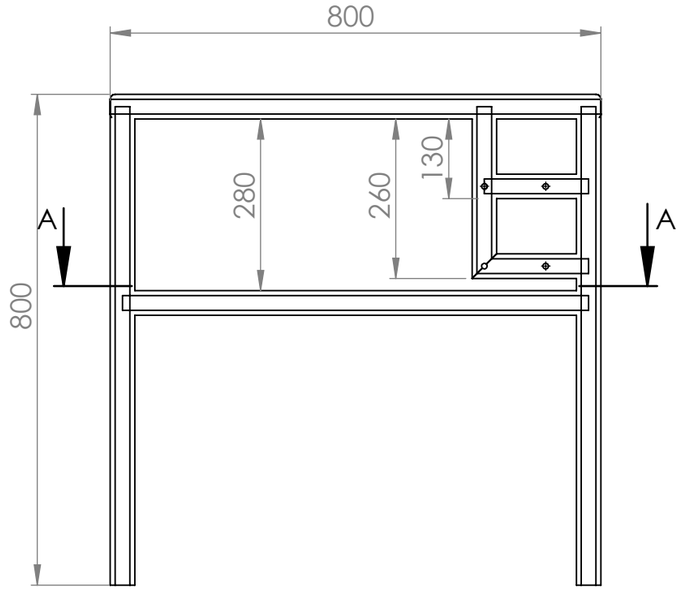
N° DE ELEM.	CANT.	NOMBRE DE PIEZA	CÓDIGO	MATERIAL	OBSERVACIONES
32	2	Polea_Deslizante	MS25-00-15	Zinc, Acab. Ni	Código Ferrigonz: PolR4cm
31	10	m10x60_din931	M10x60	ASTM A307	Dist: Ferrigonz
30	2	Garrucha	44113	Zinc, Acab. Ni	Dist: Kiwy
29	1	SoporteBaseGuía	MS25-00-14	ASTM A36	
28	2	Arandela	A5	AISI 304	Dist: Ferrigonz
27	2	ResorteCorto	020-148	ASTM A227	Dist: Ferrigonz
26	1	SuperiorMesa	MS25-00-13	ASTM A36	
25	1	GuíaPoleaDeslizante	MS25-00-12	ASTM A36	
24	3	m10x40_din931	M10x40	ASTM A307	Dist: Ferrigonz
23	1	BaseGuía_Clavijera	MS25-00-11	AISI 304	
22	1	BaseGuía_Disco26cm	MS25-00-10	ASTM A36	
21	1	Chumacera	SUCFL205-16	VARIOS	Dist: Kiwy
20	1	BaseGuía_Polea	MS25-00-09	AL 1060	Código Ferrigonz: Polea8in
19	2	BaseGuía_PinSoporte	MS25-00-08	ASTM A36	
18	1	BaseGuía_DiscoPolea	MS25-00-07	ASTM A36	
17	1	Correa2	A-42	Caucho	Dist: Mecánica Obando
16	1	CajaR_Polea3in	MS25-00-06	AL 1060	Código Ferrigonz: Polea3in
15	14	tuerca_iso_4036_m10-st	4036_m10	ASTM A307	Dist: Ferrigonz
14	4	m10x80_din931	M10x80	ASTM A307	Dist: Ferrigonz
33	1	CajaReductora_Soporte	MS25-00-05	AISI 304	Dist: Rebobinaje Paredes
12	1	6205_c3	6205_c3	SAE 52100	Dist: Kiwy
11	1	CajaReductora_Reductor	TSF-60:1	VARIOS	Dist: Rebobinaje Paredes
10	1	CajaReductora_Polea	Polea_8in	AL 6030	Dist: Kiwy
9	1	Motor	M:DOL12H	VARIOS	Dist: Jiretex
8	16	Rodela	SKU: 54828	ASTM A653	Dist: Kiwy
7	1	SoporteBaseBaseGuía	MS25-00-04	ASTM A36	
6	1	Correa1	A-41	Caucho	Dist: Mecánica Obando
5	1	ResorteTorsion	LTL135T08	HSS 316	Catálogo: LeeSpring
4	1	Cuerpo_Pedal	MS25-00-03	ASTM A36	
3	1	Base_Pedal	MS25-00-02	ASTM A36	
2	1	SoporteAjuste_Guía1	MS25-00-01	ASTM A36	
1	1	EstructuraFinal	MS25-01	ASTM A36	

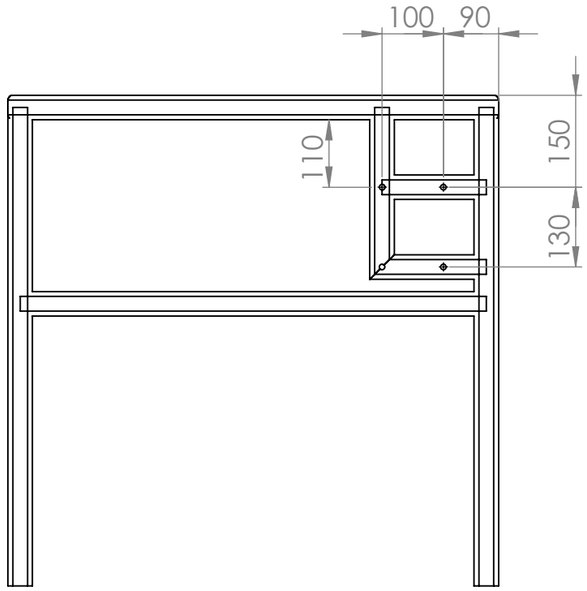
HOJA: 1	ESCALA: 1:15	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE IBARRA - ECUADOR	
		CÓDIGO: MS25-00				
PESO:	540N	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
LARGO:	800mm	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	EnsamblajeDobladoraExp	
ANCHO:	500mm	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
ALTURA:	800mm	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

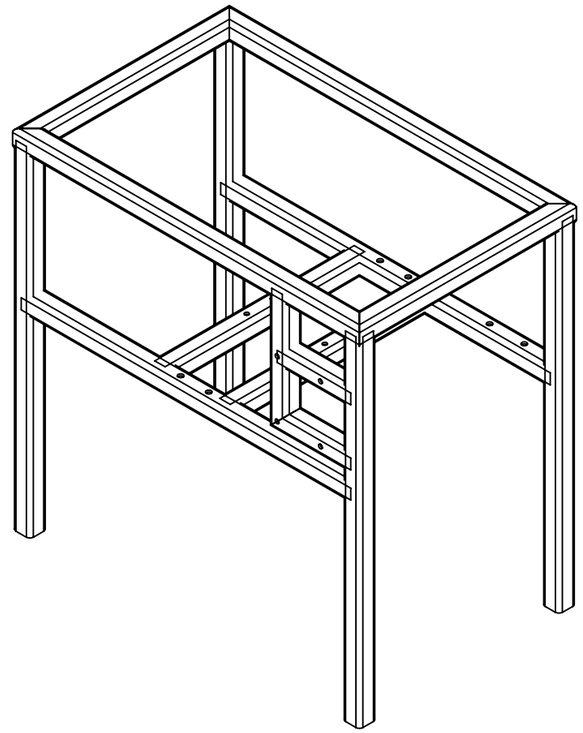


N° DE ELEM.	CANT.	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	ÁNGULO 1	ÁNGULO 2
10	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	760	0°	0°
9	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	760	0°	0°
8	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	170	0°	0°
7	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	190	0°	45°
6	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	460	0°	0°
5	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	280	45°	0°
4	1	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	460	0°	0°
3	4	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	780	0°	0°
2	2	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	500	45°	45°
1	2	TUBE, SQUARE 40,00 X 40,00 X 4,00	800	45°	45°

