



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE LAMINADO EN EL LOCAL DE COMIDA**  
**“LA PIZZA D’IVONNE” PARA LA MASA DE PIZZA”**

**AUTOR: MARCO VINICIO POZO CARRILLO**

**DIRECTOR: CHRISTIAN VÁSQUEZ, MSc**

**IBARRA – ECUADOR**

**2018**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DECLARACIÓN**

Yo, Marco Vinicio Pozo Carrillo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado calificación profesional; y certifica la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Marco Vinicio Pozo Carrillo", is written over a horizontal line.

MARCO VINICIO POZO CARRILLO

C.I.: 100325406 -5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de Trabajo de Grado: "Automatización del proceso de laminado en el local de comida "LA PIZZA D'IVONNE" para la masa de pizza", presentado por el señor Marco Vinicio Pozo Carrillo, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado por mi supervisión.

---

Christian Vásquez, MSc

DIRECTOR DE PROYECTO

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. To the right of the signature, the date '07/05/18' is written in blue ink.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado está dedicado a mi familia, que con su apoyo incondicional, han hecho posible el culminar exitosamente mi carrera profesional, a mi madre Alba Carrillo por su confianza y sustento, durante todos estos años como estudiante. A todos mis amigos y colegas universitarios, con quienes se han compartido buenos y duros momentos en este largo proceso como estudiantes.

Marco Vinicio Pozo Carrillo.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi inspiración y fortaleza, quien fue mi ayuda para culminar la carrera, a mi madre por ser el apoyo innegable en todo momento, a compañeros y profesores que también fueron apoyo y aliento.

A Gaby por darme siempre apoyo emocional en esta etapa de mi vida.

Marco Vinicio Pozo Carrillo.

## RESUMEN

El presente proyecto va encaminado al proceso de laminado de la masa de pizza, con una visión más tecnificada e intentando mitigar posibles problemas como contaminación a la hora de realizar el proceso así como también una ayuda al personal que elabora la pizza disminuyendo tiempos de producción e incrementando el volumen de unidades producidas en condiciones manuales. Introduciendo al sector artesanal, sistemas de eficientes y de bajo costo permitiendo un desarrollo y mejorando la competitividad con otras empresas.

Para el desarrollo de este proyecto se tomó en cuenta distintas variables que intervienen en el proceso del laminado como velocidad giro rodillos, potencia del motor que ejerce a los rodillos, espesor del laminado que es lo que determina la calidad del producto. Se exhibe el diseño, cálculos, ecuaciones para cada elemento que interviene en el proceso de laminado al igual el control que se utiliza para regular el espesor deseado en la masa.

Para terminar se presenta el montaje de todas las piezas mecánicas y eléctricas, así como pruebas de funcionamiento junto a conclusiones y recomendaciones.

## **ABSTRACT**

The following thesis project aims to the rolling process of pizza dough, with a technical vision directing to the improvement of possible issues such as contamination during the making of the pizza. As well, it intends to help the personal who makes the pizza by decreasing the time of production and increasing the quantity of units made manually. This project introduces to the artisan sector, efficient and cost effective systems allowing development and level competition with other businesses.

For the development of this project, it was taken into account different variables that play a role in the process of layering such as: roller velocity, motor power for rollers, and thickness of the layer which determines the quality of the product. This project exhibits the design, calculations, equations for each element that takes a part on the rolling process, and the control used to regulate the desired thickness of the dough.

To finish, the assembly of all the mechanical and electrical parts is presented, as well as functioning test together with conclusions and recommendations.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |     |
|---|-----|
| DECLARACIÓN .....                               | i   |
| CERTIFICACIÓN .....                             | ii  |
| DEDICATORIA .....                               | iii |
| AGRADECIMIENTO .....                            | iv  |
| RESUMEN.....                                    | v   |
| ABSTRACT .....                                  | vi  |
| INTRODUCCIÓN .....                              | 1   |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                | 1   |
| OBJETIVOS .....                                 | 1   |
| OBJETIVO GENERAL.....                           | 1   |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....                    | 2   |
| JUSTIFICACIÓN .....                             | 2   |
| ALCANCE.....                                    | 2   |
| ANTECEDENTES .....                              | 3   |
| CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....                  | 5   |
| 1.1    Proceso de elaboración de la pizza ..... | 5   |
| 1.1.1    Mezcla.....                            | 5   |
| 1.1.1.1    Harina.....                          | 5   |
| 1.1.1.2    El agua. ....                        | 6   |
| 1.1.1.3    La sal.....                          | 6   |
| 1.1.1.4    La levadura.....                     | 6   |
| 1.1.1.5    Grasa .....                          | 6   |
| 1.1.1.6    Formulación de la masa .....         | 6   |
| 1.1.1.7    Grado de acidez de la masa.....      | 7   |
| 1.1.1.8    Conservación de la masa.....         | 7   |
| 1.1.2    Amasado .....                          | 7   |
| 1.1.3    Laminado de masa .....                 | 7   |
| 1.1.4    Colocación de ingredientes .....       | 8   |
| 1.1.5    Horneado.....                          | 8   |
| 1.2    Laminado .....                           | 9   |
| 1.2.1    Proceso.....                           | 9   |
| 1.1.1    Fuerzas de fricción.....               | 10  |



|         |  |           |
|---------|--|-----------|
| 1.1.2   | Fuerza de los Rodillos.....  | 10        |
| 1.1.3   | Área en contacto con el rodillo - trabajo.....                       | 10        |
| 1.1.4   | Esfuerzo directo: tensión y compresión.....                          | 11        |
| 1.1.5   | Alargamiento.....  | 11        |
| 1.1.6   | Esfuerzo de fluencia promedio .....                                  | 12        |
| 1.1.7   | Exponente de endurecimiento y Coeficiente de resistencia.....        | 13        |
| 1.1.8   | Momento de torsión en el eje del rodillo .....                       | 14        |
| 1.1.9   | Potencia necesaria para realizar el laminado del material .....      | 14        |
| 1.3     | Componentes de la máquina .....                                      | 14        |
| 1.3.1   | Sistemas de transmisión del movimiento.....                          | 14        |
| 1.3.2   | Bandas.....  | 15        |
| 1.3.3   | Cadenas .....  | 15        |
| 1.3.4   | Engranajes.....  | 15        |
| 1.3.4.1 | Forma de los dientes del engranaje.....                              | 17        |
| 1.3.4.2 | Cambio de distancia entre centros .....                              | 17        |
| 1.3.4.3 | Carga sobre engranes rectos.....                                     | 18        |
| 1.3.5   | Control de espesor del laminado.....                                 | 19        |
| 1.3.5.1 | Actuador lineal.....   | 19        |
|         | <b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>                                 | <b>21</b> |
| 1.1     | Revisión bibliográfica.....  | 21        |
| 1.2     | Propuesta del diseño .....   | 21        |
| 1.3     | Propiedades físicas del laminado .....                               | 21        |
| 1.4     | Análisis de los componentes externos que conforman el laminado ..... | 21        |
| 1.5     | Mecanismos de transmisión de movimiento.....                         | 22        |
| 1.6     | Análisis de la estructura de la máquina.....                         | 22        |
| 1.7     | Diseño del sistema eléctrico y de control .....                      | 22        |
| 1.8     | Construcción y ensamblaje de la máquina.....                         | 22        |
| 1.9     | Análisis de costos.....  | 23        |
|         | <b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>                    | <b>24</b> |
| 2       | Diseño propuesto.....  | 24        |
| 2.1     | Propiedades físicas del laminado .....                               | 25        |
| 2.1.1   | Velocidad de giro de los rodillos .....                              | 29        |
| 2.1.2   | Potencia necesaria para el laminado de masa .....                    | 31        |
| 2.1.3   | Selección del motor.....   | 32        |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 2.2       | Componentes externos que conforman el laminado .....                                     | 35 |
| 2.2.1     | Modelos geométricos y condiciones de borde .....   | 35 |
| 2.2.2     | Análisis de elementos finitos .....  | 36 |
| 2.2.3     | Factor de seguridad .....  | 36 |
| 2.2.4     | Desplazamiento .....   | 38 |
| 2.2.5     | Transmisión de movimiento del motor al rodillo principal .....                           | 40 |
| 2.2.5.1   | Cálculo y selección de las bandas y poleas .....   | 41 |
| 2.2.5.1.1 | Diámetro mínimo de las poleas conductoras .....  | 41 |
| 2.2.5.1.2 | Tipo de Bandas .....   | 42 |
| 2.2.5.1.3 | Cálculo de las distancias mínimas y máxima entre los centros .....                       | 42 |
| 2.2.5.1.4 | Selección de las distancias entre centros .....  | 43 |
| 2.2.5.1.5 | Longitud de la banda (lb) .....  | 44 |
| 2.2.6     | Transmisión de movimiento del eje del rodillo principal al secundario .....              | 44 |
| 2.2.6.1   | Transmisión por bandas en un eje móvil .....   | 45 |
| 2.2.6.2   | Selección del sistema de transmisión de movimiento del eje principal al secundario ..... | 46 |
| 2.2.6.3   | Cálculo y selección del engranaje .....  | 47 |
| 2.3       | Diseño del eje de transmisión .....  | 49 |
| 2.3.1     | Tensión por bandas en V .....  | 49 |
| 2.3.2     | Carga de engranajes rectos .....   | 51 |
| 2.3.3     | Cálculo del diámetro del eje de transmisión .....  | 51 |
| 2.3.4     | Selección de cojinetes con contacto de rodadura .....                                    | 58 |
| 2.4       | Análisis de la estructura de la máquina .....  | 60 |
| 2.4.1     | Cálculos de pandeo de la estructura .....  | 64 |
| 2.5       | Diseño sistema eléctrico y de control .....  | 67 |
| 2.5.1     | Descripción del sistema eléctrico .....  | 67 |
| 2.5.1.1   | Selección del contactor .....  | 68 |
| 2.5.1.2   | Selección del relé térmico .....   | 68 |
| 2.5.2     | Sistema de control .....   | 68 |
| 2.5.2.1   | Selección del controlador y actuador lineal .....  | 68 |
| 2.5.2.2   | Visualización de parámetros .....  | 69 |
| 2.5.2.3   | Esquema eléctrico de visualización de parámetros .....                                   | 70 |
| 2.5.2.4   | Accionamiento de actuadores .....  | 70 |
| 2.5.2.5   | Flujograma de accionamiento de actuadores .....  | 71 |
| 2.5.2.6   | Esquema eléctrico del accionamiento de actuadores .....                                  | 72 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 2.6   | Construcción y ensamblaje .....                                       | 73  |
| 2.6.1 | Construcción de la estructura principal.....                          | 73  |
| 2.6.2 | Maquinado de los rodillos.....  | 74  |
| 2.6.3 | Construcción de los engranajes.....                                   | 74  |
| 2.6.4 | Construcción de la base de sujeción de rodillos y rodamientos.....    | 75  |
| 2.6.5 | Ensamblaje de los actuadores lineales .....                           | 75  |
| 2.6.6 | Ensamblaje de los rodillos .....                                      | 76  |
| 2.6.7 | Sujeción del motor y el motoreductor a la estructura .....            | 76  |
| 2.6.8 | Montaje de todos los elementos.....                                   | 77  |
| 2.7   | Análisis de costos.....   | 77  |
| 2.7.1 | Cálculo del TIR y VAN.....  | 79  |
| 2.8   | Manual de construcción y resultados.....                              | 82  |
| 2.8.1 | Análisis de resultados .....  | 88  |
|       | CONCLUSIONES .....  | 89  |
|       | RECOMENDACIONES.....  | 90  |
|       | BIBLIOGRAFÍA .....  | 91  |
|       | ANEXOS .....  | 93  |
|       | Anexo 1. Eje acero inoxidable.....                                    | 94  |
|       | Anexo 2. Número mínimo y máximo de dientes de un engranaje.....       | 95  |
|       | Anexo 3. Factor de seguridad de un engranaje de 15 mm de espesor..... | 95  |
|       | Anexo 4. Rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda .....   | 96  |
|       | Anexo 5. Resistencia a la fatiga Sn.....                              | 97  |
|       | Anexo 6. Factor de confiabilidad aproximado <b>CR</b> .....           | 97  |
|       | Anexo 7. Factores de tamaño.....                                      | 98  |
|       | Anexo 8. Comparación de los tipos de rodamientos.....                 | 98  |
|       | Anexo 9. Propiedades mecánicas del tubo estructural ASTM A500.....    | 99  |
|       | Anexo 10. Tubo estructural cuadrado galvanizado.....                  | 100 |
|       | Anexo 11. Actuador lineal .....                                       | 101 |
|       | Anexo 12. Relé 5V.....  | 102 |
|       | Anexo 13. Arduino Mega .....  | 104 |
|       | Anexo 14. Motoreductor.....   | 105 |
|       | Anexo 15. Desarrollo de la programación .....                         | 106 |
|       | Anexo 16. Planos mecánicos .....                                      | 110 |
|       | Anexo 17. Plano Eléctrico .....                                       | 111 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Laminadora manual para masa.....  | 4  |
| <b>Figura 2.</b> Pizza Dough Sheeter.....  | 4  |
| <b>Figura 3.</b> Laminado de masa con rodillo.....   | 8  |
| <b>Figura 4.</b> Colocación de ingredientes.....   | 8  |
| <b>Figura 5.</b> Horno de la pizza.....  | 9  |
| <b>Figura 6.</b> Vista lateral de un plano de laminación.....  | 9  |
| <b>Figura 7.</b> Deformación unitaria.....   | 11 |
| <b>Figura 8.</b> Esfuerzo de fluencia promedio.....  | 12 |
| <b>Figura 9.</b> Curva esfuerzo – deformación de materiales biológicos.....                                  | 13 |
| <b>Figura 10.</b> Desarrollo de la involuta de un círculo.....   | 17 |
| <b>Figura 11.</b> Cambio de la distancia entre centros.....  | 18 |
| <b>Figura 12.</b> Fuerzas sobre el piñón y engrane de un engranaje.....                                      | 19 |
| <b>Figura 13.</b> Diseño propuesto de la máquina de laminado de masa.....                                    | 24 |
| <b>Figura 14.</b> Medida de la deformación de la masa mediante un extensómetro.....                          | 25 |
| <b>Figura 15.</b> Resultados de la deformación de la masa mediante un extensómetro con diferentes pesos..... | 26 |
| <b>Figura 16.</b> Ángulo formado entre la longitud inicial y la longitud final de la masa.....               | 26 |
| <b>Figura 17.</b> Curva esfuerzo – deformación.....  | 28 |
| <b>Figura 18.</b> Regresión lineal de la curva logarítmica esfuerzo deformación de la masa de prueba.....    | 29 |
| <b>Figura 19.</b> Prueba de la velocidad lineal en el laminado manual.....                                   | 30 |
| <b>Figura 20.</b> Condiciones de borde de la plancha de laminado.....  | 35 |
| <b>Figura 21.</b> Condiciones de borde del gancho con contra peso.....                                       | 36 |
| <b>Figura 22.</b> Factor de seguridad plancha de laminado.....   | 37 |
| <b>Figura 23.</b> Factor de seguridad del gancho con contrapeso.....   | 37 |
| <b>Figura 24.</b> Desplazamiento plancha del laminado.....   | 38 |
| <b>Figura 25.</b> Desplazamiento gancho con contrapesoMáximo esfuerzo.....                                   | 38 |
| <b>Figura 26.</b> Esfuerzo plancha del laminado.....   | 39 |
| <b>Figura 27.</b> Esfuerzo gancho con contrapesoMecanismos de transmisión de movimiento.....                 | 39 |
| <b>Figura 28.</b> Bandas convencionales.....   | 42 |
| <b>Figura 29.</b> Esquema de la distancia entre centros de las poleas.....                                   | 43 |
| <b>Figura 30.</b> Sentido de giro y variación de espesor de los rodillos laminadores.....                    | 44 |
| <b>Figura 31.</b> Tensor en una banda.....   | 45 |
| <b>Figura 32.</b> Diagrama de fuerzas en las poleas motriz e impulsada.....                                  | 49 |
| <b>Figura 33.</b> Cargas sobre el eje.....   | 53 |
| <b>Figura 34.</b> Diagrama de fuerzas del eje $x - y$ .....  | 53 |
| <b>Figura 35.</b> Diagrama de la fuerza cortante en el eje $x - y$ .....                                     | 54 |
| <b>Figura 36.</b> Diagrama del momento flector en el eje $x - y$ .....                                       | 54 |
| <b>Figura 37.</b> Diagrama de fuerzas del eje $x - z$ .....  | 54 |
| <b>Figura 38.</b> Diagrama de la fuerza cortante en el eje $x - z$ .....                                     | 55 |
| <b>Figura 39.</b> Diagrama del momento flector en el eje $x - z$ .....                                       | 55 |
| <b>Figura 40.</b> Cojinete de una hilera de bolas con ranura honda.....                                      | 58 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 41.</b> Factores por duración y por velocidad, para rodamientos de bolas. ....      | 59 |
| <b>Figura 42.</b> Fuerza estática en vigas que sostienen a los rodillos.....                  | 60 |
| <b>Figura 43.</b> Carga de los rodillos en la viga AB.....                                    | 61 |
| <b>Figura 44.</b> Diagrama del momento flector en la viga AB.....                             | 61 |
| <b>Figura 45.</b> Módulo de la sección de un tubo cuadrado. ....                              | 62 |
| <b>Figura 46.</b> Soporte principal de la estructura.....                                     | 64 |
| <b>Figura 47.</b> Valores k para longitud efectiva.....                                       | 65 |
| <b>Figura 48.</b> Cargas real que soporta la columna DE. ....                                 | 67 |
| <b>Figura 49.</b> Flujograma visualización de parámetros de espesor del laminado. ....        | 69 |
| <b>Figura 50.</b> Esquema eléctrico visualización de parámetros de espesor del laminado. .... | 70 |
| <b>Figura 51.</b> Flujograma accionamiento de los actuadores lineales. ....                   | 71 |
| <b>Figura 52.</b> Esquema eléctrico de accionamiento de los actuadores lineales.....          | 72 |
| <b>Figura 53.</b> Diagrama de construcción. ....  | 73 |
| <b>Figura 54.</b> Estructura principal .....  | 73 |
| <b>Figura 55.</b> Torneado del eje de acero inoxidable.....                                   | 74 |
| <b>Figura 56.</b> Fresado de los engranes.....  | 74 |
| <b>Figura 57.</b> Bases de sujeción de los rodamientos. ....                                  | 75 |
| <b>Figura 58.</b> Ensamblaje actuador lineal.....   | 75 |
| <b>Figura 59.</b> Colocación rodillos.....  | 76 |
| <b>Figura 60.</b> Montaje del motor y del motor reductor. ....                                | 76 |
| <b>Figura 61.</b> Colocación planchas de acero inoxidable para laminado.....                  | 77 |
| <b>Figura 62.</b> Tiempo del proceso de laminado en segundos.....                             | 88 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ecuación 1.</b> Fuerza de laminado .....  | 10 |
| <b>Ecuación 2.</b> Longitud de contacto.....                                       | 10 |
| <b>Ecuación 3.</b> Esfuerzo normal .....   | 11 |
| <b>Ecuación 4.</b> Alargamiento.....   | 12 |
| <b>Ecuación 5.</b> Esfuerzo promedio de fluencia.....                              | 12 |
| <b>Ecuación 6.</b> Esfuerzo verdadero.....   | 13 |
| <b>Ecuación 7.</b> Momento torsión en el eje del rodillo laminador. ....           | 14 |
| <b>Ecuación 8.</b> Potencia del laminado. ....                                     | 14 |
| <b>Ecuación 9.</b> Razón de velocidad angular. ....                                | 16 |
| <b>Ecuación 10.</b> Diámetro de paso de un engranaje. ....                         | 16 |
| <b>Ecuación 11.</b> Módulo de un engrane.....                                      | 16 |
| <b>Ecuación 12.</b> Nuevo ángulo de presión en cambio de distancia de centros..... | 17 |
| <b>Ecuación 13.</b> Fuerza $W$ que actúa en el engranaje. ....                     | 18 |
| <b>Ecuación 14.</b> Velocidad lineal. ....   | 29 |
| <b>Ecuación 15.</b> Velocidad angular. ....  | 30 |
| <b>Ecuación 16.</b> Momento de inercia.....  | 32 |
| <b>Ecuación 17.</b> Densidad de un material.....                                   | 32 |
| <b>Ecuación 18.</b> Inercia cilindro. ....   | 33 |
| <b>Ecuación 19.</b> Velocidad angular en función de la aceleración. ....           | 33 |
| <b>Ecuación 20.</b> Distancia mínima entre los centros de poleas. ....             | 42 |
| <b>Ecuación 21.</b> Distancia máxima entre los centros de poleas.....              | 43 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Ecuación 22.</b> Longitud de la banda.....                                       | 44 |
| <b>Ecuación 23.</b> Intervalo distancia nominales entre centros. ....               | 45 |
| <b>Ecuación 24.</b> Ecuación de la relación de fuerzas .....                        | 50 |
| <b>Ecuación 25.</b> Ecuación del par torsional neto sobre B.....                    | 50 |
| <b>Ecuación 26.</b> Ecuación despejada del par torsional neto sobre B.....          | 50 |
| <b>Ecuación 27.</b> Ecuación del par torsional sobre la polea impulsada. ....       | 50 |
| <b>Ecuación 28.</b> Factor de tamaño. ....  | 52 |
| <b>Ecuación 29.</b> Ecuación de la resistencia a la fatiga modificada.....          | 52 |
| <b>Ecuación 30.</b> Ecuación diseño Ejes.....                                       | 55 |
| <b>Ecuación 31.</b> Ecuación de diseño para ejes.....                               | 56 |
| <b>Ecuación 32.</b> Diseño del eje fuerza cortante vertical. ....                   | 57 |
| <b>Ecuación 33.</b> Carga equivalente.....  | 58 |
| <b>Ecuación 34.</b> Capacidad de la carga dinámica básica requerida.....            | 59 |
| <b>Ecuación 35.</b> Esfuerzo por flexión pura.....                                  | 62 |
| <b>Ecuación 36.</b> Factor de seguridad por esfuerzo de fluencia.....               | 63 |
| <b>Ecuación 37.</b> relación de esbeltez .....                                      | 64 |
| <b>Ecuación 38.</b> Radio de giro.....  | 64 |
| <b>Ecuación 39.</b> Relación de esbeltez de transición .....                        | 65 |
| <b>Ecuación 40.</b> Columnas cortas de J. B. Jhonson.....                           | 66 |
| <b>Ecuación 41.</b> Factor seguridad de la carga crítica entre la carga real . .... | 66 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Composición de la harina de trigo. ....  | 5  |
| <b>Tabla 2.</b> Formulación de la masa de la pizzería D' Ivonne.....   | 7  |
| <b>Tabla 3.</b> Porcentaje de composición de la masa de prueba.....  | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> Datos de la fuerza aplicada a la masa con diferente ángulo $\alpha$ . ....                           | 27 |
| <b>Tabla 5.</b> Datos de la curva esfuerzo - deformación de la masa de pizza. ....                                   | 27 |
| <b>Tabla 6.</b> Logaritmo natural esfuerzo y deformación.....  | 28 |
| <b>Tabla 7.</b> Resultados del experimento de la velocidad lineal con rodillo operado manualmente. ....              | 30 |
| <b>Tabla 8.</b> Características del motor.....   | 34 |
| <b>Tabla 9.</b> Características del motorreductor. ....  | 34 |
| <b>Tabla 10.</b> Análisis de convergencia de elementos finitos. ....   | 37 |
| <b>Tabla 11.</b> Características comparativas entre métodos de transmisión.....                                      | 40 |
| <b>Tabla 12.</b> Matriz de decisión de los métodos de transmisión de movimiento del motor al rodillo principal. .... | 41 |
| <b>Tabla 13.</b> Diámetro mínimo recomendado para poleas. ....   | 41 |
| <b>Tabla 14.</b> Especificaciones que deben cumplir las bandas a utilizar. ....                                      | 44 |
| <b>Tabla 15.</b> Características comparativas entre dos métodos de transmisión. ....                                 | 46 |
| <b>Tabla 16.</b> Matriz de decisión de los métodos de transmisión del eje rodillo al otro rodillo. ....              | 47 |
| <b>Tabla 17.</b> Cálculo del módulo de los engranes. ....  | 47 |
| <b>Tabla 18.</b> Módulos métricos estándares.....  | 48 |
| <b>Tabla 19.</b> Especificaciones de la AGMA para dientes engrane.....   | 48 |
| <b>Tabla 20.</b> Duración recomendada para rodamientos.....  | 59 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 21.</b> Características del tubo ASTM A500 seleccionado. ....  | 63 |
| <b>Tabla 22.</b> Características del contactor .....                    | 68 |
| <b>Tabla 23.</b> Características del relé térmico.....                  | 68 |
| <b>Tabla 24.</b> Costo de la estructura.....                            | 77 |
| <b>Tabla 25.</b> Costo de los materiales del proceso de laminado. ....  | 78 |
| <b>Tabla 26.</b> Costo del sistema de transmisión.....                  | 78 |
| <b>Tabla 27.</b> Costo del sistema eléctrico.....                       | 78 |
| <b>Tabla 28.</b> Costos indirectos.....                                 | 78 |
| <b>Tabla 29.</b> Costos de fabricación.....                             | 79 |
| <b>Tabla 30.</b> Costo total de la máquina.....                         | 79 |
| <b>Tabla 31.</b> Ingresos y egresos sin la implementación máquina. .... | 80 |
| <b>Tabla 32.</b> Ingresos y egresos con la implementación máquina.....  | 80 |
| <b>Tabla 33.</b> Ingresos y egresos después de la implementación.....   | 81 |
| <b>Tabla 34.</b> Indicadores VAN y TIR.....                             | 81 |

# **INTRODUCCIÓN**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El local de comida rápida “La Pizza De Ivonne”, su especialidad es la elaboración y venta de pizzas, la pizza al ser una comida rápida debe ser en preparada y servida en el menor tiempo posible al cliente.

Una parte principal de la pizza es la masa la cual abarca todos los ingredientes, pero esta debe tener un espesor uniforme y una forma ideal. En la elaboración de la pizza, el proceso que lleva más tiempo es el laminado de la masa ya que se hace de forma manual usando un rodillo de madera.

La elaboración de la pizza está a cargo de una persona la cual recibe un pedido para comenzar la elaboración, en muchas ocasiones recibe más de un pedido acumulándose su trabajo, por lo tanto, aumentando el tiempo en cumplir la demanda del cliente ya que el laminado manual tarda de 2 a 3 minutos o más si no se tiene práctica. Al usar el rodillo manual repetidas veces, puede causar lesiones a largo plazo causando inflamación y dolores musculares inhabilitando al operario.

La finalidad de este proyecto de titulación es facilitar el proceso de laminado de la masa de pizza mediante la construcción e implementación una máquina de bajo costo. Esto permitirá disminuir el tiempo del proceso, obtener como resultado una masa homogénea y un trabajo de mejor calidad para el operario. Por otra parte, también se busca disminuir el tiempo de entrega del producto final al cliente que este quede satisfecho.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Optimizar el proceso de laminado de la masa para pizza, reduciendo su tiempo, mejorando la calidad del producto y ofrecer un mejor servicio al cliente.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Determinar los parámetros a controlar en la laminación de la masa para pizza.
2. Analizar los elementos mecánicos que conforman la máquina laminadora
3. Realizar construcción y montaje de la laminadora y verificar su funcionamiento.
4. Elaborar manual de uso de funcionamiento y de mantenimiento del equipo.

## **JUSTIFICACIÓN**

En los negocios de comida, un factor muy importante es la atención oportuna al cliente. Reducir tiempos de obtención del producto, y ofrecerle un producto de buena calidad. La implementación de la máquina en el negocio es una transformación del modo antiguo de producción manual al nuevo del control de proceso y así mejorando factores como una mejor atención al cliente y mayor beneficio económico, promoviendo a la microempresa con un producto competitivo, sostenible. La máquina no sustituye el trabajo de una persona ya que necesita de esta para ser operada, garantizando el trabajo humano contribuyendo al Buen Vivir. La máquina será muy útil y podrá ser usada por cualquier persona ya que será sencilla de operar.

## **ALCANCE**

El presente trabajo de grado, se centra en optimizar el tiempo de laminado de la masa para pizza. La implementación de la máquina está dirigida para cumplir la demanda del negocio de comida “LA PIZZA D’IVONNE”.

Para el control de la máquina se necesitará la ayuda de un operador, el cual se encargará de definir el parámetro del proceso en el panel de control definiendo el espesor del laminado. También es encargado de ingresar la masa a la máquina para ser laminada por los rodillos.

La máquina estará fabricada en su mayoría por acero inoxidable, ya que este es altamente resistente a la suciedad y corrosión, con un manejo de buena higiene determinante al trabajar en contacto con los alimentos y en este caso directamente con la masa.

## ANTECEDENTES

La pizza es un pastel horneado de origen italiano que consiste en una corteza de pan poco profundo cubierto con salsa de tomate sazonada, queso, y con frecuencia otros ingredientes tales como salchichas. En una de sus muchas formas, la pizza ha sido una parte fundamental de la dieta italiana desde la Edad de Piedra. Esta primera forma de pizza era un pan crudo que se cocinaba en un horno de piedra de fuego. Después de la cocción, se condimentaba con una gran variedad de ingredientes diferentes. Se dice que la idea de utilizar el pan como un plato proviene de los griegos que comían en pan plano redondo *plankuntos* al horno con una variedad de ingredientes. Este fue comido por el hombre de trabajo y su familia, ya que era un alimento frugal y nutritivo (Whats cooking america, 2001).

Para reducir el espesor y estirar la masa de la pizza de forma manual, se aplicaba presión con un objeto plano sobre esta varias veces; más adelante mejorando el procedimiento se usó rodillos de madera pasando repetidas veces ejerciendo presión sobre la pizza. Finalmente aparece el proceso de laminado en el cual se introduce la masa por rodillos giratorios que giran en dirección contraria ejerciendo presión sobre la masa jalando el material y reduciendo su espesor.

El proceso de laminado se ha usado en combinación con molinos de agua desde 1590 para la fabricación de tiras de hierro, los primeros trenes de laminación eran pequeños. En 1781 Matthew Boulton , cuando visitó una fundición en Gales, sugirió usar una máquina de vapor para la conducción de un tren de laminación. A este modelo Watt adapta un motor de dos cilindros y dos vigas, el cual fue el precursor de muchas plantas industriales (Clydebridge Steelworks, 2004).

Actualmente se encuentran máquinas que adaptan el proceso de laminado con rodillos laminadores accionados manualmente con manivela como se muestra en la figura 1 y rodillos laminadores accionados por un motor eléctrico como se muestra en la figura 2 con sus respectivas características la cuál usa como referencia la patente US2275714A.



- Ancho (0 - 8) *mm*
- Rodillos sintéticos
- Hoja de masa con grosor uniforme
- Libre de mantenimiento

---

**Figura 1.** Laminadora manual para masa.  
(Todo\_Churros, 2013).



- Acero inoxidable.
- Ancho ajustable entre (0 y 4 *mm*).
- Longitud de laminado: 320 *mm*.
- Peso: 18,4 *kg*.

---

**Figura 2.** Pizza Dough Sheeter.  
(Caterkwik, 2016).

# CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Proceso de elaboración de la pizza

### 1.1.1 Mezcla

La masa es la parte principal de la pizza, en la cual van los diferentes ingredientes. La materia prima es la harina de trigo, a la cual se agrega agua, aceite, sal y otras especias.

#### 1.1.1.1 Harina

Aunque cualquier producto procedente de la molturación de un cereal puede denominarse harina, se refiere exclusivamente a la procedente del trigo. Solamente el trigo produce harinas directamente útiles para la masa de pizza, que tiene precisamente la capacidad de retener los gases producidos durante la fermentación, que ocasiona el aumento del volumen de la masa. La tabla 1 muestra la composición media de una harina de trigo.

**Tabla 1.** Composición de la harina de trigo.  
(Córdoba, 2008)

---

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Almidón                       | 60-72 %      |
| Humedad                       | 14-16 %      |
| Proteínas                     | 8-14 %       |
| Otros compuestos nitrogenados | 1-2 %        |
| Azúcares                      | 1-2 %        |
| Grasas                        | 1,2% - 1,4 % |
| Minerales                     | 0,4% - 0,6%  |

---

El almidón es cuantitativamente el componente principal de la harina. Se trata de un hidrato de carbono, en forma de polisacárido, que desempeña el papel de aportador de energía dentro de la función alimenticia; además de la capacidad de absorber cerca del 40% de su peso en agua.

### **1.1.1.2 El agua.**

El agua que se emplea debe ser potable y tener un buen estado sanitario. El agua constituye una tercera parte de la cantidad de harina que se vaya a emplear, aunque esto es un cálculo estimado la cantidad final que se añadirá dependerá de una serie de circunstancias, como el tipo de consistencia que se desea conseguir. Así, se añade poca agua, la masa se desarrolla mal en el horno, mientras que un exceso hace que la masa resulte pegajosa.

### **1.1.1.3 La sal**

Independientemente de su aportación al sabor, la sal desempeña otros papeles de gran importancia en su elaboración. Actúa como regulador del proceso de fermentación, mejora simultáneamente la plasticidad de la masa, aumentando la capacidad de hidratación de la harina y en consecuencia, el rendimiento de la mezcla.

### **1.1.1.4 La levadura**

La principal función de la levadura es descomponer los carbohidratos colaborando en la modificación de las estructuras de las proteínas de la harina (gluten). La reducción de la fermentación tiene como consecuencia la pérdida de elasticidad de la masa. La función más importante es el aumento del volumen de la masa, debido a la producción de  $CO_2$  y alcohol etílico en forma de etano por la transformación de la glucosa.

### **1.1.1.5 Grasa**

La grasa en pequeñas cantidades, tiene la capacidad de incrementar la flexibilidad de la masa haciéndola más suave y blanda. La grasa permite que el producto horneado, mantenga la humedad y resista el endurecimiento, lo que incrementa su vida útil.

### **1.1.1.6 Formulación de la masa**

La tabla 2 muestra la composición de la masa utilizada en el local de pizza.

**Tabla 2.** Formulación de la masa de la pizzería D' Ivonne.

|          |       |
|----------|-------|
| Harina   | 100 % |
| Agua     | 45 %  |
| Sal      | 3 %   |
| Levadura | 3,5 % |
| Azúcar   | 8 %   |
| Grasa    | 1%    |

#### **1.1.1.7 Grado de acidez de la masa**

Entre pH 4 y 4,5 se considera una acidez óptima para la conservación de la masa madre, teniendo en cuenta que entre estos valores el proceso fermentativo es el adecuado.

