



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

TÍTULO DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
AUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE
ESCOBAS ECOLÓGICAS PARA LA
ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO DEL
MUNICIPIO DE QUITO”**

REALIZADO POR:

BENÍTEZ JEREZ JHOANNA BELÉN

DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

CODIRECTOR: ING. MELTON TAPIA

SANGOLIQÚÍ – ECUADOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. JOSÉ PÉREZ (DIRECTOR)

ING. MELTON TAPIA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN: Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE ESCOBAS ECOLÓGICAS PARA LA ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO DEL MUNICIPIO DE QUITO”, realizado por Jhoanna Belén Benítez Jerez, ha sido realizado en su totalidad y cumple normas estatutarias establecidas por la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército..

Sangolquí, Diciembre del 2014

ING. JOSÉ PÉREZ
DIRECTOR

ING. MELTON TAPIA
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

JHOANNA BELÉN BENÍTEZ JEREZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE ESCOBAS ECOLÓGICAS PARA LA ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO DEL MUNICIPIO DE QUITO”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando el derecho intelectual de terceros, conforme se encuentran en las citas que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Diciembre del 2014

JHOANNA BENÍTEZ J.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, JHOANNA BELÉN BENÍTEZ JEREZ

DECLARO QUE:

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE ESCOBAS ECOLÓGICAS PARA LA ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO DEL MUNICIPIO DE QUITO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Diciembre del 2014

JHOANNA BENÍTEZ J.

DEDICATORIA

A Dios, que me colma de bendiciones cada día que despierto.

A mis padres, **Julio** y **Alicia**, cuyo vivir me han mostrado que en el camino hacia la meta se necesita fortaleza, dedicación y amor para aceptar las derrotas y volver a empezar.

A mi hermano, **Alejandro**, el incondicional abrazo que me motiva a vivir intensamente mis logros y a no dejar de soñar.

A mis familiares y amigos del alma, quienes a lo largo de mi vida me han brindado apoyo, compañía y consejo en los momentos precisos.

Jhoanna Benítez J.

AGRADECIMIENTO

Con todo mi cariño y amor agradezco a mis padres y hermano, por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, por haber depositado abundante confianza en mí y darme la mano con consejos acertados a lo largo de mi vida universitaria.

A mis amigos y colegas, por todas las sonrisas y palabras de aliento, realmente fue un honor recorrer este camino junto a ustedes. Además un sincero agradecimiento a todos los docentes y personal administrativo de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas por su valiosa contribución en mi crecimiento profesional.

Jhoanna Benítez J.

INDICE

| | |
|--|------|
| CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO | i |
| LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO | ii |
| AUTORIZACIÓN | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| INDICE | |
| INDICE DE FIGURAS..... | ix |
| INDICE DE TABLAS | xi |
| INDICE DE CUADROS..... | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| | |
| CAPITULO I INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. TÍTULO | 1 |
| 1.2. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.4.1. GENERAL..... | 3 |
| 1.4.2. ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.5. ALCANCE DEL PROYECTO | 3 |
| 1.6. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS UTILIZADOS | 4 |
| 1.7. METODOLOGÍA DEL PROYECTO | 4 |
| | |
| CAPITULO II ESTUDIO DEL DISEÑO..... | 6 |
| 2.1. ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS | 6 |
| 2.2. CRITERIOS DE DISEÑO | 10 |
| 2.2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO..... | 10 |
| 2.2.2. ANÁLISIS FUNCIONAL | 12 |
| 2.2.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO | 17 |
| 2.3. DISEÑO SUSTENTABLE Y SOSTENIBLE | 17 |
| 2.4. SELECCIÓN DE MATERIALES | 19 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.4.1. | FASE I: CORTADORA DE LA BASE DE LA BOTELLA..... | 19 |
| 2.4.2. | FASE II: CORTADORA DE FIBRA PLÁSTICA DE LA BOTELLA. | 32 |
| 2.4.3. | FASE III: HORNEADO DE FIBRAS PLÁSTICAS..... | 38 |
| 2.4.4. | FASE IV: CORTADORA DE TIRAS PLÁSTICAS..... | 38 |
| 2.4.5. | FASE V: ENSAMBLAJE DE LA ESCOBA..... | 38 |
| 2.5. | DISEÑO DE MÁQUINAS | 38 |
| 2.5.1. | FASE I..... | 38 |
| 2.5.2. | FASE II. SUBPROCESO I..... | 48 |
| 2.5.3. | FASE II. SUBPROCESO II | 51 |
| 2.6. | SIMULACIÓN..... | 60 |
| 2.6.1. | ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO..... | 60 |
| 2.6.2. | DISEÑO ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y DE CONTROL..... | 63 |
| CAPÍTULO III CONSTRUCCIÓN..... | | 73 |
| 3.1. | SISTEMA MECÁNICO | 73 |
| 3.1.1. | PROCESOS DE FABRICACIÓN | 73 |
| 3.1.2. | DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN..... | 74 |
| 3.1.3. | INSTALACIÓN..... | 79 |
| 3.2. | SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO Y DE CONTROL..... | 79 |
| 3.2.1. | CIRCUITO IMPRESO DEL CONTROLADOR | 80 |
| 3.2.2. | PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR..... | 85 |
| CAPÍTULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS | | 86 |
| 4.1 | PARÁMETROS DEL PRODUCTO FINAL..... | 86 |
| 4.2 | PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO..... | 87 |
| 4.2.1 | PRUEBAS FASE I: CORTADORA DE LA BASE DE LA BOTELLA | 87 |
| 4.2.2 | PRUEBAS FASE II: CORTADORA DE FIBRA PLÁSTICA DE LA BOTELLA | 88 |
| 4.3 | PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO | 91 |
| 4.3.1 | PRUEBAS DE CONSUMO DE POTENCIA..... | 91 |
| 4.3.2 | PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN DE RED ELÉCTRICA... | 92 |

| | | |
|---|--|-----|
| 4.3.3 | PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN DE CIRCUITO DE CONTROL..... | 92 |
| 4.3.4 | PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN DE MOTORES..... | 92 |
| 4.4 | PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO..... | 92 |
| 4.5 | PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL..... | 93 |
| 4.6 | ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL..... | 93 |
| CAPITULO V ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO..... | | 97 |
| 5.1 | PRESUPUESTO GENERAL..... | 97 |
| 5.2 | ANÁLISIS ECONÓMICO..... | 99 |
| 5.2.1 | CÁLCULO DE INGRESOS..... | 99 |
| 5.2.2 | CÁLCULO DE EGRESOS..... | 101 |
| 5.2.3 | CÁLCULO DEL BENEFICIO NETO (BNt)..... | 102 |
| 5.3 | ANÁLISIS FINANCIERO..... | 102 |
| 5.3.1 | VALOR ACTUAL NETO (VAN)..... | 103 |
| 5.3.2 | TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)..... | 104 |
| 5.4 | ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL.. | 104 |
| 5.4.1 | IMPACTO SOCIAL..... | 105 |
| 5.4.2 | IMPACTO ECONÓMICO..... | 105 |
| 5.4.3 | IMPACTO AMBIENTAL..... | 105 |
| CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 106 |
| 6.1 | CONCLUSIONES..... | 106 |
| 6.2 | RECOMENDACIONES..... | 107 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 109 |
| ANEXOS..... | | 110 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Campaña Quito Verde..... | 2 |
| Figura 2. Diagrama de actividades generales..... | 5 |
| Figura 3. Escoba artesanal de plástico duro PE..... | 6 |
| Figura 4. Escoba ecológica de cerdas anchas..... | 7 |
| Figura 5. Escobas artesanales ecológicas de cerdas finas..... | 7 |
| Figura 6. Herramienta QFD o casa de la calidad..... | 8 |
| Figura 7. Medidas de botella. | 11 |
| Figura 8. Medidas de uso de la botella. | 11 |
| Figura 9. Medidas de la máquina de fibra plástica..... | 17 |
| Figura 10. Alimentación de botellas. | 19 |
| Figura 11. Sistema de Tensión de Alambre de Acero Inoxidable..... | 24 |
| Figura 12. Torquímetro..... | 27 |
| Figura 13. Gráfico de Torque vs Tiempo de Corte de la botella..... | 28 |
| Figura 14. Mecanismo de elevación de botellas cortadas..... | 30 |
| Figura 15. Sistema de elevación con poleas..... | 30 |
| Figura 16. Diagrama de fuerzas del sistema de elevación con poleas..... | 31 |
| Figura 17. Estructura de Fase II..... | 33 |
| Figura 18. Pieza de Fase II, Subproceso I..... | 33 |
| Figura 19. Sistema de traslación de la botella..... | 34 |
| Figura 20. Medidas rodamiento 608..... | 37 |
| Figura 21. Parte superior de la Tolva..... | 39 |
| Figura 22. Parte baja de la Tolva..... | 39 |
| Figura 23. Selección de botella por el disco tipo S..... | 40 |
| Figura 24. Fuerza del disco tipo S sobre la botella para corte..... | 40 |
| Figura 25. Posición de los discos de selección..... | 41 |
| Figura 26. Eje del disco de selección, distribución de cargas..... | 42 |
| Figura 27. Diagrama de fuerzas eje de discos - Primera Fase..... | 42 |
| Figura 28. Diagrama de fuerzas de corte - Primera Fase..... | 43 |
| Figura 29. Diagrama de corte y momento, plano x-z..... | 44 |
| Figura 30. Diagrama de corte y momento, plano x-y..... | 45 |
| Figura 31. Diagrama del sistema de corte..... | 47 |
| Figura 32. Plataforma de elevación..... | 48 |
| Figura 33. Plataforma Fase 2.1..... | 49 |
| Figura 34. Sistema de Corte..... | 50 |
| Figura 35. Bobina redonda..... | 51 |
| Figura 36. Bobina plana..... | 51 |
| Figura 37. Ejes intercambiables Fase 2.2..... | 52 |
| Figura 38. Sistema de bobinado de la fibra plástica..... | 53 |
| Figura 39. Fuerzas en la botella al momento del corte..... | 53 |
| Figura 40. Diagrama de fuerzas de una viga rectangular..... | 54 |
| Figura 41. Diagrama de fuerzas del bobinado de la fibra plástica..... | 56 |
| Figura 42. Mecanismos de acarreamiento..... | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 43. Soporte de rodamiento..... | 58 |
| Figura 44. Acarreador..... | 59 |
| Figura 45. Palanca del acarreador..... | 59 |
| Figura 46. Análisis de Esfuerzos Von Misses de la tolva..... | 60 |
| Figura 47. Análisis de Factor de Seguridad de la tolva..... | 61 |
| Figura 48. Análisis de Esfuerzos Von Misses del Eje Motor 24 VDC..... | 61 |
| Figura 49. Análisis de Factor de Seguridad del Eje del Motor 24 VDC..... | 62 |
| Figura 50. Conexión cambio de giro..... | 70 |
| Figura 51. Conexión Motor 24 VDC..... | 70 |
| Figura 52. Conexión Alambre de Acero Inoxidable..... | 70 |
| Figura 53. Máquina ensamblada..... | 79 |
| Figura 54. Caja de control de la máquina..... | 80 |
| Figura 55. Circuito impreso del controlador..... | 81 |
| Figura 56. Microcontrolador de montaje superficial Atxmega 192d3..... | 82 |
| Figura 57. Acondicionamiento del sensor fin de carrera..... | 83 |
| Figura 58. Acondicionamiento del sensor ultrasónico..... | 83 |
| Figura 59. Acondicionamiento de salidas a placa de relés..... | 84 |
| Figura 60. Pantalla Touch..... | 84 |
| Figura 61. Tapa de caja de control..... | 85 |
| Figura 62. Corte de base de la botella..... | 88 |
| Figura 63. Sistema de corte por alambre de acero inoxidable..... | 88 |
| Figura 64. Sistema de tensión del alambre..... | 88 |
| Figura 65. Cortador de fibra plástica..... | 89 |
| Figura 66. Bobinador de fibra plástica..... | 90 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. | |
| Tabla de propiedades y características de tereftalato – polietileno (PET)..... | 12 |
| Tabla 2. | |
| Tabla de condiciones para materia prima..... | 13 |
| Tabla 3. | |
| Propiedades mecánicas del acero AISI 1018 y adicionados con estaño..... | 20 |
| Tabla 4. | |
| Evaluación del Sistema de Corte..... | 21 |
| Tabla 5. | |
| Propiedades mecánicas y térmicas del alambre de acero inoxidable AISI 304..... | 22 |
| Tabla 6. | |
| Características del Transformador..... | 24 |
| Tabla 7. | |
| Propiedades del Acrílico (PMMA)..... | 25 |
| Tabla 8. | |
| Comparación de Aceros para Eje del disco de selección..... | 26 |
| Tabla 9. | |
| Resultados del torque de corte con alambre de Acero Inoxidable..... | 28 |
| Tabla 10. | |
| Motor con Caja de Reducción de Engranés..... | 29 |
| Tabla 11. | |
| Propiedades de Motor DC..... | 35 |
| Tabla 12. | |
| Propiedades Acero Inoxidable INOX 4034 (HRC 56)..... | 36 |
| Tabla 13. | |
| Propiedades Aleación de Aluminio 6063 T5..... | 36 |
| Tabla 14. | |
| Propiedades del motor DC con caja de reducción de engranes..... | 57 |
| Tabla 15. | |
| Propiedades Tarjeta del controlador Atxmega 192d3..... | 63 |
| Tabla 16. | |
| Funciones de los sensores..... | 64 |
| Tabla 17. | |
| Propiedades del sensor fin de carrera..... | 65 |
| Tabla 18. | |
| Propiedades del sensor ultrasónico..... | 66 |
| Tabla 19. | |
| Resumen de actuadores..... | 68 |
| Tabla 20. | |
| Propiedades Shield Relés..... | 69 |
| Tabla 21. | |
| Código de planos de la máquina..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 22. | |
| Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 1.1 – | |
| Sistema de corte de la base de la botella..... | 74 |
| Tabla 23. | |
| Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 1.2 – | |
| Sistema de elevación de la botella..... | 75 |
| Tabla 24. | |
| Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 2.1 – | |
| Sistema de traslación de la botella..... | 76 |
| Tabla 25. | |
| Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 2.2 – | |
| Sistema de corte de fibra plástica y bobinado..... | 77 |
| Tabla 26. | |
| Diagrama de Operaciones. Ensamble total..... | 78 |
| Tabla 27. | |
| Pruebas de velocidad al motor de bobinado de fibra plástica..... | 90 |
| Tabla 28. | |
| Pruebas de amperaje a la entrada de energización..... | 91 |
| Tabla 29. | |
| Análisis entre escobas..... | 93 |
| Tabla 30. | |
| Prueba de eficiencia de las escobas..... | 94 |
| Tabla 31. | |
| Materia prima utilizada en las escobas ecológicas de cerdas PET..... | 95 |
| Tabla 32. | |
| Tiempos de manufactura de las escobas ecológicas de cerdas PET..... | 96 |
| Tabla 33. | |
| Presupuesto general..... | 97 |
| Tabla 34. | |
| Producción anual de escobas ecológicas..... | 100 |
| Tabla 35. | |
| Cálculo de ingresos en 5 años..... | 100 |
| Tabla 36. | |
| Cálculo de egresos en 5 años..... | 101 |
| Tabla 37. | |
| Cálculo del beneficio neto..... | 102 |
| Tabla 38. | |
| Cálculo de VAN..... | 103 |
| Tabla 39. | |
| Cálculo de TIR..... | 104 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Diagrama de proceso de escoba ecológica..... | 13 |
| Cuadro 2. Proceso Fase I..... | 15 |
| Cuadro 3. Proceso Fase II, Subproceso I. | 15 |
| Cuadro 4. Proceso Fase II, Subproceso II..... | 16 |
| Cuadro 5. Proceso de Manufactura de la máquina | 73 |