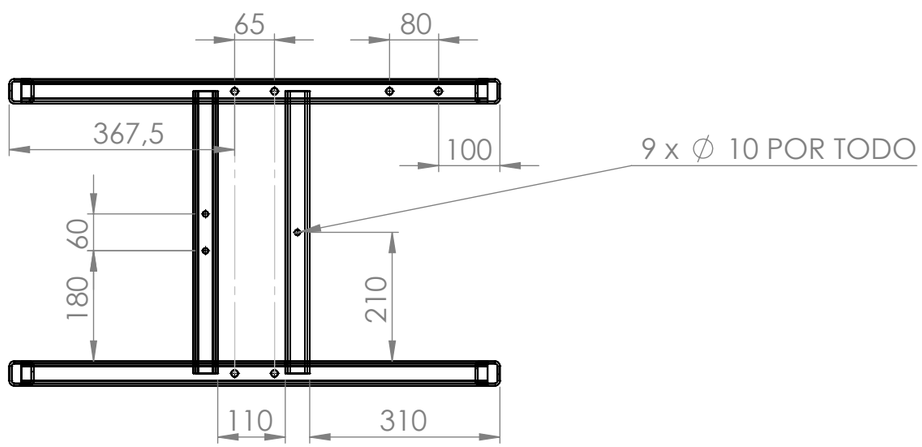
HOJA: 1 de 4	ESCALA: 1:10	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-01		
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: EstructuraTubos
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025	



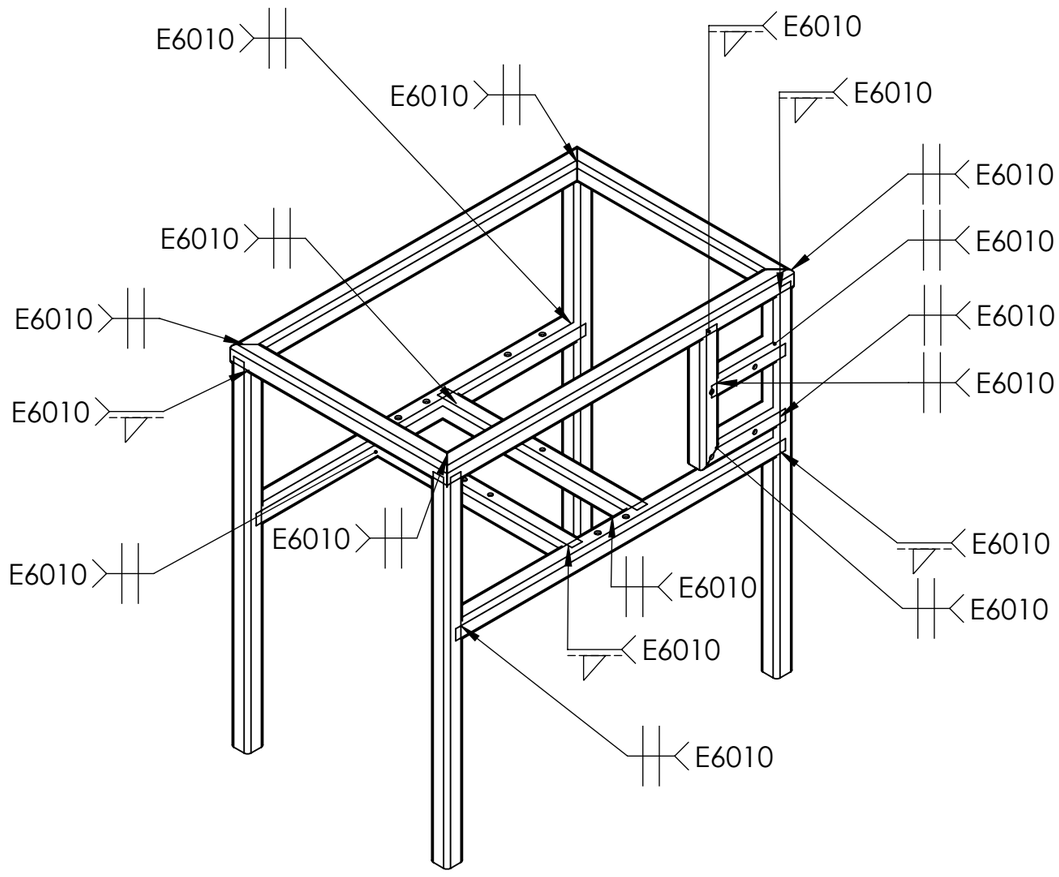




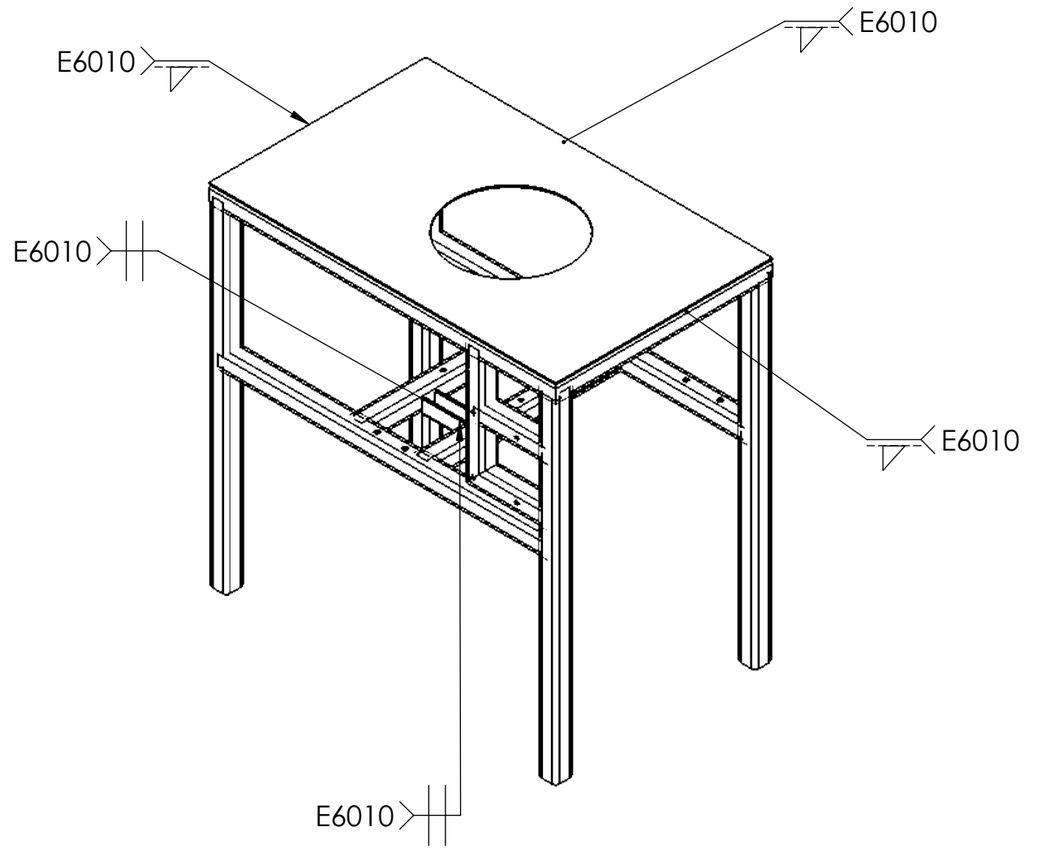
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10