#### **1.1.1.8 Conservación de la masa**

La masa se conserva en refrigeración a una temperatura entre 5 y 7 °C. El tiempo aproximado de conservación será entre 16 y 24 horas, siempre cuando el pH este en el intervalo dicho anteriormente entre 4 a 4,5.

#### **1.1.2 Amasado**

El amasado se puede hacer manualmente, pero requiere de gran esfuerzo para conseguir una masa ideal. La pizzería cuenta con una amasadora mecánica en la cual se vierte la mezcla mencionada y tiene una capacidad de 20 kg.

#### **1.1.3 Laminado de masa**

La masa se lamina manualmente pasando varias veces un rodillo por encima de esta, aplastándola y alargándola como se indica en la figura 3, variando la trayectoria del rodillo para que vaya tomando una forma redonda y se reduzca hasta el espesor deseado. Se debe controlar la fuerza aplicada en el rodillo para evitar que esta se desgarre o se rompa; el proceso toma de 2 a 3 minutos.



**Figura 3.** Laminado de masa con rodillo.

#### **1.1.4 Colocación de ingredientes**

Existe variedad de sabores de pizza que presenta el local, la pasta de tomate y el queso siempre está en todas las presentaciones, las variedades que ofrece son: pizza napolitana, pizza hawaiana, pizza española, pizza de pepperoni y pizza vegetariana. Una vez laminada la masa se colocan los ingredientes sobre esta como se muestra la figura 4.



**Figura 4.** Colocación de ingredientes.

#### **1.1.5 Horneado**

La mínima temperatura que debe alcanzar el horno es de 250 °C, para hornear la pizza se debe precalentar el horno un tiempo mínimo de 20 minutos. En un horno a temperatura de 250 C de 15 a 20 minutos serán suficientes para la cocción de la pizza. El horno como se muestra en la figura 5, es capaz de albergar nueve pizzas al mismo tiempo.

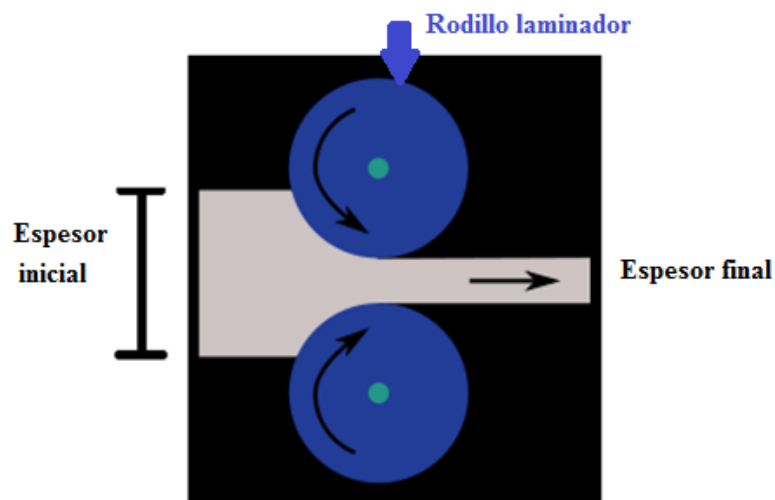


**Figura 5.** Horno de la pizza.

## 1.2 Laminado

### 1.2.1 Proceso

El laminado es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por rodillos opuestos, los rodillos giran para para jalar el material de trabajo y simultáneamente apretarlo entre ellos (Groover, 2007).



**Figura 6.** Vista lateral de un plano de laminación.  
(Groover, 2007).



### 1.1.1 Fuerzas de fricción

Los rodillos jalan el material hacia adentro de la zona de laminación a través de una fuerza de fricción neta. Aunque la fricción es necesaria para la laminación, se disipa energía para vencerla. Si la fricción incrementa también se debe aumentar los requerimientos de fuerza y potencia. Un exceso de fricción podría dañar el material a ser laminado, lo aconsejable es llegar a un punto medio de fricción (Kalpakjian & Schmid, 2008).

### 1.1.2 Fuerza de los Rodillos

Los rodillos aplican presión al material con el fin de reducir el espesor inicial con la ayuda de una fuerza perpendicular al arco de contacto. La potencia necesaria para los rodillos se la puede obtener estimando la fuerza que actúa en la mitad del arco de contacto (Kalpakjian & Schmid, 2008). Se puede calcular una aproximación de los resultados del laminado en base al esfuerzo de fluencia que experimenta el material de trabajo en la brecha entre los rodillos como se muestra en la ecuación 1.

$$F = \bar{Y}_f wL$$

**Ecuación 1.** Fuerza de laminado  
(Groover, 2007).

**Donde:**

$F$  = Fuerza del laminado.

$\bar{Y}_f$  = Esfuerzo de fluencia promedio.

$wL$  = Área de contacto del rodillo – trabajo.

### 1.1.3 Área en contacto con el rodillo - trabajo

El área de contacto del rodillo – trabajo, es el producto del ancho del material del trabajo  $w$  por la longitud de contacto  $L$ . Se puede aproximar la longitud de contacto mediante la ecuación 2.

$$L = \sqrt{2R(t_o - t_f)}$$

**Ecuación 2.** Longitud de contacto  
(Groover, 2007).

**Donde:**

$L$  = Longitud de contacto.

$R$  = Radio del rodillo.

$t_o$  = Espesor inicial.

$t_f$  = Espesor final.

**1.1.4 Esfuerzo directo: tensión y compresión.**

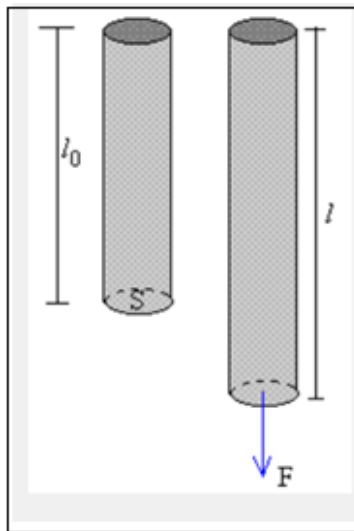
Se puede definir el esfuerzo como la resistencia interna que ofrece una unidad de área de un material contra una carga externa. Los esfuerzos normales son de tensión (positivos) o compresión (negativos). El esfuerzo normal se lo obtiene mediante la ecuación 3.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

**Ecuación 3.** Esfuerzo normal  
(Groover, 2007).

**1.1.5 Alargamiento**

El alargamiento como se muestra en la figura 7, es la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento en forma lineal. El alargamiento se la calcula con la ecuación 4.



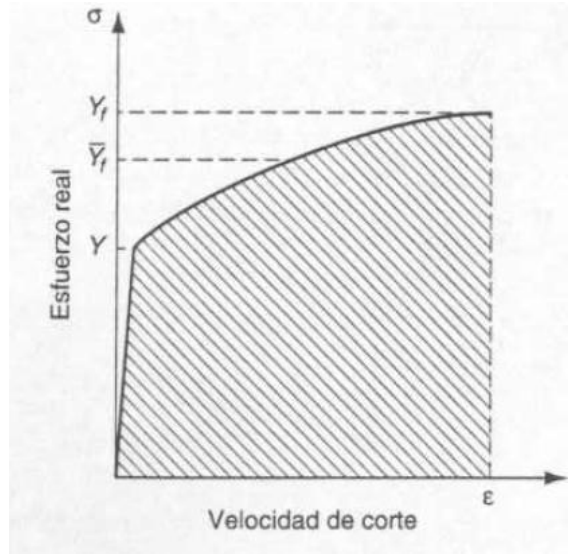
**Figura 7.** Deformación unitaria.  
(Castro & Roger, 2007)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

**Ecuación 4.** Alargamiento.  
(Groover, 2007).

### 1.1.6 Esfuerzo de fluencia promedio

El esfuerzo de fluencia promedio, es el valor promedio de los esfuerzos sobre la curva de esfuerzo - deformación desde el comienzo de la deformación hasta el valor final máximo que ocurre durante este proceso. La figura 8 indica la curva de esfuerzo – deformación indicando la localización del esfuerzo de fluencia promedio  $\bar{Y}_f$ , en relación con la resistencia a la fluencia  $Y$  y el esfuerzo de fluencia final  $Y_f$ . El esfuerzo de fluencia promedio se determina mediante la ecuación 5.



**Figura 8.** Esfuerzo de fluencia promedio.  
(Groover, 2007).

$$\bar{Y}_f = \frac{k\epsilon_v^n}{1+n}$$

**Ecuación 5.** Esfuerzo promedio de fluencia.  
(Groover, 2007).

**Donde:**

$\bar{Y}_f$  = Esfuerzo de fluencia promedio.

$k$  = Coeficiente de resistencia.

$\epsilon_v$  = Alargamiento real.

$n$  = Exponente de endurecimiento.

### 1.1.7 Exponente de endurecimiento y Coeficiente de resistencia

Una representación empírica de la curva de tensión verdadera versus deformación está dada por la ecuación 6.

$$\sigma = k(\epsilon^n)$$

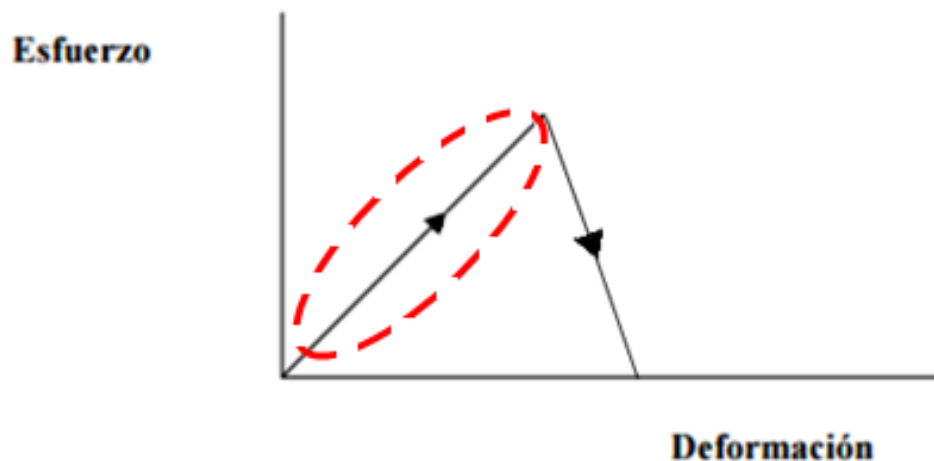
**Ecuación 6.** Esfuerzo verdadero.  
(Groover, 2007).

Se toma logaritmos en ambos miembros de la ecuación 6.

$$\ln(\sigma) = \ln(k) + n \ln(\epsilon)$$

$$y = \ln(\sigma) ; x = \ln(\epsilon)$$

Se representa una recta  $y = a + bx$  donde  $(b)$  es la pendiente  $n$  y  $\ln(k)$  es  $(a)$ . Por lo tanto, los parámetros  $k$  y  $n$  pueden obtenerse mediante una regresión lineal de la curva (Ariel, Reinaldo, & Julio, 2010). En los materiales biológicos: frutas, vegetales, granos, etc., el comportamiento elástico es muy bajo. En la figura 9 se muestra la curva típica de esfuerzo deformación para alimentos (Castro & Roger, 2007); por lo tanto se realiza una regresión lineal de la curva en donde se considera que la fuerza aplicada, ha deformado al material de manera reversible.



**Figura 9.** Curva esfuerzo – deformación de materiales biológicos.  
(Castro & Roger, 2007)

### 1.1.8 Momento de torsión en el eje del rodillo

El momento de torsión en el laminado se puede estimar suponiendo que la fuerza ejercida por los rodillos se centra en el material de trabajo, conforme pasa entre ellos y actúa con un brazo de palanca de la mitad de la longitud de contacto  $L$ , entonces el momento torsor para cada rodillo se obtiene con la ecuación 7.

$$T = 0,5 F L$$

**Ecuación 7.** Momento torsión en el eje del rodillo laminador.  
(Groover, 2007) .

### 1.1.9 Potencia necesaria para realizar el laminado del material

La potencia requerida para mover cada rodillo es el producto del momento de torsión y la velocidad angular. Al reemplazar el torque en la potencia y duplicar su valor ya que el laminado posee dos rodillos se obtiene la ecuación 8.

$$P = 2T * \omega$$

**Ecuación 8.** Potencia del laminado.  
(Groover, 2007).

**Donde:**

$T$  = Torque.

$\omega$  = Velocidad angular.

$P$  = Potencia del laminado.

## 1.3 Componentes de la máquina

### 1.3.1 Sistemas de transmisión del movimiento

Los mecanismos de transmisión de movimiento permiten transferir energía mecánica de un objeto a otro con la ayuda de un elemento intermediario como una banda, cadena o engranajes.

### **1.3.2 Bandas**

Los conductores de bandas se utilizan para simplemente transmitir potencia entre dos piezas mecánicas, manteniendo o variando la velocidad del eje conducido en relación al diámetro de las poleas conductora y conducida. Hay varios tipos de configuraciones de transmisión por banda, incluyendo planas, redondas, bandas en V, cada uno con sus méritos individuales. La potencia es transmitida como resultado de la fricción. Cuando el eje rota, la fricción entre la banda y la polea hace que esta se aferre a la polea aumentando la tensión en el lado cercano del contacto de rotación. La fuerza tensional ejerce una fuerza tangencial, y asociada al torque en el eje de la polea. El lado opuesto de la correa está también bajo tensión, pero menos extendida y es referida como el lado flojo (Maekawa, 2003).

### **1.3.3 Cadenas**

Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza. Las cadenas se crearon en el año 1800 y fueron la clave para la innovación de equipos industriales. Las cadenas construidas en su gran mayoría de acero tienen una gran capacidad para transportar grandes cargas y mantener una buena operación en velocidades bajas y medias. Estas al ser robustas, permiten trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas. Requieren de mucha lubricación (American Chain Association, 2005).

### **1.3.4 Engranajes**

La forma más sencilla de transmitir movimiento giratorio de un eje a otro es utilizando un par de cilindros en rodamiento. La principal desventaja de este mecanismo es que tiene poca capacidad de transmisión de torque por lo cual, se agrega dientes y la unión de estos dos se conoce como engranaje. El más pequeño de los engranes se lo conoce como piñón y al más grande se lo denomina engrane.

Los dientes deben evitar deslizamientos considerablemente altos. La ley fundamental del engranaje establece, que la razón de la velocidad angular entre los engranes de un engranaje debe ser constante a lo largo del acoplamiento (Norton, 2011).

$$\frac{\omega_{salida}}{\omega_{entrada}} = \frac{r_{salida}}{r_{entrada}}$$

**Ecuación 9.** Razón de velocidad angular.  
(Norton, 2011).

**Donde:**

$\omega$  = Velocidad angular del engrane.

$r$  = Radio del engrane.

Existe una tangente común y una normal común que siempre pasan por el punto de paso, este punto de paso tiene una velocidad lineal la cual forma un ángulo de presión  $\phi$  con la normal común (Norton, 2011). Los elementos de un sistema de engranaje son el círculo base, diámetro de paso, número de dientes, módulo y ángulo de presión. La ecuación 10 muestra como calcular el diámetro de paso. La norma AGMA 2101-D04, regula dimensiones de los engranes

$$P_d = \frac{N}{d_p}$$

**Ecuación 10.** Diámetro de paso de un engranaje.  
(Norton, 2011).

**Donde:**

$N$  = Número de dientes.

$d_p$  = Diámetro del círculo de paso.

$P_d$  = Paso diametral.

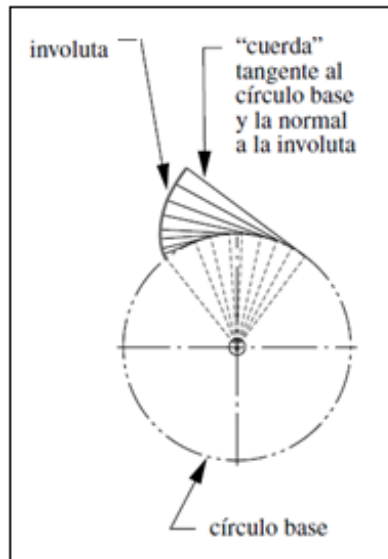
La ecuación 11 muestra como calcular el módulo  $m$  para engranes métricos.

$$m = \frac{1}{P_d}$$

**Ecuación 11.** Módulo de un engrane.  
(Mott, 2004).

### 1.3.4.1 Forma de los dientes del engranaje

Los dientes de engranes tienen diferentes formas, el engranaje recto tiene el diente con forma de la involuta de un círculo como se muestra en la figura 10, es una curva que se genera desenrollando una cuerda tensa a partir de un cilindro siempre tangente al círculo base.



**Figura 10.** Desarrollo de la involuta de un círculo.  
(Norton, 2011).

### 1.3.4.2 Cambio de distancia entre centros

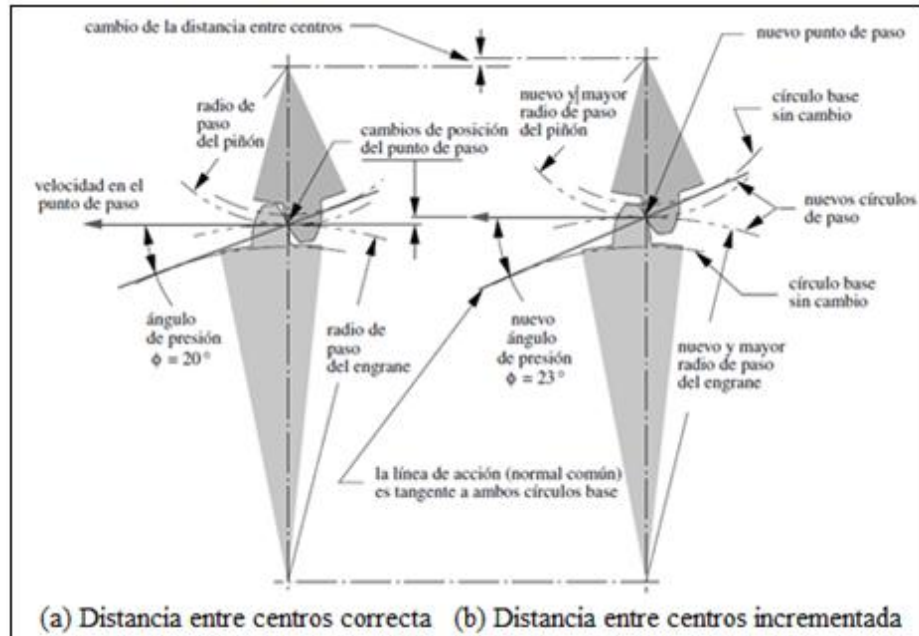
Existe un intervalo de distancias entre centro y centro, dentro del cual se puede lograr un engranado entre los engranes. También hay una distancia ideal entre centros para los cuales se diseñaron los engranes pero hay una probabilidad baja de alcanzar exactamente dicha distancia ideal entre centros. Sin embargo, con un diente en forma de involuta los errores de la distancia entre centros no afectan la razón de velocidad.

El cambio en la distancia entre los centros como se muestra en la figura 11, en engranes con dientes de forma de involuta sólo modifica el ángulo de presión y los diámetros de paso (Norton, 2011). La ecuación 12 muestra como calcular el nuevo ángulo de presión  $\varphi$ .

$$\varphi_{nuevo} = \cos^{-1} \left( \frac{r_{\text{círculo base } p}}{\pm \% r_p} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{r_p \cos(\varphi)}{\pm \% r_p} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{\cos(\varphi)}{\pm \%} \right)$$

**Ecuación 12.** Nuevo ángulo de presión en cambio de distancia de centros.  
(Norton, 2011)





**Figura 11.** Cambio de la distancia entre centros.  
(Norton, 2011).

### 1.3.4.3 Carga sobre engranes rectos

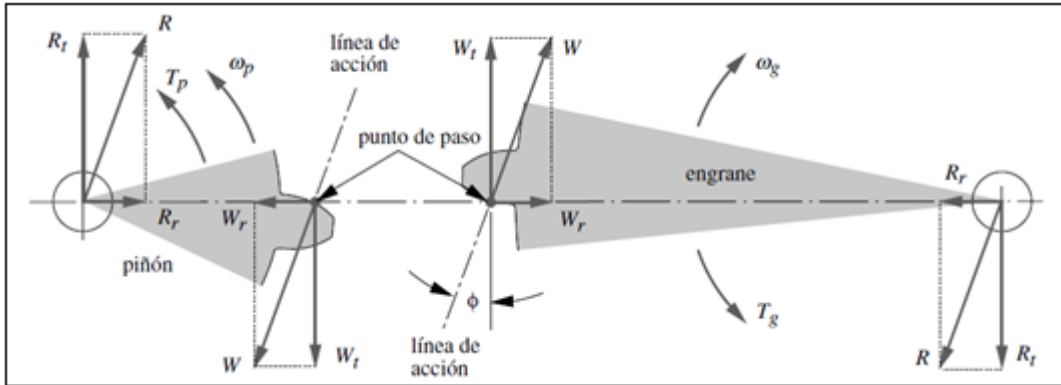
El piñón entrega un torque  $T_p$  al engrane. Se muestran los diagramas de cuerpo libre, tanto del engrane como del piñón en la figura 12. En el punto de paso, la única fuerza que se transmite de un diente a otro, ignorando la fricción, es la fuerza  $W$  que actúa a lo largo de la línea de acción en el ángulo de presión. Esta fuerza se descompone en dos componentes:  $W_r$  que actúa en la dirección radial y  $W_t$  en la dirección tangencial. La magnitud de la componente tangencial  $W_t$  se determina con la ecuación 13.

$$W_t = \frac{T_p}{r_p} = \frac{2T_p}{d_p} = \frac{2p_d T_p}{N_p}$$

$$W_r = W_t \tan \phi$$

$$W = \frac{W_t}{\cos \phi}$$

**Ecuación 13.** Fuerza  $W$  que actúa en el engranaje.  
(Norton, 2011)



**Figura 12.** Fuerzas sobre el piñón y engrane de un engranaje. (Norton, 2011).

**Donde:**

$T_p$  = Torque ejercido sobre el piñón.

$r_p$  = Radio de paso del piñón.

$N_p$  = Número de dientes del piñón.

$P_d$  = Paso diametral del piñón.

### 1.3.5 Control de espesor del laminado

El espesor final de la masa depende del gusto del cliente, hay casos que desean con la masa delgada o una masa gruesa. Para obtener un espesor fino o más grueso se cambia la posición de los rodillos laminadores, esto se lo consigue con un actuador lineal eléctrico.

#### 1.3.5.1 Actuador lineal

Un actuador lineal es un dispositivo mecánico que convierte la energía (eléctrica, hidráulica o neumática) para crear un movimiento rectilíneo. Un actuador electro mecánico, usa un motor conectado a un tornillo sin fin. La tuerca del tornillo sin fin está anclada al dispositivo y el movimiento giratorio es transformado en un movimiento rectilíneo. Las características más importantes asociados con un actuador lineal son: velocidad, fuerza, precisión (Anaheim, 2016).

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **1.1 Revisión bibliográfica**

En el presente trabajo, por medio de consultas bibliográficas, se recolectará y se analizará información acerca del proceso de laminado para adaptarlo de tal manera que cumpla con los requerimientos del local de pizza sustituyendo la actual manera de aplanar la masa manualmente. El laminado de masa dura alrededor de dos a tres minutos y para una persona sin experiencia le tomaría más tiempo.

Con la máquina se espera reducir el factor tiempo del proceso, evitando que los pedidos se acumulen para cumplir un buen servicio. También se reducirá el esfuerzo físico del operario mitigando posibles lesiones de tipo laboral.

### **1.2 Propuesta del diseño**

Aplicando los conceptos del proceso del laminado, se presentará un diseño que reduzca los tiempos destinados para el proceso y obtenga como resultado una masa de espesor uniforme. La máquina tendrá una buena ergonomía para el operario al momento de introducir la masa y será sencilla de usar.

### **1.3 Propiedades físicas del laminado**

Se estudiará todos los fenómenos físicos que intervienen en el proceso de laminado de la masa de pizza. La composición de la masa, el dimensionamiento de los rodillos laminadores, la velocidad de giro de los rodillos, la fuerza que los rodillos aplican a la masa para deformarla y la potencia necesaria para mover todo el sistema y lograr el laminado de la masa de pizza.

### **1.4 Análisis de los componentes externos que conforman el laminado**

Se indicará la función y un estudio de elementos finitos de los componentes externos que intervienen en el proceso de laminado. Aplicando la misma fuerza a la que serán sometidos y sus restricciones fijas. Para determinar el número de elementos finitos se realizará un análisis de

convergencia, determinando el máximo esfuerzo, el desplazamiento y el factor de seguridad en la zona crítica de cada elemento.

### **1.5 Mecanismos de transmisión de movimiento**

Se seleccionará el mecanismo de transmisión del movimiento del motor eléctrico a los rodillos laminadores principales, y a su vez la selección del mecanismo de transmisión de movimiento de los rodillos principales a los secundarios. Se estudiarán los mecanismos de transmisión de movimiento más comunes para cada caso y se hará una comparación entre estos y seleccionar el más conveniente en cuanto a eficiencia, costo, ensamble, mantenimiento, etc.

### **1.6 Análisis de la estructura de la máquina**

La estructura de la máquina será la encargada de soportar todos los componentes que intervienen en el laminado y las cargas generados por estos. Se calculará y seleccionará el tipo de perfil de la estructura. Se calculará los esfuerzos de los soportes principales de la estructura y con el factor de seguridad determinar si el perfil seleccionado es el adecuado.

### **1.7 Diseño del sistema eléctrico y de control**

Se realizará el diseño y la selección de los componentes y protecciones eléctricas para el encendido del motor. También se realizará el diseño y selección de los componentes electrónicos como el micro controlador, el cual posea las suficientes entradas y salidas suficientes para el tablero de control, el control del espesor del laminado y la visualización de los parámetros en una pantalla digital.

### **1.8 Construcción y ensamble de la máquina**

Se construirá e implementará la máquina laminadora de pizza con elementos de adquisición local. Se incluirá un manual de funcionamiento donde se explicará con detalle el proceso de ensamble y funcionamiento de la máquina paso a paso.

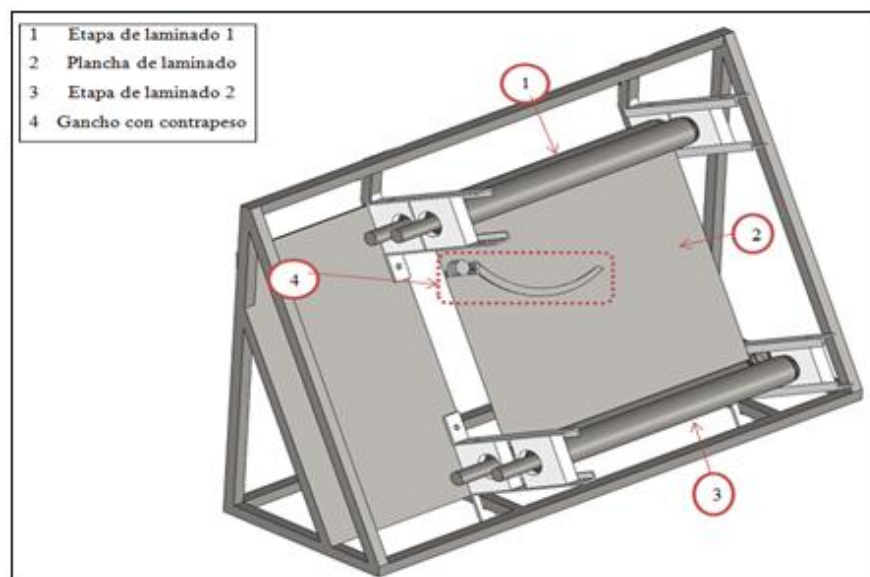
## **1.9 Análisis de costos**

Se cuantificarán los costos monetarios en todo el proceso de construcción el proyecto, sean estos costos directos e indirectos, posteriormente se analizará la rentabilidad del proyecto al utilizar indicadores financieros como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor neto actual (VAN).

## CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 2 Diseño propuesto

Una vez recopilada la información del proceso del laminado, el concepto general dice que la mejor manera de reducir el espesor de un material de trabajo de forma uniforme es por medio de dos rodillos laminadores que giran en sentido opuesto. Al ingresar la masa por los rodillos laminadores ubicados sobre una superficie horizontal como producto final se obtiene una masa con forma de óvalo que ha reducido su espesor y ha aumentado su longitud. Se necesita que la masa laminada se aproxime a una forma circular por ello se propone un diseño que consta de dos etapas de laminación. Cada etapa posee dos rodillos laminadores por donde ingresa la masa para ser laminada. En la primera etapa el espesor de la masa será reducido un 50 % del establecido para completarlo con la segunda etapa. Para evitar el traslado de la masa de una a etapa a la otra manualmente por el operario, se separa cada etapa con una plancha de acero inoxidable con una inclinación que permite que la masa resbale. Al realizar este método, el resultado final de la masa mantiene una forma ovalada por lo que sobre la plancha se ubica un gancho colgante con contrapeso, el cual cumple la función de girar la masa 90 ° dando como resultado una masa que ha sido reducida en grosor y se asemeja a una forma circular, que es la presentación típica de la pizza. En la figura 13 se muestra el diseño propuesto de la máquina y la ubicación de los componentes mecánicos que intervienen en el laminado.



**Figura 13.** Diseño propuesto de la máquina de laminado de masa.

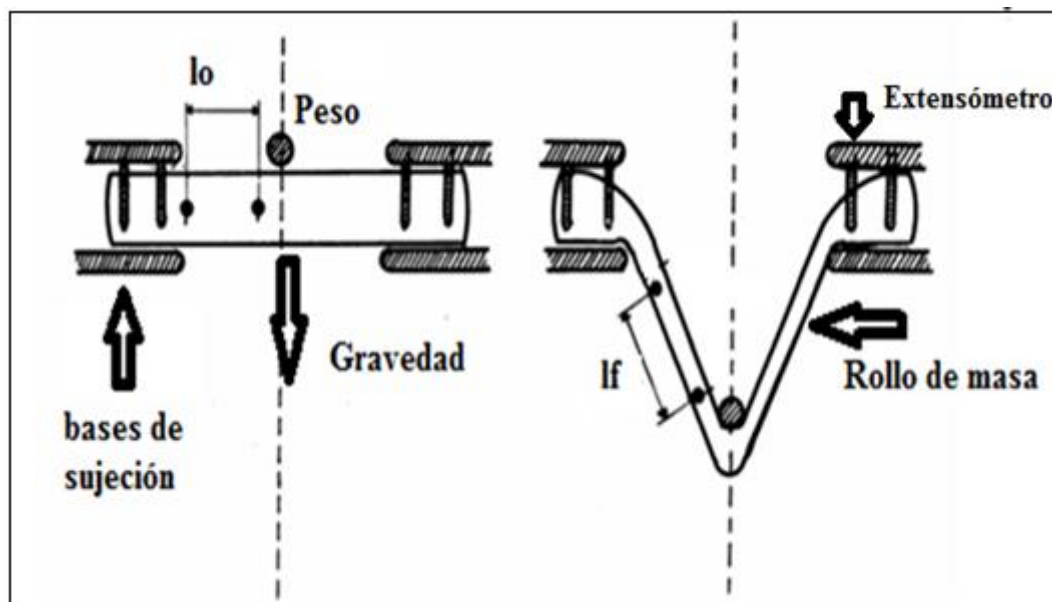
## 2.1 Propiedades físicas del laminado

Para obtener la curva de esfuerzo deformación, el artículo “Reología de la masa a lo largo de la deformación usando el método de tracción simple” (Rasper, 1974), usa una masa de características similares a la masa de la Pizza de Ivonne como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Porcentaje de composición de la masa de prueba.  
(Rasper, 1974)

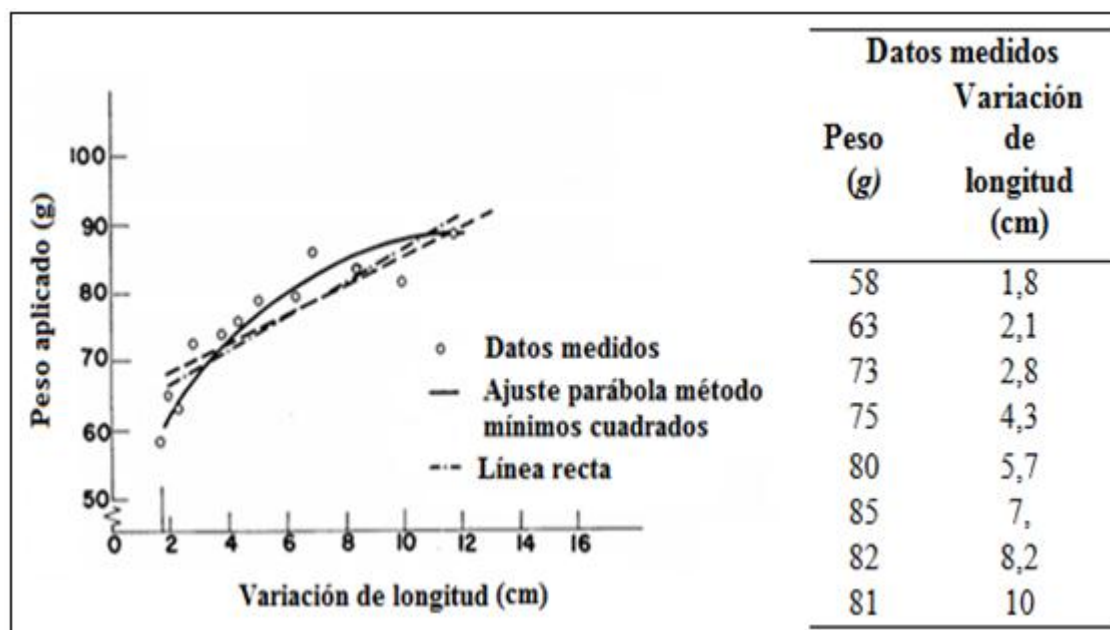
|          |       |
|----------|-------|
| Harina   | 100 % |
| Agua     | 50 %  |
| Azúcar   | 9 %   |
| Sal      | 3,5 % |
| Levadura | 4 %   |
| Grasa    | 1 %   |

En el artículo de (Rasper, 1974), se usa como prueba un rollo de masa cilíndrica circular de  $1 \text{ cm}^2$  de área transversal. El experimento consta de un extensómetro, como indica la figura 14, en el cual se sujeta el rollo de masa y se agregan varios pesos (50 a 85 g) en la mitad, donde  $l_0$  es la longitud inicial de 13 cm y  $l_f$  es la longitud final.