RESUMEN

Actualmente existe un aumento de actividades vinculadas a la protección del medio ambiente, dando un prometedor futuro a proyectos de reciclaje de residuos sólidos en la ciudad de Quito. Las botellas elaboradas con plástico PET son un porcentaje considerable en el volumen de desechos urbanos y es necesario tratarlas para reducir, reciclar y reutilizar. El proyecto que se presenta a continuación, trata del diseño y construcción de una máquina manufacturera de escobas, reemplazando fibras de mijo o plástico rígido por plástico reciclado PET, además reducir el trabajo del operario al automatizar el proceso, y está dispuesto de seis capítulos. El primero se enfoca a aspectos generales como antecedentes, objetivos, justificación y alcance del proyecto. El capítulo Estudio del Diseño presenta la selección de alternativas entre tres tipos de escobas y se basa en los requerimientos por parte de los barrenderos de la ciudad, y a continuación se muestra el diseño mecánico y electrónico de los procesos y subprocesos de la máquina. El capítulo Construcción muestra los procesos de fabricación, ensamblaje de piezas, la implementación de los elementos electrónicos y la programación de procesos de la máquina. La verificación del funcionamiento parcial y total de la máquina está descrito en el capítulo Pruebas y Resultados, y el balance de costos con su análisis de costo - beneficio corresponde al capítulo Análisis Económico y Financiero. Finalmente el trabajo muestra las conclusiones y recomendaciones en base a la investigación y procedimiento realizado en la máquina.

PALABRAS CLAVES:

- **MANUFACTURA**
- **PET**
- **RECICLAJE**
- **ESCOBA**
- **PROCESO.**

SUMMARY

Actually there is an increase in activities related to environmental protection, giving a promising future projects recycling of solid waste in the city of Quito. The PET plastic bottles are a considerable percentage in the volume of urban waste and they need to be treated to reduce, recycle and reuse. The project presented below, is the design and construction of a manufacturing machine brooms, replacing millet fibers or rigid plastic with recycled plastic PET, also reduce the operator's work to automate the process. This paper is arranged in six chapters. The first focuses on general aspects such as background, objectives, rationale and scope of the project. The Study of Design chapter presents the selection of alternatives between three types of brooms and based on the requirements by the city sweepers, and then the mechanical and electronic design processes and threads of the machine is shown. The Construction chapter shows manufacturing processes, assembly parts, implementation of electronics, and programming processes of the machine. Verification of partial and total machine operation is described in the chapter Tests and Results, and the balance of costs with its analysis of cost - benefit is on chapter Economic and Financial Analysis. Finally, the paper shows the conclusions and recommendations based on research and procedure performed on the machine.

KEYWORDS:

- **MANUFACTURING**
- **PET**
- **RECYCLING**
- **BROOM**
- **PROCESS.**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. TÍTULO

Diseño y construcción de una máquina automática para la fabricación de escobas ecológicas para la Administración Zonal Eloy Alfaro del Municipio de Quito.

1.2. ANTECEDENTES

En el año 2011, se implementa el Proyecto Quito Patrimonio Sano, como resultado de una alianza estratégica entre la Secretaria de Ambiente, EMASEO EP, Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP) y Administración Zonal Manuela Sáenz, con el objetivo de fortalecer el proyecto “Recolección Selectiva de Material Reciclable e Inclusión Social” y propiciar un adecuado sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos que se generan en el Centro Histórico de Quito (Empresa Pública Metropolitana de Aseo, 2011).

Con el resultado obtenido en este sector, en el 2013 se ha visto la necesidad de implementar la fase II del proyecto. Esta vez en compañía del Departamento de Medio Ambiente de la Administración Zonal Eloy Alfaro Sur buscan el bienestar y la calidad de vida a través de la educación ambiental del reciclaje sustentable con el fin de reducir los desechos sólidos y transformarlos en materiales sustentables para reducir los espacios de los rellenos sanitarios y contribuir a solucionar los problemas de contaminación ambiental.



Figura 1. Campaña Quito Verde.

Fuente: (EMASEO, 2011)

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los problemas de aseo en el sector sur, al igual que en el resto del Distrito Metropolitano Quito, radican en la falta de apropiación y cuidado del espacio público por parte de los ciudadanos y visitantes, provocando una constante presencia de residuos sólidos urbanos en calles, avenidas, parques y plazas, para lo cual el proyecto “Recolección Selectiva e Inserción Social Fase II” realiza campañas de educación ciudadana en temática ambiental, enfocada en las buenas prácticas ciudadanas y reciclaje, para reducir los problemas de aseo y cuidado del medio ambiente, además recolecta el material reciclado por los minadores del sector pero este material no disponía de un proceso propio de reutilización.

Considerando lo anteriormente expuesto, surgió la necesidad de ejecutar un proyecto de reutilización de materiales reciclados como botellas plásticas no retornables, con el fin de minimizar el impacto ambiental de los residuos sólidos en el sector y promover el mejoramiento de la calidad de vida de los minadores y sus familias.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

Diseñar y construir una máquina automática para la fabricación de escobas ecológicas para la Administración Zonal Eloy Alfaro del Municipio de Quito.

1.4.2. ESPECÍFICOS

- Aplicar la metodología basada en desarrollo sustentable y sostenible¹ para las escobas ecológicas.
- Realizar el estudio de reciclaje para la materia prima según la norma NTE INEN 2634 aplicada en Ecuador.
- Analizar los subsistemas que conforman el equipo y seleccionar la mejor alternativa.
- Contribuir a la sociedad con el procesamiento y producción de escobas ecológicas para ayudar a la reconstrucción del medio ambiente.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

Construir un prototipo de una máquina manufacturera de escobas, reemplazando fibras de mijo o plástico rígido por plástico reciclado, las cuales serán de botellas PET de gaseosa.

Realizar la automatización de la máquina para simplificar el trabajo del operario al momento de elaborar la escoba ecológica.

¹ Desarrollo sustentable y sostenible: “*Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades*”. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987) Informe: “*Nuestro Futuro Común – Informe Brundtland*.”

1.6. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS UTILIZADOS

El proyecto cuenta con cinco fases de manufactura de cortado y ensamblaje de botellas plásticas para formar una escoba de similares características a las usadas actualmente.

El funcionamiento de estas fases es de forma automática y manual, sin dejar de lado la seguridad para el operario al manipular el equipo.

Para la fabricación de los mecanismos se seleccionó materiales mediante un diseño mecánico, sustentable y sostenible para aumentar características ecológicas al proyecto.

La máquina puede ser controlada por el operario a través de un panel de control general de forma automática con ayuda del microcontrolador.

Más adelante se explica con más detalle estos procedimientos.

1.7. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Este proyecto se desarrolló con Metodología Científica para el desarrollo de conocimiento en ciencia y tecnología. El proyecto también fue guiado según la “Metodología en Proyectos Mecatrónicos Industriales” indicada por José Emilio Vargas Soto (2005) del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial de México, donde hace referencia a métodos útiles que ha desarrollado a lo largo de su vida profesional en innovación de proyectos en maquinaria industrial. Se muestra la organización de actividades asociadas en la integración de tecnologías, como Sistemas Mecatrónicos desarrollados para diversas aplicaciones de tipo industrial.

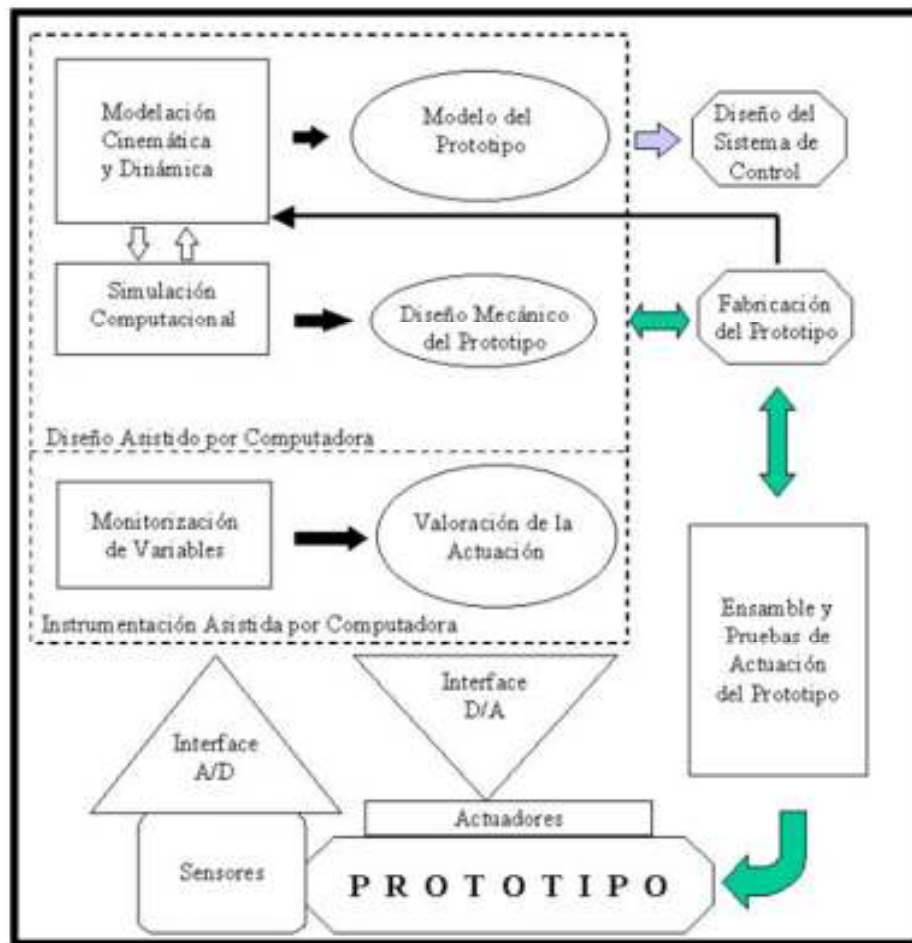


Figura 2. Diagrama de actividades generales.

Fuente: (Vargas, 2005)

En la manufactura de escobas se tiene varias opciones de forma, tamaño y proceso, los cuales pueden ser comparados en un diseño concurrente de alternativas.

Diseño Concurrente es el enfoque sistemático de gestión integrada de los productos y sus procesos incluyendo la fabricación y el apoyo, está destinado a hacer que el desarrollador desde el principio considere todos los elementos del ciclo de vida del producto desde el concepto hasta la eliminación, incluida la calidad, requisitos de costos, horarios y el usuario (Menon & Syan, 1994).

Esta metodología se basa en varias técnicas formales para desarrollar las etapas del diseño, la utilizada es QFD (despliegue de la función calidad) o también llamado Casa de la calidad.

CAPITULO II

ESTUDIO DEL DISEÑO

2.1. ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En el presente trabajo se analizó el diseño de manufactura de tres escobas artesanales basándose en las características de las escobas que usan los barrenderos de las calles en la ciudad de Quito:

- *Escoba artesanal de plástico duro PE.*- Este producto es usado actualmente por los barrenderos, está elaborado artesanalmente con cerdas plásticas, aproximadamente 480 fibras de plástico duro con área transversal de 1 por 2 mm, y sujetadas por alambre.

En la figura se muestran las medidas.



Figura 3. Escoba artesanal de plástico duro PE.

Fuente: (EMOP, 2013)

- *Escoba artesanal ecológica de cerdas anchas.*- Para la fabricación de esta escoba es necesario 5 botellas PET de 3 litros, tiene aproximadamente 180 fibras de plástico suave con área de 10 por 1 mm, sus cerdas son anchas por lo que su área de barrido es corto.

En la figura se muestran las medidas.



Figura 4. Escoba ecológica de cerdas anchas.

- *Escoba artesanal ecológica de cerdas finas.*- Esta escoba es manufacturada de tal forma que se podría modificar el número de fibras y la forma, la materia prima se obtiene de cualquier tamaño de botella PET cortada en fibra plástica, dando como resultado dos tipos de escobas.



Figura 5. Escobas artesanales ecológicas de cerdas finas.

- Tipo campana.*- Esta escoba necesita aproximadamente 1250 fibras de 40 cm de plástico PET, sin embargo el ancho y largo de la escoba puede ser modificado.

b) *Tipo cepillo.*- Para la fabricación de esta escoba es necesario aproximadamente 400 fibras de 30 cm de plástico PET, igualmente el ancho y largo de la escoba puede ser modificado.

Para los dos tipos de escobas es necesario tratar a la fibra plástica para mejorar las cerdas y el área de barrido.

Para asegurar calidad del producto se utilizó la herramienta QFD (despliegue de la función calidad) para seleccionar una de estas escobas. El objetivo de este método es traducir requisitos de los usuarios en los requisitos técnicos apropiados para la fabricación de la escoba.