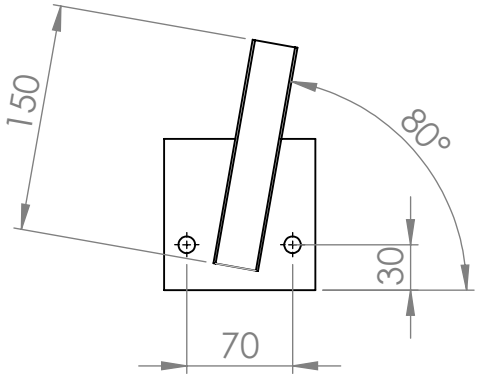
HOJA: 2 de 4	ESCALA: 1:10	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE IBARRA - ECUADOR	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-01			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: Estructura	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

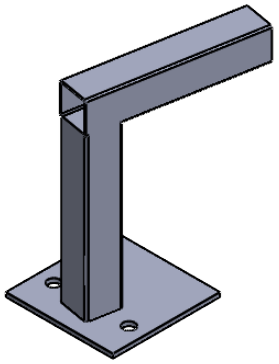


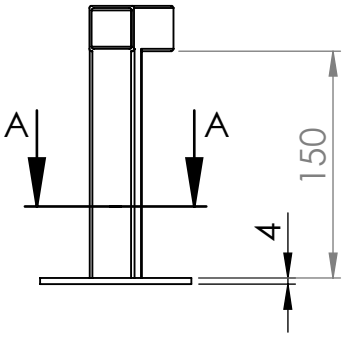
HOJA: 3 de 4	ESCALA: 1:10	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-01			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: EstructuraSoldadura34	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

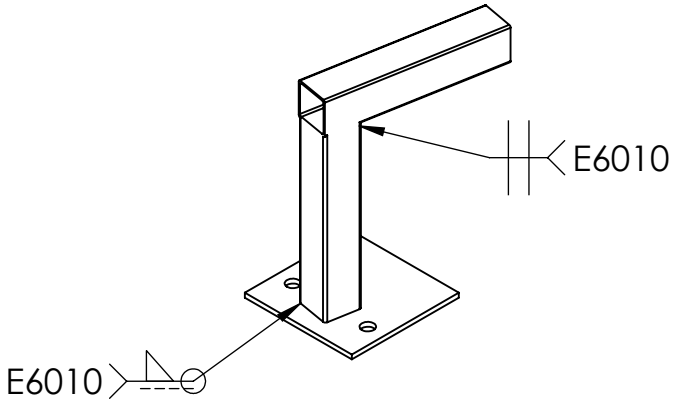


HOJA: 4 de 4	ESCALA: 1:10	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE IBARRA - ECUADOR	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-01			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: EstructuraSoldadura44	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

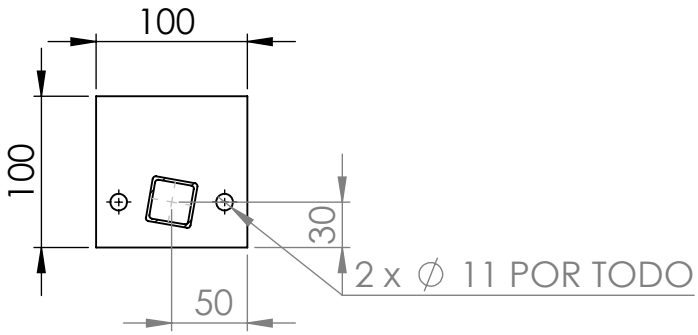






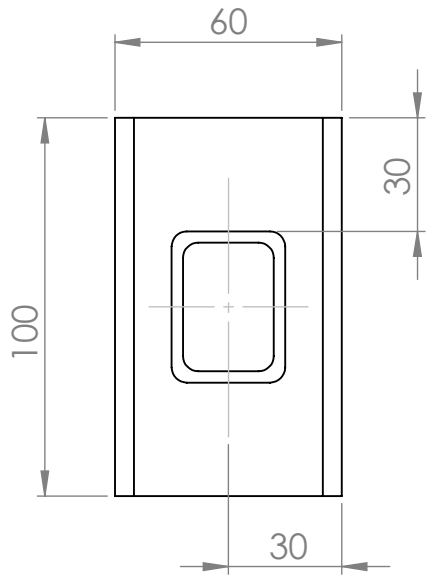


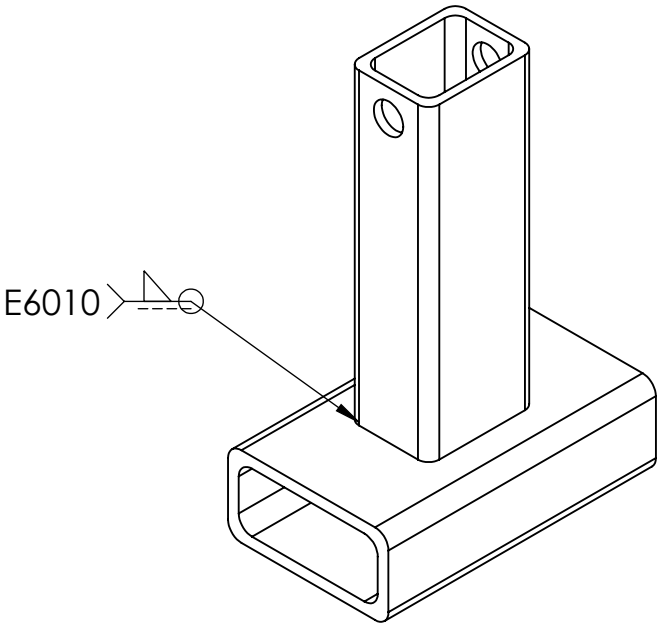
SECCIÓN A-A

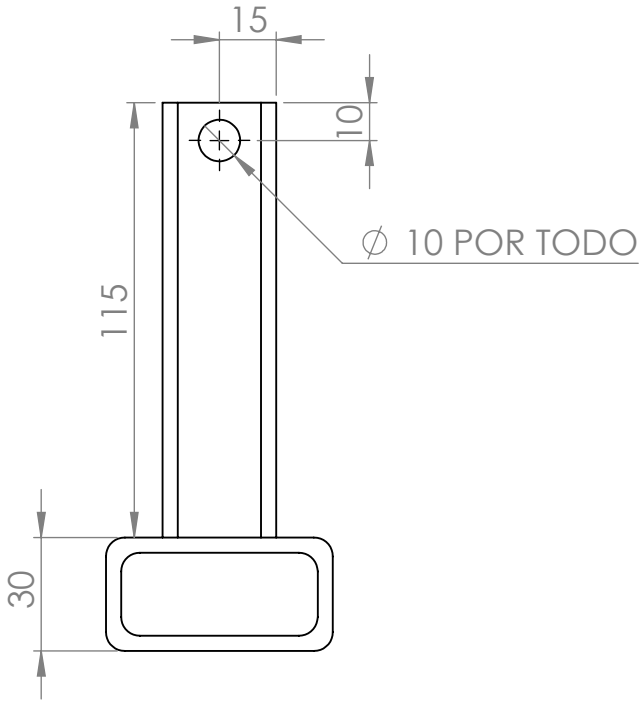


Se usa un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.5 con corte recto a las medidas especificadas.