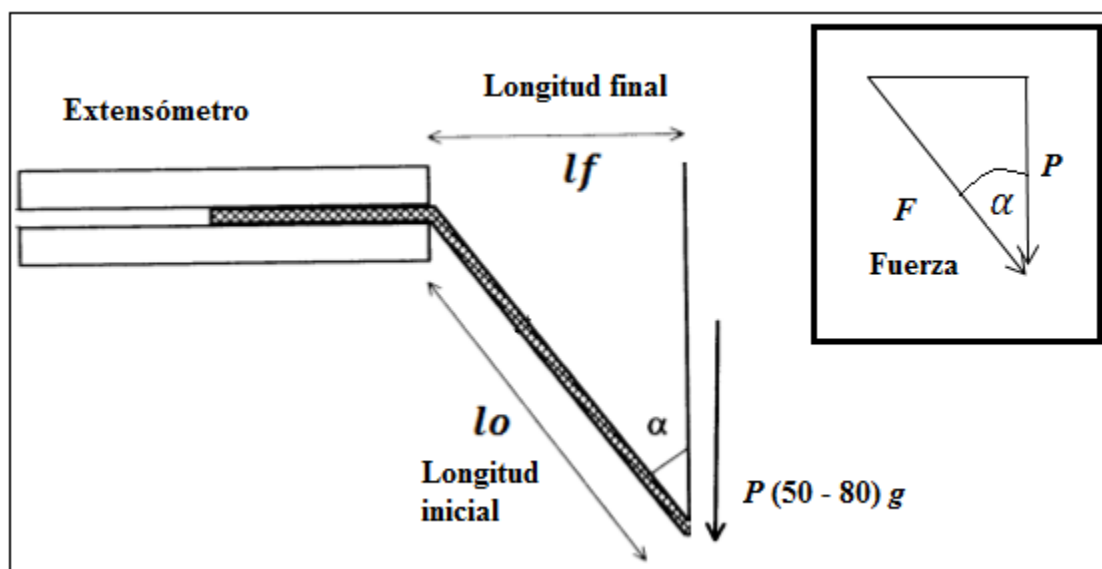
**Figura 14.** Medida de la deformación de la masa mediante un extensómetro.  
(Rasper, 1974).

En la figura 15, (Rasper, 1974) indica en centímetros la variación de longitud de la masa en función de los diferentes pesos.



**Figura 15.** Resultados de la deformación de la masa mediante un extensómetro con diferentes pesos. (Rasper, 1974).

Con los datos obtenidos del artículo de (Rasper, 1974), para calcular la fuerza  $F$  que genera el esfuerzo en la masa de pizza, se obtiene dividiendo el peso agregado de (50 a 85 g), entre el coseno del ángulo  $\alpha$ , que se forma como se indica en la figura 16. El ángulo  $\alpha$  se lo encuentra aplicando el seno inverso de la longitud inicial  $l_0$  dividida entre la longitud final  $l_f$ . La tabla 4 indica los datos tabulados de la fuerza con la variación del ángulo  $\alpha$ .



**Figura 16.** Ángulo formado entre la longitud inicial y la longitud final de la masa.



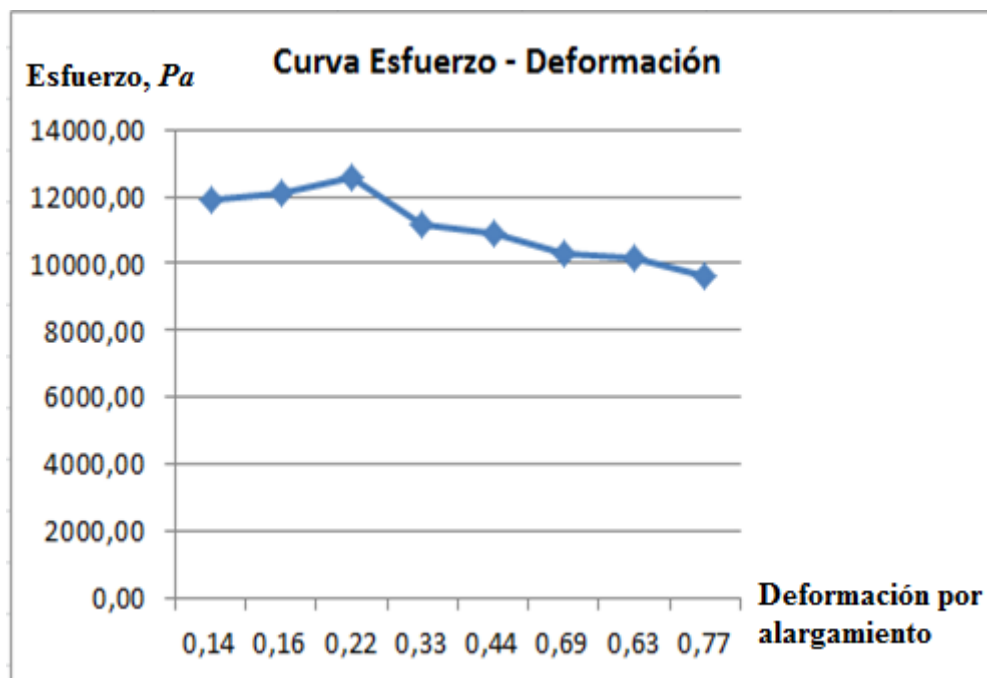
**Tabla 4.** Datos de la fuerza aplicada a la masa con diferente ángulo  $\alpha$ .

| $P$ (N) | $l_0$ (cm) | $l_f$ (cm) | $\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{l_0}{l_f}$ (°) | $F = \frac{P}{\text{cos}(\alpha)}$ (N) |
|---------|------------|------------|--|--|
| 0,57    | 13         | 14,8       | 61,4   | 1,19                                   |
| 0,62    | 13         | 15,1       | 59,4   | 1,21                                   |
| 0,72    | 13         | 15,8       | 55,4   | 1,26                                   |
| 0,74    | 13         | 17,3       | 48,7   | 1,11                                   |
| 0,78    | 13         | 18,7       | 44,0   | 1,09                                   |
| 0,83    | 13         | 22         | 36,2   | 1,03                                   |
| 0,80    | 13         | 21,2       | 37,8   | 1,02                                   |
| 0,79    | 13         | 23         | 34,4   | 0,96                                   |

.Se obtiene el esfuerzo usando la ecuación 3 y la deformación unitaria por elongación usando la ecuación 4, estos valores se ingresan en la tabla 5 y se realiza la curva esfuerzo – deformación como muestra la figura 17.

**Tabla 5.** Datos de la curva esfuerzo - deformación de la masa de pizza.

| $\sigma = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{m^2} \right)$ | $\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0}$ |
|---|------------------------------------|
| 11900,13  | 0,14                               |
| 12144,38  | 0,16                               |
| 12595,79  | 0,22                               |
| 11147,37  | 0,33                               |
| 10914,03  | 0,44                               |
| 10332,54  | 0,69                               |
| 10180,06  | 0,63                               |
| 9629,02   | 0,77                               |



**Figura 17.** Curva esfuerzo – deformación.

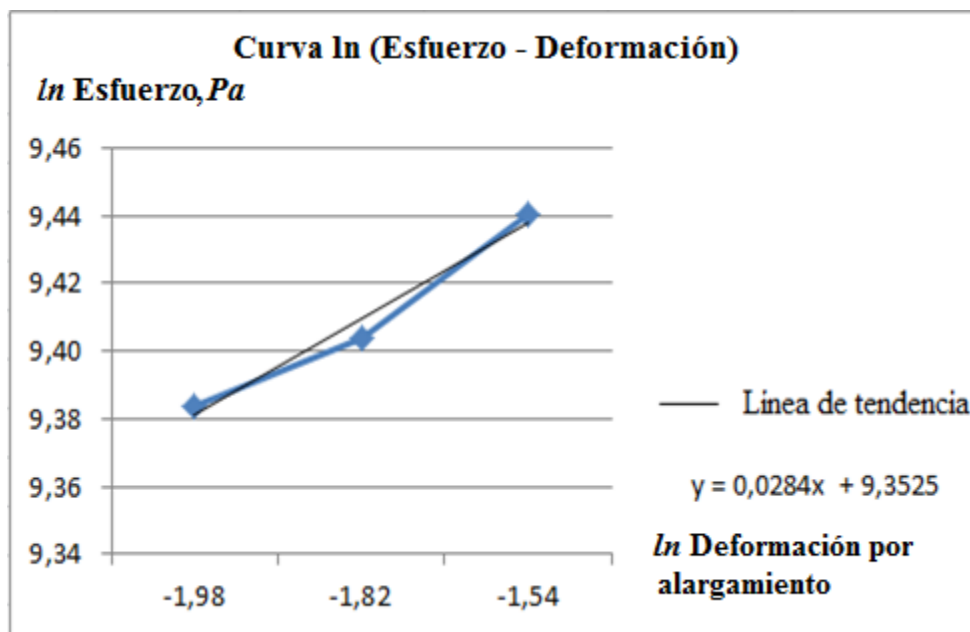
Para encontrar los valores del exponente de endurecimiento ( $n$ ) y el coeficiente de resistencia ( $k$ ), de la representación empírica de la curva esfuerzo - deformación que se ha obtenido, se aplica logaritmo natural a la ecuación 6 como se muestra en la tabla 6 y se obtienen los parámetros mediante una regresión lineal de la curva de los tres primeros valores donde se considera que la masa se ha deformado de manera irreversible.

**Tabla 6.** Logaritmo natural esfuerzo y deformación.

| $y = \ln(\sigma)$ | $x = \ln(\epsilon)$ |
|-------------------|---------------------|
| 9,38              | -1,98               |
| 9,40              | -1,82               |
| 9,44              | -1,54               |

La figura 18 muestra la regresión lineal de la curva logarítmica obteniendo la ecuación lineal:

$$y = 0,0284x + 9,3525$$



**Figura 18.** Regresión lineal de la curva logarítmica esfuerzo deformación de la masa de prueba

El exponente de endurecimiento  $n$ , es igual a la pendiente de la recta 0,0284 y el valor del punto de intercepción en la ordenada  $a = 9,3525$ , es igual al  $\ln(k)$ .

$$\ln(k) = a$$

$$\ln(k) = 9,3525$$

$$k = 11527,61 \text{ Pa}$$

### 2.1.1 Velocidad de giro de los rodillos

La velocidad lineal que el operador aplica al rodillo, se obtiene por pruebas de campo. El experimento como se muestra en la figura 19, consiste en colocar una masa de prueba de 1 centímetro de espesor a lo largo de una superficie horizontal, y con un rodillo de cocina de 2 pulgadas de diámetro, se pasa por encima de la masa en una sola dirección y por una sola ocasión. Con un cronómetro se mide el tiempo que transcurre en pasar el rodillo desde el inicio hasta el final de la masa. Con la ecuación 14 se obtiene la velocidad lineal del rodillo.

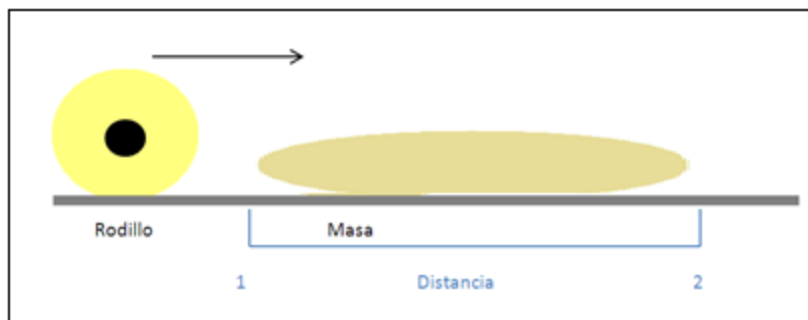
$$v = \frac{d}{t}$$

**Ecuación 14.** Velocidad lineal.

Donde:

$d$  =Distancia

$t$  =Tiempo



**Figura 19.** Prueba de la velocidad lineal en el laminado manual.

La tabla 7 muestra los resultados de la velocidad lineal del laminado con rodillo de forma manual, se realiza 4 pruebas con distancias definidas.

**Tabla 7.** Resultados del experimento de la velocidad lineal con rodillo operado manualmente.

|          | <b>Distancia(mm)</b> | <b>Tiempo(s)</b> | <b>Velocidad (mm/s)</b> |
|----------|----------------------|------------------|-------------------------|
| Prueba 1 | 300                  | 1,11             | 270                     |
| Prueba 2 | 300                  | 1,3              | 265                     |
| Prueba 3 | 250                  | 0,96             | 260                     |
| Prueba 4 | 350                  | 1,26             | 276                     |
|          |                      | <b>Promedio</b>  | 267                     |

De los resultados se obtiene un promedio de la velocidad lineal igual a 267  $mm/s$ . Con la velocidad lineal obtenida se reemplaza el valor en la ecuación 15 para obtener la velocidad angular del rodillo.

$$\omega = \frac{v}{r}$$

**Ecuación 15.** Velocidad angular.  
(Ferdinand P. Beer, 2010)

$$\omega = \frac{267 \text{ mm/s}}{25,4 \text{ mm}}$$

$$\omega = 10,51 \text{ rad/s} \approx 100 \text{ rpm}$$

Se recomienda que la velocidad de los rodillos no exceda las 100 rpm.

### 2.1.2 Potencia necesaria para el laminado de masa

Con los datos obtenidos se procede a obtener la potencia necesaria para el laminado de masa:

- Velocidad giro de los rodillos  $\omega = 10,51 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ .
- Radio de los rodillos  $r = 25,4 \text{ mm}$ .
- Espesor inicial de la masa de mayor tamaño  $t_0 = 100 \text{ mm}$ .
- Espesor final de la masa después del laminado  $t_f = 7 \text{ mm}$ .
- Ancho máximo que ocupa la masa en la entrada del laminado  $w = 300 \text{ mm}$ .
- Exponente de endurecimiento  $n = 0,0284$ .
- Coeficiente de resistencia  $k = 11527,61 \text{ Pa}$ .

#### Longitud de contacto

$$L = \sqrt{2r(t_0 - t_f)}$$

$$L = 0,05 \text{ m}$$

#### Deformación real

$$\varepsilon = \ln \frac{t_0}{t_f}$$

$$\varepsilon = 2,66$$

#### Esfuerzo de fluencia promedio

$$\bar{Yf} = \frac{k\varepsilon^n}{n+1}$$

$$\bar{Yf} = 11524,99 \text{ Pa}$$

**Fuerza del laminado**

$$F = \bar{Y}f \cdot w \cdot L$$

$$F = 172,87 \text{ N}$$

**Momento de torsión del laminado**

$$T = 0,5 \cdot F \cdot L$$

$$T = 4,32 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**Potencia necesaria para realizar el laminado de masa**

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 60,54 \text{ Watts} \approx 0.06 \text{ HP}$$

**2.1.3 Selección del motor**

Además de la potencia necesaria para el laminado de la masa, hay que calcular la inercia de los rodillos. La inercia que se calcule será la que el motor deba vencer para que se produzca movimiento en los rodillos. El momento del rodillo se calcula utilizando la ecuación 16.

$$M = I * \alpha$$

**Ecuación 16.** Momento de inercia.

**Donde:**

$M$  = Momento de torsión

$I$  = Inercia masa rodillo

$\alpha$  = Aceleración angular

Se calcula la masa del rodillo de 2 pulgadas de diámetro y 50 centímetros de longitud el cual se ha usado en las anteriores pruebas cuyo material es de acero inoxidable que cumplen con normas de salud en contacto con alimentos utilizando la ecuación 17.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Ecuación 17.** Densidad de un material.  
(Meriam, 1980).

**Donde:**

$\rho$  = Densidad del acero inoxidable AISI 304,  $7900 \text{ kg/m}^3$ .

$V$  = Volumen del rodillo  $1,013 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$m$  = Masa del rodillo.

$m = 8 \text{ kg}$ .

La inercia del rodillo se calcula con la ecuación 18.

$$I = \frac{r^2 * m}{2}$$

**Ecuación 18.** Inercia cilindro.  
(Meriam, 1980).

**Donde:**

$I$  = Inercia masa rodillo.

$r$  = Radio del rodillo 0,0254 m.

$m$  = Masa del rodillo 8 kg.

$I = 2,58 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .

La aceleración de un motor eléctrico bifásico en el comercio local, trabaja a 60 Hz con la ecuación 19 se encuentra la aceleración angular del rodillo laminador.

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

**Ecuación 19.** Velocidad angular en función de la aceleración.  
(Meriam, 1980).

**Donde:**

$\omega$  = Velocidad final del rodillo  $10,51 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ .

$\omega_0$  = Velocidad inicial del rodillo 0 rad/s.

$t$  = Tiempo en alcanzar la velocidad final 0,017 s.

$\alpha = 630,6 \text{ rad} / \cdot \text{s}^2$ .

Reemplazando los valores en la ecuación 18 del momento de inercia se tiene:

$M = 1,62 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

Para hallar la potencia necesaria para girar los cuatro rodillos laminadores se utiliza la ecuación 20.

$$P = 4M * \omega$$

**Ecuación 20.** Potencia de los rodillos laminadores.  
(Groover, 2007)

**Donde:** $P =$  Potencia $\omega =$  Velocidad angular $M =$  Momento de torsión $P = 68,41 \text{ Watts} \approx 0,092 \text{ HP}$ 

A la potencia necesaria para realizar el laminado se suma la potencia para vencer la inercia de los rodillos dando como resultado una potencia total de 0,15 HP. Considerando pérdidas por fricción en bandas, se selecciona un motor de 0,25 HP de disponibilidad en el mercado con las siguientes características como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Características del motor.

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| <b>Marca</b>      | Weg       |
| <b>Potencia</b>   | 0,25 HP   |
| <b>Voltaje</b>    | 110/220 V |
| <b>Corriente</b>  | 5/2,5 A   |
| <b>Frecuencia</b> | 60 Hz     |
| <b>Velocidad</b>  | 1720 rpm  |

El motor posee una velocidad angular muy alta, por lo que se reduce la velocidad angular con un reductor de velocidad. El anexo 14, muestra las características de un motorreductor MG 100. En la tabla 9 se indica las características del motorreductor seleccionado de disponibilidad en el mercado, el cual da una velocidad de salida de 45 rpm.

**Tabla 9.** Características del motorreductor.

|                 |          |
|-----------------|----------|
| <b>Marca</b>    | RAMFE    |
| <b>Potencia</b> | 2 HP     |
| <b>Torque</b>   | 1241 N/m |
| <b>Relación</b> | 1:40     |

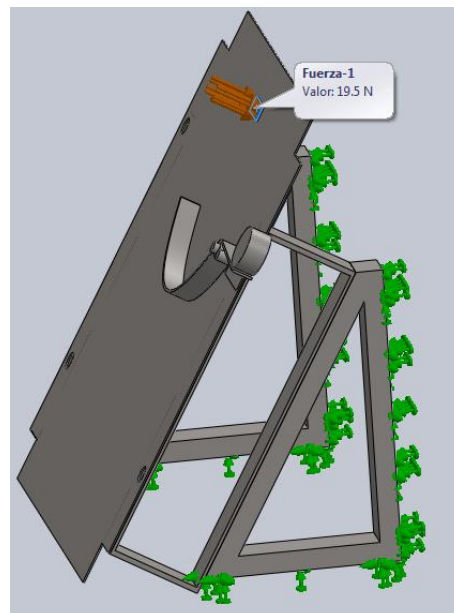


## 2.2 Componentes externos que conforman el laminado

Se lleva a cabo la evaluación de la plancha de laminado y el gancho con contra peso mediante el método de los elementos finitos. También se explica el funcionamiento y ventajas de los componentes.

### 2.2.1 Modelos geométricos y condiciones de borde

En la figura 20 se muestra la plancha de laminado y las condiciones de borde impuestas en la posición crítica. La plancha tiene una inclinación de  $60^\circ$  que es la ideal para que resbale la masa y un espesor de  $1,5\text{ mm}$ . La fuerza aplicada por la masa de mayor tamaño en el extremo superior de la plancha al pasar por la primera etapa es de  $F=19,5\text{ N}$ . El empotramiento se lo realiza en la parte inferior de las bases que sostienen la plancha.

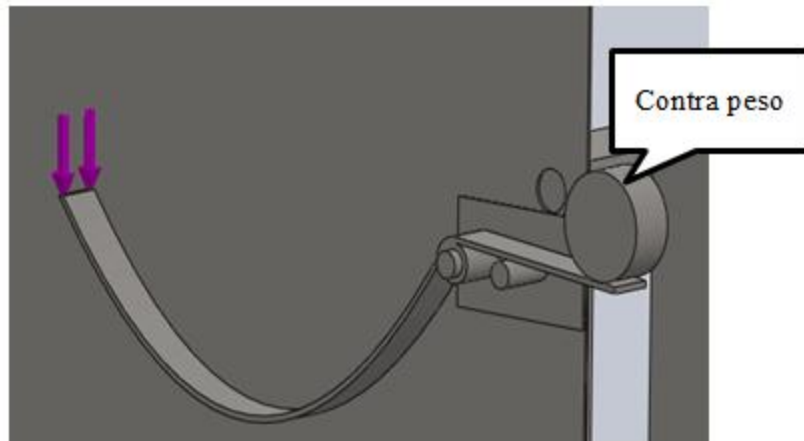


**Figura 20.** Condiciones de borde de la plancha de laminado.

En la figura 21 se muestra el gancho con contrapeso, que tiene la función de girar la masa  $90^\circ$  cuando cae desde la primera etapa. Se usa una platina de acero inoxidable de  $3/4 \times 1/8$  de pulgada a la cual se le da la forma del gancho, la platina tiene un peso de  $0,1\text{ g}$ . El mayor peso de la masa que cae sobre el gancho es de  $2\text{ kg}$  por lo tanto, el contra peso no debe exceder un peso

de 2,1 *kg*. Se selecciona un contrapeso de 1 *kg* como se muestra en la figura 21, el cual cumple con la función de regresar a la posición inicial el gancho una vez que haya pasado la masa.

Las condiciones de borde impuestas para la sección crítica es la fuerza aplicada por la masa cuando esta topa el gancho en su extremo. Esta fuerza tiene un valor de  $F = 19,5 \text{ N}$ .



**Figura 21.** Condiciones de borde del gancho con contra peso.

### 2.2.2 Análisis de elementos finitos

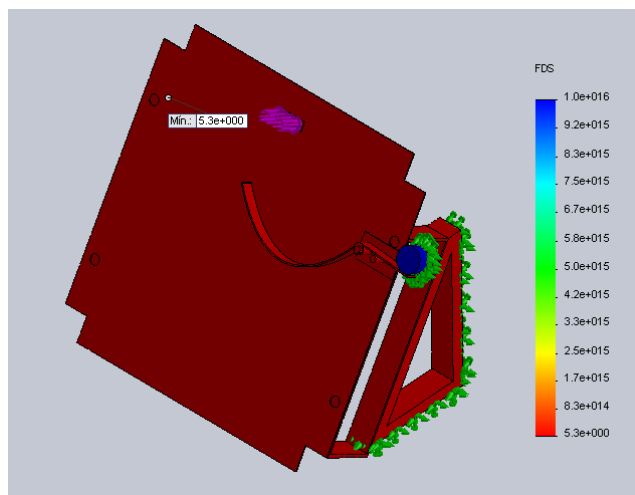
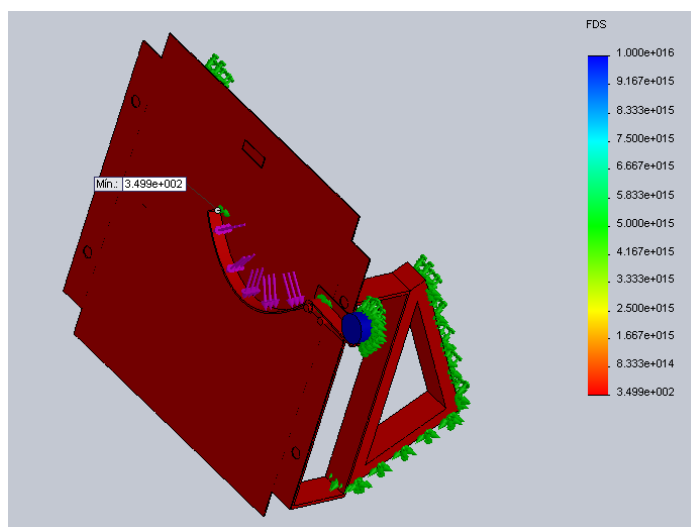
Al analizar la simulación de la plancha de laminado y el gancho se determinan los esfuerzos de von Mises, dicha teoría es la más precisa para materiales dúctiles. El modelo falla cuando los esfuerzos superan el límite elástico del material y es fácilmente comprobable a través del factor de seguridad. Con una confianza promedio en todos los diseños el factor de seguridad puede ser mayor a 2. El límite de desplazamiento máximo fijado es de cinco milímetros para evitar que la plancha al desplazarse tope los rodillos laminadores.

### 2.2.3 Factor de seguridad

El factor de seguridad considera las diferentes resistencias de los aceros empleados con sus esfuerzos máximos admisibles, se realizó un estudio con diferentes números de elementos finitos como se muestra en la tabla 10, por lo que se trabaja con el valor más fiable de 52000 números de elementos finitos. Se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 5,30 como se muestra en la figura 22 en la plancha de laminado y un valor mínimo de 349,92 en el gancho con contra peso como se indica en la figura 23.

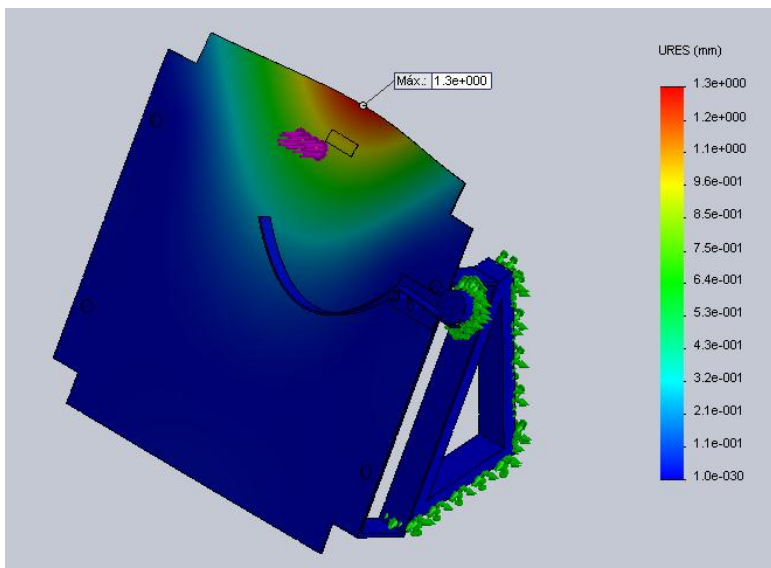
**Tabla 10.** Análisis de convergencia de elementos finitos.

| Número de elementos finitos | Componentes                      |   |
|-----------------------------|----------------------------------|---|
|                             | Plancha<br>(factor de seguridad) | Gancho con contra peso<br>(factor de seguridad) |
| 9000                        | 7,36                             | 470   |
| 10200                       | 7,25                             | 560   |
| 1500                        | 9,58                             | 550   |
| 17600                       | 11,33                            | 372   |
| 20291                       | 11,57                            | 360   |
| 25200                       | 10,13                            | 352,94  |
| 30600                       | 5,25                             | 250,86  |
| 41000                       | 5,29                             | 349,19  |
| 52000                       | 5,30                             | 349,92  |

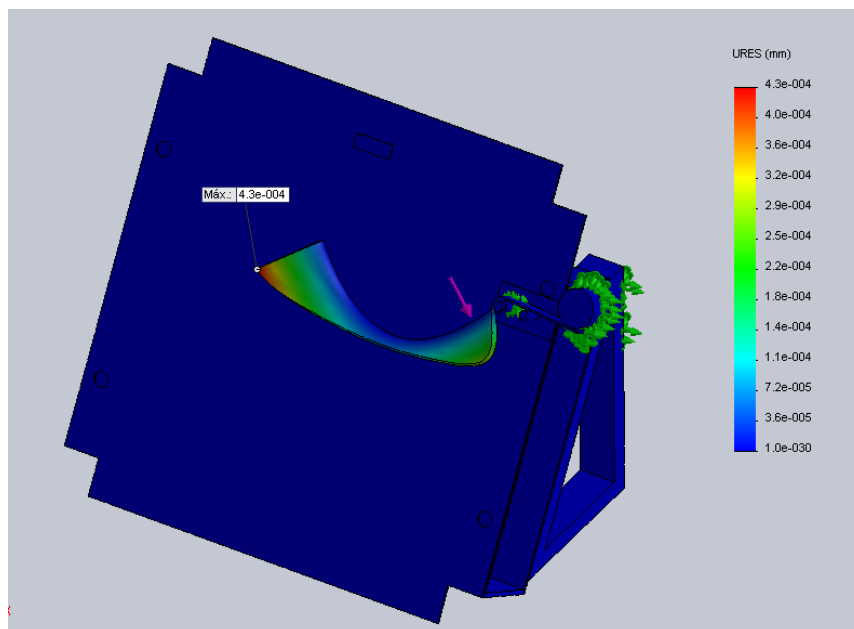
**Figura 22.** Factor de seguridad plancha de laminado**Figura 23.** Factor de seguridad del gancho con contrapeso.

## 2.2.4 Desplazamiento

En la figura 24 se observa que de acuerdo a la simulación, se obtiene un desplazamiento máximo de  $1,3 \text{ mm}$  en la plancha de laminado. Se considera que el desplazamiento tenga un máximo de  $5 \text{ mm}$ . En la figura 25 se obtiene un desplazamiento máximo de  $0,0043 \text{ mm}$  en el gancho, lo que indica que desplazamiento es despreciable y el gancho cumple su función.

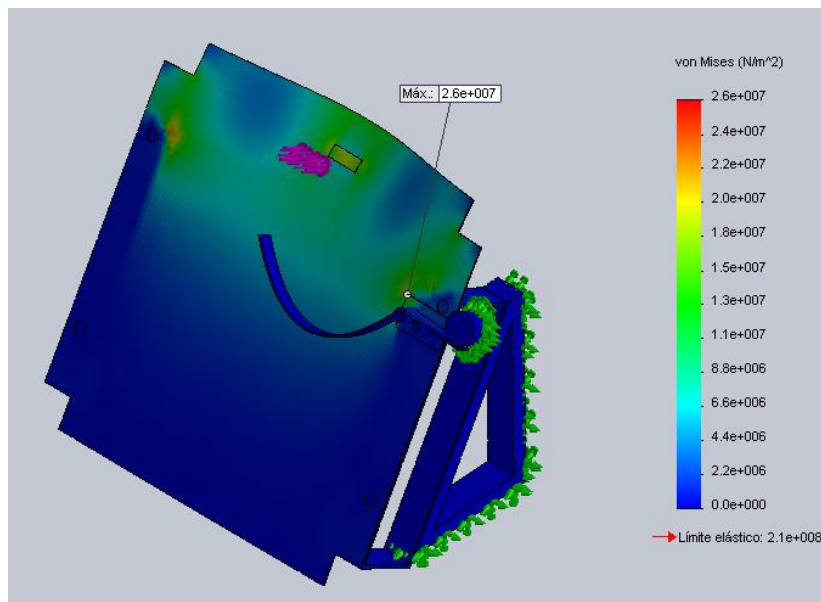


**Figura 24.** Desplazamiento plancha del laminado

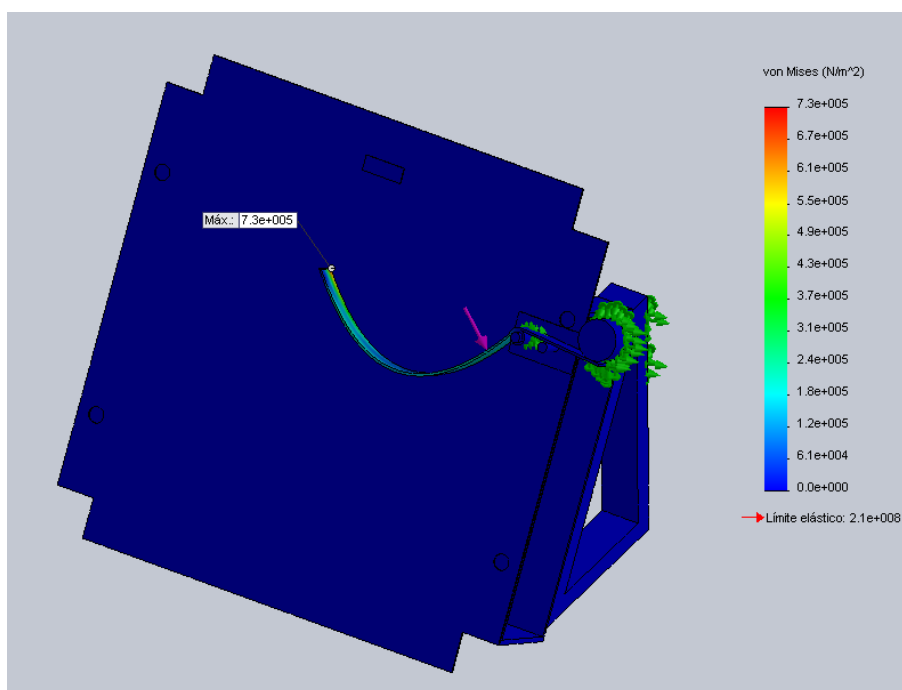


**Figura 25.** Desplazamiento gancho con contrapeso Máximo esfuerzo

Como se muestra en la figura 26, el esfuerzo máximo en la plancha de laminado es de 26 MPa, ubicado en donde ingresa la masa. En la figura 27 el esfuerzo máximo en el gancho es de 730 KPa.



**Figura 26.** Esfuerzo plancha del laminado



**Figura 27.** Esfuerzo gancho con contrapeso Mecanismos de transmisión de movimiento

### 2.2.5 Transmisión de movimiento del motor al rodillo principal

Se selecciona el mecanismo para la transmisión de movimiento del motor al rodillo principal en base a los parámetros de costo, ensamble, disponibilidad, mantenimiento y eficiencia. Considerando un sistema de bandas o cadenas. La transmisión de movimiento por engranes pero no es considerada debido a que usa para transmitir movimiento en cortas distancias y los ejes de los rodillos se encuentran a una distancia de 38 cm del motor principal. En la tabla 11 se muestran las ventajas y desventajas de los dos tipos de transmisiones a elegir.

**Tabla 11.** Características comparativas entre métodos de transmisión.

| Tipo de transmisión | Costo | Ensamble   | Mantenimiento  | Pérdidas en transmisión |
|---------------------|-------|--|--|-------------------------|
| <b>Bandas</b>       | Bajo  | Las bandas son fáciles de colocar y retirarlas           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesita lubricación</li> <li>• Mejor resistencia al polvo</li> <li>• Menor mantenimiento que otros sistemas de transmisión</li> </ul> | Alta                    |
| <b>Cadenas</b>      | Alto  | Complejo, al insertar la cadena en los dientes del piñón | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita lubricación</li> <li>• Baja resistencia a impurezas</li> <li>• Mayor mantenimiento</li> </ul>                                    | Baja                    |

En la tabla 12 se elige el método de transmisión del motor al rodillo laminador principal más conveniente para el sistema, se elige el método que tenga mejor calificación, donde una calificación regular corresponde a 5 y una calificación buena a 10.