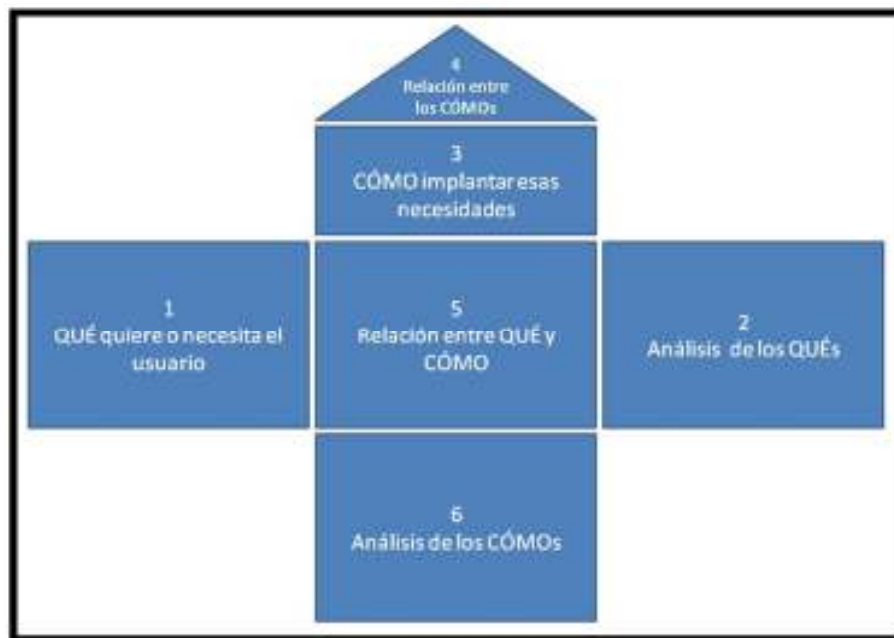


Figura 6. Herramienta QFD o casa de la calidad.

Fuente: (Menon & Syan, 1994)

Inicialmente se identificó los QUÉ (características que quiere o necesita el usuario de la escoba a ser fabricada). Para analizar estas necesidades se organizó encuestas a 50 barrenderos de la Ciudad de Quito. El resultado da a las siguientes características como principales, las cuales serán calificadas en un rango de 1 (menos importante) a 5 (más importante):

- Liviana (5): que sea ligera.
- Durable (5): que no se rompa ni deforme, con material resistente.
- Ergonómica (4): que sea alta y cómoda para barrer.
- Ancha (3): que tenga una gran área de barrido.
- Barata (3): que tenga un costo moderado.
- Rápida (2): que barra más en un tiempo definido.
- Ecológica (2): que ayude al medio ambiente.
- Mantenible (1): que necesite poco mantenimiento.

A continuación se identificó los CÓMO (soluciones de ingeniería para las necesidades del usuario que deben ser cuantificadas).

- Densidad del Material (930 – 1400 kg/m³)
- Resistencia del Material (1.4 – 5.5 MPa.m^{1/2})
- Longitud de mango (1.0 – 1.5 m)
- Ancho de la escoba (18 – 25 cm)
- Número de fibras (160 – 1250 fibras)
- Número de botellas usadas (5 – 40 botellas)
- Costos de maquinaria aproximado (500 – 2500 usd)
- Costos de material (0.50 – 2.00 usd por kg)
- Rendimiento de la escoba (2.5 – 3.5 km por día)
- Facilidad de manufactura (0 – 10)
- Porcentaje de materiales reciclados (0 – 100 %)

Con estos datos, se completa el análisis del QFD en el cuadro mostrado en el Anexo A.1. En la gráfica se muestra la comparación de las tres alternativas presentadas, en la sección vertical se puede comparar según requerimientos del usuario, y en la horizontal según el criterio de ingeniería para cumplir dichos requerimientos.

Por consiguiente para lograr los objetivos del proyecto y satisfacer al usuario, la mejor opción es la escoba artesanal de cerdas finas en sus dos tipos, tomando en

cuenta las características de durabilidad, ancho de la escoba y ecológica que dieron como resultado en el análisis de QFD.

2.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño de la máquina es preciso tener lineamientos a seguir en el desarrollo del proceso, con la finalidad de generar pautas acordes con los objetivos.

Los tres criterios o lineamientos básicos son basados en:

- Persona (Referido a los operarios de la máquina).
- Conducta del proceso.
- Condiciones de operación.

Las personas responsables del funcionamiento de la máquina son recicladores de botellas plásticas de la zona, llamados Minadores, ellos son los proveedores de la materia prima cuando entra al proceso.

El diseño de la máquina obedece a criterios de seguridad para el operario, como por ejemplo en áreas de alta temperatura, en el giro de motores y en la sección de corte en frío.

El lugar de operación es amplio y se encuentra bajo una estructura con techo de metal, donde los operarios hacen el tratamiento de materiales reciclados.

2.2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Lugar.- El lugar donde fue instalada es un hangar de estructura con paredes de bloque y reja, y techo metálico de dimensiones 30 por 20 m y 3 m de altura. La tensión eléctrica del lugar es 110 V.

Materia Prima.- La materia prima son botellas de plástico PET de 3 litros de capacidad de cualquier marca de gaseosa, se pudo trabajar con el siguiente estándar porque la diferencia entre marcas es mínima.



Figura 7. Medidas de botella.

El proceso utiliza 210 mm de superficie lisa de la botella, y desecha la base y la boca de 50 mm cada una. La figura muestra las medidas.



Figura 8. Medidas de uso de la botella.

Las propiedades y características del plástico PET para construcción de escobas son:

Tabla 1.
Tabla de propiedades y características de tereftalato – polietileno (PET).

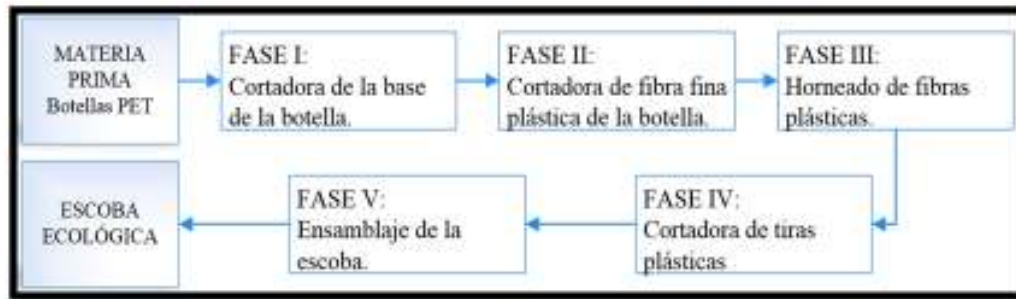
| Propiedades | |
|--|--|
| Densidad | 1.34 g/cm ³ |
| Resistencia a la tracción | 650 kg/cm ² (63.764 N/mm ²) |
| Alargamiento a la rotura | 120 % |
| Coefficiente de rozamiento | 0.09 |
| Temperatura de distorsión, 4.6 Kg | 120 °C |
| Características | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia al desgaste | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Alta rigidez y dureza | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Buenas propiedades de deslizamiento | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Baja absorción de humedad | |

Fuente: (Cambridge Engineering Selector, 2009)

2.2.2. ANÁLISIS FUNCIONAL

El proceso se dividió en cinco fases. Las tres primeras fases se enfocan en el tratamiento de la materia prima y las siguientes en la fabricación de la escoba.

A continuación se muestra el diagrama de proceso de la máquina.




Cuadro 1. Diagrama de proceso de escoba ecológica.

2.2.2.1. MATERIA PRIMA



Para iniciar el proceso, el operario debe evaluar la materia prima de la siguiente forma:

Tabla 2.
Tabla de condiciones para materia prima.

| No | Procedimiento | Fotografías |
|----|--|--|
| 1 | Evaluar las condiciones de la botella recolectada. |  |
| 2 | Si la botella está aplastada o deformada se debe regresar en lo mejor posible a su forma original. |  |

Continua



| | |
|---|---|
| <p>3</p> <p>Si la botella se encuentra con etiqueta se debe quitarla procurando no dejar sobrantes.</p> |  |
| <p>4</p> <p>Si la botella está sucia de gaseosa se debe solo lavarla con agua y dejarla secar bien.</p> <p>Si la botella está sucia con sobrantes de basura se debe lavarla con jabón y agua, enjuagarla y dejarla secar.</p> |  |

La botella será retirada del proceso si ésta no cumple con las condiciones.

2.2.2.2. FASE I: CORTADORA DE LA BASE DE LA BOTELLA.

Este procedimiento inicia con un contenedor de botellas, este surte una por una las botellas para que sean cortadas, luego del corte las botellas pasaran a un punto de revisión para evaluar la limpieza de estas. Si las botellas no cumplen las condiciones son retiradas del proceso caso contrario se da paso a la fase II.



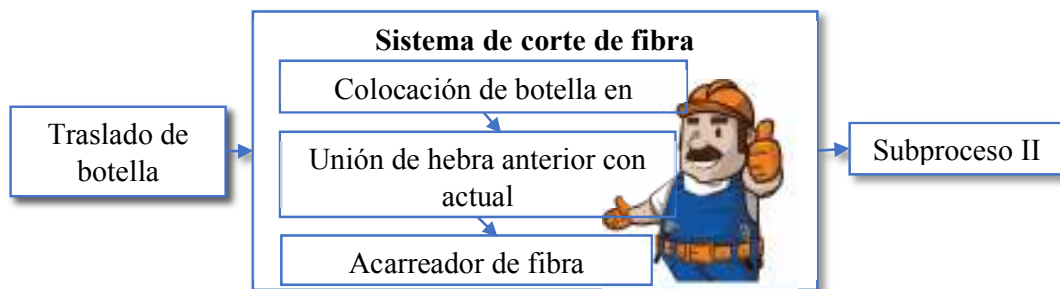
Cuadro 2. Proceso Fase I.

2.2.2.3. FASE II: CORTADORA DE FIBRA PLÁSTICA DE LA BOTELLA.

Esta fase se divide en dos subprocesos que son corte y bobinado de la fibra plástica.

2.2.2.3.1. SUBPROCESO I: CORTE DE LA FIBRA PLÁSTICA.

La botella es trasladada a la sección de corte donde un operario toma la botella y la coloca correctamente en la cuchilla dando inicio al corte de la fibra, luego une los extremos de la fibra anterior, la que se encuentra bobinada, con la actual y pasa la hebra por el acarreador y sigue el Subproceso II.

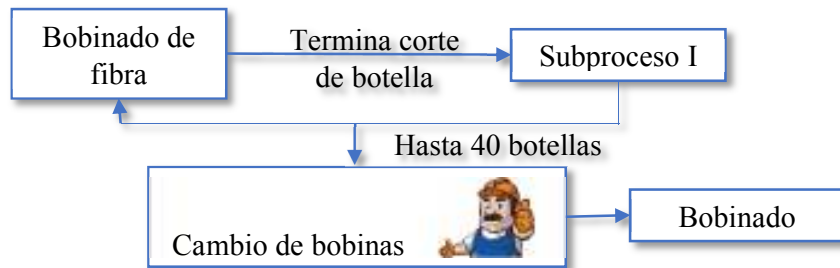


Cuadro 3. Proceso Fase II, Subproceso I.

2.2.2.3.2. SUBPROCESO II: BOBINADO DE FIBRA PLÁSTICA.

Cuando el operario termina el subproceso I y da inicio al bobinado de la fibra, el motor arranca tirando la fibra y enrollándola en una bobina redonda, al terminar el corte de la botella el motor se detiene y se repite el Subproceso I.

Cuando la bobina redonda está cargada de 40 botellas promedio, el operario retira ésta del eje y coloca la bobina plana, finalmente coloca la bobina redonda cargada en los ejes sin conexión con el motor, y comienza a trasladar la fibra.



Cuadro 4. Proceso Fase II, Subproceso II.

Por motivos económicos, las fases III, IV, V y IV es de orden artesanal para obtener el producto final.

2.2.2.4. FASE III: HORNEADO DE FIBRAS PLÁSTICAS.

Para que la fibra plástica tome forma recta, como las cerdas de una escoba, es necesario calentarlas en la posición de la bobina plana.

Al terminar el bobinado de la fibra plástica, se retira la bobina del eje y es llevada a un horno especial para el tratamiento térmico.

2.2.2.5. FASE IV: CORTADORA DE TIRAS PLÁSTICAS.

Terminado el tratamiento térmico se retira la bobina del horno y se lleva al área de corte con una guillotina se corta la fibra en tiras de 400 mm de largo.

2.2.2.6. FASE V: ENSAMBLAJE DE LA ESCOBA.

El operario tomará las fibras del depósito y ensamblará la escoba de las dos formas planteadas.

2.2.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO

La máquina mide: 1.2 m por 0.85 m de área, y 1.6 m de altura.

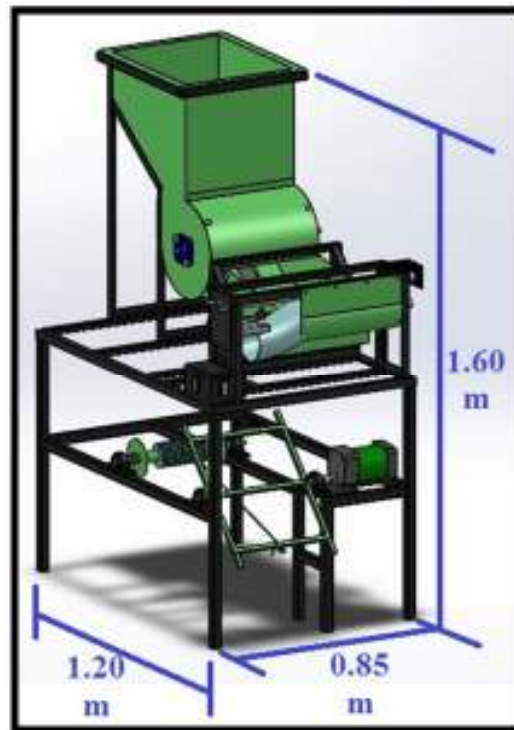


Figura 9. Medidas de la máquina de fibra plástica.

2.3. DISEÑO SUSTENTABLE Y SOSTENIBLE

Este proyecto es un compromiso para trabajar de manera responsable con el medio ambiente, teniendo en cuenta la preservación de la biodiversidad del Ecuador.

Las principales prácticas de Responsabilidad Ambiental² incluyen:

- Optimización del uso de los recursos naturales, preservación de la biodiversidad.
- El uso de tecnologías más limpias, trabajar para prevenir los impactos ambientales de la máquina.

² “Environmental Responsibility”, Sustainability of ODEBRECHT, Brazil 2013.

- Reducción, reciclaje y reutilización de los residuos y materiales, remediar posibles pasivos ambientales.
- La eco-eficiencia (producir más con menos).
- Agenda de Cambio Climático - Gestión y Control de Gases de Efecto Invernadero.
- Promover programas de monitoreo ambiental como aplicables a las diferentes actividades.

El proyecto usa botellas plásticas como sistema de reducir, reciclar y reusar, a causa de la falta de tratamiento de basura no descomponible, como es el caso de botellas de gaseosa en la ciudad de Quito.