HOJA: 1	ESCALA: 1:5	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE UTN IBARRA - ECUADOR	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-01			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: SoporteAjuste_Guía1	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

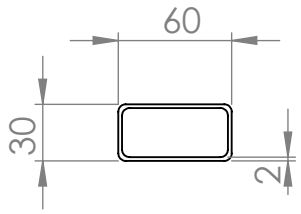


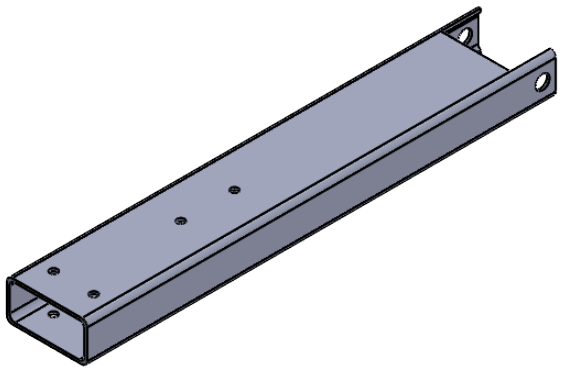


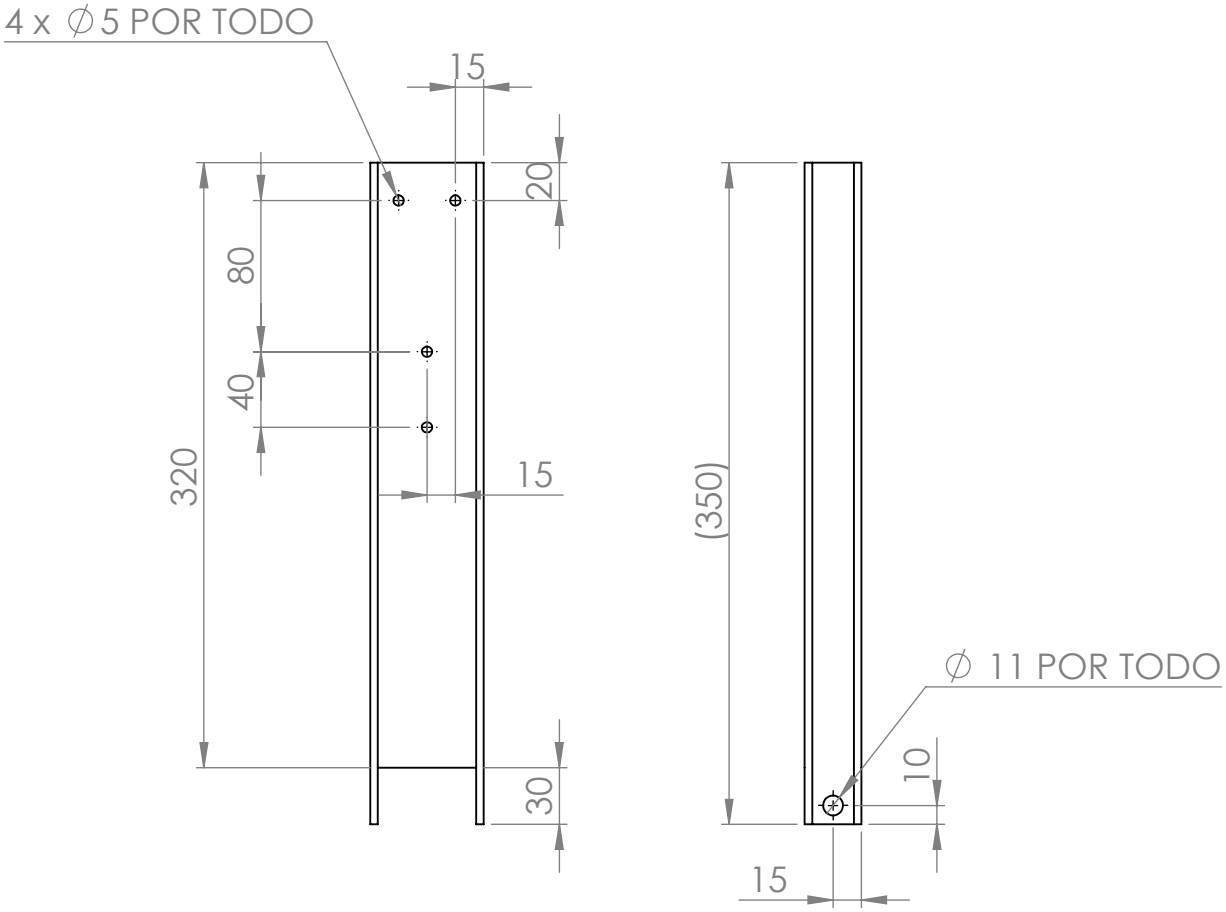


Se utiliza 2 tubos rectangulares de 30 x40 x 3 y 30 x 60 x 3 con cortes rectos a la medida especificada.

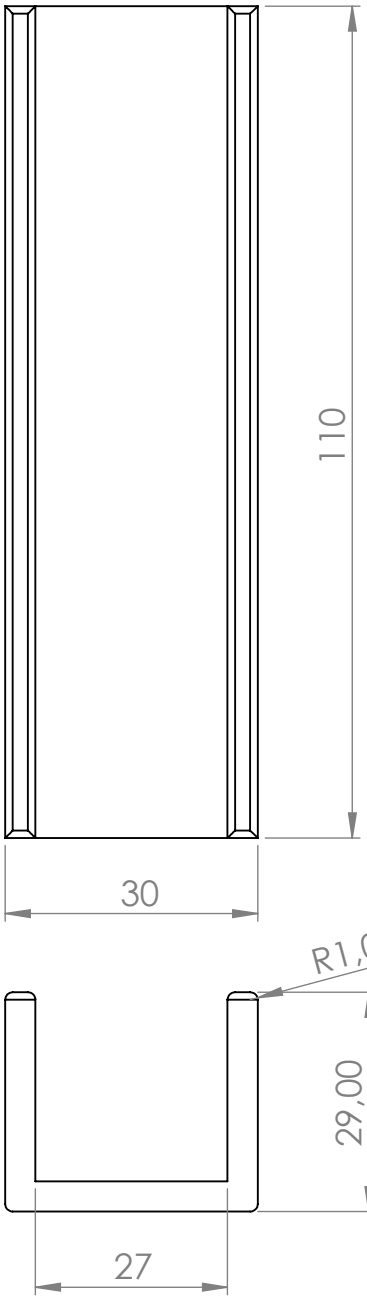
HOJA: 1	ESCALA: 1:2	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-02			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: Base_Pedal	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		