**Tabla 12.** Matriz de decisión de los métodos de transmisión de movimiento del motor al rodillo principal.

| <b>Métodos de transmisión</b> | <b>Cadenas</b>      | <b>Bandas</b>       |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Criterios</b>              | <b>Calificación</b> | <b>Calificación</b> |
| Costo                         | Regular             | Buena               |
| Facilidad de ensamble         | Regular             | Buena               |
| Disponibilidad en el mercado  | Regular             | Buena               |
| Facilidad de mantenimiento    | Regular             | Buena               |
| Transmisión de potencia       | Buena               | Regular             |
| Total                         | 30                  | 45                  |

Después del análisis, se elige el método de transmisión de movimiento por bandas que es el que ha obtenido mayor calificación.

### 2.2.5.1 Cálculo y selección de las bandas y poleas

El motor que se usa para hacer girar los rodillos tiene una velocidad angular de 1750 *rpm*, esta es reducida a 45 *rpm* con el motorreductor. La transmisión de movimiento se logra por poleas con una relación de velocidad igual a 1 para evitar cambios de velocidad del eje.

#### 2.2.5.1.1 Diámetro mínimo de las poleas conductoras

Con la ayuda la tabla 13, se procede a encontrar el diámetro mínimo de las poleas que se necesita para transmitir una potencia de 1/4 *HP*. Se puede observar que el diámetro mínimo debe ser de 2,5 pulgadas para 0,5 *HP*.

**Tabla 13.** Diámetro mínimo recomendado para poleas.

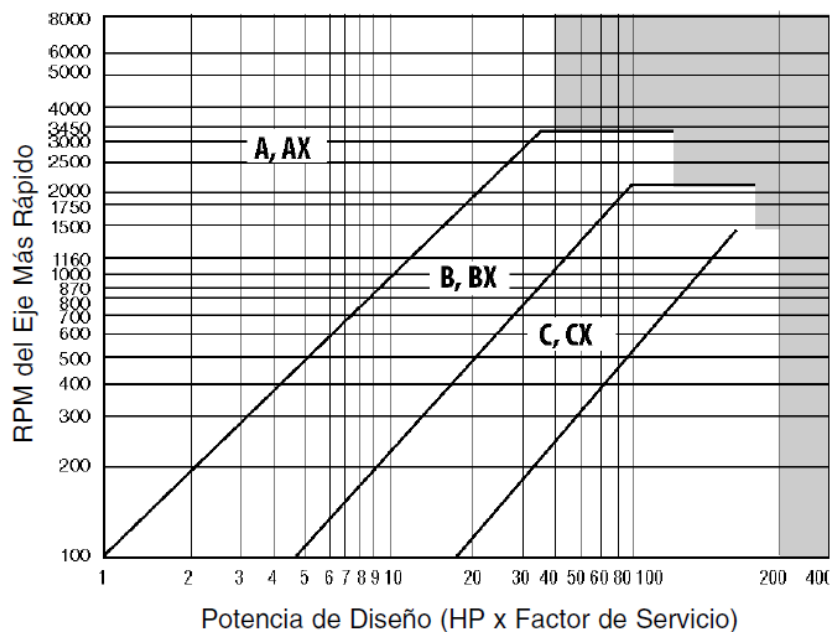
| <b>POTENCIA DEL MOTOR HP</b> | <b>RPM DEL MOTOR</b> |      |      |      |      |      |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                              | 575                  | 695  | 870  | 1160 | 1750 | 3450 |
| .50                          | 2.50                 | 2.50 | 2.50 | —    | —    | —    |
| .75                          | 3.00                 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | —    | —    |
| 1.00                         | 3.00                 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.25 | —    |
| 1.50                         | 3.00                 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.25 |
| 2.00                         | 3.75                 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.50 |
| 3.00                         | 4.50                 | 3.75 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 |
| 5.00                         | 4.50                 | 4.50 | 3.75 | 3.00 | 3.00 | 2.50 |
| 7.50                         | 4.25                 | 4.50 | 4.50 | 3.75 | 3.00 | 3.00 |

(Gear, 2014)

Se elige por disponibilidad en el mercado una polea de 3 pulgadas de diámetro. La relación de transmisión de la polea conductora a la polea conducida tiene un valor de 1, entonces el diámetro de la polea conducida tiene el mismo diámetro de 3 pulgadas.

### 2.2.5.1.2 Tipo de Bandas

Para determinar el tipo de bandas que se usa la máquina laminadora se emplea la figura 28.



**Figura 28.** Bandas convencionales  
(Gear, 2014)

Como se observa en la figura 28, para transmitir una potencia de 0,25 HP a una velocidad angular de 45 rpm, se debe usar una banda tipo A.

### 2.2.5.1.3 Cálculo de las distancias mínimas y máxima entre los centros

#### Primera transmisión

Para encontrar la distancia mínima entre los centros se emplea la ecuación 20 y la distancia máxima entre los centros la ecuación 21.

$$C_{\min} = d_1$$

**Ecuación 20.** Distancia mínima entre los centros de poleas.  
(Mott, 2004).



$$C \text{ max} = 3(d_1 + d_2)$$

**Ecuación 21.** Distancia máxima entre los centros de poleas.  
(Mott, 2004).

**Dónde:**

$C \text{ min}$  = Distancia mínima entre centros.

$C \text{ max}$  = Distancia máxima entre centros.

$d_1$  = Diámetro de la polea conducida, 3 *pulg*  $\approx$  2,54 *cm*

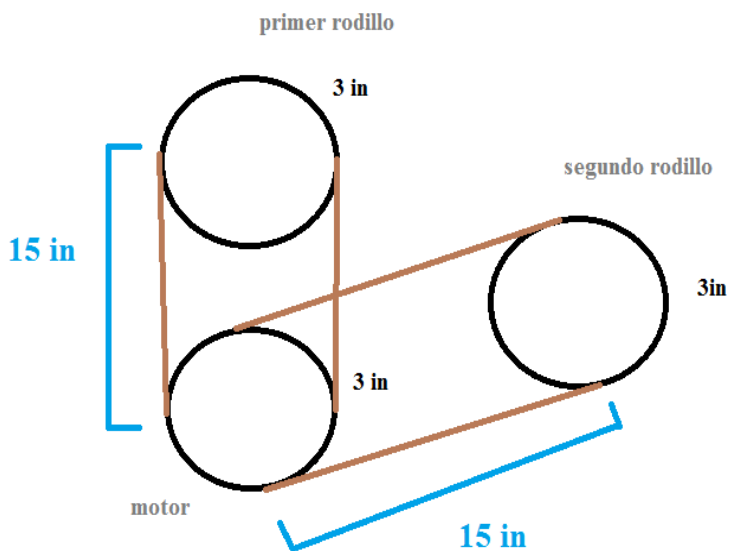
$d_2$  = Diámetro de la polea conductora 3 *pulg*  $\approx$  2,54 *cm*.

$C \text{ min}$  = 3 *pulg*  $\approx$  2,54 *cm*

$C \text{ max}$  = 18 *pulg*  $\approx$  45,72 *cm*

#### 2.2.5.1.4 Selección de las distancias entre centros

Tomando en cuenta la construcción de la máquina, la ubicación del motor y del eje de los rodillos se elige una distancia entre centros de 15 *pulg*  $\approx$  38 *cm* en la primera transmisión y en la segunda transmisión. A continuación en la figura 29 se muestra un esquema de la ubicación y los diámetros finales de las poleas.



**Figura 29.** Esquema de la distancia entre centros de las poleas.

### 2.2.5.1.5 Longitud de la banda (lb)

Se determina la longitud de la banda utilizando la ecuación 22.

$$Lb = 2 C + 1,57(d_1 + d_2) + \frac{(d_1+d_2)}{4C}$$

**Ecuación 22.** Longitud de la banda.  
(Mott, 2004)

$$Lb = 39,5 \text{ pulg} \approx 1 \text{ m}$$

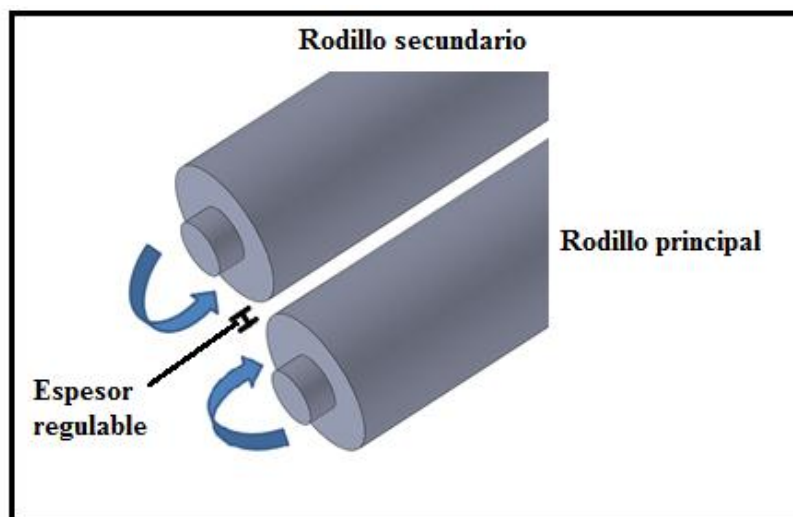
Como se había determinado para la máquina, se emplea las bandas tipo A que trabajen bajo las siguientes especificaciones como se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14.** Especificaciones que deben cumplir las bandas a utilizar.

| Transmisión | Primera etapa | Segunda etapa |
|-------------|---------------|---------------|
| Relación    | 1             | 1             |
| Longitud    | 1 m           | 1 m           |

### 2.2.6 Transmisión de movimiento del eje del rodillo principal al secundario

Además de la transmisión de movimiento del eje del rodillo principal al eje del rodillo secundario, el rodillo secundario es móvil en dirección vertical, para regular el espesor del laminado como se indica en la figura 30.



**Figura 30.** Sentido de giro y variación de espesor de los rodillos laminadores.

### 2.2.6.1 Transmisión por bandas en un eje móvil

Se calcula los parámetros de bandas y poleas en un eje móvil.

#### Potencia

La potencia del motor es 0,25 HP.

#### Distancia entre centros

El sistema de laminación comprende de dos rodillos de 3 pulg cada uno y tendrán una distancia entre centros de cada eje mínima de 3 pulg se reemplaza en la ecuación 23.

$$d_2 < C < 3(d_2 + d_2)$$

**Ecuación 23.** Intervalo distancia nominales entre centros.  
(Mott, 2004).

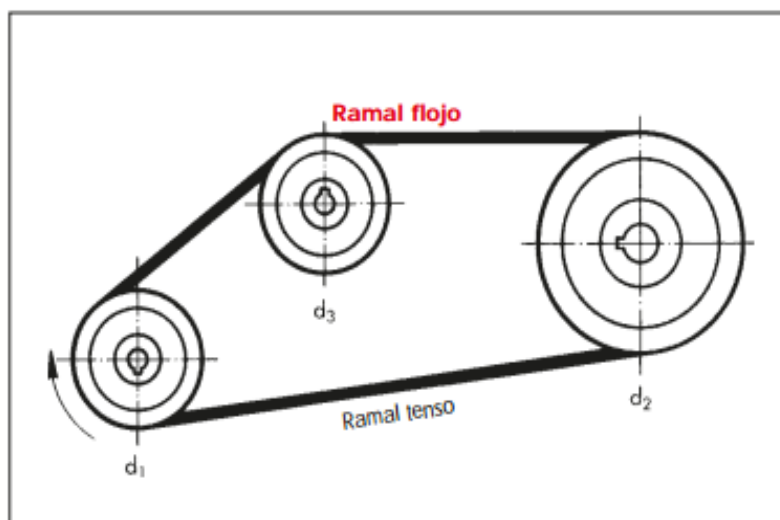
Reemplazando:

$$3 \text{ pulg} < 3 \text{ pulg} < 18 \text{ pulg}$$

El intervalo no se cumple ya que las distancias son muy cortas, esto se lo toma en cuenta en la selección del mecanismo.

#### Tensor

Para mantener la transmisión al rodillo móvil, se usa un tensor como se muestra en la figura 31. La teoría del tensor o polea loca indica que se aplica para mantener los centros fijos. Es recomendable colocar el tensor dentro de la banda cerca de la polea mayor y en el ramal flojo (Mott, 2004). Un tensor exterior se usa cuando el ángulo de contacto de la polea es demasiado pequeño (Optibelt, 2016).



**Figura 31.** Tensor en una banda.  
(Optibelt, 2016).

### 2.2.6.2 Selección del sistema de transmisión de movimiento del eje principal al secundario

A continuación se hace una comparación entre dos sistemas de transmisión de movimiento y se escoge el más conveniente. En la tabla 15 se muestran las ventajas y desventajas de los dos tipos de transmisiones a elegir.

**Tabla 15.** Características comparativas entre dos métodos de transmisión.

| <b>Parámetros del sistema de transmisión</b> | <b>Bandas</b>  | <b>Engranajes</b>  |
|--|--|--|
| Distancia corta entre centros = 2 pulgadas   | No es recomendable usar en distancias cortas, en potencias cercanas a 0,5 HP se recomienda diámetros mínimo polea mayores a 2,5 pulgadas.  | Es recomendable usar para distancias de centros cortas.  |
| Cambio de giro                               | El sistema de poleas mantiene el sentido de giro original al transmitir movimiento, se necesita cruzar la banda para el cambio de giro de un eje al otro.  | El sistema de engranajes cambia el sentido de giro al transmitir movimiento a otro eje.  |
| Cambio distancia entre centros               | Para garantizar la transmisión en un cambio de centros se necesita el uso de un tensor. Las poleas seleccionadas tienen un diámetro de 3 pulgadas, el tensor debe estar dentro de la banda por lo que no habría espacio para su ubicación. | Los engranes con diente de forma de involuta permite seguir transmitiendo el movimiento en variaciones de distancia de centro. |

En la tabla 16 se elige el método de transmisión más conveniente para el sistema, se elige el método que tenga mejor calificación. Donde una calificación regular corresponde a 5 y una calificación buena a 10.

**Tabla 16.** Matriz de decisión de los métodos de transmisión del eje rodillo al otro rodillo.

| <b>Métodos de transmisión</b>      | <b>Bandas</b>       | <b>Engranajes</b>   |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Criterios</b>                   | <b>Calificación</b> | <b>Calificación</b> |
| Costo                              | Buena               | Regular             |
| Distancias de centro cortas        | Mala                | Buena               |
| Cambio de giro entre ejes          | Regular             | Buena               |
| Cambio de distancia entre centros. | Regular             | Buena               |
| Pérdidas                           | Regular             | Buena               |
| Total                              | 25                  | 45                  |

Después del análisis se selecciona el método de transmisión por engranajes, garantizando que el sistema continúe funcionando al variar el espesor del laminado.

### 2.2.6.3 Cálculo y selección del engranaje

Se establece una reducción de espesor de la masa de 1 a 8 *mm*. El sistema comprende de dos etapas, por lo tanto, en la primera etapa los rodillos tienen una separación inicial de 5 *mm* y en la segunda etapa de 1 *mm*. Las dos etapas pueden variar 3 *mm* su espesor para cumplir el intervalo propuesto. La tabla 17 muestra el cálculo del módulo de los engranes en las dos etapas.

**Tabla 17.** Cálculo del módulo de los engranes.

| <b>Módulo del engrane</b>                               |                                     |                  |  |  |
|---|-------------------------------------|------------------|--|--|
| <b>Datos</b>  |                                     | <b>Operación</b> | <b>Resultado</b>   |  |
| <b>Etapas 1</b>   | <b>Etapas 2</b>                     |                  | <b>Etapas 1</b>  | <b>Etapas 2</b>  |
| $d_p = 55,8 \text{ mm}$<br>$N = 13$<br>Véase el anexo 2 | $d_p = 51,8 \text{ mm}$<br>$N = 13$ | Ecuación 10      | $P_d = 0,23 \text{ mm}^{-1}$<br>$\approx 5,92 \text{ pulg}^{-1}$ | $P_d = 0,25 \text{ mm}^{-1}$<br>$\approx 6,37 \text{ pulg}^{-1}$ |
|   |                                     | Ecuación 11      | $m = 4,3 \text{ mm}$   | $m = 4 \text{ mm}$   |

Se define un módulo estandarizado igual a 4 según la tabla 18, de disponibilidad en el mercado.

**Tabla 18.** Módulos métricos estándares.  
(Norton, 2011).

| Módulo métrico (mm) | Equivalente $p_d$ (in <sup>-1</sup> ) |
|---------------------|---------------------------------------|
| 0.3                 | 84.67                                 |
| 0.4                 | 63.50                                 |
| 0.5                 | 50.80                                 |
| 0.8                 | 31.75                                 |
| 1                   | 25.40                                 |
| 1.25                | 20.32                                 |
| 1.5                 | 16.93                                 |
| 2                   | 12.70                                 |
| 3                   | 8.47                                  |
| 4                   | 6.35                                  |

Existen ángulos de presión normalizados, la tabla 19 muestra las dimensiones de los dientes estándar de engranes, de profundidad total, definidos por la AGMA 2101-D04 en pulgadas. El paso diametral en las dos etapas es de 5,92 y 6,37 *pulg* por lo tanto se selecciona un ángulo de presión de 20 °.

**Tabla 19.** Especificaciones de la AGMA para dientes engrane.  
(Norton, 2011)

| Especificaciones de la AGMA para dientes de engrane de profundidad total |                            |                             |
|--|----------------------------|-----------------------------|
| Parámetro  | Paso grueso ( $p_d < 20$ ) | Paso fino ( $p_d \geq 20$ ) |
| Ángulo de presión $\phi$   | 20° o 25°                  | 20°                         |
| Adendum $a$  | 1.000 / $p_d$              | 1.000 / $p_d$               |
| Dedendum $b$   | 1.250 / $p_d$              | 1.250 / $p_d$               |
| Profundidad de trabajo   | 2.000 / $p_d$              | 2.000 / $p_d$               |
| Profundidad total  | 2.250 / $p_d$              | 2.200 / $p_d$ + 0.002 in    |
| Espesor circular del diente  | 1.571 / $p_d$              | 1.571 / $p_d$               |
| Radio de filete: cremallera básica                                       | 0.300 / $p_d$              | no estandarizado            |
| Holgura básica mínima  | 0.250 / $p_d$              | 0.200 / $p_d$ + 0.002 in    |
| Ancho mínimo del borde superior  | 0.250 / $p_d$              | no estandarizado            |
| Holgura (dientes esmerillados o pulidos)                                 | 0.350 / $p_d$              | 0.350 / $p_d$ + 0.002 in    |

Se calcula la profundidad de trabajo según la tabla 15.

$$\text{Profundidad total} = \frac{2,250}{Pd}$$

Profundidad total = 9,65 mm

Al dividir para 2 este resultado se obtiene 4,8 mm. Un valor mayor a los 3 mm deseados lo que indica que al variar el espesor del sistema, este continúa funcionando normalmente. Se calcula el nuevo ángulo de presión a una abertura de 3 mm con la ecuación 12; obteniendo un porcentaje de incremento en la distancia del círculo de paso del 10%.

$$\varphi_{\text{nuevo}} = 31^\circ$$

## 2.3 Diseño del eje de transmisión

### 2.3.1 Tensión por bandas en V

Se realiza el diagrama de fuerzas sobre la polea impulsada para banda en V, para calcular la fuerza flexionante que ejerce la polea sobre el eje como se muestra en la figura 32, donde  $DB$  es el diámetro de la polea impulsada igual a 3 pulg.

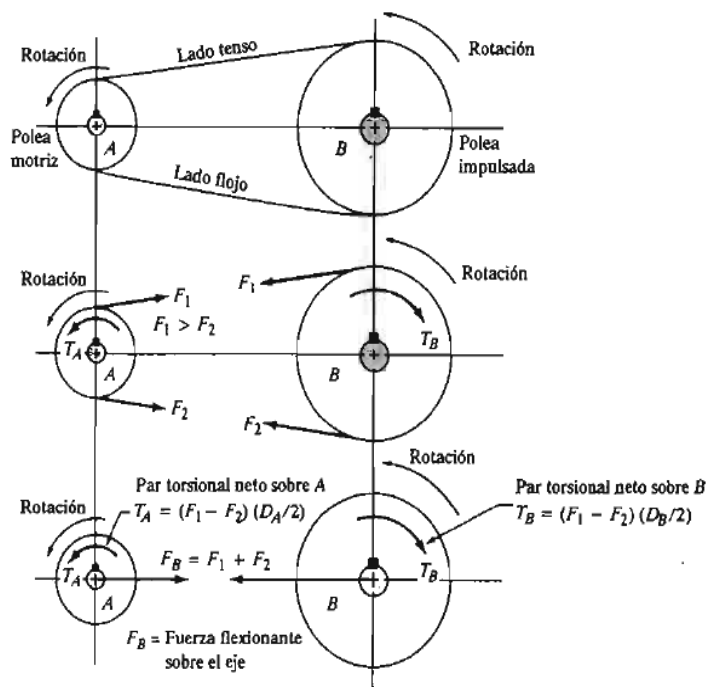


Figura 32. Diagrama de fuerzas en las poleas motriz e impulsada.

(Mott, 2004).

$$\frac{F1}{F2} = 5$$

**Ecuación 24.** Ecuación de la relación de fuerzas

(Mott, 2004)

$$TB = (F1 - F2)\left(\frac{DB}{2}\right)$$

**Ecuación 25.** Ecuación del par torsional neto sobre B

(Mott, 2004)

Despejando  $F1$  de la ecuación 24 y reemplazando en la ecuación 25:

$$F2 = \frac{TB}{2 * DB}$$

**Ecuación 26.** Ecuación despejada del par torsional neto sobre B

El torque se obtiene con la ecuación 27. Se utiliza la potencia que se calculó de 0,15 *HP* dividida para la mitad ya que el sistema comprende de dos etapas.

$$T = 63000(P)/\omega$$

**Ecuación 27.** Ecuación del par torsional sobre la polea impulsada.

(Mott, 2004).

**Donde:**

T = Par torsional polea impulsada.

P = Potencia del motor entregada en la primera etapa, 0,075 *HP*.

$\omega$  = Velocidad de giro de la polea, 45 *rpm*.

Se reemplaza los valores en la ecuación 25.

$$T = 11,86 N \cdot m$$

Se reemplaza los valores correspondientes en la ecuación 26.

$$F2 = 76,82 N$$

Si este resultado se lo reemplaza en la ecuación 24 y se obtiene.

$$F1 = 384,1 N$$

$$FB = F1 + F2$$

$$FB = 460,92 N$$



### 2.3.2 Carga de engranajes rectos

Como datos se tiene el torque ejercido sobre el piñón  $11,86 N \cdot m$ , un ángulo de presión de  $31^\circ$  y un diámetro del círculo de paso  $d_p = 55,8 mm$ .

#### Carga tangencial

$$W_t = \frac{2T}{d_p}$$

$$W_t = 425,09 N$$

#### Carga radial

$$W_r = 425,09 \tan(31^\circ)$$

$$W_r = 255,42 N$$

#### Carga total

$$W = \frac{W_t}{\cos\phi}$$

$$W = \frac{425,09 N}{\cos 31^\circ}$$

$$W = 495,92 N$$

### 2.3.3 Cálculo del diámetro del eje de transmisión

El eje de transmisión tiene la función de soportar el torque que transmite la polea conductora y mover el rodillo laminador. El material del eje es de acero inoxidable AISI 304 que cumple con normas de salud en contacto con alimentos y presenta las siguientes propiedades mecánicas

Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 laminado en caliente (Shigley, 2011):

$S_y = 276 MPa$  Resistencia a la fluencia.

$S_u = 568 MPa$  Resistencia a la tracción.

$S_n = 160 MPa$  Resistencia a la fatiga, véase la anexo 5.

Para encontrar el factor por tamaño  $C_s$ , se asume un diámetro de eje  $D = 30 \text{ mm}$  y se reemplaza los valores en la ecuación 28, véase el anexo 7.

$$C_s = \left( \frac{D}{7,62} \right)^{-0,01}$$

**Ecuación 28.** Factor de tamaño.

(Mott, 2004).

**Donde:**

$C_s$  = Factor de tamaño en sección circular en flexión giratoria.

$$C_s = 0,99$$

$CR = 0,81$ , Factor de confiabilidad deseada 99 % véase el anexo 6.

$C_{st} = 1$ , Factor de esfuerzo de flexión (Mott, 2004).

$C_m = 0,80$ , Factor del material (Mott, 2004).

A continuación se calcula la resistencia real a la fatiga, reemplazando los valores correspondientes que se encontraron anteriormente en la ecuación 29.

$$S'n = S_n * C_s * CR * C_{st} * C_m$$

**Ecuación 29.** Ecuación de la resistencia a la fatiga modificada.

(Mott, 2004).

$$S'n = 102,64 \text{ MPa}$$

Se selecciona un factor de diseño  $N = 1.5$ , ya que los elementos de la máquina están bajo cargas estáticas con un alto grado de confianza (Mott, 2004). La figura 33 muestra la ubicación de las cargas que soporta el eje. El eje tiene una distancia de  $600 \text{ mm}$ , la polea está ubicada al principio del eje en el punto A, el engrane ubicado a  $40 \text{ mm}$  en el punto B, el cojinete ubicado a  $60 \text{ mm}$  en el punto C y el otro cojinete a  $558 \text{ mm}$  en el punto D. La carga distribuida del rodillo tiene una longitud de  $500 \text{ mm}$ . La figura 34, muestra las cargas distribuidas a lo largo del eje  $x - y$ .

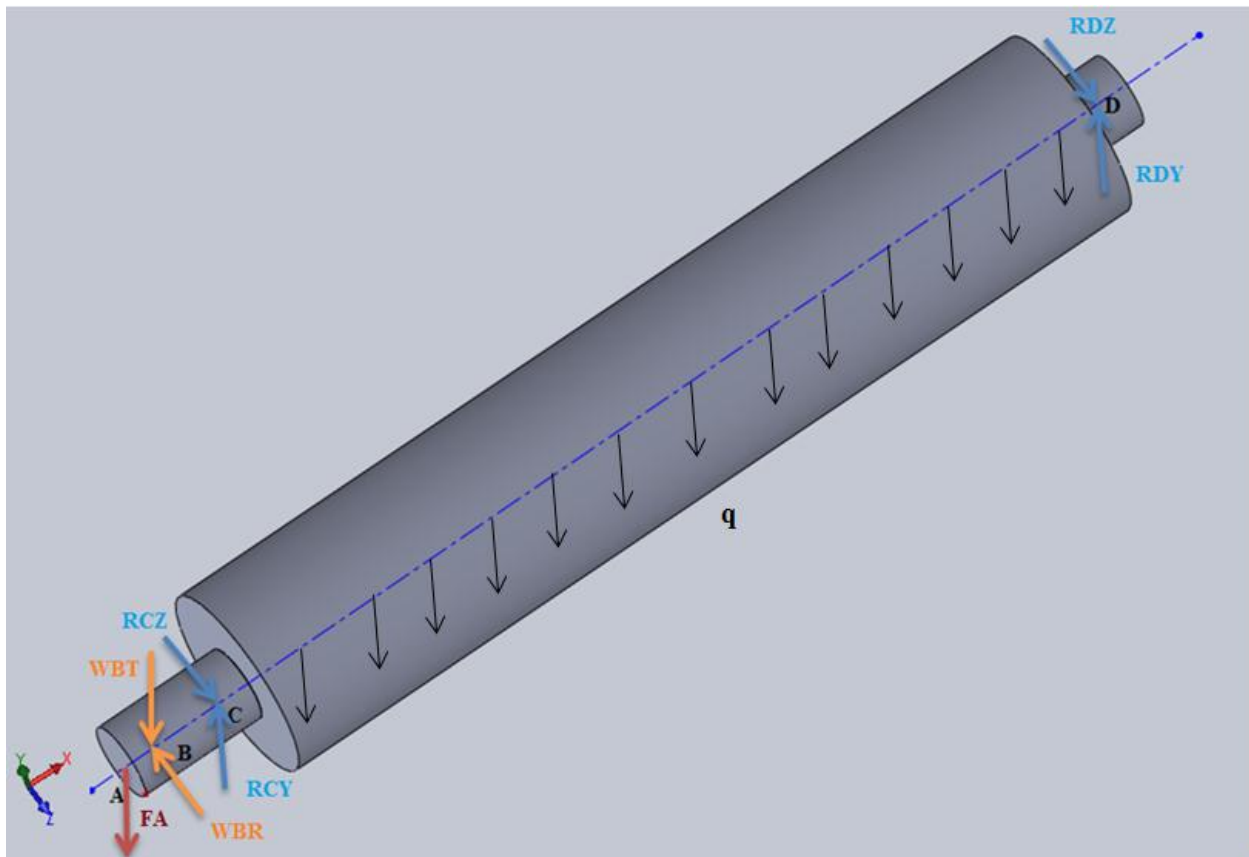


Figura 33. Cargas sobre el eje.

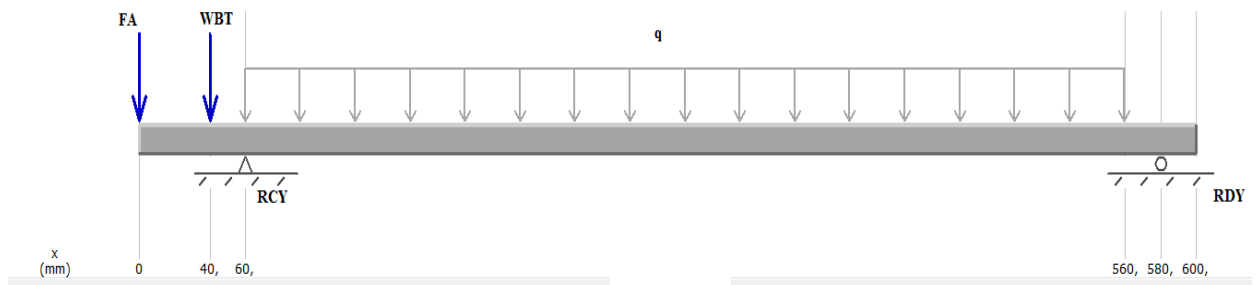


Figura 34. Diagrama de fuerzas del eje  $x - y$ .

**Donde:**

FA = Fuerza tangencial de la polea conducida 460,92 N.

WBT = Fuerza tangencial del engrane 425,09 N.

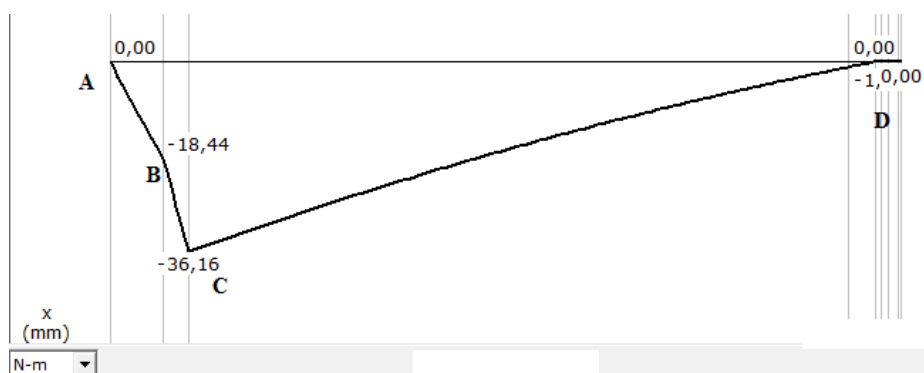
q = Fuerza del rodillo 78,4 N/m.

La figura 35 muestra el diagrama de la fuerza cortante en el eje  $x - y$ .



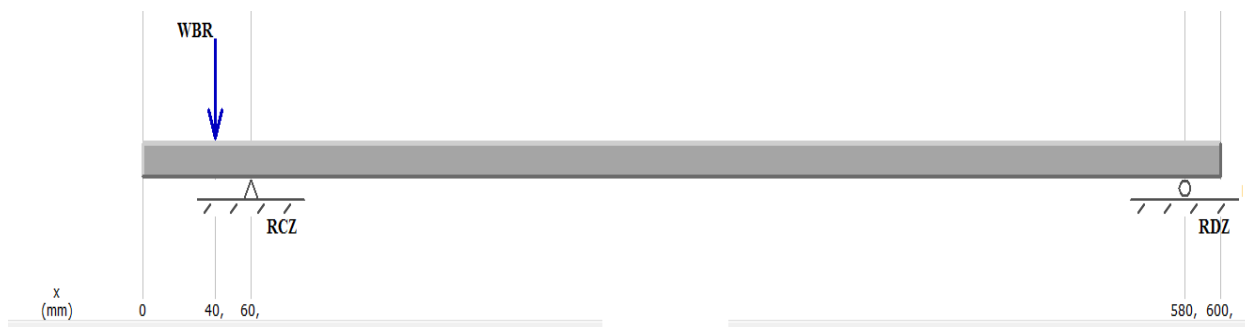
**Figura 35.** Diagrama de la fuerza cortante en el eje  $x - y$ .

La figura 36 muestra el diagrama del momento flector en el eje  $x - y$ .



**Figura 36.** Diagrama del momento flector en el eje  $x - y$ .

La figura 37, muestra las cargas distribuidas a lo largo del eje  $x - z$ .



**Figura 37.** Diagrama de fuerzas del eje  $x - z$ .

**Donde:**

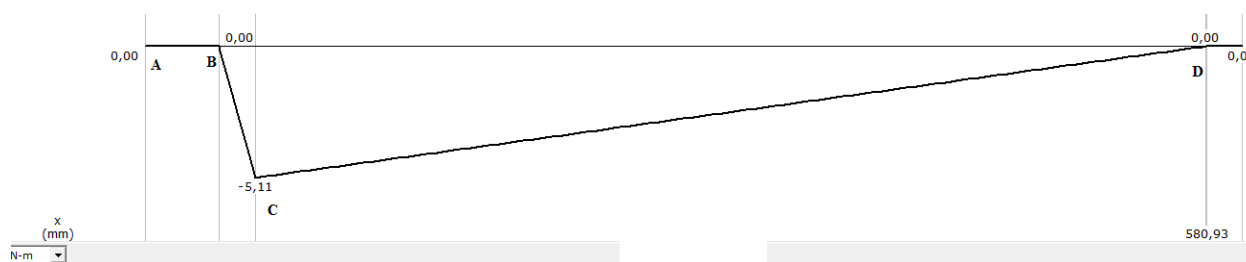
WBR = Carga radial del engrane 255,42 N.

La figura 38 muestra el diagrama de la fuerza cortante en el eje  $x - z$ .