Según estudios realizados por la empresa “Ipsa Group” en el 2010 asegura que solo en Quito el 57,3% de los hogares consumen gaseosas con regularidad, teniendo preferencia por botellas no retornables, según INEC en el mismo año hubo 763.719 viviendas en Quito, entonces 437.610 hogares consumen una botella de gaseosa regularmente, teniendo como resultado aproximadamente 437.610 botellas plásticas en la ciudad que necesitan ser tratadas para prevenir impactos ambientales.

Además para el diseño de la máquina se busca seleccionar materiales con características de sustentabilidad para que siga un ciclo de vida y también ser antecedente para ayudar a difundir conocimientos en el área del medio ambiente como un elemento esencial para el diálogo y la toma de decisiones orientadas hacia el desarrollo sostenible en Ecuador.

2.4. SELECCIÓN DE MATERIALES

2.4.1. FASE I: CORTADORA DE LA BASE DE LA BOTELLA.

2.4.1.1. ALMACENADOR DE BOTELLAS

Se dispone de una tolva de alimentación para 10 botellas de 3 litros.

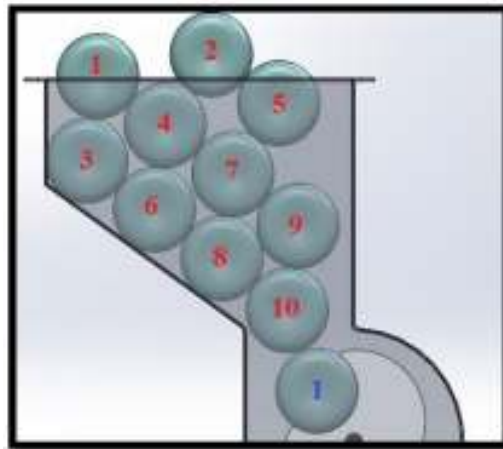


Figura 10. Alimentación de botellas.

La tolva está construida con planchas de tol negro de 1.5 mm de espesor, este material es maleable, resistente y de bajo costo. El tol negro es una lámina de acero AISI 1018 laminada en frío de bajo carbono con ambas partes recubiertas con estaño puro comercial que funciona principalmente para evitar la corrosión y el óxido.

Tabla 3.
Propiedades mecánicas del acero AISI 1018 y adicionados con estaño.

| Propiedad | Valor |
|---------------------------|--|
| Resistencia a la tracción | 460.9 MPa |
| Resistencia a la fluencia | 261.4 MPa |
| Dureza | 78.6 HB |
| Fotografía |  |

Fuente: (Norguez, Balderas, Robert, Ramirez, & Salas, 2002)

2.4.1.2. SISTEMA DE CORTE DE BOTELLAS

Se evaluó dos tipos de corte, el corte en frío con una sierra circular y corte en caliente con alambre de acero inoxidable.

En la siguiente tabla se puede observar la comparación de los dos sistemas de corte.

Tabla 4.
Evaluación del Sistema de Corte


| Característica | Corte en Frío Sierra circular | Corte en Caliente Alambre de Acero Inoxidable |
|------------------------------------|--|--|
| Precisión de corte | Media | Alta |
| Disponibilidad de espacio | Alto | Bajo |
| Peligro | Alto | Medio |
| Dificultad de manufactura | Alto | Bajo |
| Dificultad de mantenimiento | Alto | Bajo |
| Precio | Alto | Bajo |

Se escogió el sistema de corte en caliente con alambre de acero inoxidable una vez hecha la evaluación.

- **Alambre de acero inoxidable**

La siguiente tabla muestra las propiedades mecánicas y térmicas del alambre de acero inoxidable.

Tabla 5.
Propiedades mecánicas y térmicas del alambre de acero inoxidable AISI 304

| Propiedad | Valor |
|---|--|
| Composición Química | Cr 17-20%, Mn < 2%, Ni 8-11%, C < 800, Fe resto |
| Diámetro | 0.5 |
| Capacidad de resistencia eléctrica a 20°C | 0.72 $\mu\Omega\text{m}$ |
| Conductividad térmica | 16 W/m.K |
| Temperatura máxima de operación | 898°C |
| Fotografía |  |

Fuente: (Irestal Group, 2014)

Las principales características del alambre de acero inoxidable son: soportar altas temperaturas, resistir la corrosión y con ayuda de corriente eléctrica producir calor.

- **Transformador**

La corriente que suministra el transformador es calculada mediante la resistencia eléctrica del cable de acero inoxidable, aplicando las siguientes fórmulas.

$$A = \pi \cdot r^2$$

Donde A es el área transversal del alambre.

El radio r se obtuvo de la mitad del diámetro del alambre.

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0.5 \text{ mm}}{2} = 0.25 \text{ mm}$$

Entonces:

$$A = \pi \cdot (0.25 \text{ mm})^2$$

$$A = 0.1964 \text{ mm}^2$$

Para hallar la resistencia del alambre se aplicó la siguiente fórmula.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Donde ρ es la capacidad de resistencia eléctrica a 20°C.

L es la longitud.

A es el área transversal del alambre.

Entonces:

$$R = 0.72 \mu\Omega \cdot m \cdot \frac{300 \text{ mm}}{0.1964 \text{ mm}^2} \cdot \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \cdot \frac{1 \Omega}{10^6 \mu\Omega}$$

$$R = 1.0999 \Omega$$

Como se muestra, la resistencia es baja para cualquier transformador por lo que el alambre se conectó a una resistencia de potencia de 3Ω de $50W$ para disipar el calor producido, de esta forma usando un voltaje alterno de $12V$ se obtiene la corriente.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12 \text{ V}}{1.0999 + 3 \Omega}$$

$$I = 2.9269 \text{ Amp}$$

Por los cálculos anteriores, el transformador empleado soporta una corriente de 3A con las siguientes características.

Tabla 6.
Características del Transformador.

| Característica | Valor |
|----------------------|--|
| Voltaje entrada | 110 V alterna |
| Voltaje salida | 12 V alterna |
| Corriente de trabajo | 3 A |
| Fotografía |  |

- **Tensor de alambre de acero inoxidable**

Al utilizar alambre como resistencia térmica, se debe tener en cuenta la dilatación de éste cuando se calienta. Para resolver este problema se instaló un sistema tensor similar al de las cuerdas de una guitarra que consta de un tornillo sin fin y un piñón conectados a una varilla que envuelve el alambre para tensarlo.



Figura 11. Sistema de Tensión de Alambre de Acero Inoxidable.

Fuente: (Casa Brasil, 2014)

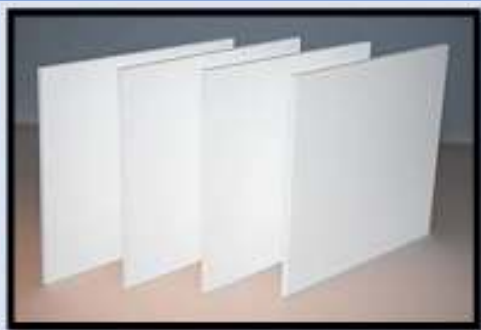
El sistema de corte es fijo, por lo que la botella debe moverse a través del alambre mediante un motor conectado a un eje y este a la vez a dos discos.

- **Discos del sistema de corte**

Para la fabricación de los discos se ha seleccionado acrílico (PMMA)³ de 9 mm por ser un material fácil de maquinar, de alta durabilidad y liviano. Se descartaron materiales como fibra de carbono por su alto costo y dificultad de obtención, y acero 1020 debido a que este material es pesado.

En la siguiente tabla se presentan las propiedades mecánicas del acrílico.

Tabla 7.
Propiedades del Acrílico (PMMA).

| Propiedad | Valor |
|------------------------------------|--|
| Resistencia a la compresión | 131 Mpa |
| Resistencia a la tracción | 79.6 MPa |
| Temperatura máxima | 41.9 – 56.9 °C |
| Aislador eléctrico | bueno |
| Fotografía |  |

Fuente: (Empresa LUMETAL PLASTIC, 2014)

³ Metacrilato de Polimetilo

- **Eje del sistema de corte**

Para el eje encargado de guiar el movimiento rotatorio de las botellas se analizó las siguientes características:

- Debe ser capaz de girar constantemente para que el corte de cada botella sea fino y uniforme.
- Rígido, bajo coeficiente de dilatación y fácil de maquinar.

Tomando en cuenta las anteriores características y viendo la disponibilidad en el mercado, las alternativas de materiales son acero blando de transmisión AISI 1020 o 1045.

En la tabla se realiza una comparación entre AISI 1020 y 1045.

Tabla 8.
Comparación de Aceros para Eje del disco de selección.

| | Acero AISI 1020 | Acero AISI 1045 |
|---------------------|--|--|
| Tracción | 440 Mpa | 630 MPa |
| Fluencia | 370 Mpa | 530 MPa |
| Elongación | 15 % | 12 % |
| Dureza | 126 HB | 179 HB |
| Densidad | 7.87 g/cm ³ | 7.87 g/cm ³ |
| Aplicaciones | Se utiliza en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. | Los usos principales para este acero son piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria y remaches. |

Fuente: (Aceros DIPAC MANTA y Aceros BÖHLER, 2014)

El acero 1020 presenta las propiedades mecánicas excelentes para el mecanismo, siendo a su vez el más comercial, éste tipo de acero es de transmisión y bueno para resistir cargas continuas.

- **Motor del sistema de corte**

A razón de la dificultad para hallar la fuerza de corte del plástico PET con alambre caliente se calculó el torque y la potencia del motor de forma experimental.

Inicialmente se basó el experimento en la carga que va a mover el motor en el momento más crítico como el corte de las botellas con alambre de acero inoxidable, seguido se construyó la estructura, la tolva y el sistema de corte.

El objetivo del experimento es hallar la potencia necesaria del motor, para lo cual se utilizó un torquímetro de rango 0.2 a 1.2 kgf.m y un cronómetro para medir el tiempo que toma dicho torque en cortar la botella, se escogieron 10 botellas y se realizaron las pruebas.



Figura 12. Torquímetro

El rango establecido para el torque fue de 20 a 25 kgf.cm, en la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos en las 10 pruebas.

Tabla 9.
Resultados del torque de corte con alambre de Acero Inoxidable.

| No. Botella | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Torque (Kgf.cm) | 20 | 21 | 21 | 22 | 22 | 23 | 23 | 24 | 24 | 25 |
| Tiempo de corte (s) | 6 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |

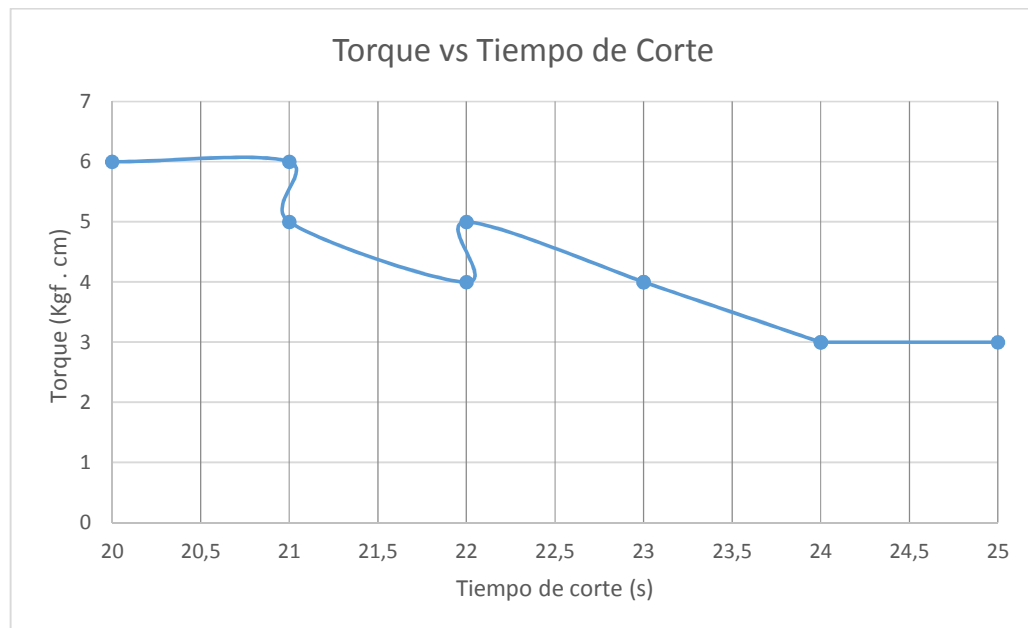


Figura 13. Gráfico de Torque vs Tiempo de Corte de la botella.

La gráfica anterior nos muestra la relación entre el torque necesario para cortar la botella y el tiempo que tarda el corte, resultando que la fuerza necesaria bordea los 24 Kgf.cm para cortar la botella en el mejor tiempo, para lo que se ha empleado un motor con caja reductora de engranes con las siguientes características.

Tabla 10.
Motor con Caja de Reducción de Engranajes

| Propiedad | Valor |
|------------------|--|
| Rango de Voltaje | 5 – 24 V continua |
| Torque nominal | 24 Kg.cm |
| Velocidad | 60 rpm |
| Fotografía |  |

Fuente: (Empresa TecMicro, 2014)

2.4.1.3. PUNTO DE REVISIÓN

En este punto el operario puede evaluar por segunda oportunidad el estado de la botella, si se encuentra sucia o deforme esta debe ser retirada pero puede ser reingresada si el operario puede limpiarla o restaurarla. La botella cortada se desliza por una rampa, entra a un sistema de elevación y pasa a la siguiente fase.

En la rampa hay disponibilidad de dos botellas cortadas, si alguna no cumple las condiciones establecidas el operario la desecha, si la botella retirada tiene solución a ser arreglada podría regresar al proceso y se colocaría en la rampa nuevamente.

El sistema de elevación consta de una plataforma que sube la botella con mecanismo de poleas.