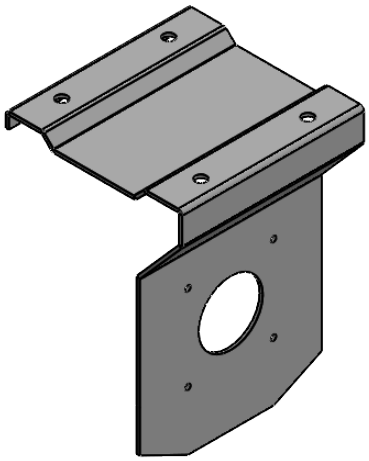


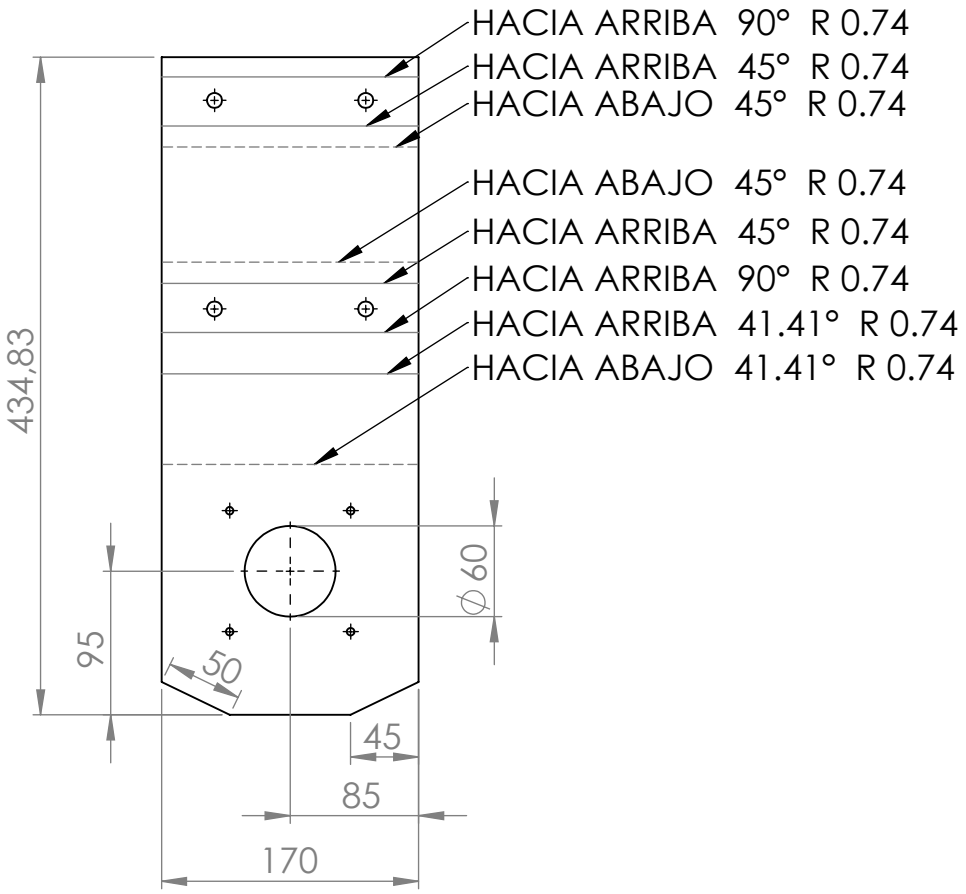
HOJA: 1	ESCALA: 1:4	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE UTN IBARRA - ECUADOR	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-03			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: Cuerpo_Pedal	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		



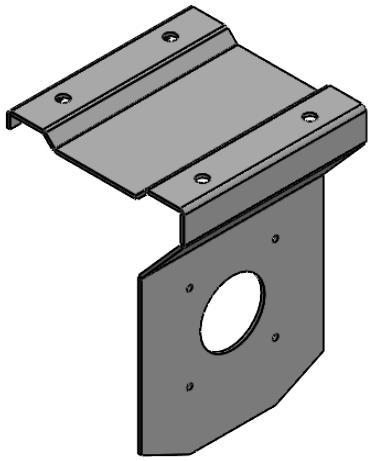
Se usa un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.5 con corte recto a la medida especificada

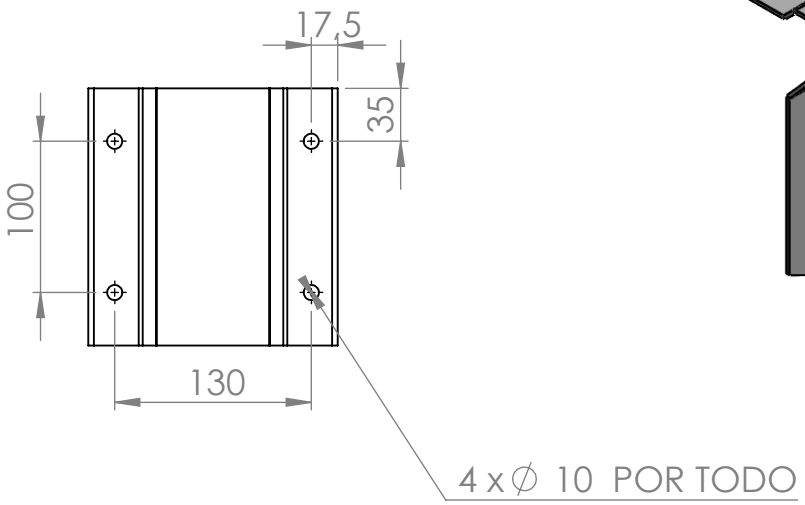
HOJA: 1	ESCALA: 1:1	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-04			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO:	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025	SoporteBaseBaseGuía	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

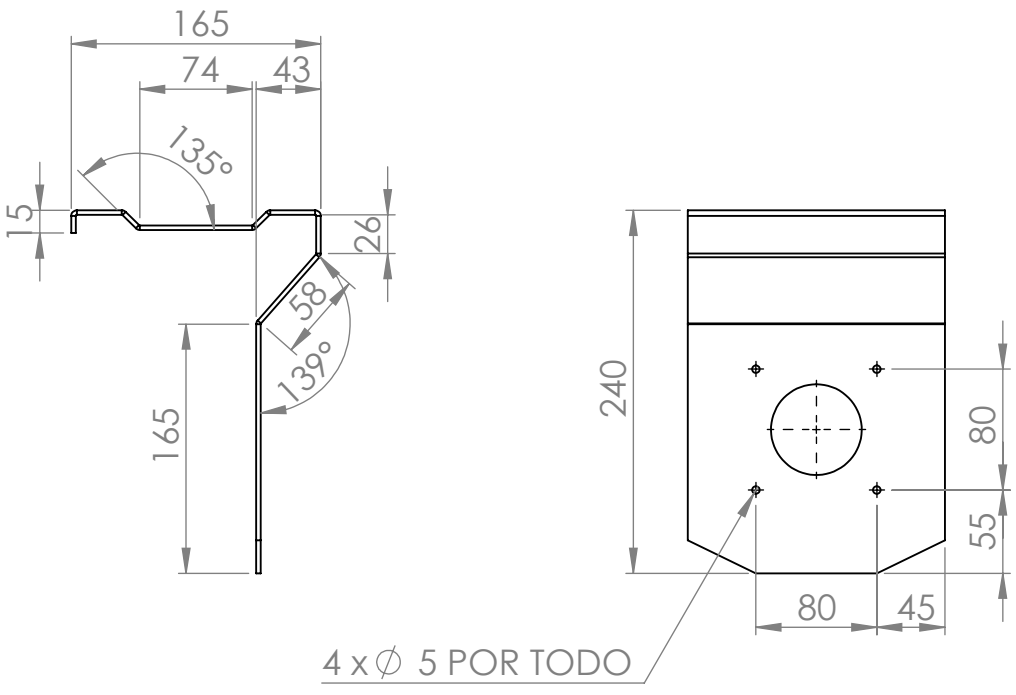




HOJA: 1 de 2	ESCALA: 1:5	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-05			
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: CajaReductora_SoportePlieg	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