**Figura 38.** Diagrama de la fuerza cortante en el eje  $x - z$ .

La figura 39 muestra el diagrama del momento flector en el eje  $x - z$ .



**Figura 39.** Diagrama del momento flector en el eje  $x - z$ .

Punto A: La polea produce torsión en el eje, desde A hacia la derecha. A la izquierda de A no hay momentos de flexión ni de torsión. El momento flexionante en A es cero porque es un extremo libre del eje. Se emplea la ecuación 30 para calcular el diámetro requerido en el eje mediante el término de torsión.

$$D = \left[ \frac{32 N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{T}{Sy} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

**Ecuación 30.** Ecuación diseño Ejes.  
(Mott, 2004).

**Donde:**

$T$  = Torque, 11,86 N · m.

$D$  = Diámetro del eje requerido en el punto A.

$N$  = Factor de seguridad, 1,5.

$S_y$  = Resistencia a la fluencia, 276 MPa.

$D = 8,28 \text{ mm}$ .

Punto B: Se continúa con el diseño mediante el cálculo del diámetro mínimo aceptable del eje. Se utiliza la ecuación 31 para calcular el diámetro que requiere el eje en donde se ubica el engrane.

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{KtM}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{1/3}$$

**Ecuación 31.** Ecuación de diseño para ejes  
(Mott, 2004)

**Donde:**

$D$  = Diámetro del eje punto B.

$N$  = Factor de seguridad, 1,5.

$Kt$  = Factor de concentración de esfuerzos, 2,0 .

$M$  = Momento flector punto B, 18,44 N · m.

$S'n$  = Resistencia real a la fatiga 102,64 MPa.

$T$  = Torque, 11,86 N · m

$S_y$  = Resistencia a la fluencia, 276 MPa.

$D = 17,67 \text{ mm}$

Punto C: Se continúa con el diseño mediante el cálculo del diámetro mínimo aceptable del eje. Se utiliza la ecuación 31 para calcular el diámetro que requiere el eje en donde se ubica el rodamiento.

El momento flexionante en C es la resultante de los planos  $x - y$  y  $x - z$ .

$$M = \sqrt{M_{C_{x-y}}^2 + M_{C_{x-z}}^2}$$

$$M = \sqrt{36,16^2 + 5,11^2}$$

$$M = 36,52 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

$$D = \left[ \frac{32(1,5)}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{(2)(36,52)}{102,64 \text{ MPa}} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{19,98 \text{ N} \cdot \text{m}}{276 \text{ MPa}} \right]^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 22,8 \text{ mm}$$

Punto D: El punto D es el asiento del rodamiento, allí no hay momentos torsionales ni flexionantes. Sin embargo si hay una fuerza cortante vertical resultante del plano  $x - y$  y  $x - z$ , igual a la reacción en el rodamiento. Se utiliza la ecuación 32 para calcular el diámetro que requiere el eje en donde se ubica el rodamiento.

Se emplea la resultante de las reacciones en los planos  $x - y$  y  $x - z$ .

$$V_D = \sqrt{50,69^2 + 9,82^2}$$

$$V_D = 51,63 \text{ N}$$

$$D = \sqrt{\frac{2,94Kt(V)N}{S'n}}$$

**Ecuación 32.** Diseño del eje fuerza cortante vertical.  
(Mott, 2004)

**Donde:**

$D$  = Diámetro del eje en el punto D.

$N$  = Factor de seguridad, 1,5.

$V$  = Fuerza cortante vertical, 94,8 N.

$$D = \sqrt{\frac{2,94(2)(51,63 \text{ N})(1,5)}{102,64 \text{ MPa}}}$$

$$D = 2,1 \text{ mm}$$

Los diámetros quedan de la siguiente forma:

$$D_A = 8,3 \text{ mm}$$

$$D_B = 17,67 \text{ mm}$$

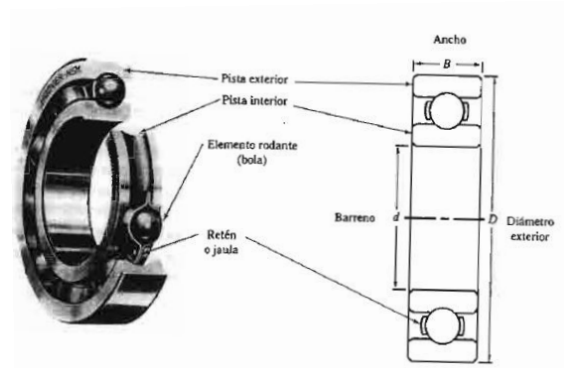
$$D_C = 22,8 \text{ mm}$$

$$D_D = 2,1 \text{ mm}$$

De acuerdo al anexo 8, se selecciona un rodamiento de una hilera de bolas con ranura profunda y en la anexo 4 se selecciona los diámetros nominales del rodamiento, se elige un rodamiento 6206 de diámetro interno de 30 mm que es superior al valor del eje mínimo calculado en el punto C el cual se usará en los cuatro ejes de las dos etapas de laminado.

### 2.3.4 Selección de cojinetes con contacto de rodadura

El rodamiento minimiza la fricción que se produce entre el eje y las piezas que están conectadas a él. Esta pieza está formada por un par de cilindros concéntricos, separados por una corona de rodillos o bolas que giran de manera libre.



**Figura 40.** Cojinete de una hilera de bolas con ranura honda.

(Mott, 2004).

La selección de un rodamiento, con la ayuda del catálogo de su fabricante, implica determinar la capacidad de carga y la geometría del rodamiento. Con las cargas que soporta el rodamiento, se procede a calcular la capacidad de carga dinámica básica requerida con una serie de cálculos necesarios. Se calcula la carga equivalente  $P$  mediante la ecuación 33.

$$P = VR$$

**Ecuación 33.** Carga equivalente  
(Mott, 2004)

**Donde:**

$P$  = Carga equivalente, solo carga radial.

$V$  = Factor de rotación = 1, el eje gira en la pista interior del rodamiento (Mott, 2004).

$R$  = Carga radial en el punto C del eje de transmisión.

$$R = \sqrt{796,72^2 + 255,42^2}$$

$$R = 1615,68 \text{ N}$$

$$P = 836,66 \text{ N}$$

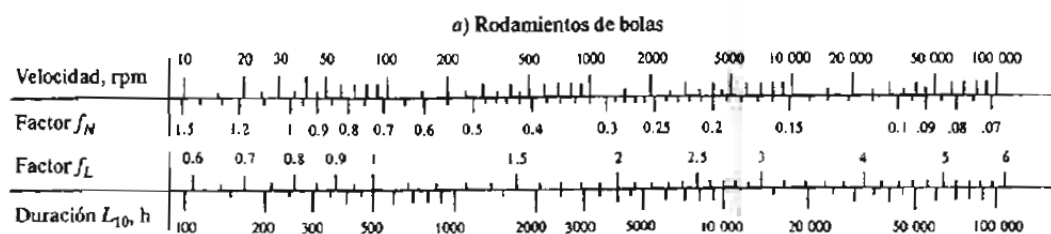
Se Especifica la duración de diseño del rodamiento, mediante la tabla 20.



**Tabla 20.** Duración recomendada para rodamientos.  
(Mott, 2004).

| Aplicación   | Duración de diseño $L_{10}$ h |
|--|-------------------------------|
| Electrodomésticos                                    | 1000 – 2000                   |
| Motores de aviación                                  | 1000 – 4000                   |
| Automotores  | 1500 – 5000                   |
| Equipo agrícola                                      | 3000 – 6000                   |
| Elevadores   | 8000 – 15000                  |
| Motores eléctricos, máquinas industriales en general | 20000 – 30000                 |
| Compresores  | 40000 – 50000                 |
| Equipo crítico funcionamiento durante 24h            | 100000 – 200000               |

Para una aplicación que corresponde a máquinas industriales en general corresponde una duración de diseño  $L_{10} = 20000 - 30000$  horas. Se determina el factor por velocidad  $f_N$  y el factor por duración  $f_L$ , mediante la figura 41.



**Figura 41.** Factores por duración y por velocidad, para rodamientos de bolas.

(Mott, 2004)

Velocidad giro del eje = 45 rpm,  $f_N = 0,9$ .

Con una duración de diseño de 30000 horas,  $f_L = 3,9$ .

Con los datos se calcula la capacidad de carga dinámica básica requerida  $C$ , mediante la ecuación 34.

$$C = P * f_L / f_N$$

**Ecuación 34.** Capacidad de la carga dinámica básica requerida.

(Mott, 2004)

**Donde:**

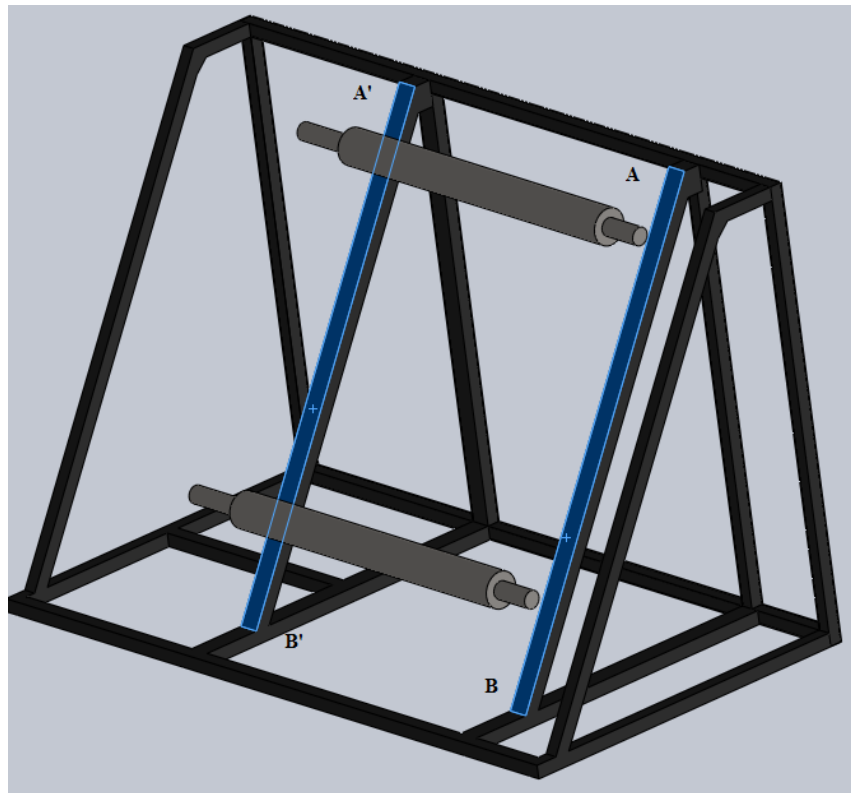
$P$  = Carga equivalente, 836,66 N.

$$C = 2936,68 \text{ N} \approx 660,19 \text{ lb}$$

Con el valor de la capacidad de carga dinámica requerida, la capacidad de carga dinámica del rodamiento 6206  $C$  es de  $3350 \text{ lb}$  la cual es mayor a la carga dinámica calculada y cumple normalmente su función.

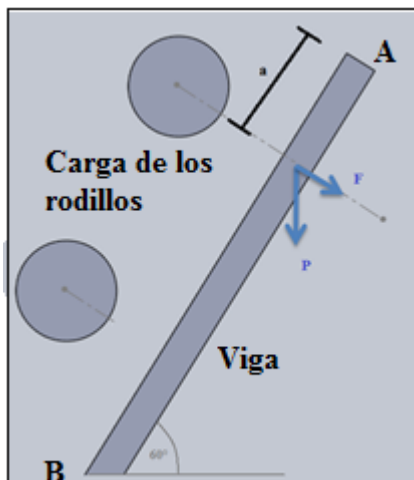
## 2.4 Análisis de la estructura de la máquina

Teniendo en cuenta que la estructura de soporte de la máquina no está en contacto con la masa. Por este motivo se construye la estructura con tubo cuadrado galvanizado ASTM- A500. Se calcula el espesor de las vigas  $AB$  y  $A'B'$  como se muestra en la figura 42, las cuales soportan la mayor carga en donde se apoyan los rodillos laminadores. .



**Figura 42.** Fuerza estática en vigas que sostienen a los rodillos.

El peso total que soportan las vigas principales  $A-B$  y  $A'-B'$  es de  $333 \text{ N}$ . La viga tiene una inclinación de  $60^\circ$  por lo que la fuerza  $F$  que produce flexión como se indica en la figura 43, es igual al peso multiplicado por el coseno de  $60^\circ$ . Se divide la fuerza en cuatro partes por su distribución en los cuatro apoyos.



**Figura 43.** Carga de los rodillos en la viga AB.

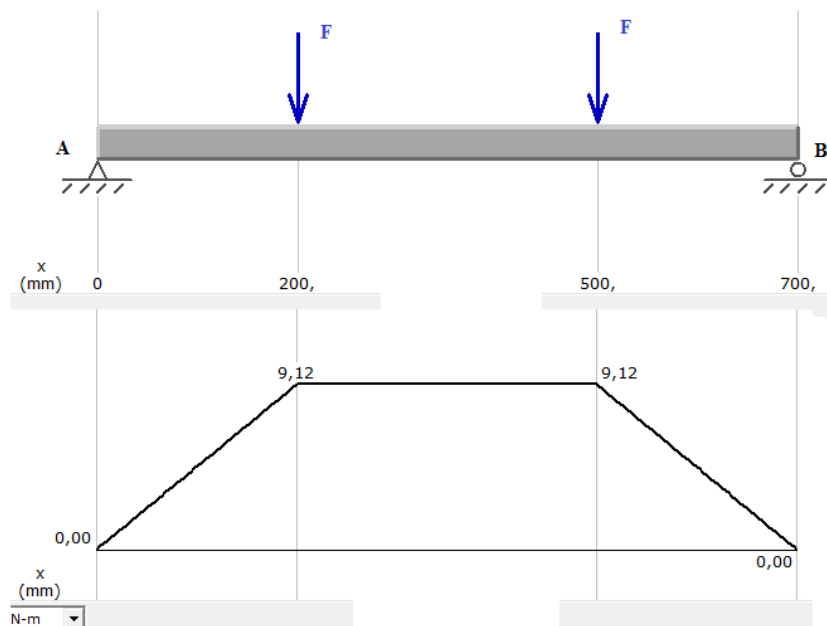
$$F = (P * \cos 60^\circ)/4$$

$$F = 41,6 \text{ N}$$

**Donde:**

$F$  = fuerza estática que recae sobre las vigas.

Las vigas son iguales y tienen una longitud de 70 centímetros. La figura 44 muestra la ubicación de las fuerzas, los apoyos y el diagrama del momento flector generado por las fuerzas en la viga AB.



**Figura 44.** Diagrama del momento flector en la viga AB.

Para calcular el módulo de sección mínimo se emplea la ecuación 35.

$$\varphi = M/S$$

**Ecuación 35.** Esfuerzo por flexión pura.  
(Mott, 2004)

**Donde:**

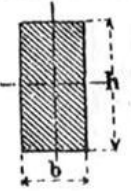
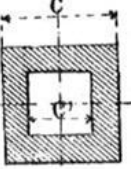
$M$  = Momento flector máximo,  $M = 9,12 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

$S$  = Módulo de la sección.

$\varphi$  = Límite de la fluencia del material  $270 \text{ MPa}$ , véase el anexo 9.

$S = 0,034 \text{ cm}^3$ .

Se procede a elegir el espesor del tubo con el que se construirá la estructura de la máquina. La figura 45 muestra como realizar el cálculo del espesor de un tubo cuadrado mediante el módulo de la sección.

| CROQUIS de la sección   | MÓDULO $S$ de la sección                 | ÁREA $A$ de la sección |
|---|--|------------------------|
|  | $\frac{1}{6} b h^2$                      | $b h$                  |
|  | $\frac{1}{6} \cdot \frac{C^4 - C'^4}{C}$ | $C^2 - C'^2$           |

**Figura 45.** Módulo de la sección de un tubo cuadrado.

(Herrero, 2009)

De la figura 45 se extrae la fórmula para calcular el módulo de la sección  $S$ :

$$S = \frac{1}{6} \times \frac{C^4 - C'^4}{C}$$

**Donde:**

$C$  = Longitud externa tubo cuadrado.

Se establece la longitud del lado externo del tubo cuadrado  $C$  igual a  $2\text{ cm}$  que es una medida disponible en el mercado. Posteriormente se calcula el espesor necesario:

$$C'^4 = C^4 - 6 \times S \times C$$

$$C' = 1,987\text{ cm}^3$$

$$\text{Espesor} = (C - C') \div 2$$

$$\text{Espesor} = 0,07\text{ mm}$$

El anexo 10, muestra los espesores de tubo ASTM A500 en el mercado. El espesor del tubo debe ser mayor a  $0,07\text{ mm}$ . Después del análisis se selecciona un tubo cuadrado de  $20\text{ mm}$ , la tabla 21 muestra las características del tubo seleccionado.

**Tabla 21.** Características del tubo ASTM A500 seleccionado.

| <b>a</b><br><b>mm</b> | <b>A</b><br><b>mm<sup>2</sup></b> | <b>Espesor</b><br><b>mm</b> | <b>Min.</b><br><b>Sección</b><br><b>cm<sup>3</sup></b> | <b>Inercia</b><br><b>cm<sup>3</sup></b> | <b>Su</b><br><b>MPa</b> | <b>Sy</b><br><b>MPa</b> |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|---|-------------------------|-------------------------|
| 20                    | 134                               | 2                           | 0,69   | 0,69                                    | 310                     | 270                     |

Se calcula el nuevo esfuerzo por flexión pura con el tubo cuadrado seleccionado con la ecuación 35 y se calcula el factor de seguridad respecto al esfuerzo de fluencia usando la ecuación 36.

**Donde:**

$M$  = Momento flector máximo,  $M = 9,12\text{ N} \cdot \text{m}$ .

$S$  = Módulo de la sección,  $6,9 \times 10^{-7}\text{ m}^3$ .

$\varphi_C = 13,21\text{ MPa}$ .

$$F_S = \frac{\varphi}{\varphi_C}$$

**Ecuación 36.** Factor de seguridad por esfuerzo de fluencia.  
(Mott, 2004)

**Donde:**

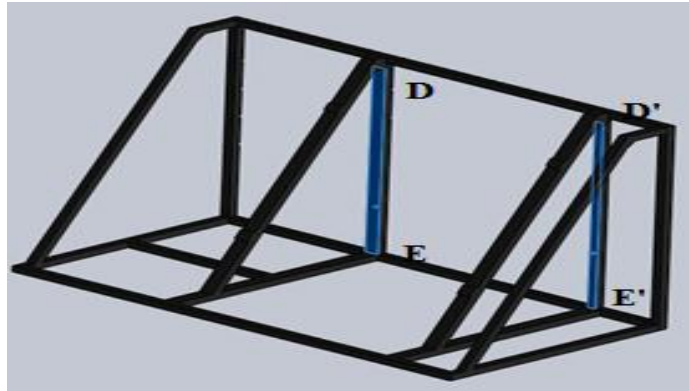
$F_S$  = Factor de seguridad por esfuerzo de fluencia.

$$F_s = 20,4$$

El factor de seguridad indica que el tubo seleccionado es ideal para soportar las cargas generadas por los rodillos laminadores.

### 2.4.1 Cálculos de pandeo de la estructura

Se analiza los soportes principales de la estructura DE y D'E' como se muestra en la figura 46, garantizando que resistan todas las cargas y determinar si el material que se ha seleccionado es el indicado mediante un factor de seguridad. Se obtiene la relación de esbeltez en los soportes con la ecuación 37.



**Figura 46.** Soporte principal de la estructura.

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{KL}{r}$$

**Ecuación 37.** relación de esbeltez  
(Mott, 2004)

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

**Ecuación 38.** Radio de giro  
(Mott, 2004)

**Donde:**

k = Constante dependiente del extremo fijo, 0,65 figura 47.

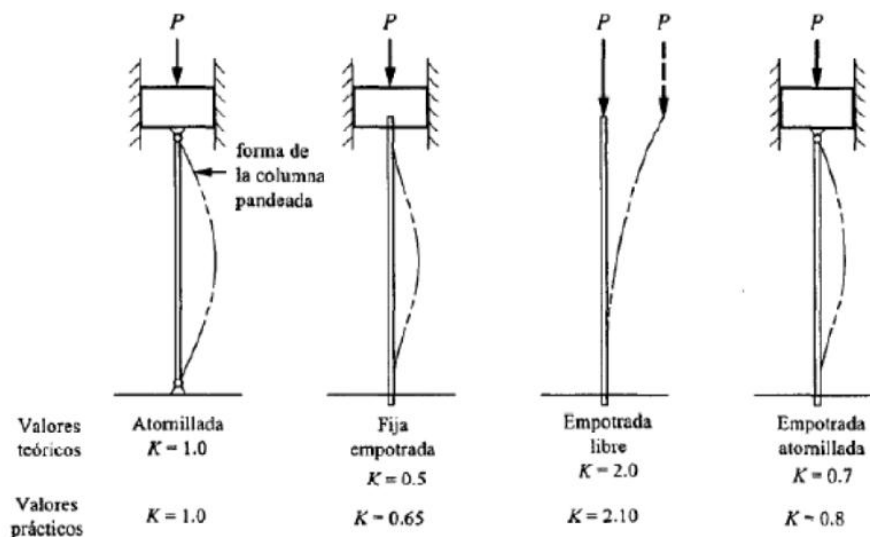
L = Longitud de la columna, 0,6 m.

A = Área de la columna,  $1,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ , véase la tabla 21.

I = Inercia del tubo cuadrado,  $6,9 \times 10^{-9} \text{ m}^4$ , véase la tabla 21.

$r =$  Radio de giro  $7,18 \times 10^{-3} \text{ m}$ , reemplazando en la ecuación 38.

*relación de esbeltez* = 54,31



**Figura 47.** Valores k para longitud efectiva.

(Mott, 2004).

Para calcular la relación de esbeltez de transición se emplea la ecuación 39.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

**Ecuación 39.** Relación de esbeltez de transición

(Mott, 2004).

**Donde:**

$C_c =$  Relación de esbeltez de transición.

$E =$  Módulo de elasticidad, 200 000 MPa (Medina, 2013).

$S_y =$  Límite de fluencia, 270 MPa.

$$C_c = 120,9$$

Con los valores de relación obtenidos se puede observar que la *relación de esbeltez* = 54,31, es menor que la relación de esbeltez de transición  $C_c = 120,9$ . Lo que indica que es una columna corta y se procede a calcular el valor de la carga crítica con la ecuación 40.

$$P_{cr} = A \cdot Sy \left[ 1 - \frac{Sy \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

**Ecuación 40.** Columnas cortas de J. B. Jhonson.  
(Mott, 2004)

**Donde:**

$$P_{cr} = 32530,76 \text{ N}$$

Una vez obtenido el valor de la carga crítica se obtiene el factor de seguridad con la ecuación 41.

$$n_s = \frac{P_{cr}}{Pr}$$

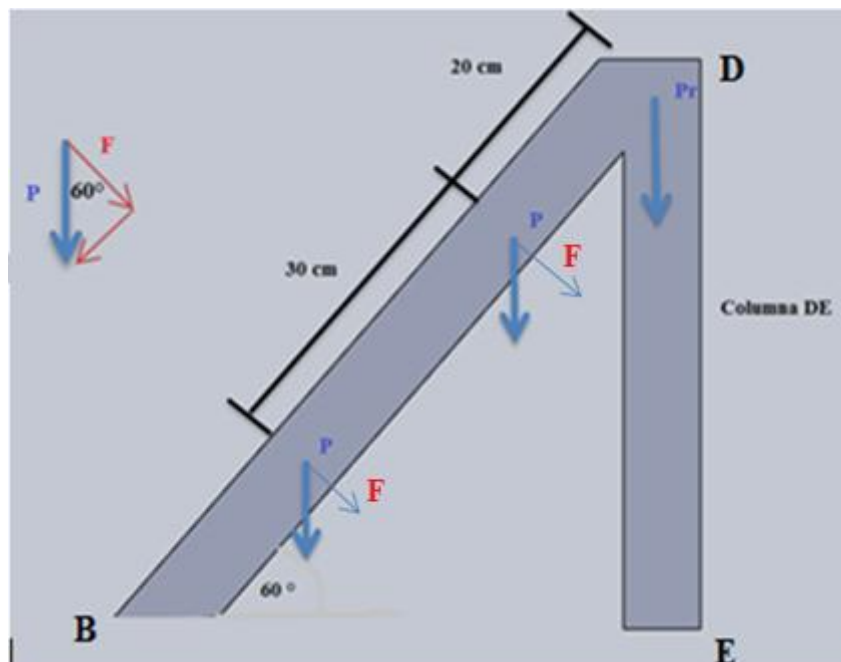
**Ecuación 41.** Factor seguridad de la carga crítica entre la carga real .

**Donde:**

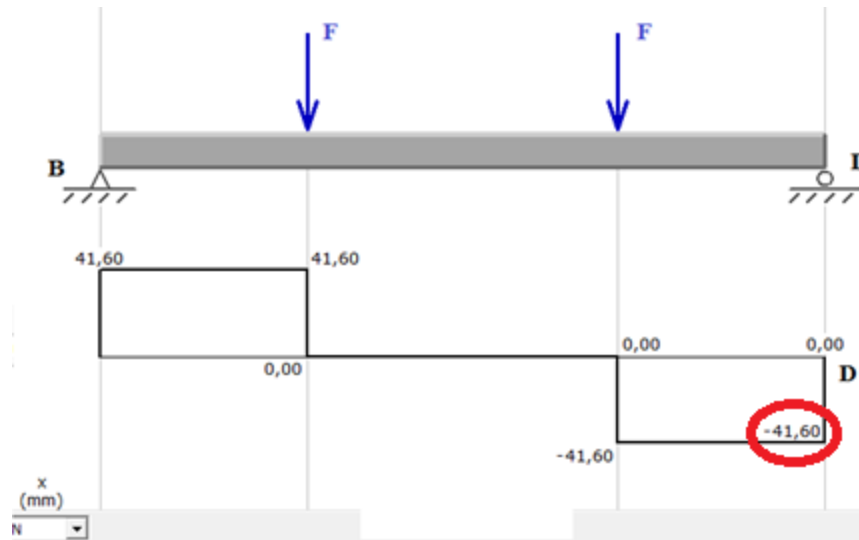
$n_s$  = Factor de seguridad.

$Pr$  = Carga real.

La figura 48 muestra la carga real que soporta la columna en el punto D.







**Figura 48.** Cargas real que soporta la columna DE.

El valor de la carga crítica  $Pr$  en el punto D es igual a  $41,60\text{ N}$  entre el coseno de  $60^\circ$  obteniendo  $83,2\text{ N}$ , que es la carga vertical que soporta la columna DE. Reemplazando los valores en la ecuación 41.

$$n_s = 391$$

Al obtener un valor de factor de seguridad muy alto se concluye que el tubo galvanizado escogido para la construcción de la estructura de la máquina garantiza soportar las cargas a las que pueda estar sometido.

## 2.5 Diseño sistema eléctrico y de control

### 2.5.1 Descripción del sistema eléctrico

El sistema eléctrico es el encargado de entregar la energía eléctrica al motor y el voltaje continuo para el sistema de control. El sistema se activa por un botón que da el paso de circulación de energía al sistema y otro botón que corta la energía para que el sistema se detenga. El criterio de diseño y selección de materiales se realizó en base a las condiciones y parámetros que presenta la máquina. El motor de  $\frac{1}{4}\text{ HP}$  tendrá sus protecciones en contra de fallas.

### 2.5.1.1 Selección del contactor

Para el encendido del motor se usa un contactor el cual accionará el motor cuando se acciona el pulsador. Con las características del motor mencionados anteriormente, se selecciona el contactor con las características suficientes para soportar y accionar de dicho motor como se muestra en la tabla 22.

**Tabla 22.** Características del contactor

| PARÁMETRO |           |
|-----------|-----------|
| MARCA     | Shenieder |
| TIPO      | Ac2       |
| VOLTAJE   | 220 V     |
| AMPERAJE  | 10 A      |

### 2.5.1.2 Selección del relé térmico

Tomando en cuenta las características del motor se selecciona un relé térmico para proteger de cualquier daño por sobrecalentamiento o sobre corriente. La tabla 23 muestra las características del relé térmico seleccionado.

**Tabla 23.** Características del relé térmico

| PARÁMETRO |           |
|-----------|-----------|
| MARCA     | Shenieder |
| TIPO      | Ac2       |
| VOLTAJE   | 220 V     |
| AMPERAJE  | 5-8 A     |

## 2.5.2 Sistema de control

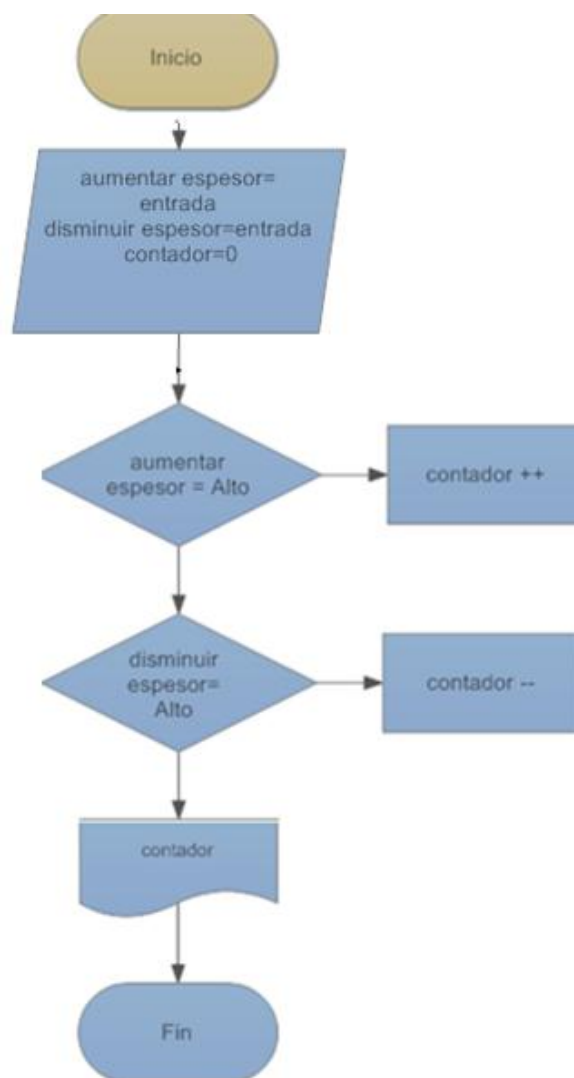
### 2.5.2.1 Selección del controlador y actuador lineal

Se elige un arduino MEGA 2560 que hay disponibilidad en el mercado y es más cómodo de usar, el cual tiene los suficientes puertos para controlar sin problemas la pantalla digital y los relés en 5 voltios. El actuador lineal es el encargado de subir y bajar un eje en cada etapa de

laminación y el espesor deseado, debe tener una fuerza mayor a 196 N en el anexo 11 el actuador puede resistir cargas de hasta 1500 N y trabajar a 12 V.

### 2.5.2.2 Visualización de parámetros

Una vez encendido el sistema se debe ingresar los parámetros de espesor los cuales se visualizan en una pantalla digital. Estos parámetros de espesor varían mediante pulsadores para las dos etapas de laminado. En la figura 49 se indica el Flujograma de la visualización del espesor en milímetros, si se presionan los pulsadores aumenta y disminuye el espesor en la pantalla, para la primera etapa de 5 mm a 8 mm y en la segunda etapa de 1 mm a 4 mm.



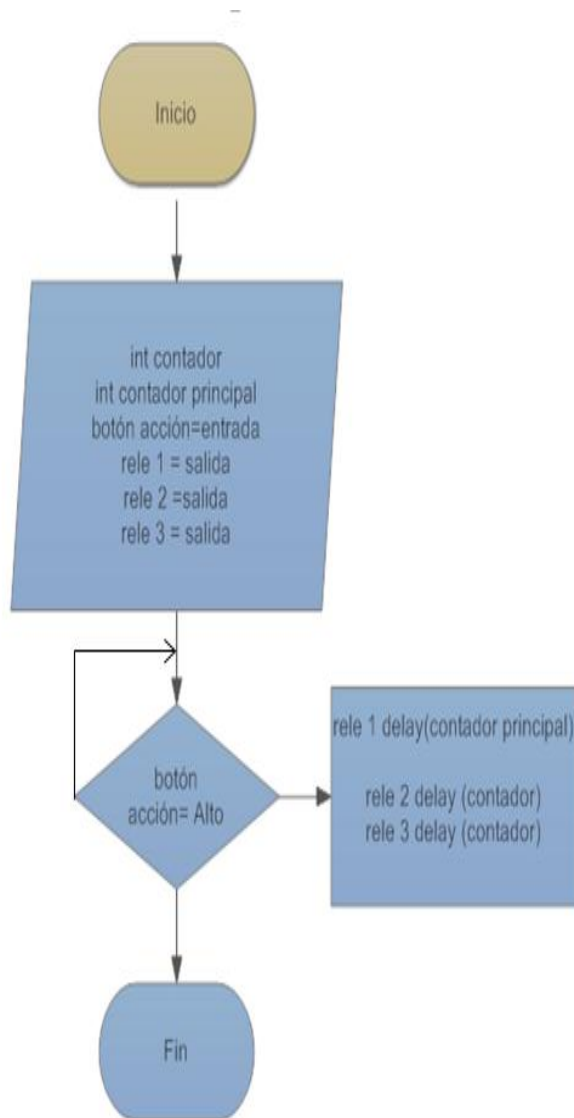
**Figura 49** .Flujograma visualización de parámetros de espesor del laminado.



espesor moviendo los rodillos principales, En actuador lineal eléctrico seleccionado, varía la longitud de un paso de 1 milímetro cada 200 milisegundos.

### 2.5.2.5 Flujograma de accionamiento de actuadores

La figura 51 muestra el flujograma de acción de los relés sincronizados de tal manera que al activar el pulsador acción el controlador manda la señal a los relés para subir o bajar los actuadores la distancia seleccionada en función el tiempo.



**Figura 51.** Flujograma accionamiento de los actuadores lineales.

### 2.5.2.6 Esquema eléctrico del accionamiento de actuadores

La figura 52 muestra el diagrama de conexión del controlador a los pines de los relés.