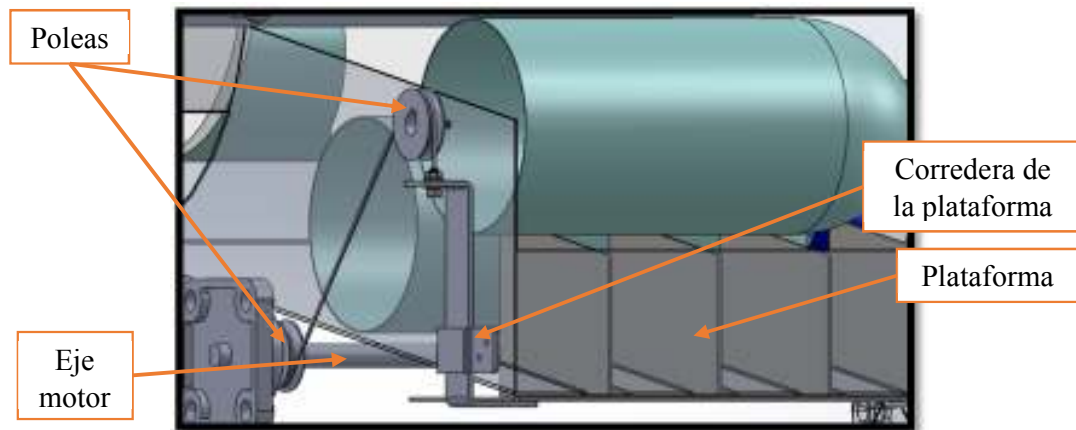


Figura 14. Mecanismo de elevación de botellas cortadas.

La plataforma tiene dos azas de cada lado y se unen a correderas para guiar la traslación de las botellas, el final de la aza tiene una tuerca y perno para enganchar el hilo de la polea, este recorre la polea superior y se engancha en la polea inferior, con ayuda de un motor DC unido al eje de las poleas inferiores, finalmente el hilo se envuelve en éstas para provocar la elevación de la plataforma.

El material seleccionado para la plataforma, correderas, poleas, eje y accesorios es acero 1020 (tabla 2.8.).

Para seleccionar el motor realizamos el análisis del torque necesario en el sistema de poleas:

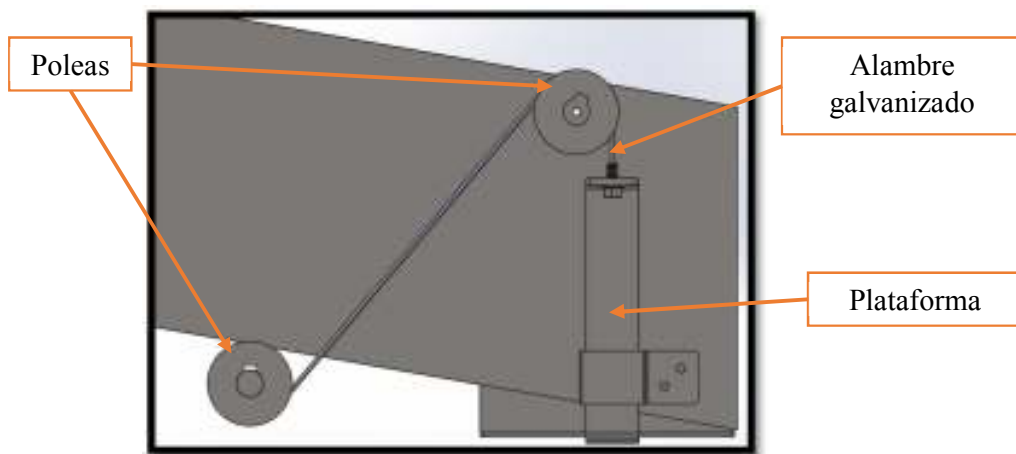


Figura 15. Sistema de elevación con poleas.

Las poleas se han diseñado de una pulgada (25.4 mm) de diámetro y la plataforma tiene un peso aproximado de 1.5 kg, con los anteriores datos y el diagrama de fuerzas conseguimos el torque que debe tener el motor para elevar la plataforma.

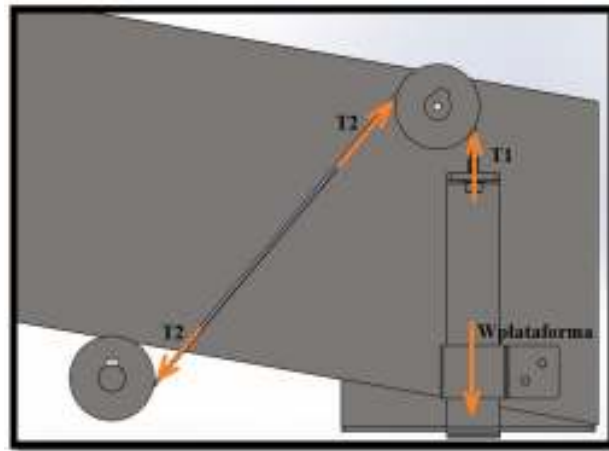


Figura 16. Diagrama de fuerzas del sistema de elevación con poleas.

El peso de la plataforma se divide para las dos azas, entonces la tensión del cable es:

$$T_{Cable} = \frac{W_{plataforma}}{2}$$

$$T_{Cable} = \frac{1.5 \text{ kg}}{2} = 0.75 \text{ kg}$$

Analizando sumatoria de fuerzas en y de la plataforma, se tiene:

$$\sum F_y = 0$$

$$T_1 - W_{plataforma} = 0$$

$$T_1 = W_{plataforma}$$

$$T_1 = 0.75 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 10.56 \text{ N}$$

Según el diagrama de fuerzas y la teoría sobre poleas se puede decir:

$$T_2 = T_1$$

$$T_2 = 10.56 N$$

Entonces el torque que necesita transmitir el motor mediante el eje es:

$$\tau = \text{radio} \cdot T_2$$

$$\tau = 1.27 \text{ cm} \cdot 10.56 N$$

$$\tau = 13.41 N \cdot \text{cm}$$

Lo que un motor DC con caja de reducción de engranes (tabla 2.9) es suficiente para este sistema.

2.4.2. FASE II: CORTADORA DE FIBRA PLÁSTICA DE LA BOTELLA.

2.4.2.1. SUBPROCESO I: CORTE DE LA FIBRA PLÁSTICA.

Este proceso se inicia al detectar una botella y la traslada al sistema de corte. Para sostener y fijar este subproceso se manufacturó una estructura metálica AISI 1020 (tabla 2.8.) cual consiste en ángulos estructurales de 30 mm con espesor de 3 mm.



Figura 17. Estructura de Fase II.

A continuación se muestra la selección de materiales del sistema de traslado y del sistema de corte de fibra plástica.

2.4.2.1.1. SISTEMA DE TRASLADO DE LA BOTELLA.

La botella se traslada 130 mm para ayudar al operario en el momento de cogerla. Inicialmente la botella se desliza por una rampa de forma cóncava elaborada de plancha de acero AISI 1018 (tabla 2.3.) ya que es maleable y apto para soldaduras. Esta se une a la tolva de la Fase I.

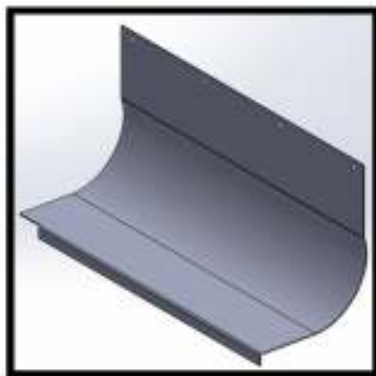


Figura 18. Pieza de Fase II, Subproceso I.

Para trasladar la botella se escogió un sistema de tornillo sin fin conectado a un motor que lo hace girar, en medio de este se conecta una plataforma que mueve la

botella hasta el punto mencionado. Para evitar el movimiento circular de la plataforma esta se sujetó a dos rieles.

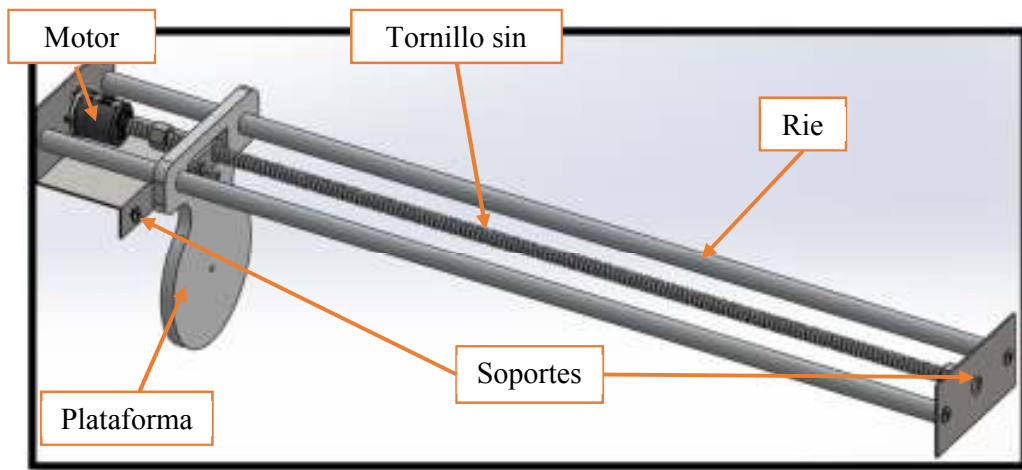


Figura 19. Sistema de traslación de la botella.

El tornillo sin fin seleccionado es una varilla roscada de $5/8$ in (15.875 mm) de acero galvanizado. Los rieles son de $1/2$ in (12.7 mm) de acero de transmisión (tabla 2.8.). La plataforma debe ser liviana y con la rigidez necesaria para mover la botella por lo cual se escogió plancha de acrílico de 9 mm (tabla 2.7). La sujeción entre rieles y plataforma es por medio de bocines de bronce ya que produce un mejor deslizamiento y lubricación. En el caso de la sujeción entre plataforma y tornillo sin fin es un bocín de acero de transmisión AISI 1020 (tabla 2.8.) el cual en el centro tiene un roscado de $5/8$ in.

El sistema de traslación necesita precisión exacta en los rieles y tornillo sin fin para lo cual a los extremos de la estructura se colocó dos planchas de acero de 5 mm de espesor para soportar el sistema y el motor.

El movimiento del motor debe ser a altas revoluciones para que la plataforma dé un paso mayor y se ha seleccionado un motor DC de las siguientes características:

Tabla 11.
Propiedades de Motor DC


| Propiedad | Valor |
|---------------------|---|
| Tensión nominal | 12 V |
| Velocidad sin carga | 150 rpm |
| Consumo sin carga | 140 mA |
| Velocidad nominal | 110 rpm |
| Fuerza nominal | 2,3 kgf.cm / 22.55 N.cm |
| Diámetro eje | 3 mm |
| Fotografía |  |

Fuente: (TecMicro, 2014)

2.4.2.1.2. SISTEMA DE CORTE DE FIBRA PLÁSTICA.

Para un corte uniforme de la botella se escogió realizarlo en frío y debido a lo encontrado en el mercado se ha seleccionado cuchillas de estilete elaboradas de Acero Inoxidable INOX 4034 (HRC 56) que tienen alta resistividad al corte y son de bajo costo.

Tabla 12.
Propiedades Acero Inoxidable INOX 4034 (HRC 56)

| Propiedad | Valor |
|----------------------|--|
| Composición Química | Cr 13.5, C 0.45 |
| Densidad | 7.6 g/cm |
| Dureza de recocido | HB 225 |
| Cualidades al temple | Incrementa dureza, pero disminuye resistencia a la corrosión |
| Fotografía |  |

Fuente: (LOHMANN, 2014)

Para el soporte de la cuchilla se observó la necesidad de un material maleable, fácil del maquinar y liviano, se escogió aleación de aluminio 6063 T5 por su disponibilidad en el mercado.

Tabla 13.
Propiedades Aleación de Aluminio 6063 T5

| Propiedad | Valor |
|-----------------|--|
| Carga Rotura | 175 N/mm ² |
| Peso específico | 2.70 g/cm ³ |
| Dureza Brinell | HB 60 |
| Cualidades | Resistencia a la corrosión y maquinabilidad muy buen |
| Fotografía |  |

Fuente: (LUMETAL, 2014)

Para fijar la botella mientras es cortada se ocupó un rodamiento loco 608, con las siguientes medidas:

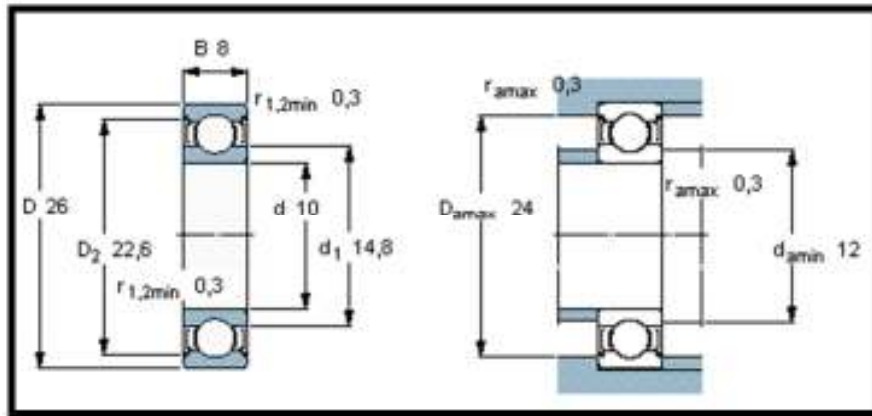


Figura 20. Medidas rodamiento 608.

Fuente: (SKP, 2014)

2.4.2.2. SUBPROCESO II: BOBINADO DE LA FIBRA PLÁSTICA.

Este subproceso tiene dos bobinados: el primero es redondo y el segundo es plano. Inicialmente se coloca la bobina redonda al eje del motor para enrollar la fibra plástica, cuando esta ya se encuentra con la fibra suficiente, el operario intercambia las dos bobinas e inicia el proceso de enrollado en la bobina plana.

Para ambas bobinas y ejes se ha seleccionado estructura y lamina de acero AISI 1020 (tabla 2.8.), por su facilidad de maquinarse y soldar.

El motor conectado al eje de la bobina debe cumplir ciertas condiciones de torque y potencia:

- Debe vencer la fuerza del corte del plástico.
- Debe tener el torque necesario.

Los cálculos para selección de motor se desarrollaron en base a la forma del cortador de fibra plástica en el diseño mecánico.

La fibra debe distribuirse uniformemente por toda la bobina, para ello se creó un mecanismo de acarreamiento. Se diseñó una palanca apoyada en un rodamiento, la

palanca es de acero AISI 1020 (tabla 2.8) por ser fácil de maquinar y disponible en el mercado.

2.4.3. FASE III: HORNEADO DE FIBRAS PLÁSTICAS.

Se dispone de un horno de gas, con capacidad de 3 bobinas de fibra plástica.

2.4.4. FASE IV: CORTADORA DE TIRAS PLÁSTICAS.

Se utiliza una cuchilla para cortar la fibra en la bobina.