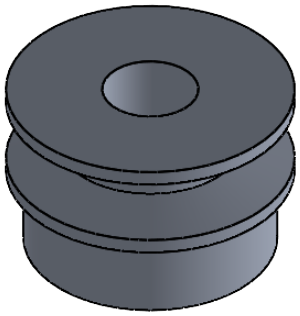


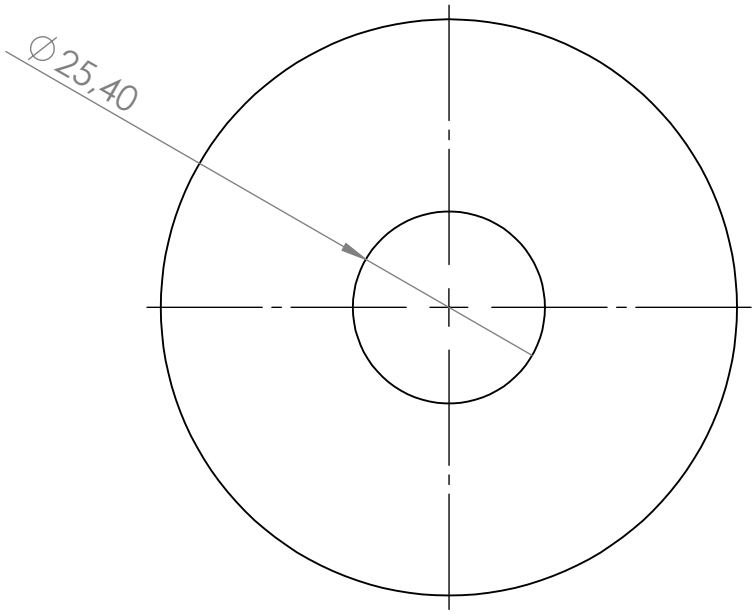




Esperor: 3mm

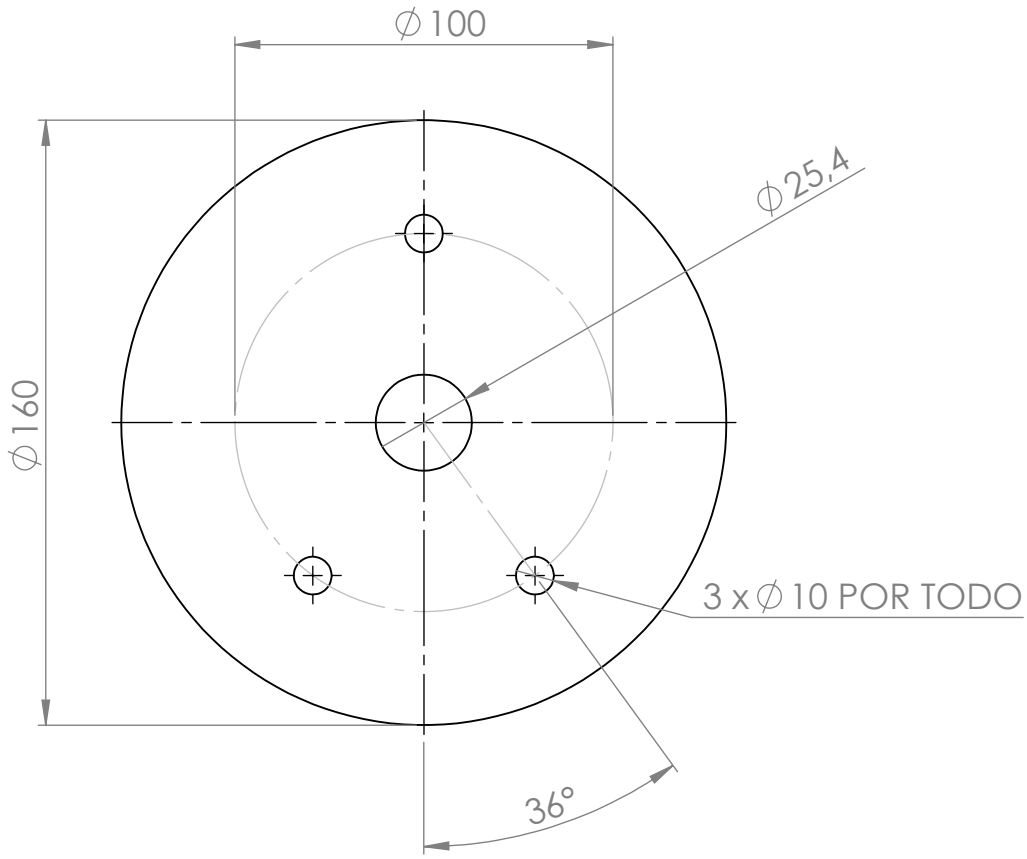
HOJA: 2 de 2	ESCALA: 1:5	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-05			
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	**FICA**	**CIME**
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: CajaReductora_SoporteT	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		





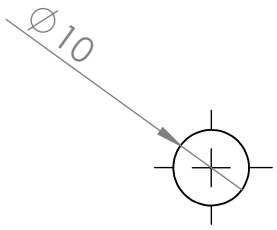
Código Ferrigonz: Polea3in

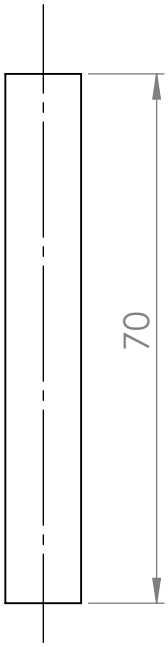
HOJA: 1	ESCALA: 1:1	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-06			
MATERIAL:	AL 1060	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	**FICA**	**CIME**
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: CajaR_Polea3in	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		



Espesor: 4mm

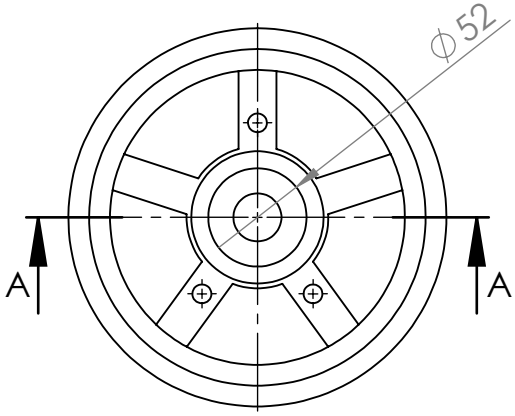
HOJA: 1	ESCALA: 1:2	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE		
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-07				
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: BaseGuía_DiscoPolea		
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025			
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025			



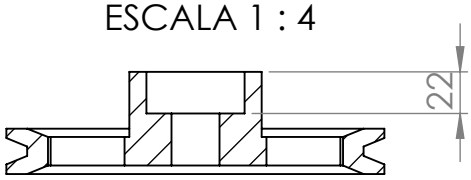


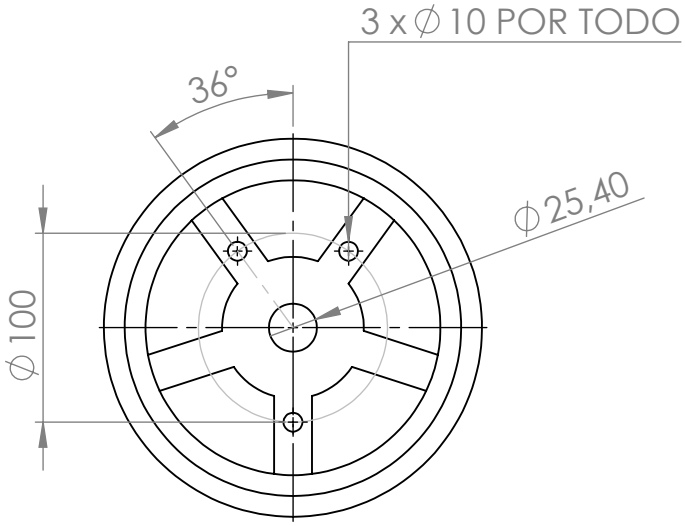
Este elemento puede hacerse con un corte de una varilla trefilada del mismo diámetro.