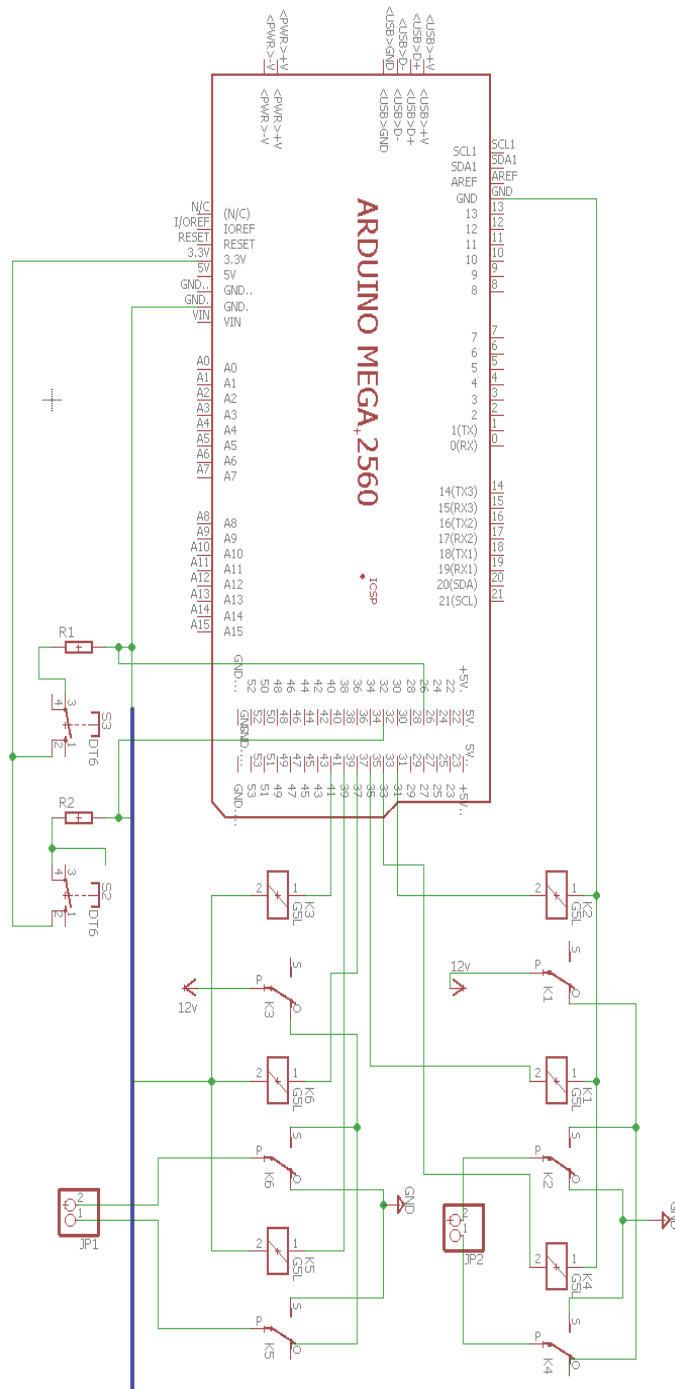
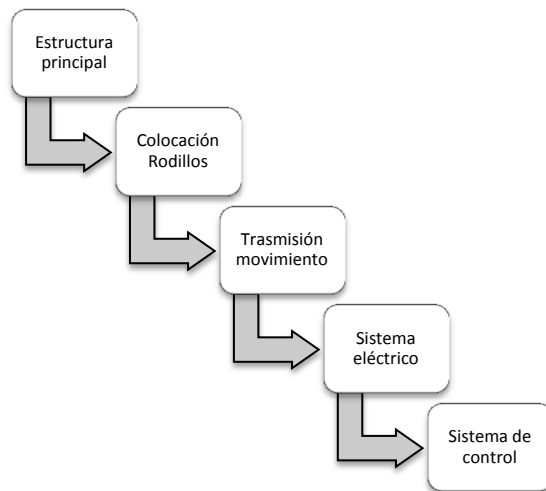


Figura 52. Esquema eléctrico de accionamiento de los actuadores lineales.

## 2.6 Construcción y ensamblaje

La figura 53 muestra los pasos de ensamblaje de la máquina, empezando por la estructura principal e ir agregando todos los componentes sobre esta.



**Figura 53.** Diagrama de construcción.

### 2.6.1 Construcción de la estructura principal

La estructura principal es la que se diseña y construye para soportar todos los elementos de la máquina, de manera que permanezca firme ante la adición de cargas estáticas y dinámicas. La estructura se construyó con un tubo cuadrado galvanizado de 20 mm ASTM 500 como se seleccionó en la sección 3.4. La figura 54 muestra la estructura de la máquina.



**Figura 54.** Estructura principal

### 2.6.2 Maquinado de los rodillos

Para la construcción de los rodillos, se maquinaron los extremos de los ejes de 2 pulgadas en acero inoxidable de tal manera que coincidan con el diámetro de la pista interna del rodamiento que se seleccionó en la sección 3.3.4. La figura 55 muestra el uso de un torno para el mecanizado de los dos ejes de acero inoxidable.



**Figura 55.** Torneado del eje de acero inoxidable.

### 2.6.3 Construcción de los engranajes

Se construyeron los engranajes en fibra de nylon con módulo, número de dientes y diámetro del círculo de paso, establecidos en la sección 3.3.2. Se hicieron pruebas de funcionamiento variando la distancia entre centros hasta 3 mm obteniendo un buen resultado por lo que se prosiguió a construirlos en acero. La figura 56 muestra la construcción de los engranajes mediante una máquina fresadora.



**Figura 56.** Fresado de los engranajes.



#### 2.6.4 Construcción de la base de sujeción de rodillos y rodamientos

Las bases de sujeción de los rodamientos como se muestra en la figura 57, se construyeron cortando una plancha de polietileno de 25 *cm* de espesor. El orificio igual al diámetro exterior del rodamiento se lo realizó con una fresadora vertical.



Figura 57. Bases de sujeción de los rodamientos.

#### 2.6.5 Ensamblaje de los actuadores lineales

Se sujeta el extremo del actuador lineal a la base superior de sujeción del rodamiento mediante tornillos como se muestra en la figura 58.



Figura 58. Ensamblaje actuador lineal.

### 2.6.6 Ensamblaje de los rodillos

Se colocaron los ejes de los rodillos en sus respectivos rodamientos formando la primera etapa de laminado la cual, se la sujeta a la estructura mediante tornillos como se muestra en la figura 59. Se repite este paso con la segunda etapa de laminado.



**Figura 59.** Colocación rodillos.

### 2.6.7 Sujeción del motor y el motoreductor a la estructura

El motor de  $\frac{1}{4}$  HP, se conectó al motoreductor y se los fijó a la estructura como se indica en la figura 60. También se conectó la banda desde la polea del motorreductor a la polea del eje principal del rodillo. Se repite el procedimiento con la segunda etapa de laminado.



**Figura 60.** Montaje del motor y del motor reductor.

## 2.6.8 Montaje de todos los elementos

Se coloca las protecciones de los engranajes y se coloca las planchas de acero inoxidable para el laminado como se muestra en la figura 61. Una vez finalizado el ensamblaje mecánico, se coloca el tablero de control y se realizan las conexiones eléctricas.



Figura 61. Colocación de planchas de acero inoxidable para laminado

## 2.7 Análisis de costos

Los análisis de costos se basan en considerar todo los elementos que significan un costo monetario, sean estos directos e indirectos. Desde la tabla 24 hasta la tabla 30, se detallan todos los costos en la elaboración del proyecto.

### Estructura

Tabla 24. Costo de la estructura.

| Cantidad            | Material                                     | Precio Unitario (USD) | Precio Total (USD) |
|---------------------|--|-----------------------|--------------------|
| 3                   | Tubo estructural ASTM-500 20 mm x 2 mm x 6 m | 7,21                  | 21,75              |
| 1                   | Plancha acero inoxidable                     | 70                    | 70                 |
| <b>TOTAL COSTOS</b> |  |                       | <b>91,75</b>       |

## Elementos del proceso de laminado

Tabla 25. Costo de los materiales del proceso de laminado.

| Cantidad            | Material                      | Precio Unitario (USD) | Precio Total (USD) |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 2                   | Eje acero inoxidable AISI 304 | 50                    | 100                |
| 1                   | Plancha polietileno 25 mm     | 30                    | 30                 |
| 4                   | Rodamiento 6206               | 2                     | 8                  |
| <b>TOTAL COSTOS</b> |                               |                       | <b>138</b>         |

## Sistema de transmisión

Tabla 26. Costo del sistema de transmisión.

| Cantidad            | Material             | Precio Unitario (USD) | Precio Total (USD) |
|---------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| 3                   | Poleas               | 3,50                  | 10,5               |
| 2                   | Sistema de engranaje | 50                    | 100                |
| 2                   | Banda transmisión    | 5                     | 10                 |
| 1                   | Motor reductor       | 90                    | 90                 |
| <b>TOTAL COSTOS</b> |                      |                       | <b>210,5</b>       |

## Sistema electrónico

Tabla 27. Costo del sistema eléctrico.

| Cantidad            | Material                         | Precio Unitario (USD) | Precio Total (USD) |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1                   | Arduino mega                     | 20                    | 20                 |
| 1                   | Pantalla LCD 16 x 2              | 6                     | 6                  |
| 6                   | Relé 120 V / 10 A                | 1,5                   | 9                  |
| 4                   | Actuador lineal 20 mm            | 35                    | 140                |
| 1                   | Motor monofásico 120 /200 V ¼ hp | 70                    | 70                 |
| <b>TOTAL COSTOS</b> |                                  |                       | <b>245</b>         |

## Costos indirectos

Tabla 28. Costos indirectos.

| Cantidad            | Material       | Precio Unitario (USD) | Precio Total (USD) |
|---------------------|----------------|-----------------------|--------------------|
| 1                   | brocas         | 5                     | 5                  |
| 1                   | Disco de pulir | 4,50                  | 4,50               |
| 1                   | Disco de corte | 3,75                  | 3,75               |
| 1                   | Pintura        | 30                    | 30                 |
| 1                   | Lija           | 2                     | 2                  |
| 1                   | Electrodos     | 6,76                  | 6,76               |
| <b>TOTAL COSTOS</b> |                |                       | <b>52</b>          |

## Costo de fabricación

**Tabla 29.** Costos de fabricación.

| <b>Ejecución</b>                  | <b>Precio Unitario (USD)</b> | <b>Precio Total (USD)</b> |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Mano de obra                      | 400                          | 400,00                    |
| <b>TOTAL COSTO DE FABRICACION</b> |                              | <b>400,00</b>             |

## Costo total de la máquina

**Tabla 30.** Costo total de la máquina.

| <b>COSTOS</b>                     | <b>TOTAL (USD)</b> |
|-----------------------------------|--------------------|
|                                   | 91,75              |
| Costo estructura                  |                    |
| Costo elementos laminado          | 138                |
| Costo sistema transmisión         | 210,5              |
| Costo sistema electrónico         | 245                |
| Costos indirectos                 | 52                 |
| Costos de fabricación             | 400,00             |
| <b>TOTAL COSTOS DE LA MÁQUINA</b> | <b>1142,25</b>     |

### 2.7.1 Cálculo del TIR y VAN.

Para analizar la rentabilidad del proyecto y su viabilidad se emplea dos indicadores financieros: El valor neto actual (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). El VAN mide los flujos de los ingresos y egresos que tendrá el proyecto a futuro para evaluar si existirá ganancias. La tasa interna de retorno (TIR), es el interés por el cual el VAN se hace cero; es la tasa de descuento que permite que el beneficio neto sea igual a la inversión.

Mientras más alto sea el VAN y el TIR, el proyecto será más rentable. En la tabla 31 se evalúa los ingresos y egresos anuales sin la implementación de la máquina y en la tabla 32 la evaluación con la implementación de la máquina.

**Tabla 31.** Ingresos y egresos sin la implementación máquina.

| <b>Ingresos sin implementación de la máquina</b> |                                 |                            |                          |
|--|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Pizzas vendidas mensual</b>                   | <b>Valor pizza Unidad (USD)</b> | <b>Valor mensual (USD)</b> | <b>Valor anual (USD)</b> |
| 149  | 11                              | 1639                       |                          |
| <b>TOTAL</b>                                     |                                 |                            | 19668                    |
| <b>Egresos sin implementación de la máquina</b>  |                                 |                            |                          |
|  |                                 | <b>Valor mensual (USD)</b> | <b>Valor anual (USD)</b> |
| Costo materia prima                              |                                 | 200                        | 2400                     |
| Gas  |                                 | 12                         | 144                      |
| Energía Eléctrica                                |                                 | 70                         | 840                      |
| Arriendo Local                                   |                                 | 400                        | 4800                     |
| Sueldo empleado                                  |                                 | 450                        | 5400                     |
| <b>TOTAL</b>                                     |                                 |                            | 13584                    |
| Ingresos-Egresos (USD) = 19668 - 13584 = 6084    |                                 |                            |                          |

No se puede dar un número exacto de ventas que se incrementarían al implementar la máquina laminadora, por experiencia de ventas en los últimos años se estima un promedio de 1,2 ventas extras al día. Este valor se obtiene por pedidos que se han perdido por acumulación de trabajo. El proceso completo de la elaboración de la pizza es de 20 minutos con la implementación de la máquina el tiempo disminuye a (15-16) minutos. En una hora se hacen tres pizzas, con la máquina subiría a cuatro pizzas.

**Tabla 32.** Ingresos y egresos con la implementación máquina.

| <b>Ingresos con implementación de la máquina</b>    |                           |                            |                          |
|---|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Pizzas vendidas mensual</b>                      | <b>Valor pizza unidad</b> | <b>Valor mensual (USD)</b> | <b>Valor anual (USD)</b> |
| 178   | 11                        | 2574                       |                          |
| <b>TOTAL</b>  |                           |                            | 23496                    |
| <b>Egresos con implementación de la máquina</b>     |                           |                            |                          |
|   |                           | <b>Valor mensual (USD)</b> | <b>Valor anual (USD)</b> |
| Costo materia prima                                 |                           | 200                        | 2400                     |
| Gas   |                           | 12                         | 144                      |
| Energía Eléctrica                                   |                           | 90                         | 1080                     |
| Arriendo Local                                      |                           | 400                        | 4800                     |
| Sueldo empleado                                     |                           | 450                        | 5400                     |
| <b>TOTAL</b>  |                           |                            | 13824                    |
| Ingresos-Egresos (USD) = \$23496 - \$13824 = \$9672 |                           |                            |                          |

Con estos datos se puede deducir que se tiene un flujo activo neto actual de USD 3588 (9672 - 6084) USD. Este valor podrá ir aumentando conforme pasan los periodos, sin embargo para el presente análisis se tomará como fijo. En la tabla 33 Se considera que la vida útil de este proyecto es de 5 años, con una tasa de descuento del 16,06%.

**Tabla 33.** Ingresos y egresos después de la implementación.

| <b>Periodo</b> | <b>Flujo de efectivo neto (USD)</b> |
|----------------|-------------------------------------|
| 0              | -1142,25                            |
| 1              | 3588                                |
| 2              | 3588                                |
| 3              | 3588                                |
| 4              | 3588                                |
| 5              | 3588                                |

Con estos datos, la herramienta Microsoft Excel brinda las fórmulas VNA y TIR, necesarias para el cálculo de indicadores. La tabla 34 muestra el cálculo de los indicadores VAN y TIR.

**Tabla 34.** Indicadores VAN y TIR

| <b>Indicador</b>              | <b>Valor</b> |
|-------------------------------|--------------|
| Valor actual neto (VAN)       | USD 10605,9  |
| Tasa interna de retorno (TIR) | 314%         |

Con los indicadores financieros de la tabla se concluye que el proyecto es rentable. El VAN es mayor que cero, lo que asegura que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida; igualmente el TIR es de un valor elevado, asegurando un retorno de la inversión con altos intereses.

## 2.8 Manual de construcción y resultados.

### 1. Introducción

Este manual tiene información sobre la máquina laminadora de masa de pizza y debe guardarse en un lugar cercano donde se opere la misma.



**Figura 1.** Máquina Laminadora.

### 1.1 Breve descripción.

Esta máquina tiene un diseño novedoso, buena apariencia, fácil operación. Su principal función es laminar la masa de pizza. El proceso de laminado empieza con el ingreso del parámetro de espesor deseado y con el ingreso de la masa a la zona de laminado, esta pasa por dos etapas cada etapa está compuesta por dos rodillos laminadores, en la primera etapa se reduce un 50% del espesor deseado y en la etapa final se completa el laminado. Solo es necesario introducir una vez la masa ya que existe un gancho que ayuda al paso de la primera etapa a la segunda etapa de laminado evitando introducir las manos en el proceso. La máquina posee además un tablero de control con una pantalla LCD en la cual se muestra el espesor con el que se trabaja; también cuenta con pulsadores, perilla. Se puede ver los componentes en la figura 11. La máquina debe estar ubicada mínimo a un metro del suelo.



## 2. Especificaciones técnicas

La máquina funciona con corriente alterna, a 220 v.

Las medidas de la máquina son las siguientes:

105 cm largo

70cm de ancho

75cm de alto

## 3. Información importante de seguridad

Antes de la operación, mantenimiento o reparación de la máquina es necesario leer este manual de usuario, su omisión le pueden causar accidentes. Por lo tanto, no opere este producto ni realice trabajos de mantenimiento o reparación hasta que haya leído y entendido toda la información aquí presente.

### 3.1 Advertencias

Esta sección contiene información sobre distintas señales de advertencia y su ubicación exacta del producto. Familiarícese con todas las señales de advertencia.

Los peligros se identifican con el siguiente símbolo de advertencia:



**Figura 2.** Señal de advertencia.

El mensaje que aparece en la parte de abajo del símbolo de advertencia, explica el peligro y está presentado en forma escrita o gráfica.

Si las señales no son visibles por suciedad, limpie el área con un trapo ligeramente húmedo con agua, no utilice excesiva agua ni disolventes ya que puede despegar el adhesivo. Si no se hace caso a las instrucciones y a las señales de advertencia, puede producirse accidentes leves y graves.

#### a) Aviso de Seguridad 1



**Figura 3.** Aviso de seguridad 1.

Esta etiqueta está ubicada en los costados de la máquina, lugar que es totalmente visible.

b) Aviso de Seguridad 2



**Figura 4.** Aviso de seguridad 2.

Esta etiqueta está ubicada en el sistema de laminado.

c) Aviso de Seguridad 3



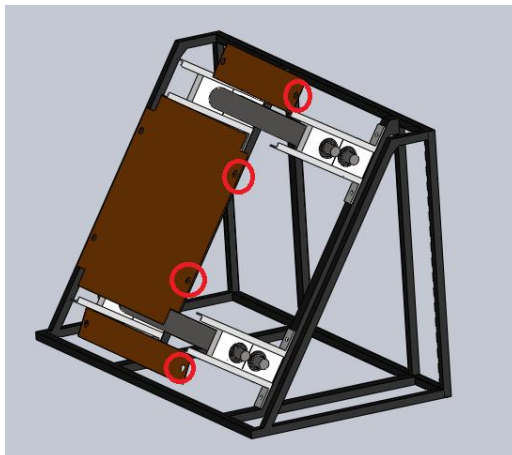
**Figura 5.** Aviso de seguridad 3.

Esta etiqueta está ubicada en la tapa y en el interior del gabinete metálico, donde se encuentra la parte eléctrica y de control de la máquina.

#### 4. Sección de ensamblaje

La máquina laminadora se encuentra ensamblada y lista para su funcionamiento. En caso de requerir un des ensamblaje por cualquier motivo, se ilustra el proceso a continuación:

Primero necesitará quitar las planchas de laminado superior, media e inferior en ese orden. Están sujetas con pernos, por lo que se los debe extraer antes de retirarlas:



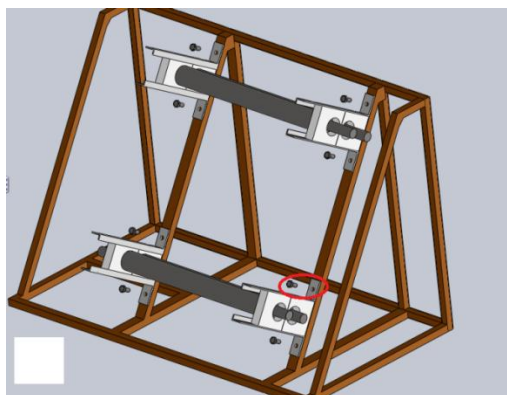
**Figura 6.** Retiro planchas laminado.

La plancha del medio contiene un gancho que es el que gira a la masa en su trayecto este también hay que retirarlo.



**Figura 7.** Gancho metálico.

Los rodillos laminadores forman un solo cuerpo con sus soportes de rodamientos y a su vez los ángulos de metal que los sujetan a la estructura. Para retirarlos se deben extraer los pernos. Se debe tener cuidado al levantarlos ya que tienen un peso combinado de 15kg.



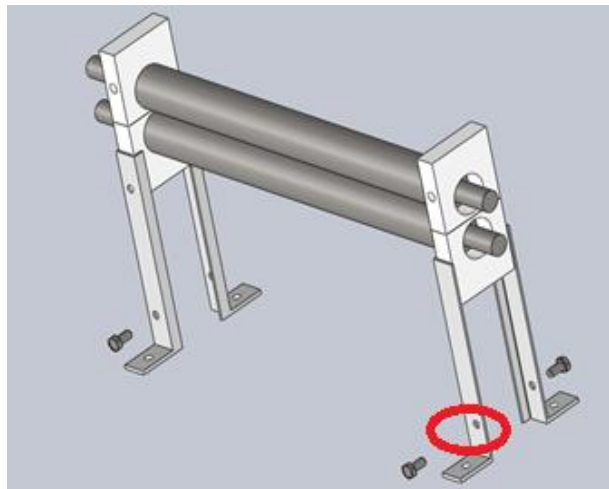
**Figura 8.** Etapa de laminado.

A continuación se retira el actuador lineal igualmente sujetado por un perno en la parte superior y otro en la parte inferior como se muestra la figura



**Figura 9.** Actuador lineal.

Una vez retirado el actuador lineal se puede extraer los rodillos quitando los pernos que sujetan a los soportes de los rodamientos como indica la figura



**Figura 10.** Rodillos.

## **5. Sección de operación**

Para encender la máquina primero se verifica que esté completamente armada y que no haya ningún objeto dentro de los rodillos

En el panel de control se acciona el switch de encendido/apagado en la posición de encendido.

En el panel de control están tres pulsadores indicados como: aumenta, disminuye y acción, estos controlan el espesor de los rodillos. Se visualiza en la LCD el espesor actual lo variamos para colocar el deseado, seguido pulsamos el pulsador de acción. Repetimos el procedimiento con la etapa dos. Ya establecidos los espesores activamos el encendido del motor e ingresamos la masa.



**Figura 11.** Panel de control.

### 5.1 Parada de emergencia

Si se suscita una emergencia por un posible accidente se debe presionar el botón de parada de emergencia que detendrá inmediatamente el proceso.

### 5.2 Protecciones eléctricas

La máquina cuenta con un relé térmico en caso de que el motor se trabe, exista un sobre voltaje o caída de tensión, este suspende el paso de energía al sistema.



**Figura 12.** Contactor y relé térmico.

## 6. Mantenimiento

La limpieza de la máquina consiste en eliminar polvo o suciedad acumulada. Apague la máquina y mediante una franela húmeda limpie todo el sistema.

No utilice químicos que pueden ser tóxicos para la salud.

La máquina no requiere de un mantenimiento complejo.

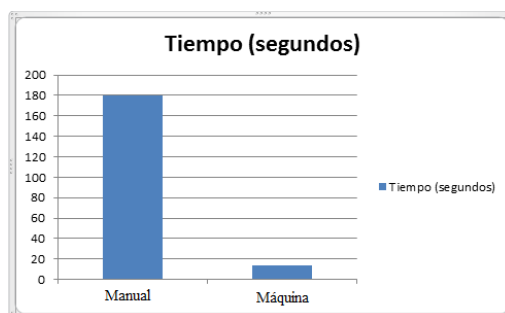
|                                      | Cada día | Cada año | Cada 3 años |
|--------------------------------------|----------|----------|-------------|
| Limpiar polvo o suciedad acumulada   | ●        |          |             |
| Cambiar bandas de transmisión        |          |          | ●           |
| Revisar estado general de la máquina |          | ●        |             |

### 2.8.1 Análisis de resultados

Después de implementar la máquina y hacerla funcionar se obtuvieron datos que, comparándolos con el proceso manual, muestra los beneficios que la máquina brinda.

### 2.8.2 Tiempo del proceso

Como se muestra en la figura 62, el tiempo que lleva en laminar la masa con la máquina es mucho menor que de forma manual. La calidad del producto es mejor, la masa queda uniforme sin rotura como sucedía en la forma manual en la que había que repetir el proceso hasta obtener un mejor laminado.



**Figura 62.** Tiempo del proceso de laminado en segundos

## CONCLUSIONES

- Como resultado para un producto final homogéneo, la potencia para el laminado de la masa se calculó mediante la interpretación de la curva del esfuerzo y alargamiento del artículo de Rasper, la cual fue necesaria para permitir el proceso de laminado.
- De acuerdo a la metodología usada, se determina que el gancho con contrapeso gira la masa de tal manera que el resultado de la forma final se asemeja a una circunferencia; evitando, que el operador manipule la masa mientras esta va cayendo por las etapas de laminación.
- En base al diseño, el control de espesor del laminado con los actuadores electromecánicos, es exacto; por lo tanto el rango entre 1 y 8 *mm*, seleccionado por el operador, mantendrá el grosor de la masa constante a lo largo del proceso.
- Con la implementación de la máquina laminadora de la masa de pizza, se ha conseguido mejorar el tiempo de laminado de 3 minutos a 12 segundos. Siendo un sistema favorable para productos de producción masiva.
- En base al estudio realizado, los elementos utilizados son de acero inoxidable cumpliendo con normas de salud NTE INEN-ISO 14159, para el manejo de productos alimenticios.
- El uso de la máquina reduce significativamente el esfuerzo que realiza el operario durante el proceso de laminado de la masa, evitando la aparición de enfermedades de tipo laboral.

## RECOMENDACIONES

- La masa no debe estar húmeda para ser laminada ya que podría adherirse a los rodillos.
- Realizar pruebas variando el espesor del laminado hasta hallar el valor indicado para el tipo de masa que se esté usando hasta obtener la mejor presentación; si se desea reducir el espesor al mínimo se recomienda realizar el proceso dos veces con una reducción previa.
- Cambiar la ubicación del motor principal, distribuyendo espacios, de esta manera reducir el ancho de la máquina.
- Cambiar el material de los rodillos con nuevas tecnologías de termoplásticos para reducir el peso de la máquina.
- Existen varias aplicaciones en las que se puede usar la máquina en cuanto a laminación de diferentes masas como: Tortillas, galletas, fondant, etc.



## BIBLIOGRAFÍA

American Chain Association. (2005). *Standard Handbook of Chains* (Segunda ed.).

Anaheim, (2016). *Linear stroke actuator*. Obtenido de:  
<http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/linear-actuator-guide.php#sthash.dLxoWbWk.AKqPOIeW.dpbs>

Ariel, M., Reinaldo, M., & Julio, M. (2010, noviembre). *Determinación del exponente "n" de endurecimiento por deformación mediante un algoritmo de mínimos cuadrados ponderados*. San Juan, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.

Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores.

Beer, F. (2005). *Mecánica vectorial para ingenieros*. España: Mc Graw Hill.

Castro, E., & Roger, A. (2007). *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*. La Habana, Cuba: Universidad de Chile.

Caterkwik. (2016). *Dough Sheeter*. Obtenido de:  
[http://www.caterkwik.co.uk/cgi-bin/trolleyed\\_public.cgi?action=showprod\\_CK0331](http://www.caterkwik.co.uk/cgi-bin/trolleyed_public.cgi?action=showprod_CK0331)

Clydebridge Steelworks. (2004, Octubre 27). *History Of Steelwork's Plant and Equipment*. Obtenido de:  
<http://myweb.tiscali.co.uk/clydebridge/History%20of%20Steel%20Plant.htm#RollingMills>

Ferdinand P. Beer, E. R. (2010). *Mecánica de los materiales*. Mexico: McGRAW - HILL.

Filmtex. (2013, Junio 29). *Vacoplast*. Obtenido de:  
<http://www.filmtex.com/index.php/es/peliculas/peliculas-rigidas/vacoplast>

Gear, M. S. (2014). *Catálogo de bandas*.

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw Hill.

Herrero, A. d. (2009). *Calculo resistencias vigas*. Obtenido de:  
<http://almadeherrero.blogspot.com/2009/09/calculo-de-laresistencia->

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Education.

Maekawa, T. O. (2003). *Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann.

Medina. (2013). *Materiales estructurales*. Obtenido de:

[http://eduvirtual.cuc.edu.co/moodle/pluginfile.php/208065/mod\\_resource/content/1/OTROS%20MATERIALES%20DE%20USO%20ESTRUCTURAL.pdf](http://eduvirtual.cuc.edu.co/moodle/pluginfile.php/208065/mod_resource/content/1/OTROS%20MATERIALES%20DE%20USO%20ESTRUCTURAL.pdf)

Meriam, J. (1980). *Estática*. Caracas: Reverté.

Montes, J. R. (2006). *Procesos industriales para materiales metálicos*. Madrid: Vision Net.

Mott. (2004). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Education .

Norton. (2011). *Diseño de máquinas: un enfoque integrado*. México: Pearson Educación.

Optibelt. (2016). *Optibelt*. Obtenido de:

<http://www.optibelt.net/02/images/05%20Manual%20tecnico.pdf>

Plastiglas de México. (2002, Octubre 1). *Manual Técnico de Termoformado*. Obtenido de:  
[http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS\\_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf](http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf)

Rasper, V. (1974). *aaccnet*. Obtenido de:

[http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1975/Documents/chem52\\_24r.pdf](http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1975/Documents/chem52_24r.pdf)

Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Shigley. (2011). *Diseño de ingeniería mecánica*. México: Mc Graw Hill.

Tecnologies, J. (2015, febrero 11). *what is a variable frequency drive part 1*. Obtenido de:  
<https://www.joliettech.com/products/variable-frequency-drive-systems-and-controls/what-is-a-variable-frequency-drive-part-1/>

Terán, S. (2011). *Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de tortillas de harina de trigo para la empresa TAQUITO'S*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

The University of Southern Mississippi. (2001, Febrero 1). *La Transición Vítrea*. Obtenido de:  
<http://pslc.ws/spanish/tg.htm>

Todo\_Churros. (2013). *Laminadora manual*. Obtenido de:

[http://www.todochurros.com/es/productos/laminadoras\\_7/sobadora-de-300-mmmanual\\_55.html](http://www.todochurros.com/es/productos/laminadoras_7/sobadora-de-300-mmmanual_55.html)

Whats cooking america. (2001, 02 01). *History and Legends of Pizza*. Obtenido de:  
<http://whatscookingamerica.net/History/Pizza/PizzaHistory.htm>

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Eje acero inoxidable

### EJES Acero Inoxidable



#### Especificaciones Generales

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Calidad</b>      | ASI 304  |
| <b>Descripción</b>  | Acero inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercrystalina hasta 300°C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas si se emplea con la superficie pulida espejo. |
| <b>Aplicaciones</b> | Industria alimenticia, cerveceras, azucarera, utensilios domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental etc....   |
| <b>Longitud</b>     | 6 m  |

| Composición Química |       |       |           |          |          |         |
|---------------------|-------|-------|-----------|----------|----------|---------|
| %C                  | %Si   | %Mn   | %P        | %S       | %Ni      | %Cr     |
| 0 - 0.08            | 0 - 1 | 0 - 2 | 0 - 0.045 | 0 - 0.03 | 8 - 10.5 | 18 - 20 |

| Propiedades Mecánicas                     |  |                  |                  |
|---|--|------------------|------------------|
| Resistencia Mecánica (N/mm <sup>2</sup> ) | Punto de Fluencia (N/mm <sup>2</sup> ) | Elongación %Min. | Dureza ROKWELL B |
| 520                                       | 220                                    | 20               | 249 - 278        |

| Dimensiones |
|-------------|
| Díámetro    |
| 3/16"       |
| 1/4"        |
| 5/16"       |
| 3/8"        |
| 1/2"        |
| 5/8"        |
| 3/4"        |
| 1"          |
| 1 1/4"      |
| 1 1/2"      |
| 2"          |
| 2 1/2"      |
| 3"          |
| 3 1/2"      |
| 4"          |
| 5"          |
| 6"          |



[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

EJES

## Anexo 2. Número mínimo y máximo de dientes de un engranaje

| Número mínimo de dientes en el piñón | Número máximo de dientes en el engrane |
|--------------------------------------|--|
| 17                                   | 1 309                                  |
| 16                                   | 101                                    |
| 15                                   | 45                                     |
| 14                                   | 26                                     |
| 13                                   | 16                                     |

Nota. Fuente: Norton., *Diseño de máquinas: un enfoque integrado*. (2011). p. 555. México: Pearson

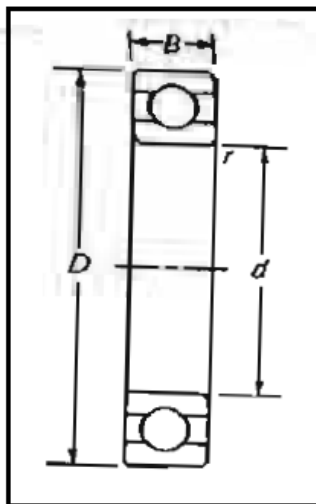
## Anexo 3. Factor de seguridad de un engranaje de 15 mm de espesor

| Método de cálculo de resistencia |                                     | Engranaje 1                       |            | Engranaje 2 |  | Resultados       |               |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------|--|------------------|---------------|
| ISO 6336: 1996                   |                                     |                                   |            |             |  | $F_t$            | 479,523 N     |
| Cargas                           |                                     |                                   |            |             |  | $F_r$            | 196,304 N     |
| Potencia                         | P                                   | 0,08 hp                           | 0,08 hp    |             |  | $F_a$            | 0,000 N       |
| Velocidad                        | n                                   | 45 rpm                            | 45,00 rpm  |             |  | $F_n$            | 518,148 N     |
| Par de torsión                   | T                                   | 12,659 N m                        | 12,659 N m |             |  | v                | 0,123 mps     |
| Eficacia                         | $\eta$                              | 0,980 su                          |            |             |  | $n_{E1}$         | 45056,898 rpm |
| Valores de material              |                                     |                                   |            |             |  | <b>Engranaje</b> |               |
| Engranaje 1                      | <input checked="" type="checkbox"/> | Acero fundido al carbono          |            |             |  | $S_F$            | 8,909 su      |
| Engranaje 2                      | <input checked="" type="checkbox"/> | Acero fundido al carbono          |            |             |  | $S_{Fst}$        | 19,088 su     |
| Límite de fatiga por plegado     | $\sigma_{Flim}$                     | 316,0 MPa                         | 316,0 MPa  |             |  |                  |               |
| Límite de fatiga por contacto    | $\sigma_{Hlim}$                     | 1140,0 MPa                        | 1140,0 MPa |             |  |                  |               |
| Módulo de elasticidad            | E                                   | 206000 MPa                        | 206000 MPa |             |  |                  |               |
| Coefficiente de Poisson          | $\mu$                               | 0,300 su                          | 0,300 su   |             |  |                  |               |
| Tratamiento térmico              |                                     | 2 su                              | 2 su       |             |  |                  |               |
| Vida requerida                   | $L_h$                               | 10000 h                           |            |             |  |                  |               |
| $S_F$                            |                                     | Seguridad contra rotura de diente |            |             |  |                  |               |
| $S_{Fst}$                        |                                     | Seguridad estática en plegado     |            |             |  |                  |               |

Nota. Fuente: Inventor 2012. Cálculo de la resistencia de engranajes.