2.4.5. FASE V: ENSAMBLAJE DE LA ESCOBA.

El ensamble de la escoba se lo realizó en la empresa ARTILIM⁴ y se reservan el derecho del proceso de manufactura de escobas.

2.5. DISEÑO DE MÁQUINAS

Para la realización de las piezas mecánicas se consideró las características enunciadas a continuación.

El despiece general de la máquina se puede observar en el Anexo B.1 y el despiece de cada Fase se encuentra en los Anexos B.2, B.3 y B.4.

2.5.1. FASE I

2.5.1.1. TOLVA

Las dimensiones de la tolva fueron consideradas por la ergonomía del operario y el tamaño de las botellas. Un total de 10 botellas de 3 litros pueden ingresar a la tolva y deben estar alineadas de forma horizontal como indica la figura.

⁴ ARTLIM, Arte en Limpieza. Productores de Escobas, cepillos y trapeadores.

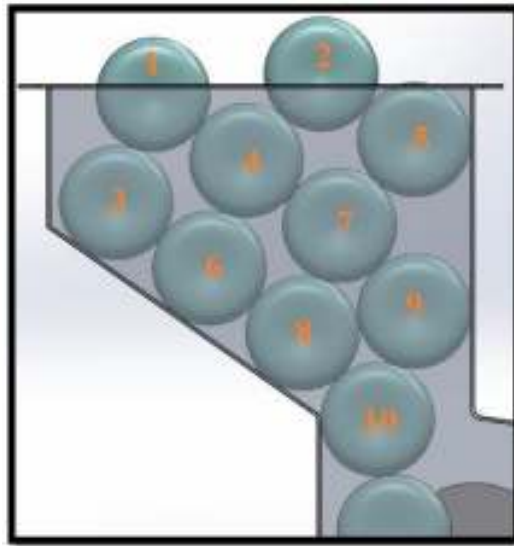


Figura 21. Parte superior de la Tolva.

Para el diseño se consideró una forma estándar de botellas, 120 mm de diámetro y 310 mm de largo.

Con el Software SolidWorks, se buscó las relaciones para que las botellas entren holgadas y se encontró las mejores dimensiones a favor de no tener pandeo, fatiga y deformación.

De igual forma se diseñó la parte media de la tolva, se tuvo en cuenta la distancia que necesita entre cada botella para que sea cortada y con su respectivo espacio para un eje.

Finalmente se diseñó la parte baja de la tolva para que 2 botellas esperen el siguiente proceso, y hay 4 ranuras huecas para dar paso a la plataforma que levanta la botella.

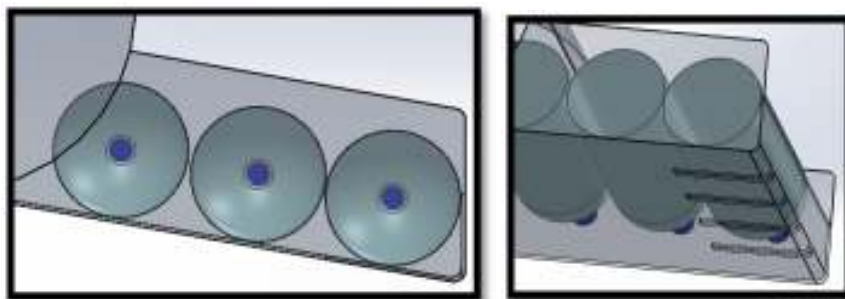


Figura 22. Parte baja de la Tolva.

Las medidas de la tolva se muestran en el Anexo B.2.1.

2.5.1.2. DISCO DE SELECCIÓN

Este disco cumple las funciones de seleccionar cada botella de la parte superior de la tolva y ejercer presión sobre esta para que sea cortada por el alambre de acero inoxidable y para ello se ha diseñado un disco en forma de S.

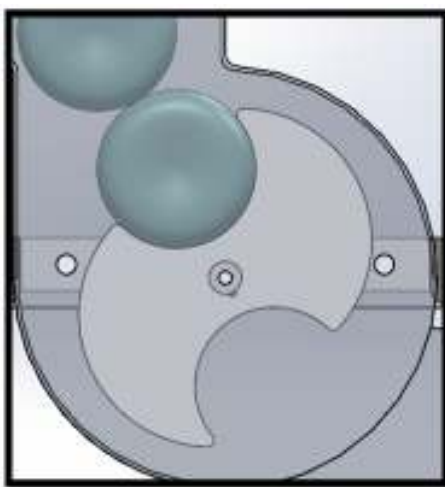


Figura 23. Selección de botella por el disco tipo S.

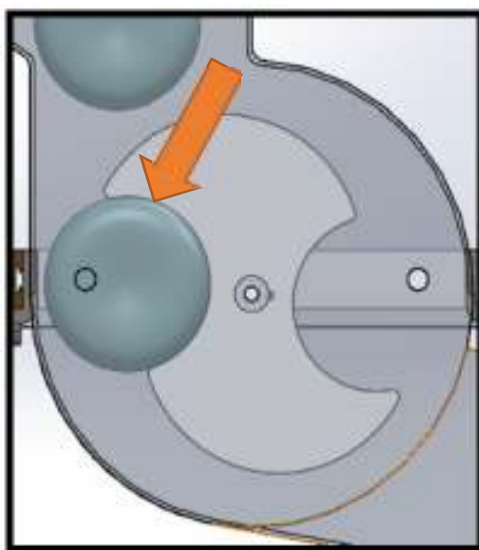


Figura 24. Fuerza del disco tipo S sobre la botella para corte.

Se necesita dos discos de selección para que la botella se encuentre fija al momento del corte y se apoyan en el mismo eje. El primero tienen la función de ejercer presión a la sección de corte de la botella y el segundo guía a la botella para mantenerla recta.

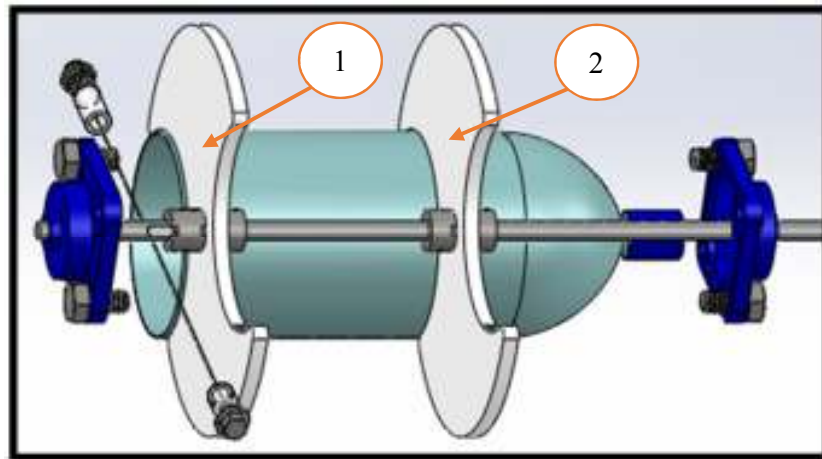


Figura 25. Posición de los discos de selección.

Las medidas del disco de selección se muestran en el Anexo B.2.2.

2.5.1.3. EJE DEL DISCO DE SELECCIÓN

Se diseñó un eje que transmita mayor precisión en una velocidad baja y constante, y se conectó a un motor DC de torque igual a 24kg.cm por medio de un acople LoveJoy.

La ubicación y distribución de los componentes que van montados sobre la flecha son: dos chumaceras en los extremos A y D y entre ellas dos discos en las posiciones B y C como se muestra en la siguiente figura.

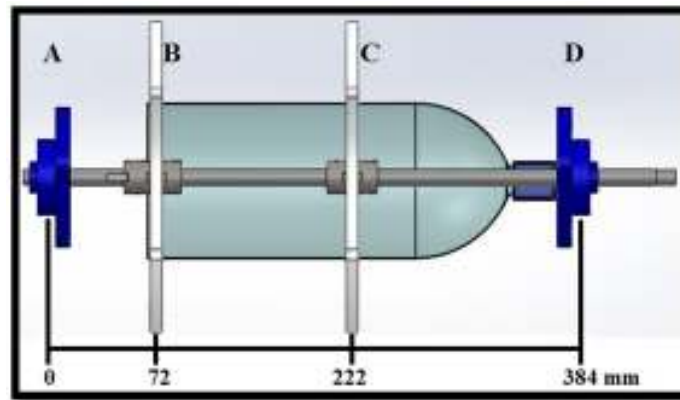


Figura 26. Eje del disco de selección, distribución de cargas.

Partiendo de estos datos se puede comenzar a calcular las reacciones ejercidas en el eje por los rodamientos y discos.

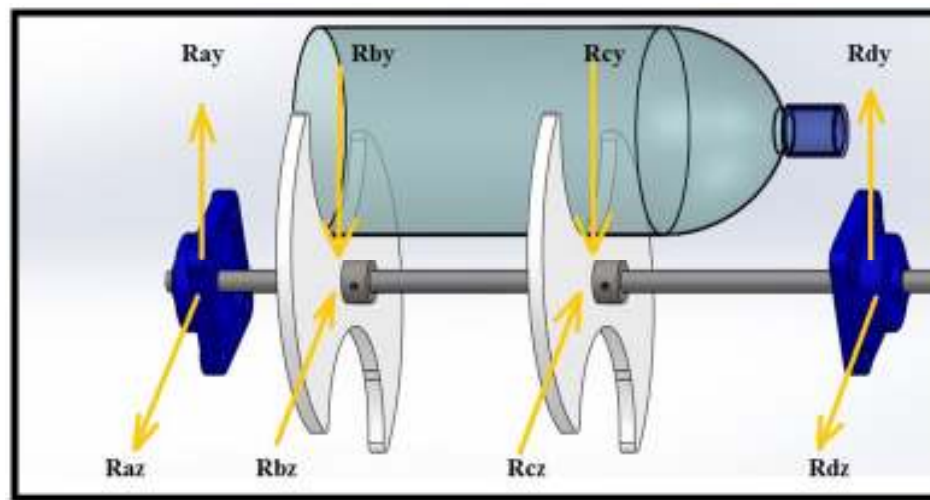


Figura 27. Diagrama de fuerzas eje de discos - Primera Fase.

Para calcular las fuerzas en los puntos se requiere hacer análisis en cada disco:

- Disco B.- Este lugar es crítico porque se produce el corte de la botella y existe el mayor momento contrario al movimiento y es producido por la fuerza de corte entre la botella de PET y el alambre de acero inoxidable a altas temperaturas que se calculó experimentalmente, entonces:

$$\sum M_B = 24 \text{ Kg.cm} = 2352 \text{ N.mm}$$

$$F_{\text{corte}} = \frac{M_B}{D_{\text{disco}}}$$

$$F_{\text{corte}} = \frac{2352 \text{ N.mm}}{96.9236} = 24.2665 \text{ N}$$

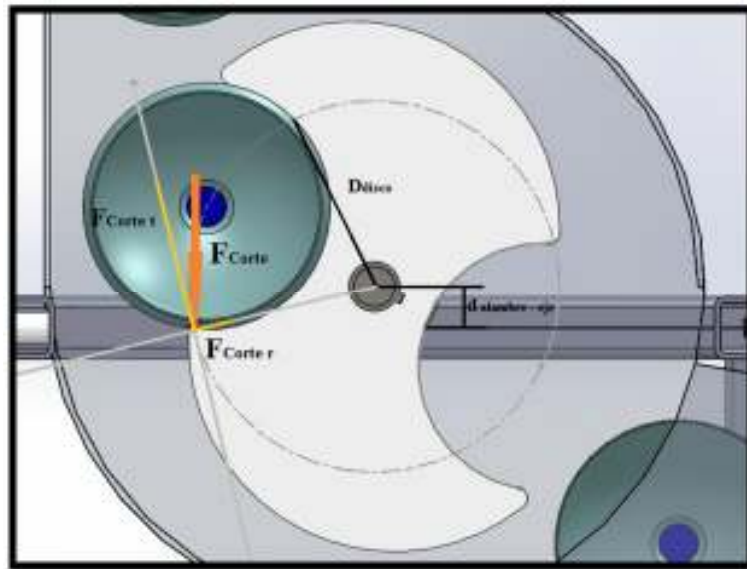


Figura 28. Diagrama de fuerzas de corte - Primera Fase.

$$\sum F_{Bz} = F_{\text{corte}_z}$$

$$F_{Bz} = R_{Bz} = 24,2665 \text{ N}$$

$$\sum F_{By} = F_{\text{corte}_y} + W_{\text{DiscoB}}$$

$$F_{By} = F_{\text{corte}_y} + (2 \cdot m) \cdot g$$

$$F_{By} = 0 + (2 \cdot 0.6) \cdot 9.81$$

$$F_{By} = R_{By} = 11.76 \text{ N}$$

- Disco C – El peso de la botella es la única fuerza que afecta este disco:

$$F_{Cz} = R_{Cz} = 0 \text{ N}$$

$$F_{Cy} = R_{Cy} = 11.76 \text{ N}$$

Y se calculan las fuerzas de reacción del eje:

$$\sum M_{Az} = 0$$

$$384 \cdot R_{Dz} = 72 \cdot R_{Bz} + 222 \cdot R_{Cz}$$

$$R_{Dz} = \frac{72 \cdot 24.2665 + 222 \cdot 0}{384}$$

$$R_{Dz} = 4.5499 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{Az} + R_{Dz} = R_{Bz} + R_{Cz}$$

$$R_{Az} = 24.2665 + 0 - R_{Dz}$$

$$R_{Az} = 24.2665 - 4.5499$$

$$R_{Az} = 19.7166 \text{ N}$$

$$\sum M_{Ay} = 0$$

$$384 \cdot R_{Dy} = 72 \cdot R_{By} + 222 \cdot R_{Cy}$$

$$R_{Dy} = \frac{72 \cdot 11.76 + 222 \cdot 11.76}{384}$$

$$R_{Dy} = 9.0038 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{Dy} = R_{By} + R_{Cy}$$

$$R_{Ay} = 11.76 + 11.76 - R_{Dy}$$

$$R_{Ay} = 23.52 - 9.0038$$

$$R_{Ay} = 14.52 \text{ N}$$

Obteniendo los siguientes diagramas de corte y momento:

Plano x-z:

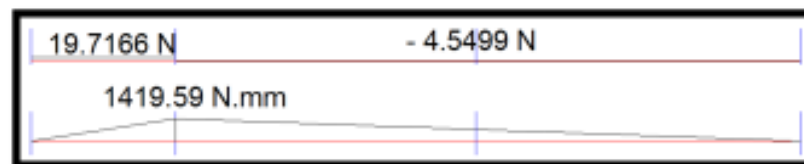


Figura 29. Diagrama de corte y momento, plano x-z

Plano x-y:

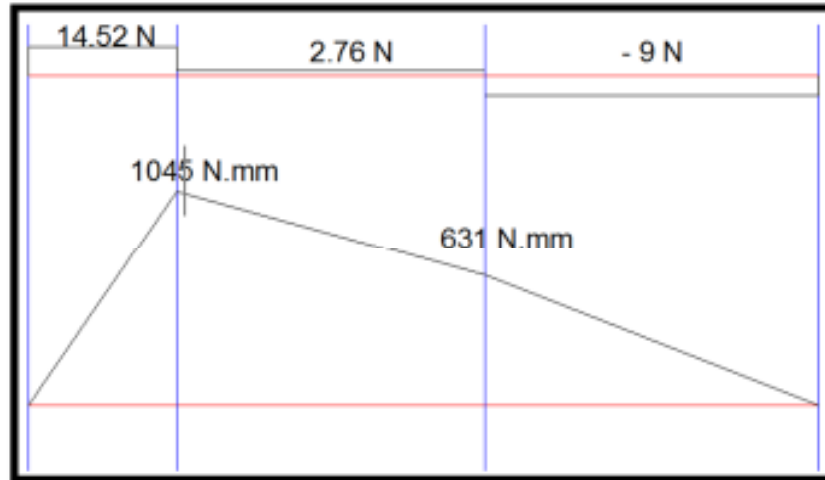


Figura 30. Diagrama de corte y momento, plano x-y

El momento más crítico es en el disco B con 1419.59 N.mm y se realizó el análisis de esfuerzo en esta zona.