HOJA: 1	ESCALA: 1:1	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-08			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO:	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025	BaseGuía_PinSoporte	
CANTIDAD:	2	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		



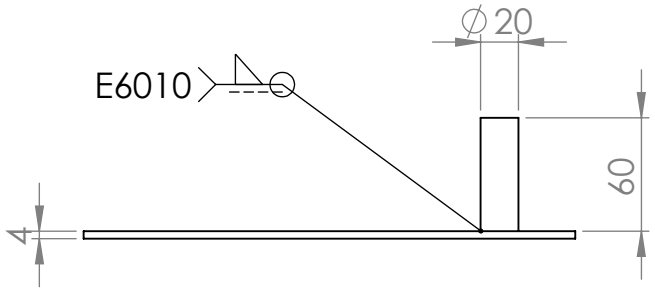
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 4

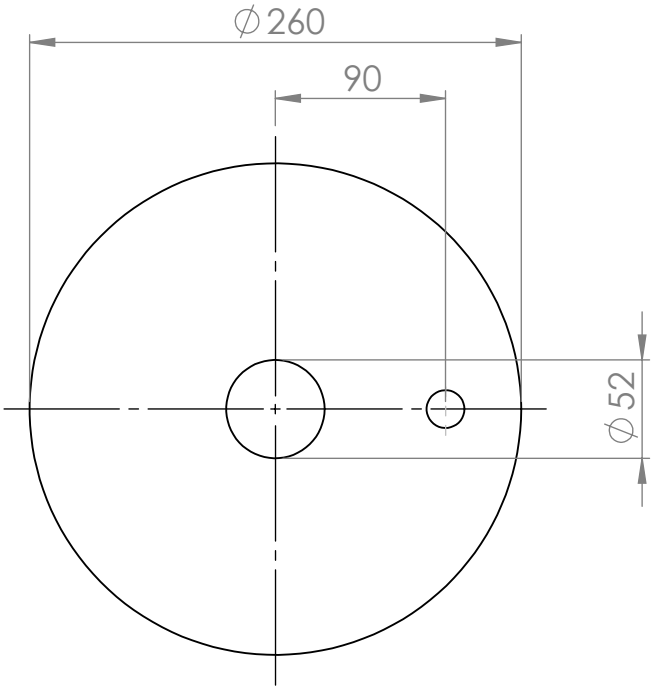




Código Ferrigonz: Polea8in

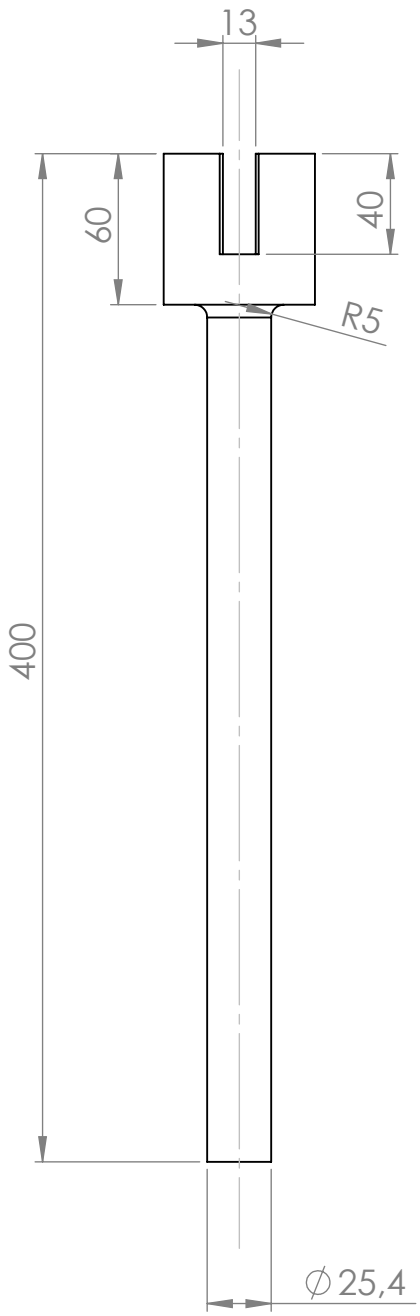
HOJA: 1	ESCALA: 1:4	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-09			
MATERIAL:	AL 1060	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	**FICA**	**CIME**
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: BaseGuía_Polea	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		



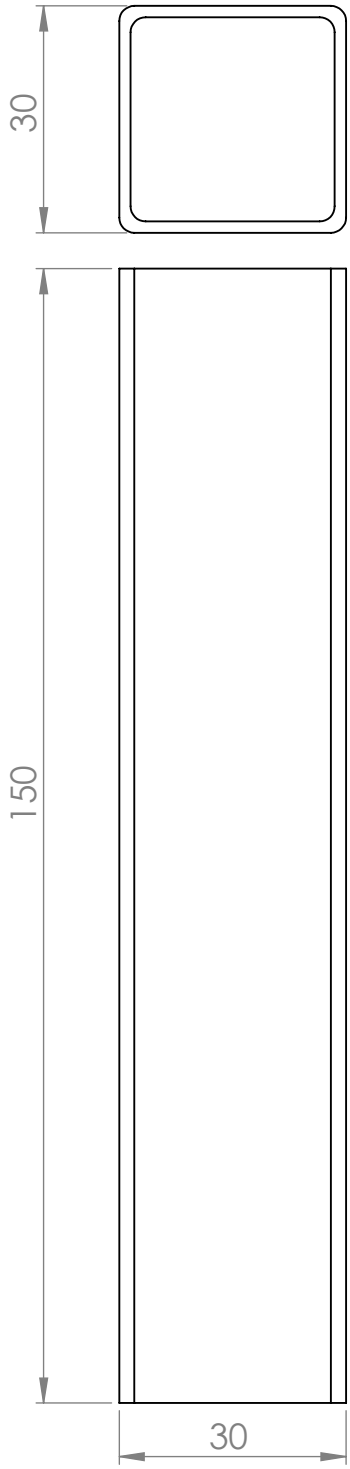


El elemento cilíndrico soldado puede ser una varilla trefilada cortada a la distancia especificada

HOJA: 1	ESCALA: 1:4	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-10			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: BaseGuía_Disco26cm	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