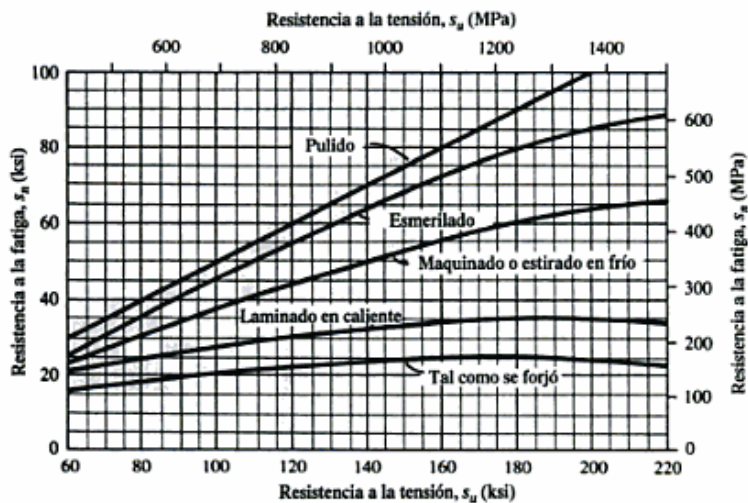
### Anexo 4. Rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda

| Número de rodamiento | Dimensiones nominales del rodamiento |        |     |        |     |        |       | Diámetro de escalón preferido |       | Peso del rodamiento | Capacidad básica de carga estática $C_o$ | Capacidad básica de carga dinámica $C$ |
|----------------------|--------------------------------------|--------|-----|--------|-----|--------|-------|-------------------------------|-------|---------------------|--|--|
|                      | $d$                                  |        | $D$ |        | $B$ |        | $r^a$ | Eje                           | Caja  |                     |  |  |
|                      | mm                                   | pulg   | mm  | pulg   | mm  | pulg   | pulg  | pulg                          | pulg  |                     |  |  |
| 6200                 | 10                                   | 0.3937 | 30  | 1.1811 | 9   | 0.3543 | 0.024 | 0.500                         | 0.984 | 0.07                | 520                                      | 885                                    |
| 6201                 | 12                                   | 0.4724 | 32  | 1.2598 | 10  | 0.3937 | 0.024 | 0.578                         | 1.063 | 0.08                | 675                                      | 1180                                   |
| 6202                 | 15                                   | 0.5906 | 35  | 1.3780 | 11  | 0.4331 | 0.024 | 0.703                         | 1.181 | 0.10                | 790                                      | 1320                                   |
| 6203                 | 17                                   | 0.6693 | 40  | 1.5748 | 12  | 0.4724 | 0.024 | 0.787                         | 1.380 | 0.14                | 1010                                     | 1660                                   |
| 6204                 | 20                                   | 0.7874 | 47  | 1.8504 | 14  | 0.5512 | 0.039 | 0.969                         | 1.614 | 0.23                | 1400                                     | 2210                                   |
| 6205                 | 25                                   | 0.9843 | 52  | 2.0472 | 15  | 0.5906 | 0.039 | 1.172                         | 1.811 | 0.29                | 1610                                     | 2430                                   |
| 6206                 | 30                                   | 1.1811 | 62  | 2.4409 | 16  | 0.6299 | 0.039 | 1.406                         | 2.205 | 0.44                | 2320                                     | 3350                                   |
| 6207                 | 35                                   | 1.3780 | 72  | 2.8346 | 17  | 0.6693 | 0.039 | 1.614                         | 2.559 | 0.64                | 3150                                     | 4450                                   |



Nota. Fuente: Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas*. (2006). p. 607. México: Pearson

## Anexo 5. Resistencia a la fatiga Sn



Nota. Fuente: Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas*. (2006). p. 175. México: Pearson

## Anexo 6. Factor de confiabilidad aproximado $C_R$

| Factor de confiabilidad Aproximados $C_R$ |      |
|---|------|
| Confiabilidad deseada $C_R$               |      |
| 0,50                                      | 1,0  |
| 0,90                                      | 0,90 |
| 0,99                                      | 0,81 |
| 0,999                                     | 0,75 |

Nota. Fuente: Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas*. (2006). p. 175. México: Pearson

## Anexo 7. Factores de tamaño

| Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional |                           |
|---|---------------------------|
| Rango de tamaño                                 | Para $D$ en pulgadas      |
| $D \leq 0.30$                                   | $C_S = 1.0$               |
| $0.30 < D \leq 2.0$                             | $C_S = (D/0.3)^{-0.11}$   |
| $2.0 < D < 10.0$                                | $C_S = 0.859 - 0.02125D$  |
| Unidades SI                                     |                           |
| Rango de tamaño                                 | Para $D$ en mm            |
| $D \leq 7.62$                                   | $C_S = 1.0$               |
| $7.62 < D \leq 50$                              | $C_S = (D/7.62)^{-0.11}$  |
| $50 < D < 250$                                  | $C_S = 0.859 - 0.000837D$ |

**Nota.** Fuente: Mott, R., L., *Diseño de elementos de máquinas*. (2006). p. 175. México: Pearson

## Anexo 8. Comparación de los tipos de rodamientos

| Tipo de rodamiento                      | Capacidad de Carga radial | Capacidad de carga de empuje | Capacidad de desalineamiento |
|---|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Una hilera de bolas con ranura profunda | Buena                     | Buena                        | Regular                      |
| Doble hilera de bolas, ranura profunda  | Excelente                 | Buena                        | Regular                      |
| Contacto angular                        | Buena                     | Excelente                    | Mala                         |
| Rodillos cilíndricos                    | Excelente                 | Mala                         | Regular                      |
| Agujas                                  | Excelente                 | Mala                         | Mala                         |
| Rodillos esféricos                      | Excelente                 | Regular a buena              | Excelente                    |
| Rodillos cónicos                        | Excelente                 | Excelente                    | Mala                         |

**Nota.** Fuente: Mott, R., L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta Edición (p. 600). México: Pearson Educación.




**Anexo 9. Propiedades mecánicas del tubo estructural ASTM A500****PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B)**

| SECCIÓN     | GRADO | LÍMITE DE FLUENCIA (MPa) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa) |
|-------------|-------|--------------------------|---------------------------------|
| REDONDO     | A     | 230                      | 310                             |
| CUADRADO Y  | A     | 270                      | 310                             |
| RECTANGULAR | B     | 315                      | 400                             |

Recuperado de: <http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/TUBO-LAC-A500.pdf>

## Anexo 10. Tubo estructural cuadrado galvanizado

# TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



### Especificaciones Generales

**Calidad** ASTM A-500  
**Recubrimiento** Negro o Galvanizado  
**Largo Normal** 6.00 m  
**Otros Largos** Previa Consulta  
**Dimensiones** Desde 20.00 mm a 100.00 mm  
**Espesor** Desde 1.20 mm a 5.00 mm



| Dimensiones |                |           | Área                 | Ejes X-Xe Y-Y     |                   |                   |
|-------------|----------------|-----------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A mm        | Espesor mm (e) | Peso Kg/m | Área cm <sup>2</sup> | I cm <sup>4</sup> | W cm <sup>3</sup> | I cm <sup>3</sup> |
| 20          | 1.2            | 0.72      | 0.90                 | 0.53              | 0.53              | 0.77              |
| 20          | 1.5            | 0.88      | 1.05                 | 0.58              | 0.58              | 0.74              |
| 20          | 2.0            | 1.15      | 1.34                 | 0.69              | 0.69              | 0.72              |
| 25          | 1.2            | 0.90      | 1.14                 | 1.08              | 0.87              | 0.97              |
| 25          | 1.5            | 1.12      | 1.35                 | 1.21              | 0.97              | 0.95              |
| 25          | 2.0            | 1.47      | 1.74                 | 1.48              | 1.18              | 0.92              |
| 30          | 1.2            | 1.09      | 1.38                 | 1.91              | 1.28              | 1.18              |
| 30          | 1.5            | 1.35      | 1.65                 | 2.19              | 1.46              | 1.15              |
| 30          | 2.0            | 1.78      | 2.14                 | 2.71              | 1.81              | 1.13              |
| 40          | 1.2            | 1.47      | 1.80                 | 4.38              | 2.19              | 1.25              |
| 40          | 1.5            | 1.82      | 2.25                 | 5.48              | 2.74              | 1.56              |
| 40          | 2.0            | 2.41      | 2.94                 | 6.93              | 3.46              | 1.54              |
| 40          | 3.0            | 3.54      | 4.44                 | 10.20             | 5.10              | 1.52              |
| 50          | 1.5            | 2.29      | 2.85                 | 11.06             | 4.42              | 1.97              |
| 50          | 2.0            | 3.03      | 3.74                 | 14.13             | 5.65              | 1.94              |
| 50          | 3.0            | 4.48      | 5.61                 | 21.20             | 4.48              | 1.91              |
| 60          | 2.0            | 3.66      | 3.74                 | 21.26             | 7.09              | 2.39              |
| 60          | 3.0            | 5.42      | 6.61                 | 35.06             | 11.69             | 2.34              |
| 75          | 2.0            | 4.52      | 5.74                 | 50.47             | 13.46             | 2.97              |
| 75          | 3.0            | 6.71      | 8.41                 | 71.54             | 19.08             | 2.92              |
| 75          | 4.0            | 8.59      | 10.95                | 89.98             | 24.00             | 2.87              |
| 100         | 2.0            | 6.17      | 7.74                 | 122.99            | 24.60             | 3.99              |
| 100         | 3.0            | 9.17      | 11.41                | 176.95            | 35.39             | 3.94              |
| 100         | 4.0            | 12.13     | 14.95                | 226.09            | 45.22             | 3.89              |
| 100         | 5.0            | 14.40     | 18.36                | 270.57            | 54.11             | 3.84              |

[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)



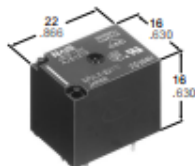
## Anexo 12. Relé 5V



**ULTRA-MINIATURE  
PC BOARD TYPE  
POWER RELAY**



**JS RELAYS**



mm inch

### FEATURES

- Ultra-miniature size with universal terminal footprint
- High contact capacity: **10 A**
- Class B coil insulation type available
- TV-5 type available
  - 1 Form A type → TV-5
  - 1 Form C type → TV-5 (N.O. side only)
- VDE, TÜV also approved
- Sealed construction for automatic cleaning

### SPECIFICATIONS

#### Contact

|  |   |  |
|--|---|--|
| Arrangement  | 1 Form A, 1 Form C  |  |
| Initial contact resistance, max.<br>(By voltage drop 6 V DC 1 A) | 100 mΩ  |  |
| Contact material   | Silver alloy  |  |
| Rating<br>(resistive load)                                       | Nominal switching capacity  | 10 A 250 V AC<br>10 A 125 V AC<br>6 A 277 V AC |
|  | Max. switching power  | 2,500 VA                                       |
|  | Max. switching voltage  | 250 V AC, 100 V DC                             |
|  | Max. switching current  | 10 A (AC), 5 A (DC)                            |
| Expected life<br>(min.ope.)                                      | Mechanical (at 180 cpm)   | 10 <sup>7</sup>                                |
|  | Electrical at 10 A 125 V AC,<br>6 A 277 V AC resistive<br>(at 20 cpm) | 10 <sup>6</sup>                                |
|  | 10 A 250 V AC resistive<br>(at 20 cpm)                                | 5 × 10 <sup>4</sup><br>(No contact only)       |

#### Coil

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Nominal operating power | 360 mW |
|-------------------------|--------|

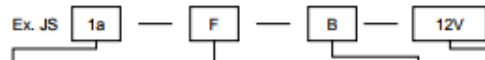
#### Remarks

- \* Specifications will vary with foreign standards certification ratings.
- \*\* Detection current: 10mA
- \*\* Excluding contact bounce time
- \*\* Half-wave pulse of sine wave: 11ms; detection time: 10μs
- \*\* Half-wave pulse of sine wave: 6ms
- \*\* Detection time: 10μs
- \*\* Refer to 5. Conditions for operation, transport and storage mentioned in AMBIENT ENVIRONMENT (Page 24).
- \*\* When using relays in a high ambient temperature, consider the pick-up voltage rise due to the high temperature (a rise of approx. 0.4% V for each 1°C 33.8°F with 20°C 68°F as a reference) and use a coil impressed voltage that is within the maximum allowable voltage range.

#### Characteristics

|   |                           |  |
|---|---------------------------|--|
| Max. operating speed  | 20 cpm                    |  |
| Initial insulation resistance   | Min. 100 MΩ (at 500 V DC) |  |
| Initial breakdown voltage**   | Between open contacts     | 750 Vrms for 1 min.  |
|   | Between contacts and coil | 1,500 Vrms for 1 min.  |
| Operate time**<br>(at nominal voltage)  | Approx. 10 ms             |  |
| Release time(without diode)** (at nominal voltage)  | Approx. 10 ms             |  |
| Temperature rise (at nominal voltage)   | Max. 35°C                 |  |
| Shock resistance  | Functional**              | Min. 98 m/s <sup>2</sup> (10 G)  |
|   | Destructive**             | Min. 980 m/s <sup>2</sup> (100 G)  |
| Vibration resistance  | Functional**              | Approx. 98 m/s <sup>2</sup> (10 G),<br>10 to 55 Hz at double<br>amplitude of 1.6 mm  |
|   | Destructive               | Approx. 117.6 m/s <sup>2</sup> (12 G),<br>10 to 55 Hz at double<br>amplitude of 2 mm |
| Conditions for operation,<br>transport and storage**<br>(Not freezing and condens-<br>ing at low temperature) | Ambient temp.**           | -40°C to +85°C<br>-40°F to +185°F  |
|   | Humidity                  | 5 to 85% R.H.  |
| Unit weight   | Approx. 12 g .423 oz      |  |

## ORDERING INFORMATION



| Contact arrangement         | Protective construction                    | Coil insulation class                            | Coil voltage (DC)            |
|-----------------------------|--|--|------------------------------|
| 1: 1 Form C<br>1a: 1 Form A | Nil: Sealed type<br>F: Flux-resistant type | Nil: Class E insulation<br>B: Class B insulation | 5, 6, 9, 12, 18, 24,<br>48 V |

UL/CSA, VDE, TÜV approved type is standard.

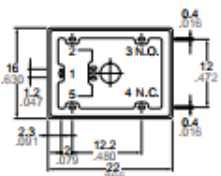
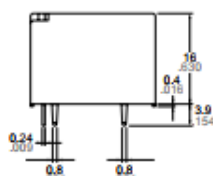
- Notes: 1. Standard packing: Carton: 100 pcs. Case: 500 pcs.  
2. When ordering TV rated (TV-5) types, add suffix -TV.

## COIL DATA

| Part No.    |                     |           |          | Nominal voltage, V DC | Pick-up voltage, V DC (max.) (at 20°C/68°F) | Drop-out voltage, V DC (min.) (at 20°C/68°F) | Coil resistance, Ω (±10%) (at 20°C/68°F) | Nominal operating current, mA (±10%) (at 20°C/68°F) | Nominal operating power, mW (at 20°C/68°F) | Max. allowable voltage (at 85°C/185°F) |
|-------------|---------------------|-----------|----------|-----------------------|---|--|--|---|--|--|
| Sealed type | Flux-resistant type |           |          |                       |   |  |  |   |  |  |
| 1 Form A    | 1 Form C            | 1 Form A  | 1 Form C |                       |   |  |  |   |  |  |
| JS1a-5V     | JS1-5V              | JS1aF-5V  | JS1F-5V  | 5                     | 3.5   | 0.5  | 69.4                                     | 72  | 360  | 130%V of nominal voltage               |
| JS1a-6V     | JS1-6V              | JS1aF-6V  | JS1F-6V  | 6                     | 4.2   | 0.6  | 100                                      | 60  |  |  |
| JS1a-9V     | JS1-9V              | JS1aF-9V  | JS1F-9V  | 9                     | 6.3   | 0.9  | 225                                      | 40  |  |  |
| JS1a-12V    | JS1-12V             | JS1aF-12V | JS1F-12V | 12                    | 8.4   | 1.2  | 400                                      | 30  |  |  |
| JS1a-18V    | JS1-18V             | JS1aF-18V | JS1F-18V | 18                    | 12.6  | 1.8  | 900                                      | 20  |  |  |
| JS1a-24V    | JS1-24V             | JS1aF-24V | JS1F-24V | 24                    | 16.8  | 2.4  | 1,600                                    | 15  |  |  |
| JS1a-48V    | JS1-48V             | JS1aF-48V | JS1F-48V | 48                    | 33.6  | 4.8  | 6,400                                    | 7.5   |  |  |

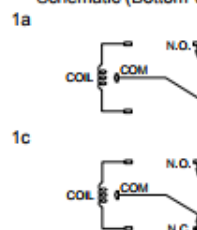
## DIMENSIONS

mm inch

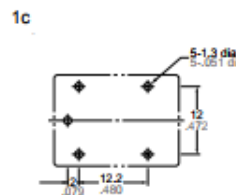
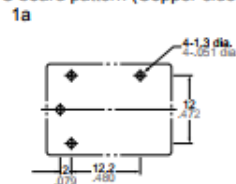


Note: Terminal No. 4 is only for 1 Form C type  
General tolerance:  $\pm 0.3 \pm 0.12$

### Schematic (Bottom view)



### PC board pattern (Copper-side view)

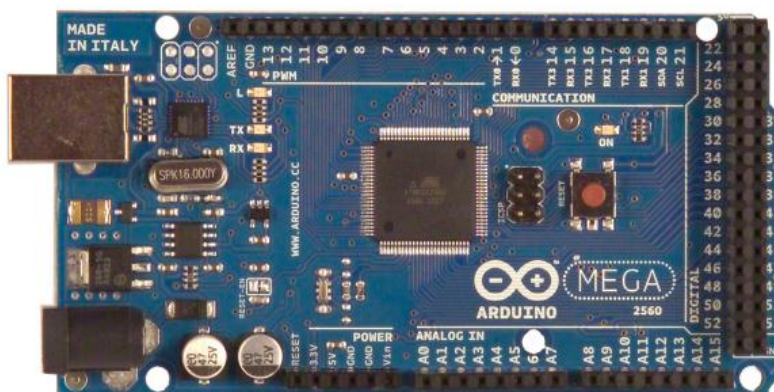


Tolerance:  $\pm 0.1 \pm 0.04$

## Anexo 13. Arduino Mega



### Arduino Mega 2560 Datasheet



#### Summary

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Microcontroller             | ATmega2560                              |
| Operating Voltage           | 5V                                      |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V                                   |
| Input Voltage (limits)      | 6-20V                                   |
| Digital I/O Pins            | 54 (of which 14 provide PWM output)     |
| Analog Input Pins           | 16                                      |
| DC Current per I/O Pin      | 40 mA                                   |
| DC Current for 3.3V Pin     | 50 mA                                   |
| Flash Memory                | 256 KB of which 8 KB used by bootloader |
| SRAM                        | 8 KB                                    |
| EEPROM                      | 4 KB                                    |
| Clock Speed                 | 16 MHz                                  |

#### Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

## Anexo 14. Motoreductor



Calle 53 N° 489 – 2720 Colón Bs. As. Argentina – TE/FAX (54)-02473-430261/430790  
 Web-Site: [www.metalurgicasmg.com.ar](http://www.metalurgicasmg.com.ar) – E-mail: [administracion@metalurgicasmg.com.ar](mailto:administracion@metalurgicasmg.com.ar)

|        | Relación de Transmisión | Hasta 20 HP                      | R.P.M. EJE DE ENTRADA |
|--------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|        |                         |                                  | 1750                  |
| MG 100 | 1:14                    | Potencia en el eje de entrada HP | 24                    |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 126                   |
|        | 1:20                    | Potencia en el eje de entrada HP | 19                    |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 88                    |
|        | 1:26                    | Potencia en el eje de entrada HP | 16,5                  |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 68                    |
|        | 1:31                    | Potencia en el eje de entrada HP | 11                    |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 57                    |
|        | 1:35                    | Potencia en el eje de entrada HP | 7,5                   |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 48                    |
|        | 1:40                    | Potencia en el eje de entrada HP | 2                     |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 45                    |
|        | 1:46                    | Potencia en el eje de entrada HP | 1,5                   |
|        |                         | R.P.M en el eje de salida        | 39                    |

## Anexo 15. Desarrollo de la programación

```
// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
//RODILLO 1
int cont1 = 0;
int cont2 = 0;
int tiempo = 0;
int rele = 35;
int arriba1 = 31;
int arriba = 33;
//RODILLO 2
int cont3 = 0;
int cont4 = 0;
int tiempo2 = 0;
int rele2 = 41;
int UP = 39;
int UP2 = 37;

void setup() {
  //RODILLO 1
  pinMode(arriba, OUTPUT);
  pinMode(arriba1, OUTPUT);
  pinMode(rele, OUTPUT);
  pinMode(22, INPUT);
  pinMode(24, INPUT);
  pinMode(26, INPUT);
  //RODILLO 2
  pinMode(UP, OUTPUT);
  pinMode(UP2, OUTPUT);
  pinMode(rele2, OUTPUT);
  pinMode(28, INPUT);
  pinMode(30, INPUT);
  pinMode(32, INPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  // set up the LCD's number of columns and rows:

  // Print a message to the LCD.
}
```



```

void loop() {
  // set the cursor to column 0, line 1
  // (note: line 1 is the second row, since counting begins with 0):
  //
  // Pulsadores RODILLO 1
  //
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("rodillo 1");
  lcd.setCursor(14, 0);
  lcd.print("mm");
  int pulsador = digitalRead(26);
  int boton3 = digitalRead(22);
  int boton4 = digitalRead(24);
  lcd.setCursor(12, 0);
  lcd.print(cont1);
  // Pulsadores RODILLO 1
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("rodillo 2");
  lcd.setCursor(14, 1);
  lcd.print("mm");
  int pulsador2 = digitalRead(32);
  int boton1 = digitalRead(28);
  int boton2 = digitalRead(30);
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print(cont3);

  // CONTADOR RODILLO 1

  if (boton3 == HIGH && cont1 <= 6 && cont1 >= 0 ) {
    delay(50);
    cont1 ++;
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.print(cont1);
    delay(500);
  }

  if (boton4 == HIGH && cont1 <= 7 && cont1 >= 1) {
    delay(50);
    cont1 --;
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.print(cont1);
    delay(500);
  }
  // CONTADOR RODILLO 2

```

```

if (boton1 == HIGH && cont3 <= 7 && cont3 >= 0 ) {
delay(50);
cont3 ++;
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(cont3);
delay(500);
}

```

```

if (boton2 == HIGH && cont3 <= 8 && cont3 >= 1) {
delay(50);
cont3 --;
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(cont3);
delay(500);
}

```

//PULSADOR INICIAR RODILLO UNO

```

if (pulsador == HIGH ) {
delay (50);
tiempo = cont1 - cont2;
cont2 = cont1;

if (tiempo >= 0)
{
digitalWrite(rele, HIGH);
delay (200 * tiempo);
digitalWrite(rele, LOW);
lcd.setCursor(10, 0);
lcd.print(tiempo);
lcd.begin(16, 2);
}
if (tiempo < 0)
{
tiempo = tiempo * (-1);
lcd.setCursor(10, 0);
lcd.print(tiempo);
digitalWrite(rele, HIGH);
digitalWrite(arriba, HIGH);
digitalWrite(arriba1, HIGH);

delay (200 * tiempo);
digitalWrite(rele, LOW);
}
}

```

```

digitalWrite(arriba1, LOW);
digitalWrite(arriba, LOW);
lcd.begin(16, 2);

}

lcd.begin(16, 2);
delay(500);
}

//PULSADOR INICIAR RODILLO DOS

if (pulsador2 == HIGH ) {
delay (50);
tiempo2 = cont3 - cont4;
cont4 = cont3;

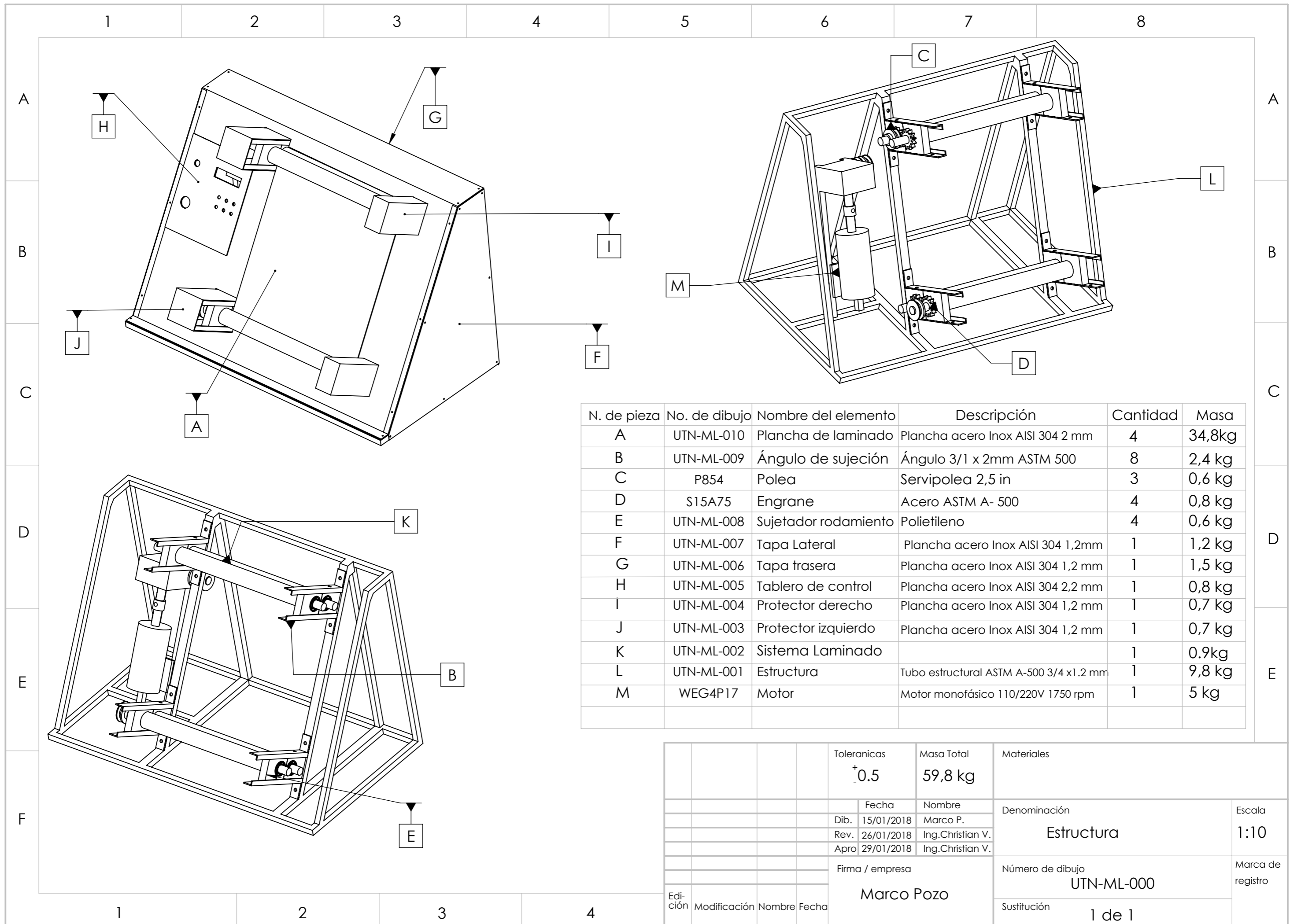
if (tiempo2 >= 0)
{
digitalWrite(rele2, HIGH);
delay (200 * tiempo2);
digitalWrite(rele2, LOW);
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(tiempo2);
lcd.begin(16, 2);
}
if (tiempo2 < 0)
{
tiempo2 = tiempo2 * (-1);
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(tiempo2);
digitalWrite(rele2, HIGH);
digitalWrite(UP, HIGH);
digitalWrite(UP2, HIGH);
delay (200 * tiempo2);
digitalWrite(rele2, LOW);
digitalWrite(UP, LOW);
digitalWrite(UP2, LOW);
lcd.begin(16, 2);
}
lcd.begin(16, 2);
delay(500);
}

}

```

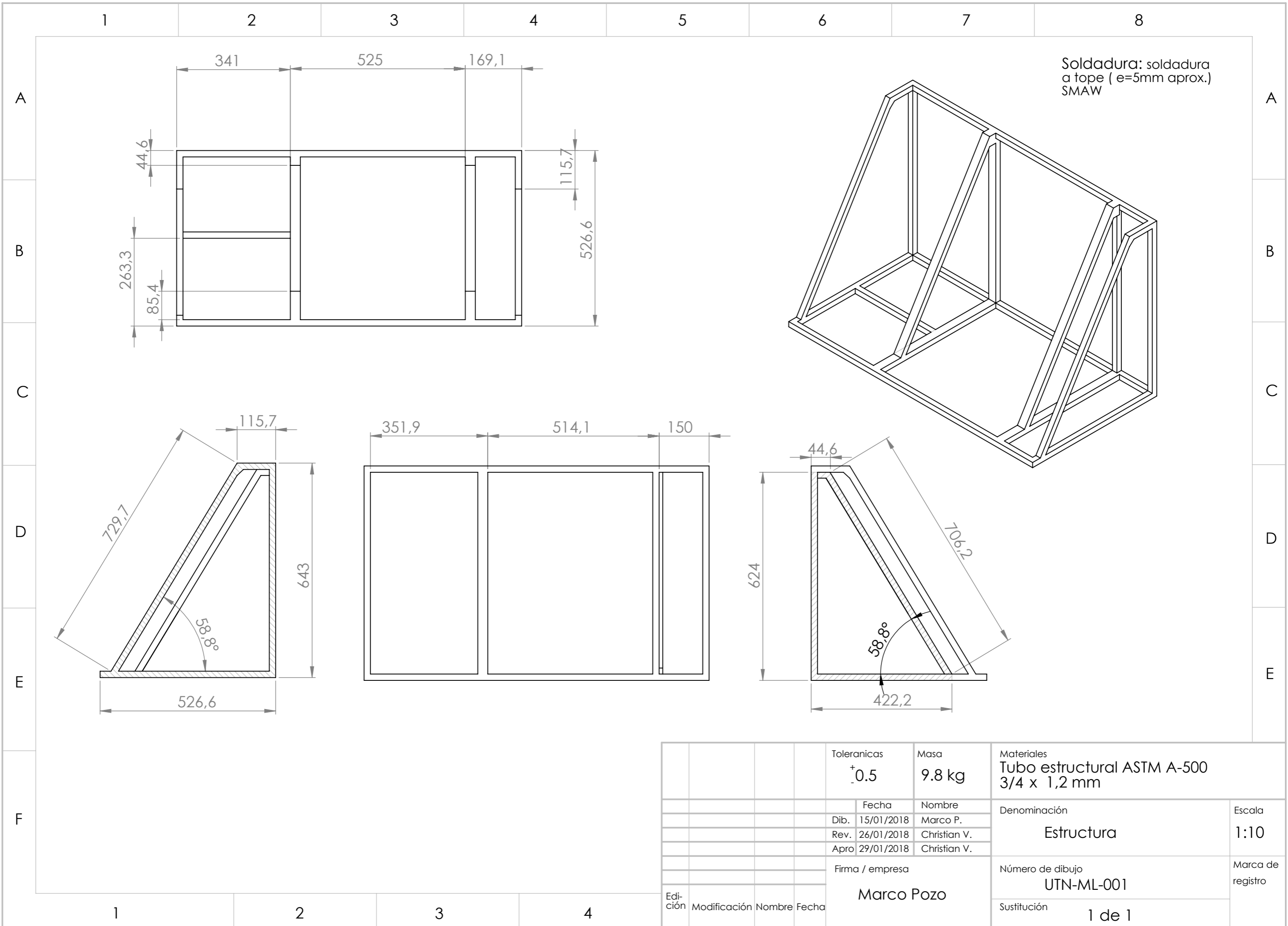
# Planos Mecánicos

**Anexo 17. Plano Eléctrico**

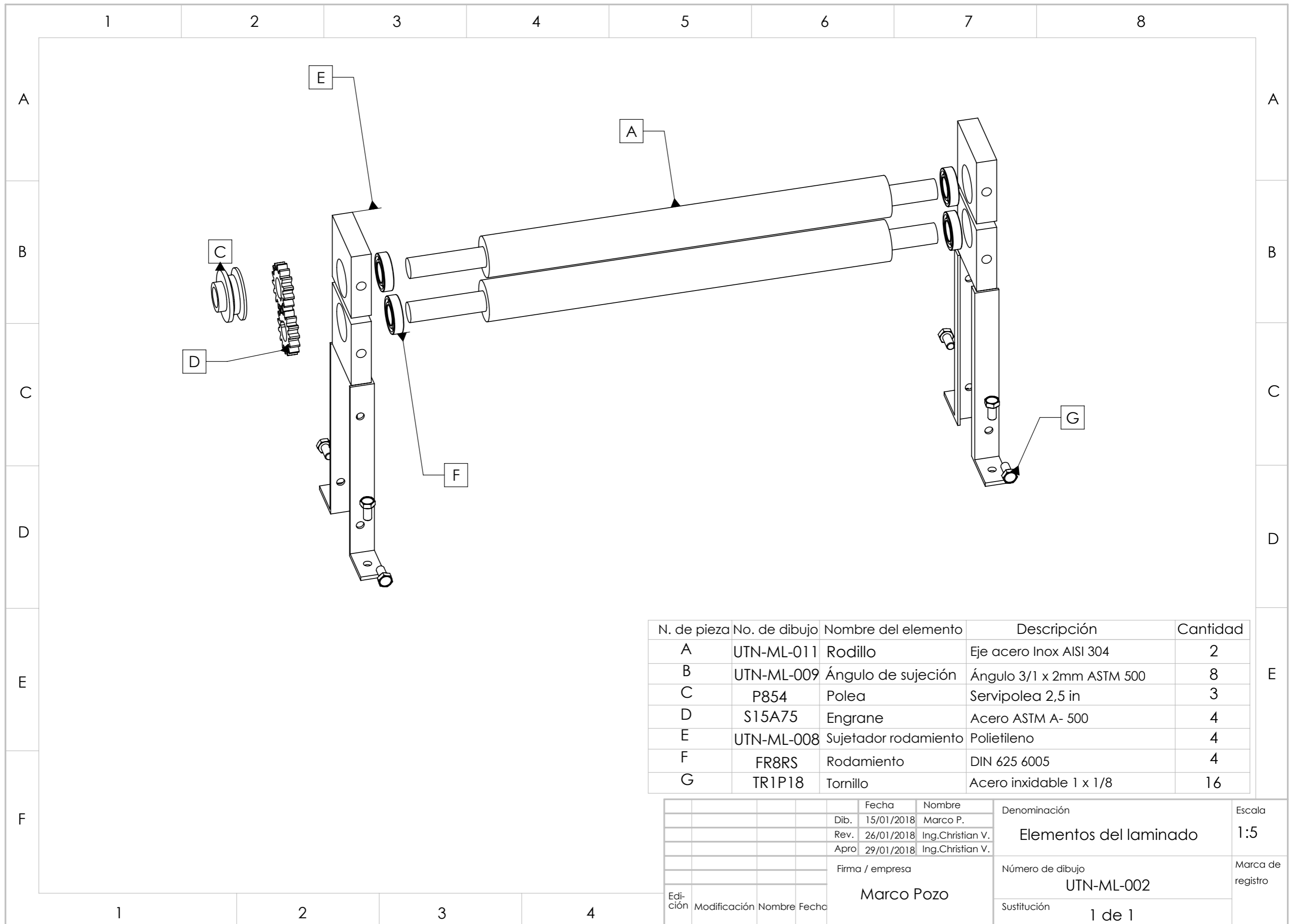


| N. de pieza | No. de dibujo | Nombre del elemento  | Descripción                             | Cantidad | Masa   |
|-------------|---------------|----------------------|---|----------|--------|
| A           | UTN-ML-010    | Plancha de laminado  | Plancha acero Inox AISI 304 2 mm        | 4        | 34,8kg |
| B           | UTN-ML-009    | Ángulo de sujeción   | Ángulo 3/1 x 2mm ASTM 500               | 8        | 2,4 kg |
| C           | P854          | Polea                | Servipolea 2,5 in                       | 3        | 0,6 kg |
| D           | S15A75        | Engrane              | Acero ASTM A- 500                       | 4        | 0,8 kg |
| E           | UTN-ML-008    | Sujetador rodamiento | Polietileno                             | 4        | 0,6 kg |
| F           | UTN-ML-007    | Tapa Lateral         | Plancha acero Inox AISI 304 1,2mm       | 1        | 1,2 kg |
| G           | UTN-ML-006    | Tapa trasera         | Plancha acero Inox AISI 304 1,2 mm      | 1        | 1,5 kg |
| H           | UTN-ML-005    | Tablero de control   | Plancha acero Inox AISI 304 2,2 mm      | 1        | 0,8 kg |
| I           | UTN-ML-004    | Protector derecho    | Plancha acero Inox AISI 304 1,2 mm      | 1        | 0,7 kg |
| J           | UTN-ML-003    | Protector izquierdo  | Plancha acero Inox AISI 304 1,2 mm      | 1        | 0,7 kg |
| K           | UTN-ML-002    | Sistema Laminado     |   | 1        | 0,9kg  |
| L           | UTN-ML-001    | Estructura           | Tubo estructural ASTM A-500 3/4 x1.2 mm | 1        | 9,8 kg |
| M           | WEG4P17       | Motor                | Motor monofásico 110/220V 1750 rpm      | 1        | 5 kg   |