Se determinó un diámetro de media pulgada (12.7 mm) para el eje. Con el criterio de Goodman (Budynas & Nisbett, 2012) se obtiene el factor de seguridad del eje a ese diámetro:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

El eje no posee torsión entre sus discos, entonces $T_a = T_m = 0$, además de acuerdo al diagrama de momento, $M_a = 1419.59 \text{ N.mm} = 1.419 \text{ N.m}$ y $M_m = 0$.

Por lo tanto la fórmula se reduce a la siguiente:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

Donde K_f es el factor de concentración del esfuerzo por fatiga en muescas del eje, en este caso el eje no las contiene y $K_f = 1$.

$$Se = 0.5 k_a k_b S_{ut}$$

Las constantes son factores de modificación por la condición superficial y tamaño respectivamente, son calculados con las siguientes ecuaciones.

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Los valores de a y b para maquinado o laminado en frío son $a = 4.51$ y $b = -0.265$.

$$k_a = 4.51 \cdot (470)^{-0.265} = 0.883$$

$$k_b = 1.24 d^{-0.107}$$

$$k_b = 1.24 (12.7)^{-0.107} = 0.945$$

$$Se = 0.5 \cdot 0.883 \cdot 0.945 \cdot 470.000.000$$

$$Se = 196 \times 10^6 Pa$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(12.7)^3} \left\{ \frac{1}{196 \times 10^6} [4(1.419)^2]^{1/2} \right\}$$

$$n = 17.79$$

El factor de seguridad es alto pero no se puede disminuir el diámetro del eje.

2.5.1.4. SISTEMA DE CORTE POR ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE

Para lograr tensión en el alambre de acero inoxidable se ha diseñado el siguiente diagrama:

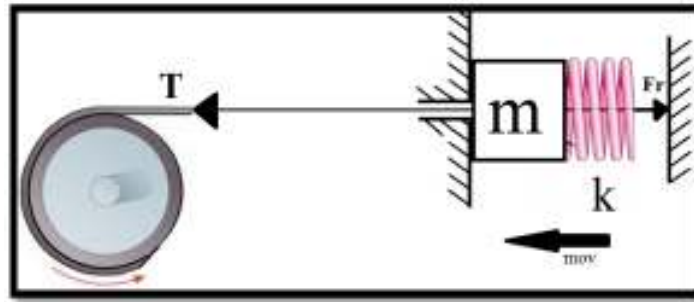


Figura 31. Diagrama del sistema de corte.

La tensión del cable está dado por un perno que enrolla el cable en sentido anti horario y por un resorte que en el extremo opuesto amortigua la dilatación del cable cuando se calienta. Se tiene un resorte con diámetro exterior de $D = 12 \text{ mm}$, calibre $d = 1 \text{ mm}$, paso $p = 2 \text{ mm}$ y longitud disponible de $L_o = 10 \text{ cm}$ con extremos a escuadra y esmerilados, necesario para la aplicación (Budynas & Nisbett, 2012). Entonces:

- Número de revoluciones

$$N_a = \frac{L_o - 2d}{p}$$

$$N_a = \frac{80 \text{ mm} - 2 \cdot 1 \text{ mm}}{2 \text{ mm}}$$

$$N_a = 39 \text{ rev}$$

- Revoluciones totales

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_t = 39 + 2 = 41 \text{ rev}$$

2.5.1.5. MECANISMO DE ELEVACIÓN

La plataforma se forma de cuatro placas soldadas a una placa principal, estas tienen juego con los agujeros rectangulares al final de la rampa de la tolva; dos azas son soldadas a cada lado de la plataforma y se usan para guiarla por las correderas, cuales son insertadas en la tolva con el siguiente diseño.

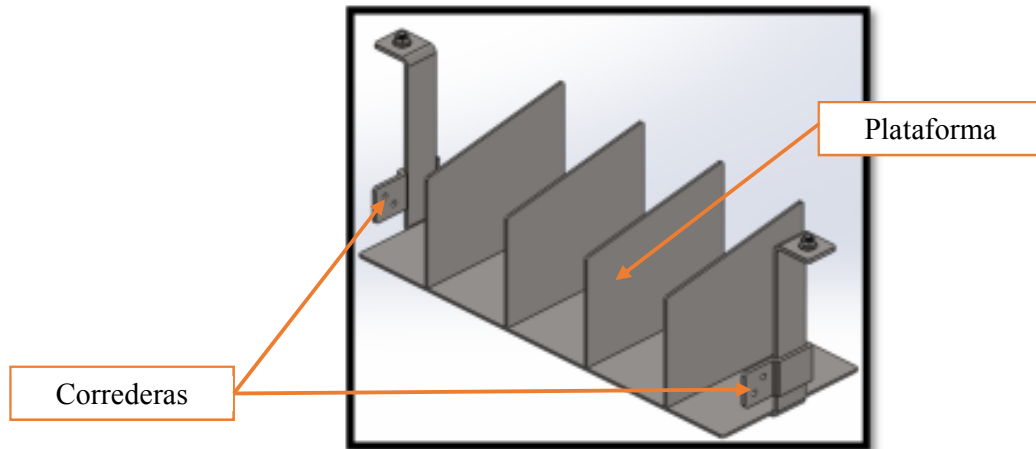


Figura 32. Plataforma de elevación.

Las medidas de la plataforma, platinas y correderas se encuentran en los Anexos B.2.6, B.2.7 y B.2.15 respectivamente.

El eje no sufre de mayor esfuerzo ya que el peso de la plataforma es pequeño. Se diseñó un eje de media pulgada (12.7 mm) con dos poleas que se encuentran aseguradas al eje por prisioneros.

Las distancias de las poleas inferiores dependen de las distancias de las poleas superiores donde cruza el cable galvanizado. Las medidas del eje y poleas se encuentran en los Anexos B.2.13 y B.2.14 respectivamente.

2.5.2. FASE II. SUBPROCESO I

2.5.2.1. SISTEMA DE TRANSLACIÓN DE BOTELLA

La plataforma que transporta la botella debe tener 3 orificios en la parte superior para los bocines, en el medio el bocín con rosca para conectarla con el tornillo sin fin y a los extremos los dos restantes para guiarla por las rieles. La parte baja de la plataforma debe tener una forma circular para acoplarse con la base cóncava.



Figura 33. Plataforma Fase 2.1

Las medidas de la base cóncava, la plataforma y los bocines se encuentran en los Anexos B.3.1, B.3.3, B.3.6, B.3.7, B.3.8 y B.3.9.

El tornillo sin fin tiene la longitud de 588 mm y en sus extremos se tiene dos rodamientos con bocines para sujetar estos a la estructura de la Fase 2.1 como se puede observar en el Anexo B3.4.

Los bocines guía se deslizan a través de las rieles, estas son de media pulgada de diámetro y de longitud 644 mm, se colocaron dos anillos de retención a los extremos para evitar movimientos de la guía.

A razón de un movimiento continuo y de alta velocidad, el motor se conecta al eje por medio del conector LoveJoy.

El tornillo sin fin tiene un paso de 2mm, esto quiere decir que:

$$1 \text{ rev} = 2 \text{ mm de paso}$$

Entonces para la longitud de 100 mm es necesario:

$$Rev_{motor} = \frac{100 \text{ mm} \cdot 1 \text{ rev}}{2 \text{ mm}}$$

$$Rev_{motor} = 50 \text{ rev}$$

La velocidad nominal del motor es 150 rev/min entonces el tiempo que toma hacer esta distancia es de

$$t = \frac{50 \text{ rev}}{150 \text{ rev}/\text{min}}$$

$$t = 0.33 \text{ min}$$

2.5.2.2. CORTADORA DE FIBRA PLÁSTICA

Este se divide en dos piezas combinadas para cumplir tres funciones: guiar la botella mientras es cortada, sujetar la cuchilla y sujetarse a sí mismo a la estructura.

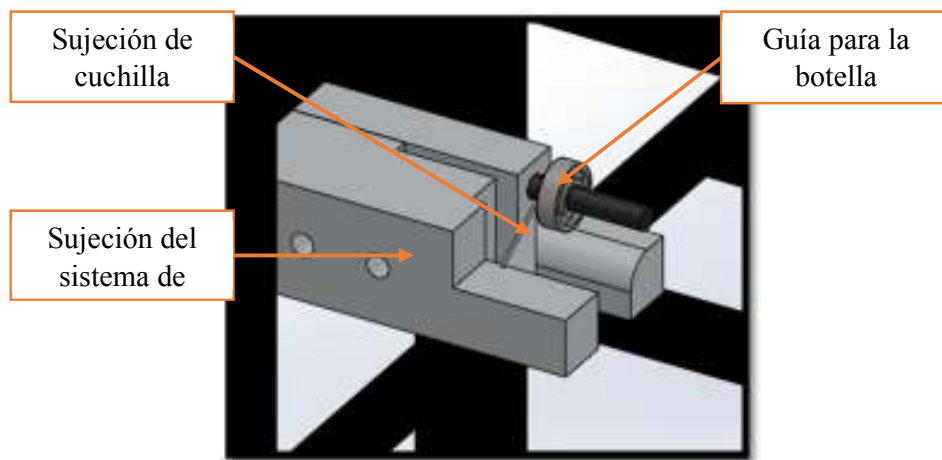


Figura 34. Sistema de Corte

Para guiar la botella se utilizó un rodamiento loco que se encuentra justo antes de que la botella se encuentre con la cuchilla, además ayuda a que la botella se alise al momento de corte.

Para sujetar la cuchilla se realizó una abertura entre las dos piezas donde se encuentra un perno que da compresión a la cuchilla.

Las piezas se sujetan a la estructura de esta fase por medio de dos pernos en la parte trasera de una de ellas.

Las medidas de las dos piezas del sistema de corte de fibra plástica se encuentran en los Anexos B.3.10 y B.3.11.

2.5.3. FASE II. SUBPROCESO II

2.5.3.1. BOBINADO DE LA FIBRA PLÁSTICA

La bobina redonda es formada por un tubo de 32 mm de diámetro. En los extremos de este se encuentran dos piezas soldadas que ayudan a sujetarse la bobina con los ejes del motor, además tiene dos discos de lámina de acero que ayudan a mantener a la fibra plástica dentro de los límites.

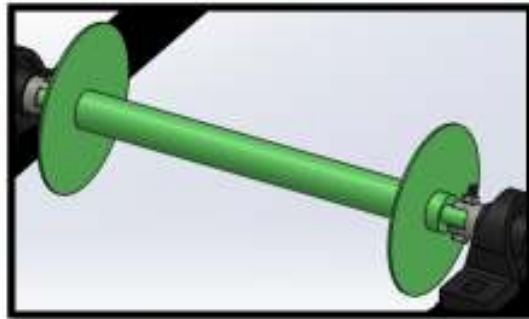


Figura 35. Bobina redonda

Las medidas de la bobina redonda se encuentran en el Anexo B.4.5.

La bobina plana está formada por varillas cuadradas de media pulgada (12.7 mm) de diámetro unidos para formar una estructura rectangular, en el medio de la cual se soldó una varilla cuadrada para reforzarla.



Figura 36. Bobina plana

Las medidas de la bobina plana se encuentran en el Anexo B.4.2.

Según el proceso que se encuentre la máquina estas bobinas son intercambiables. Los ejes a los que se conectan tienen una abertura cuadrada donde ingresan los extremos de las bobinas y son empernadas.

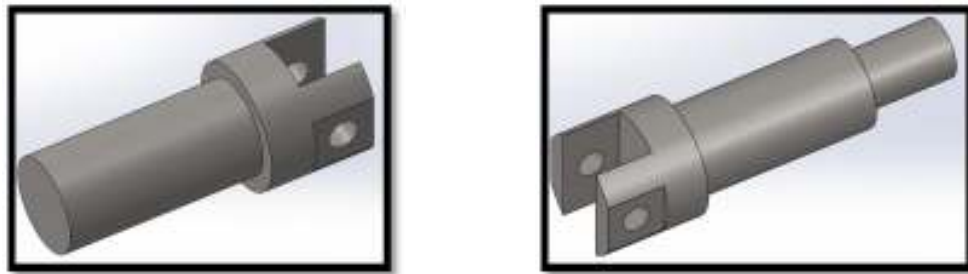


Figura 37. Ejes intercambiables Fase 2.2

Los dos ejes son apoyados en chumaceras y están colocadas en la estructura de la máquina. La conexión con el motor se lo realiza al eje más largo con un acople LoveJoy.

Las medidas de los ejes se encuentran en los Anexos B.4.3 y B.4.4.

Conociendo la forma de las piezas del sistema de corte y la posición de las bobinas se procedió a calcular el torque necesario del motor.