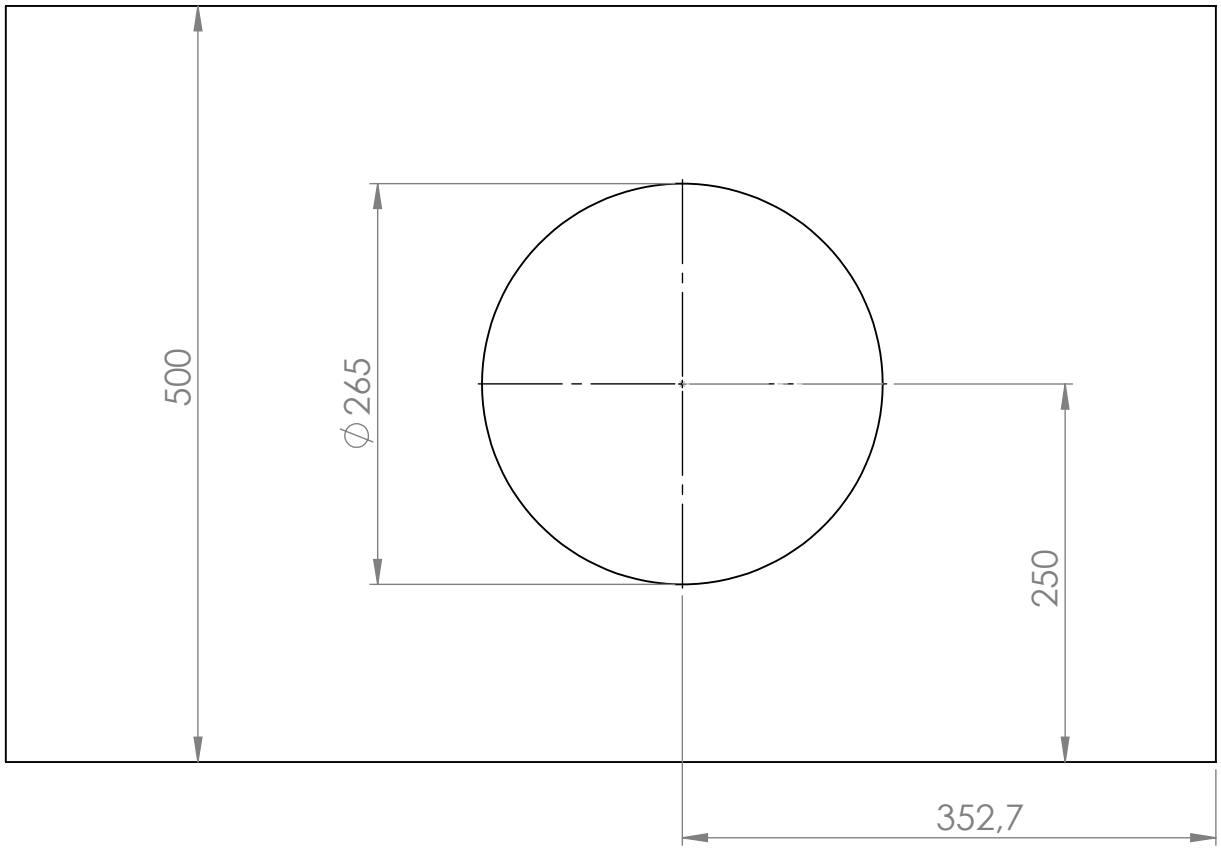


HOJA: 1	ESCALA: 1:3	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."					
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-11				
MATERIAL:	AISI A304	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: BaseGuía_Clavijera		
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025			
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025			



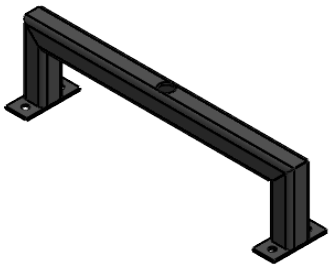
Se usa un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.5 con conte recto a la medida especificada.

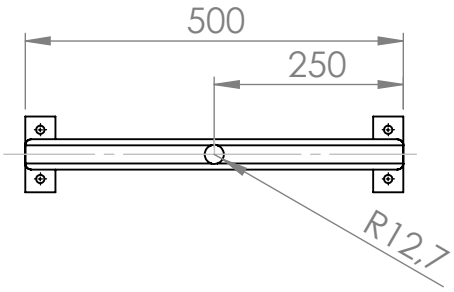
HOJA: 1	ESCALA: 1:1	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-12			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: GuíaPoleaDeslizante	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		

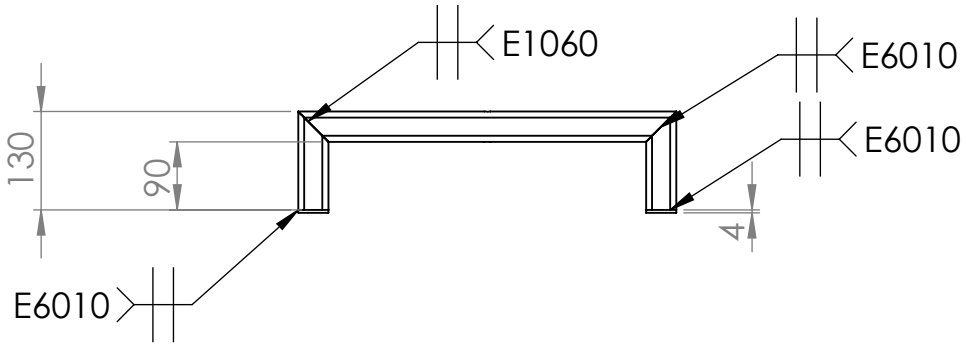


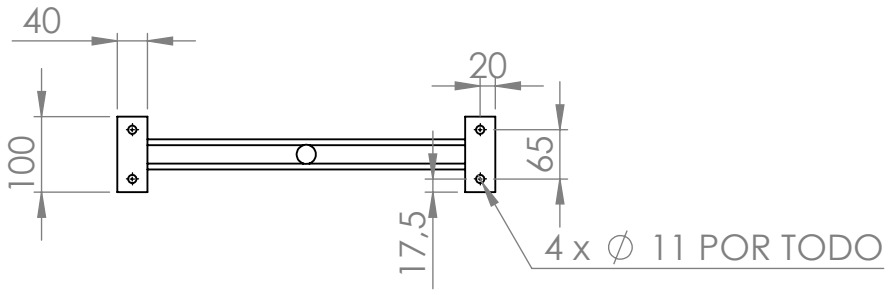
Espesor: 4mm

HOJA: 1	ESCALA: 1:5	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."					
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-13				
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: SuperiorMesa		
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025			
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025			



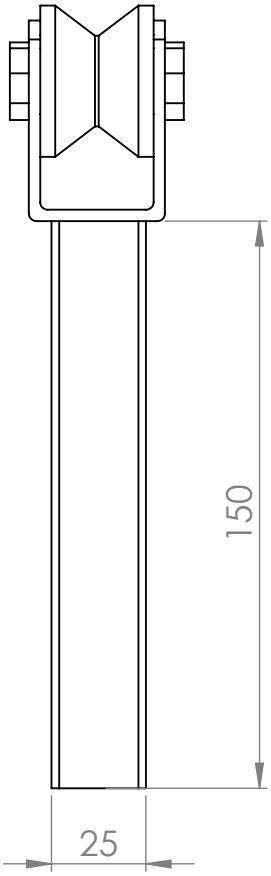


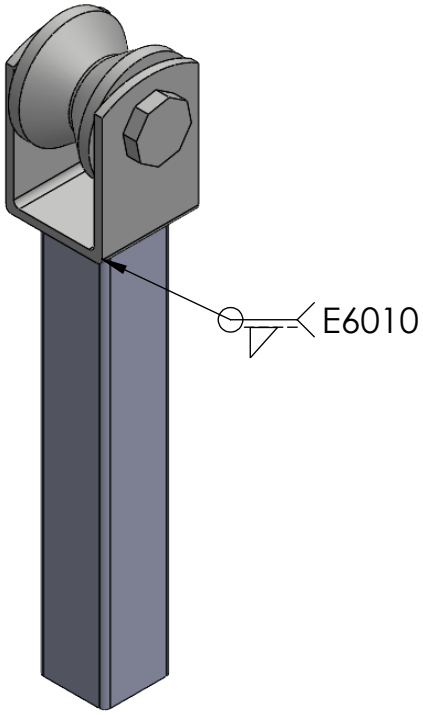


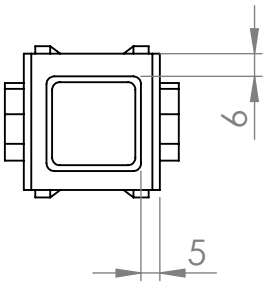


Se usa tubo cuadrado de 40 x 40 x 4 con cortes rectos a las medidas especificadas.

HOJA: 1	ESCALA: 1:10	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."			UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE IBARRA - ECUADOR	
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-14			
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: SoporteBaseGuía	
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025		







Se usa un tubo cuadrado de 25 x 25 x 1.5 con corte recto a la medida especificada.

Código Ferrigonz: PolR4cm

HOJA: 1	ESCALA: 1:2	PROYECTO: "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DOBLADORA DE VARILLA TREFILADA DE 8MM PARA CONTRUCCIONES EN ECUADOR."					
TOLERANCIA:	0.05mm	CÓDIGO:	MS25-00-15				
MATERIAL:	PolR4cm	DISEÑO:	AYALA KEVIN	15/08/2025	FICA	CIME	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	AYALA KEVIN	15/08/2025	DIBUJO: PoleaDeslizante		
RECUBRIM:	NINGUNO	REVISÓ:	ERAZO VÍCTOR	27/08/2025			
CANTIDAD:	2	APROBÓ:	MEJÍA COSME	03/09/2025			