|              |              |                 |                  |                  |                   |
|--------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
|              |              | Tolerancias     | Masa Total       | Materiales       |                   |
|              |              | $\pm 0.5$       | 59,8 kg          |                  |                   |
|              |              | Fecha           | Nombre           | Denominación     | Escala            |
|              |              | Dib. 15/01/2018 | Marco P.         |                  |                   |
|              |              | Rev. 26/01/2018 | Ing.Christian V. |                  |                   |
|              |              | Apro 29/01/2018 | Ing.Christian V. | Número de dibujo | Marca de registro |
|              |              | Firma / empresa |                  |                  |                   |
| Edi-<br>ción | Modificación | Nombre          | Fecha            | Sustitución      |                   |
|              |              | Marco Pozo      |                  | 1 de 1           |                   |



|  |  |  |  |                                      |                |   |                       |
|--|--|--|--|--------------------------------------|----------------|---|-----------------------|
|  |  |  |  | Tolerancias<br>±0.5                  | Masa<br>9.8 kg | Materiales<br>Tubo estructural ASTM A-500<br>3/4 x 1,2 mm |                       |
|  |  |  |  | Fecha                                | Nombre         | Denominación<br><b>Estructura</b>                         | Escala<br><b>1:10</b> |
|  |  |  |  | Dib. 15/01/2018                      | Marco P.       |   |                       |
|  |  |  |  | Rev. 26/01/2018                      | Christian V.   |   |                       |
|  |  |  |  | Apro 29/01/2018                      | Christian V.   | Número de dibujo<br><b>UTN-ML-001</b>                     | Marca de registro     |
|  |  |  |  | Firma / empresa<br><b>Marco Pozo</b> |                |   |                       |
|  |  |  |  | Edición                              | Modificación   | Sustitución   | 1 de 1                |



| N. de pieza | No. de dibujo | Nombre del elemento  | Descripción               | Cantidad |
|-------------|---------------|----------------------|---------------------------|----------|
| A           | UTN-ML-011    | Rodillo              | Eje acero Inox AISI 304   | 2        |
| B           | UTN-ML-009    | Ángulo de sujeción   | Ángulo 3/1 x 2mm ASTM 500 | 8        |
| C           | P854          | Polea                | Servipolea 2,5 in         | 3        |
| D           | S15A75        | Engrane              | Acero ASTM A- 500         | 4        |
| E           | UTN-ML-008    | Sujetador rodamiento | Polietileno               | 4        |
| F           | FR8RS         | Rodamiento           | DIN 625 6005              | 4        |
| G           | TR1P18        | Tornillo             | Acero inoxidable 1 x 1/8  | 16       |

|              |              |        |                 |            |                  |                                |                   |
|--------------|--------------|--------|-----------------|------------|------------------|--------------------------------|-------------------|
|              |              |        |                 | Fecha      | Nombre           | Denominación                   | Escala            |
|              |              |        | Dib.            | 15/01/2018 | Marco P.         |                                |                   |
|              |              |        | Rev.            | 26/01/2018 | Ing.Christian V. |                                |                   |
|              |              |        | Apro            | 29/01/2018 | Ing.Christian V. | Número de dibujo<br>UTN-ML-002 | Marca de registro |
|              |              |        | Firma / empresa |            |                  |                                |                   |
|              |              |        | Marco Pozo      |            |                  | Sustitución                    | 1 de 1            |
| Edi-<br>ción | Modificación | Nombre | Fecha           |            |                  |                                |                   |





1

2

3

4

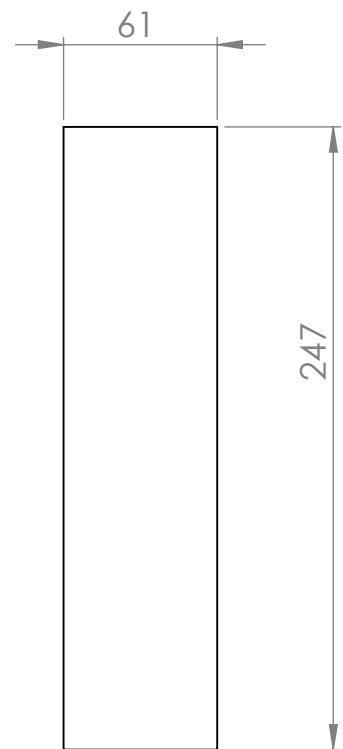
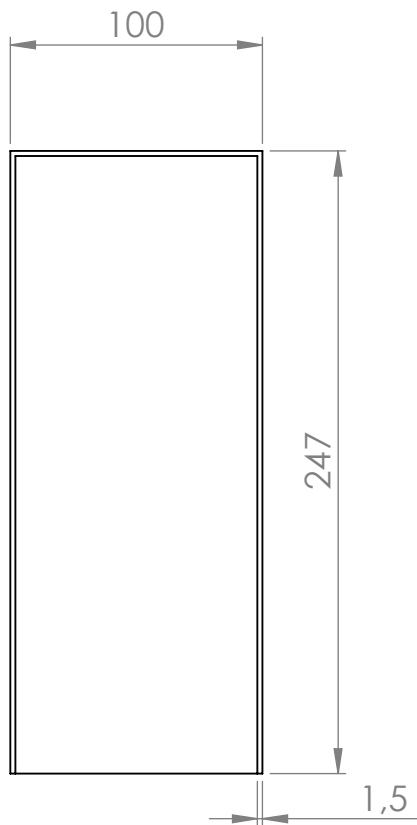
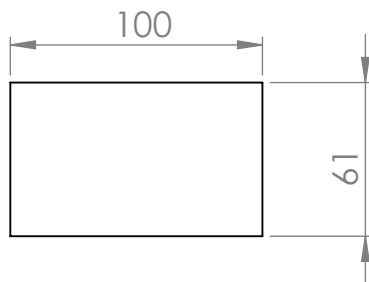
A

B

C

D

E



|              |              |       |        |                                       |                |   |  |
|--------------|--------------|-------|--------|---------------------------------------|----------------|---|--|
|              |              |       |        | Tolerancias<br>+ 0,5<br>- 0,5         | Masa<br>0,7 kg | Materiales<br>Plancha Acero AISI 304 1,2 mm |  |
|              |              |       |        |                                       |                | Denominación<br>Protector derecho           |  |
|              |              |       |        |                                       |                | Escala<br>1:3                               |  |
|              |              |       |        |                                       |                | Número del dibujo<br>UTN-ML-004             |  |
|              |              |       |        |                                       |                | Marca de registro                           |  |
|              |              |       |        | FIRMA / Empresa:<br><b>Marco Pozo</b> |                | Sustitución<br>1 de 1                       |  |
| Edi-<br>ción | Modificación | Fecha | Nombre |                                       |                |   |  |
|              |              |       |        | Dib.                                  | 15/01/18       | MARCO P.                                    |  |
|              |              |       |        | Rev.                                  | 26/01/18       | Ing. CHRISTIAN V.                           |  |
|              |              |       |        | Dib.                                  | 29/01/18       | Ing. CHRISTIAN V.                           |  |

1

2

3

4

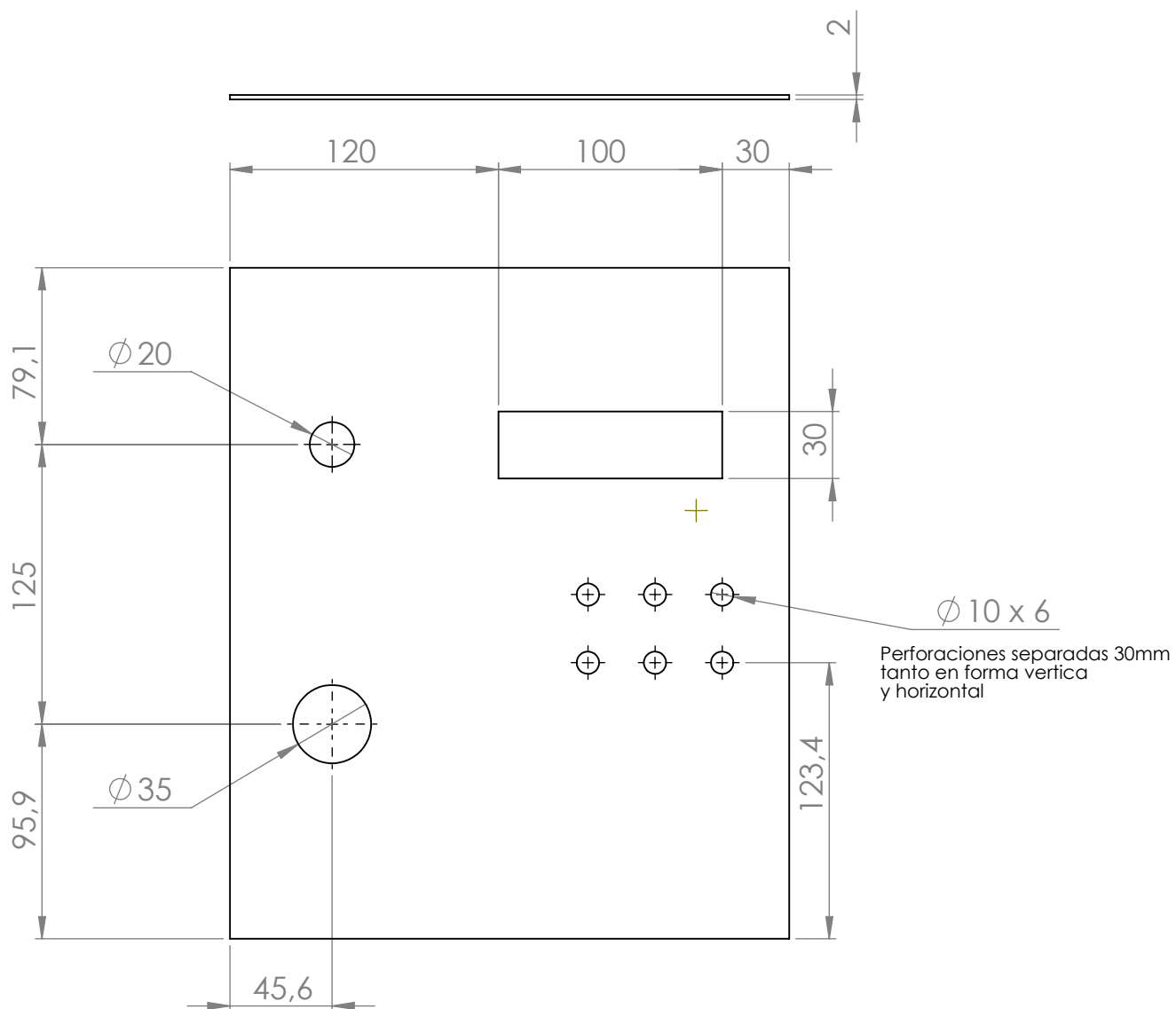
A

B

C

D

E



Tolerancias

+ 0,5

Masa

0,8 kg

Materiales

Plancha acero inoxidable AISI 304 2mm

Fecha

Dib. 15/01/18

Nombre

MARCO P.

Denominación

Tablero control

Escala

1:3

Rev. 26/01/18

Ing. CHRISTIAN V.

Dib. 29/01/18

Ing. CHRISTIAN V.

FIRMA / Empresa:

Número del dibujo

UTN-ML-005

Marca de registro

Marco Pozo

Sustitución

1 de 1

Edi-  
ción

Modificación

Fecha

Nombre





1

2

3

4

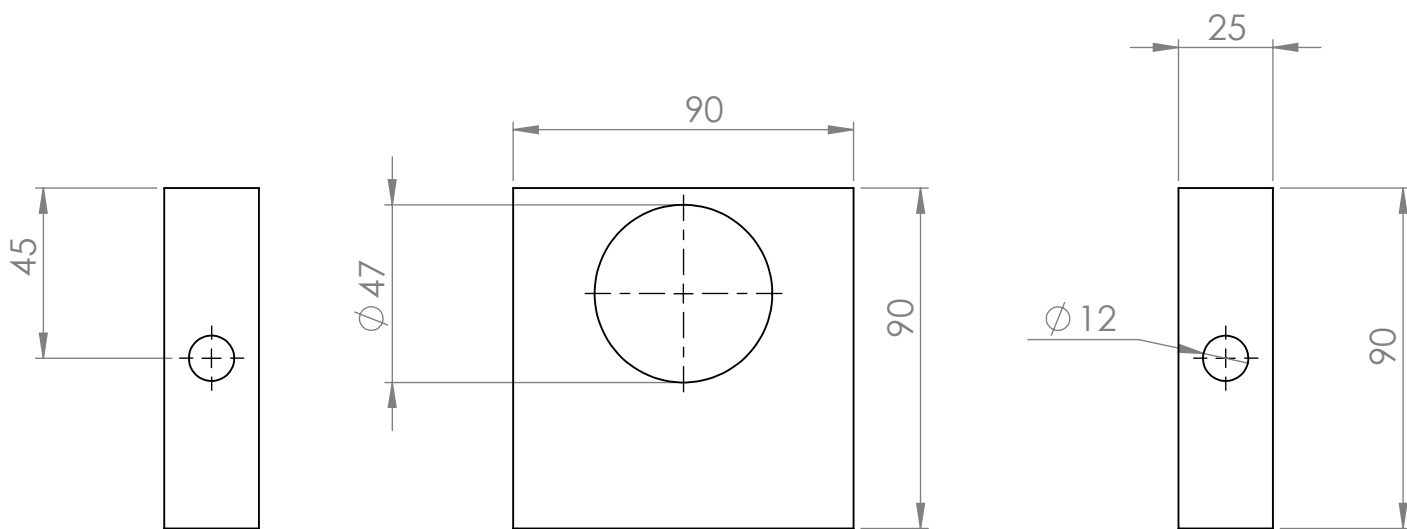
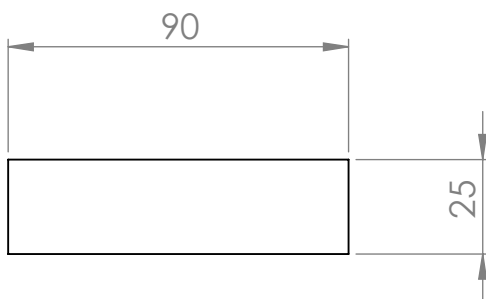
A

B

C

D

E



|              |              |       |        |                   |          |                   |  |
|--------------|--------------|-------|--------|-------------------|----------|-------------------|--|
|              |              |       |        | Tolerancias       | Masa     | Materiales        |  |
|              |              |       |        | $\pm 0.5$         | 0,15 kg  | Polietileno       |  |
|              |              |       |        |                   | Fecha    | Nombre            | Denominación<br><b>Sujetador rodamientos</b> |
|              |              |       |        | Dib.              | 15/01/18 | MARCO P.          |  |
|              |              |       |        | Rev.              | 26/01/18 | Ing. CHRISTIAN V. |  |
|              |              |       |        | Dib.              | 29/01/18 | Ing. CHRISTIAN V. |  |
|              |              |       |        | FIRMA / Empresa:  |          | Número del dibujo | Escala<br><b>1:5</b>                         |
|              |              |       |        | <b>Marco Pozo</b> |          | <b>UTN-ML-008</b> |  |
| Edi-<br>ción | Modificación | Fecha | Nombre |                   |          | Sustitución       | Marca de<br>registro                         |







1

2

3

4

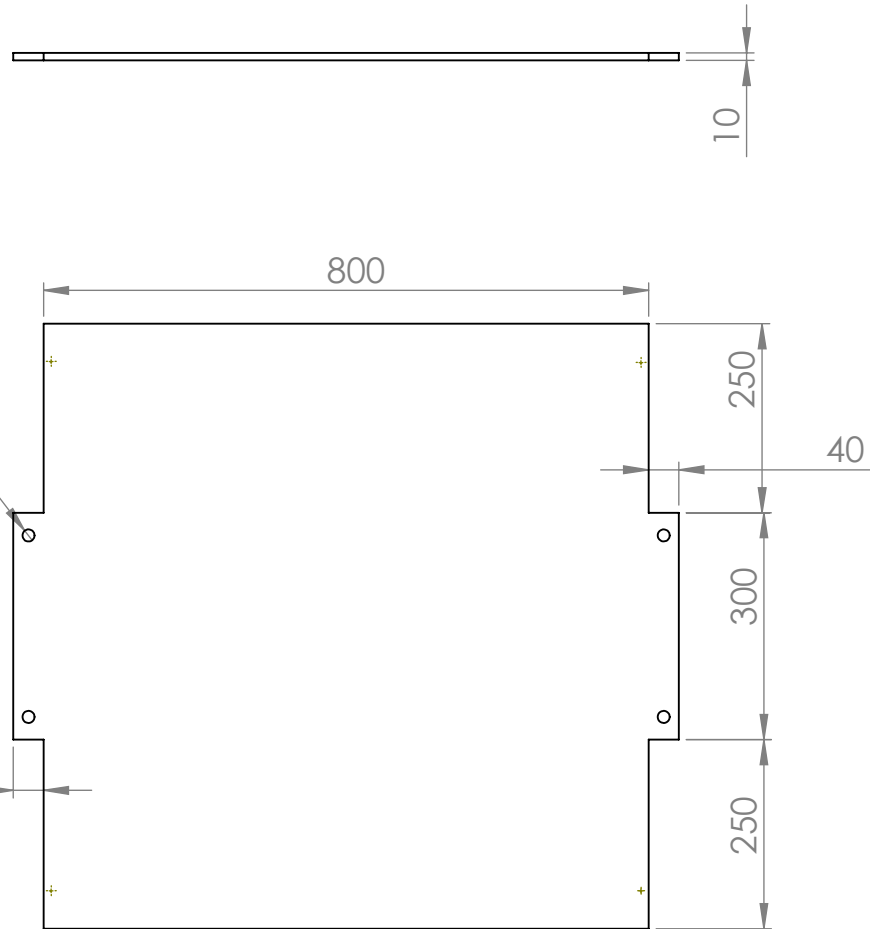
A

B

C

D

E



|              |              |       |        |                                       |                |   |              |
|--------------|--------------|-------|--------|---------------------------------------|----------------|---|--------------|
|              |              |       |        | Tolerancias<br>+ 0,5<br>- 0,5         | Masa<br>1,2 kg | Materiales<br>Plancha Acero AISI 304 2 mm |              |
|              |              |       |        |                                       |                | Denominación<br>Plancha laminado          |              |
|              |              |       |        |                                       |                | Escala<br>1:7                             |              |
|              |              |       |        |                                       |                | Número del dibujo<br>UTN-ML-010           |              |
|              |              |       |        |                                       |                | Marca de registro                         |              |
|              |              |       |        | FIRMA / Empresa:<br><b>Marco Pozo</b> |                | Sustitución<br>1 de 1                     |              |
| Edi-<br>ción | Modificación | Fecha | Nombre |                                       |                |   |              |
|              |              |       |        | Dib.                                  | 15/01/18       | Nombre                                    | MARCO P.     |
|              |              |       |        | Rev.                                  | 26/01/18       | Ing.                                      | CHRISTIAN V. |
|              |              |       |        | Dib.                                  | 29/01/18       | Ing.                                      | CHRISTIAN V. |

1

2

3

4

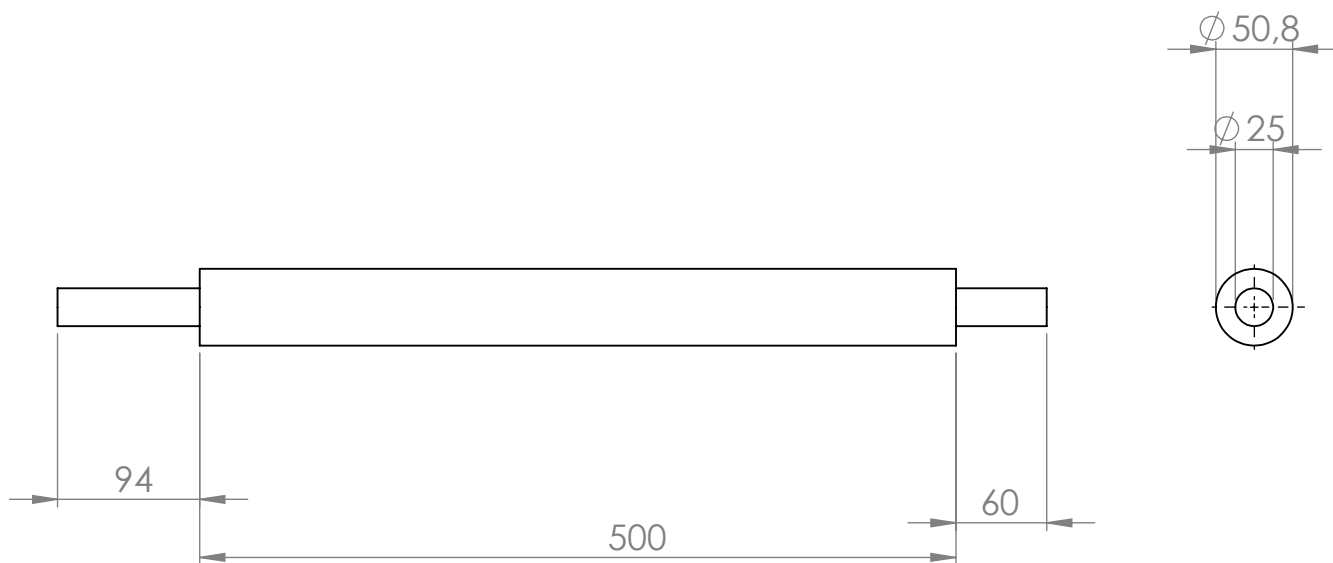
A

B

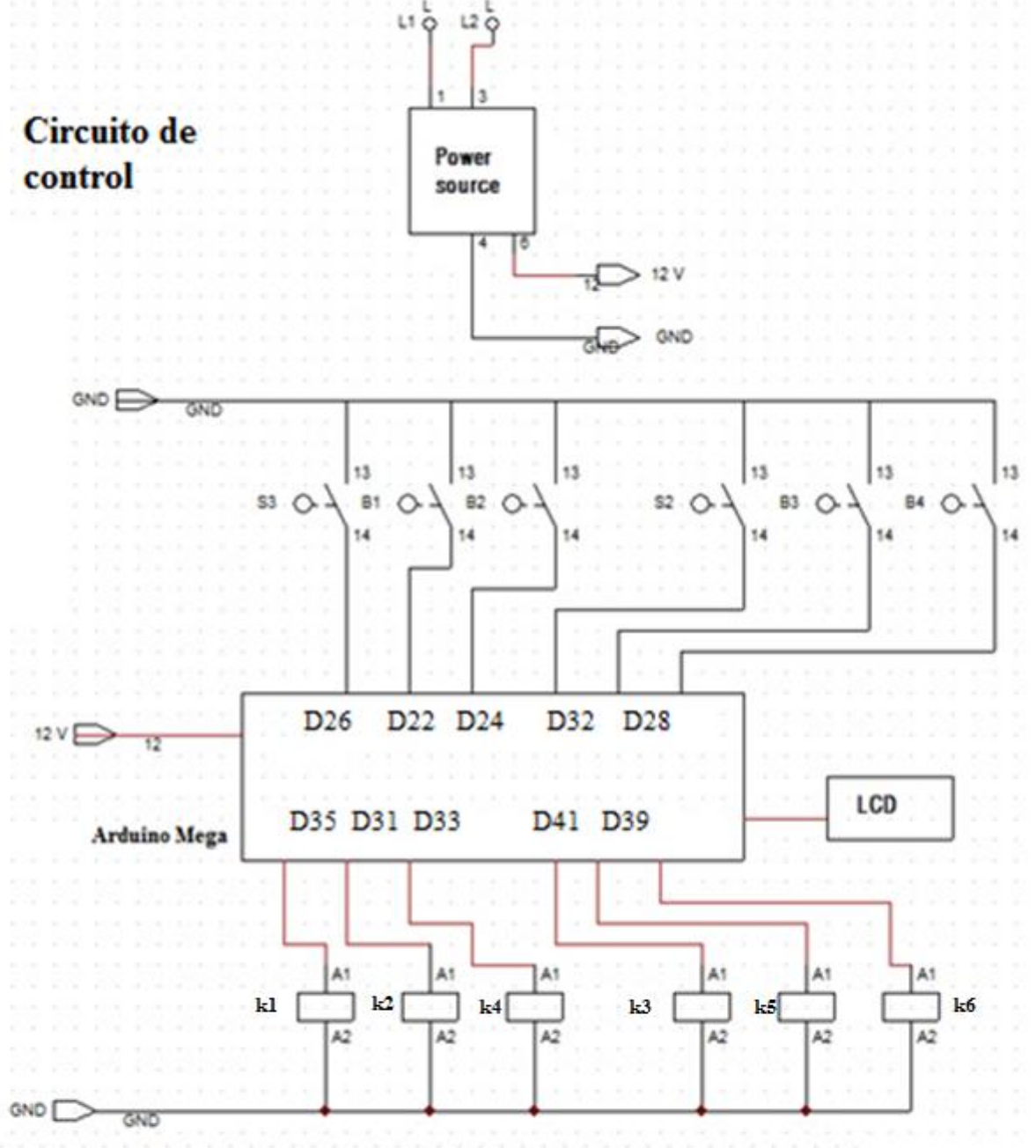
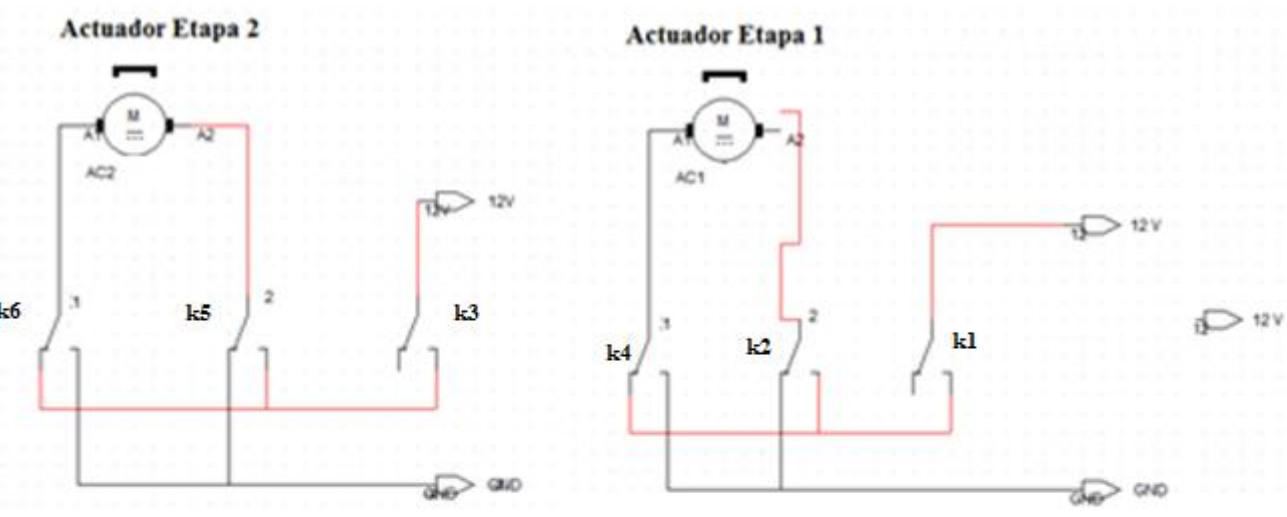
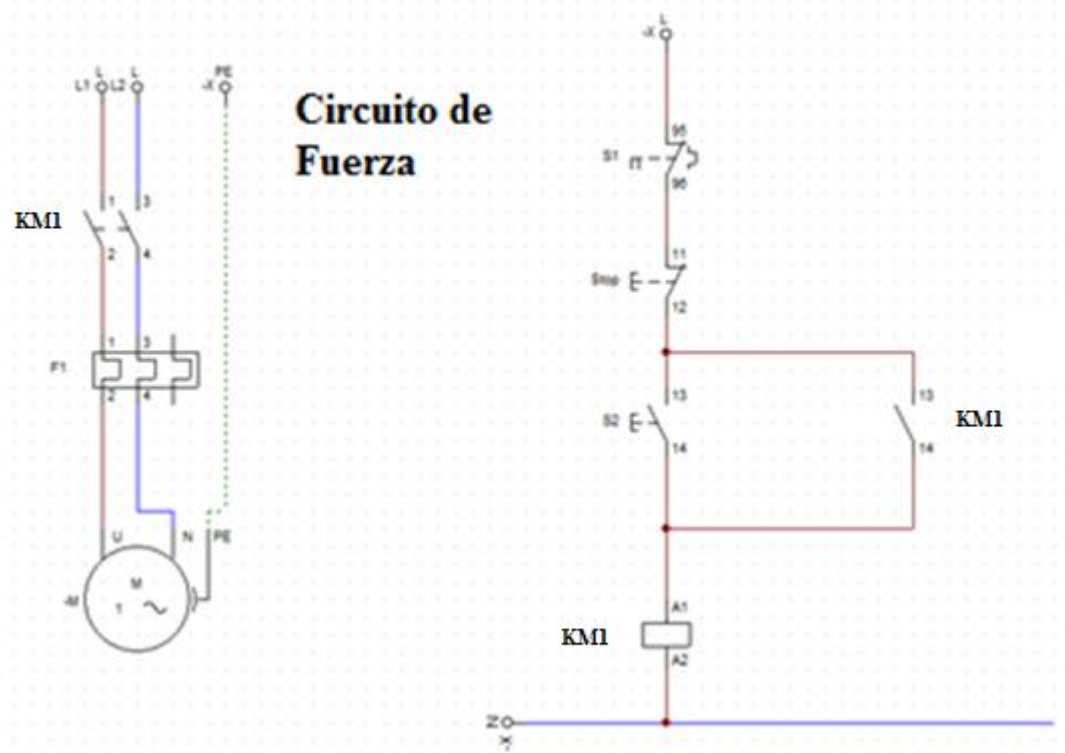
C

D

E



|              |              |       |        |                                       |                |                                 |                      |                    |
|--------------|--------------|-------|--------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------|--------------------|
|              |              |       |        | Tolerancias<br>+ 0,5<br>- 0,5         | Masa<br>8,7 kg | Materiales<br>Acero AISI 304    |                      |                    |
|              |              |       |        |                                       |                | Denominación<br><b>Rodillo</b>  | Escala<br><b>1:5</b> |                    |
|              |              |       |        | Dib.                                  | 15/01/18       |                                 |                      | Nombre<br>MARCO P. |
|              |              |       |        | Rev.                                  | 15/01/18       |                                 |                      | Ing. CHRISTIAN V.  |
|              |              |       |        | Dib.                                  | 15/01/18       | Ing. CHRISTIAN V.               |                      |                    |
|              |              |       |        | FIRMA / Empresa:<br><b>Marco Pozo</b> |                | Número del dibujo<br>UNT-ML-011 | Marca de registro    |                    |
| Edi-<br>ción | Modificación | Fecha | Nombre |                                       |                | Sustitución<br>1 de 1           |                      |                    |



|            |            |            |        |                      |                     |                   |             |
|------------|------------|------------|--------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------|
|            | Fecha      | Nombre     | Firmas | Entidad              | Título              | Fecha: 25/01/2018 | Núm: 1 de 1 |
| Dibujado   | 25/01/2018 | Marco Pozo |        | U. Técnica Del Norte | Circuito de control |                   |             |
| Comprobado |            |            |        |                      |                     |                   |             |