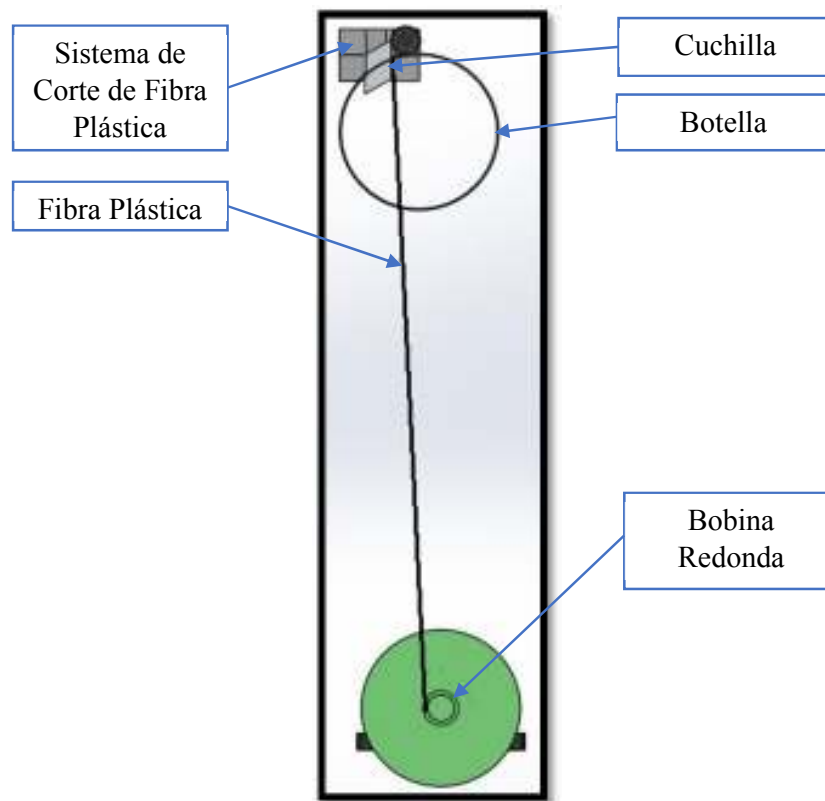


Figura 38. Sistema de bobinado de la fibra plástica.

En la botella al momento del corte se producen tres fuerzas como se muestra en la siguiente figura.

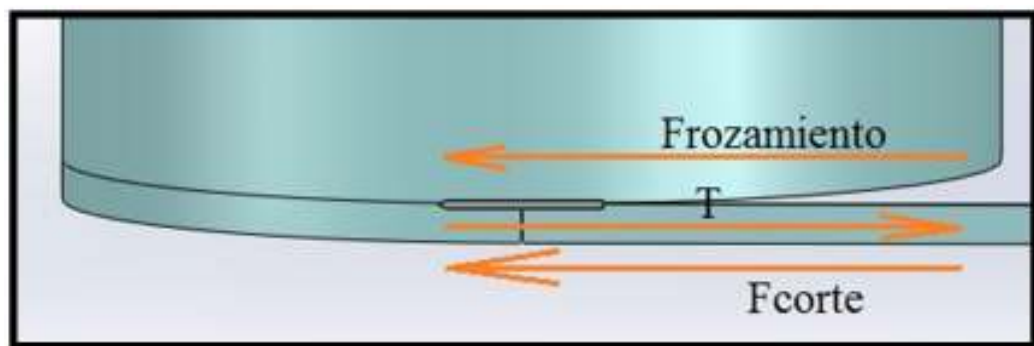


Figura 39. Fuerzas en la botella al momento del corte.

Donde la fuerza de rozamiento entre el plástico PET y el aluminio de la pieza es igual a.

$$F_{\text{Rozamiento}} = \mu \cdot N$$

Según diagrama de fuerza en el sentido transversal calculamos la fuerza normal de la botella.

$$\sum F_y = N - W_{\text{botella}}$$

$$N = W_{\text{botella}}$$

El peso de la botella es casi despreciable entonces la fuerza normal tiende a ser cero, resultando que la fuerza de rozamiento es despreciable frente a las otras fuerzas.

Por diagrama de fuerzas en la botella plástica se tiene que:

$$T = F_{\text{corte}}$$

Se seleccionó un diferencial de plástico al momento del corte para relacionarlo con el principio de esfuerzo cortante en vigas. Según el libro “Resistencia de Materiales” de Andrew Pytel, dado el siguiente gráfico:

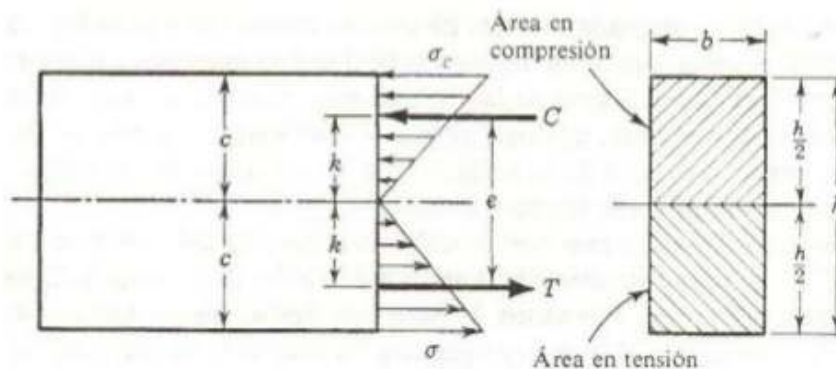


Figura 40. Diagrama de fuerzas de una viga rectangular.

Fuente: (Pytel & Kiusalaas, 2009)

Se observó las fuerzas y dimensiones equivalentes al caso. La fuerza T es la fuerza de tensión y la fuerza C es la fuerza de compresión del material. El ancho de

la fibra es de 5 mm y el espesor de 0.3 mm, esto equivale al área transversal del corte en la sección inferior.

Entonces $b = 0.3$ y $h/2 = 5$. Y se tiene que la magnitud de cada una de las fuerzas es igual al producto del esfuerzo por el área transversal:

$$Fuerza = \sigma \cdot \left(b \cdot \frac{h}{2} \right)$$

Los esfuerzos cortantes en plásticos se pueden determinar por la ecuación elástica que relaciona el módulo de corte $G(t)$ con el módulo elástico $E(t)$.

$$G(t) = \frac{E(t)}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

Donde ν es el coeficiente de Poisson para poliéster PET ($\nu = 0.33$) en estado vítreo, eso quiere decir que la temperatura en la que se trabaja ($T = 20^\circ C$) es menor a la temperatura de transición del polímero PET ($T_g = 75^\circ C$) como se halló el esfuerzo de corte admisible del plástico, se utilizó el módulo de elasticidad como constante ($E = 2800 MPa$). Teniendo el esfuerzo cortante σ :

$$\sigma = \frac{2800 MPa}{2 \cdot (1 + 0.33)}$$

$$\sigma = 1052.6 MPa$$

Entonces se halló la fuerza de corte:

$$F_{corte} = \sigma \cdot \left(b \cdot \frac{h}{2} \right)$$

$$F_{corte} = 1052.6 \frac{N}{mm^2} \cdot (0.3 mm \cdot 5 mm)$$

$$F_{corte} = T = 1578.9 N$$

Se muestra el diagrama de fuerzas del bobinado de la fibra plástica:

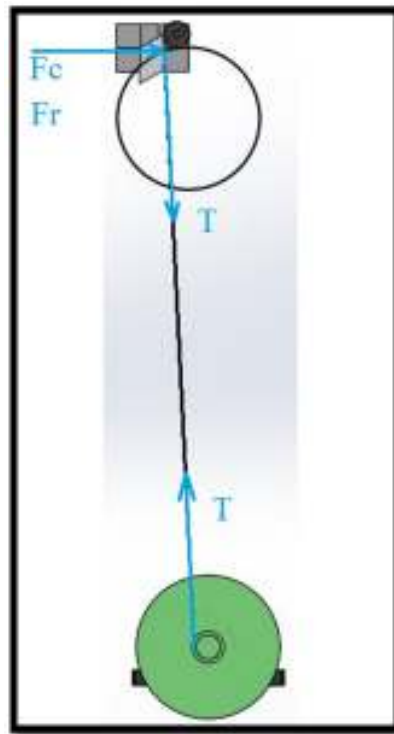


Figura 41. Diagrama de fuerzas del bobinado de la fibra plástica.

En la bobina se halló el torque necesario para la fuerza de corte:

$$\begin{aligned}\tau &= r \cdot T \\ \tau &= 16 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot 1578.9 \text{ N} \\ \tau &= 25.2624 \text{ N.m}\end{aligned}$$

Con lo cual se tiene la potencia a 120 rpm:


$$\begin{aligned}W &= \tau \cdot v \\ W &= 25.2624 \text{ N.m} \cdot 120 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \\ W &= 50.5248 \frac{\text{N.m}}{\text{s}} \\ W &= 50.5248 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{745.699 \text{ W}} \\ W &= 0.06775 \text{ HP}\end{aligned}$$

La potencia calculada se la aproxima a una potencia existente en el mercado.

$$W = 0.06775 \text{ HP} \approx 0.0833 \text{ HP} \approx \left(\frac{1}{12} \text{ HP}\right)$$

Para producir el movimiento se ha seleccionado un motor DC de 24 V con caja de engranes con las siguientes características:

Tabla 14.
Propiedades del motor DC con caja de reducción de engranes.

| Propiedad | Valor |
|-----------------|--|
| Marca | KING |
| Modelo | SF7152 |
| Tensión nominal | 24 V |
| Potencia | 150 W |
| Torque | 30 – 55 N.cm |
| Amperaje | 3 A |
| Diámetro eje | 1/3 in (8.33 mm) |
| Fotografía |  |

Fuente: (KING RIGHT MOTOR, 2014)

2.5.3.2. MECANISMO DE ACARREAMIENTO

Este mecanismo es una palanca apoyada en un rodamiento como indica la figura:

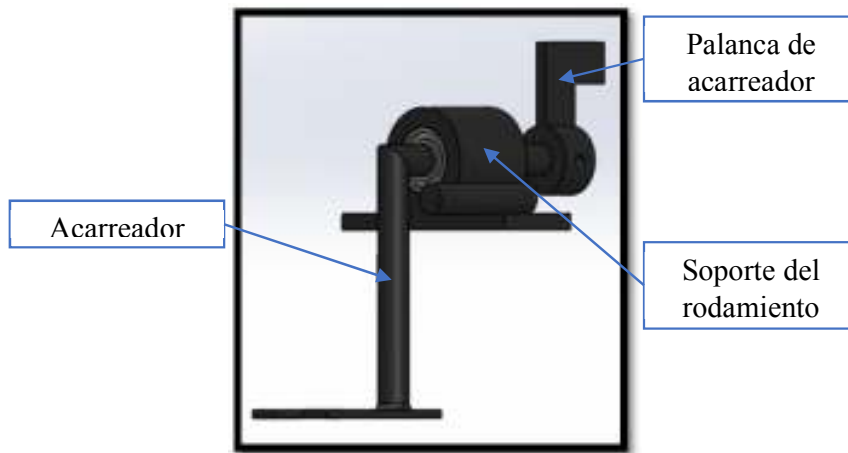


Figura 42. Mecanismos de acarreamiento.

El soporte del rodamiento son tres piezas soldadas. La base es una platina de 6 mm de espesor. Un cilindro de radio exterior de 50mm y diámetro interno de 35 mm es soldado arriba de la base y finalmente un tope para la palanca es soldada a un extremo de la base, esta es una varilla de 15 mm de diámetro y 65 mm de largo. La numeración de los rodamientos utilizados es 6202-2RS.

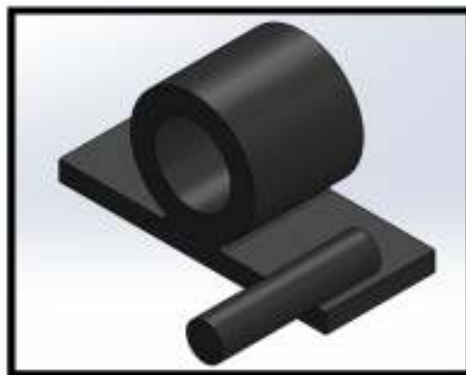


Figura 43. Soporte de rodamiento.

De similar forma, el acarreador son tres piezas soldadas, dos varillas de 15 mm de diámetro son unidas en ángulo de 90° y al final de la última se une una pieza con forma de U ya que por medio de esta pasa la fibra plástica.



Figura 44. Acarreador.

Para que el operario sujete el acarreador se diseñó una palanca la cual se sujetará con prisioneros al acarreador de la siguiente forma:



Figura 45. Palanca del acarreador.

2.6. SIMULACIÓN

2.6.1. ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DINÁMICO

Se realizó un análisis de cargas para las piezas más críticas:

- Tolva:

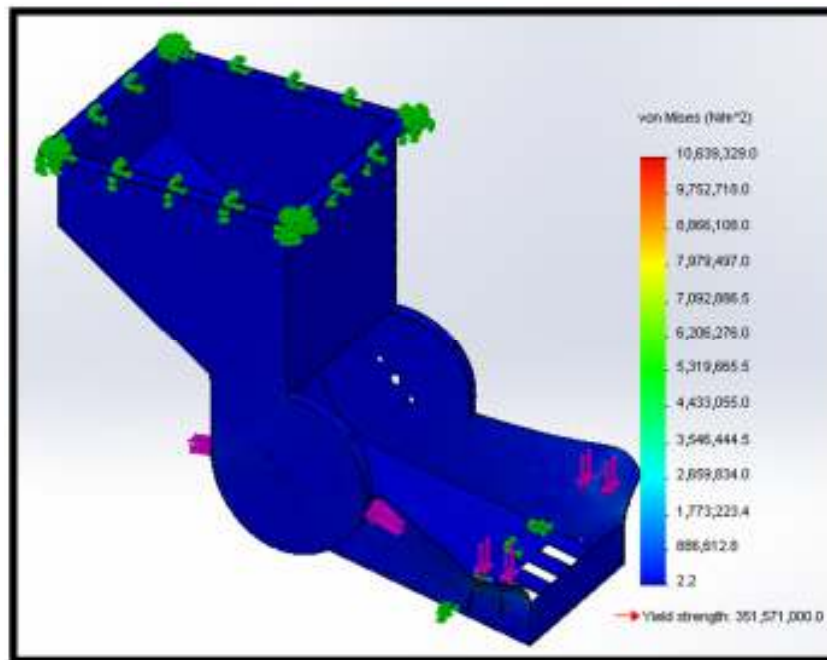


Figura 46. Análisis de Esfuerzos Von Mises de la tolva.

Se observó que la única deformación que existirá en la tolva es producida por el peso del elevador de botellas sin embargo, esta dentro del rango permitido y se procedió a realizar el análisis de factor de seguridad.

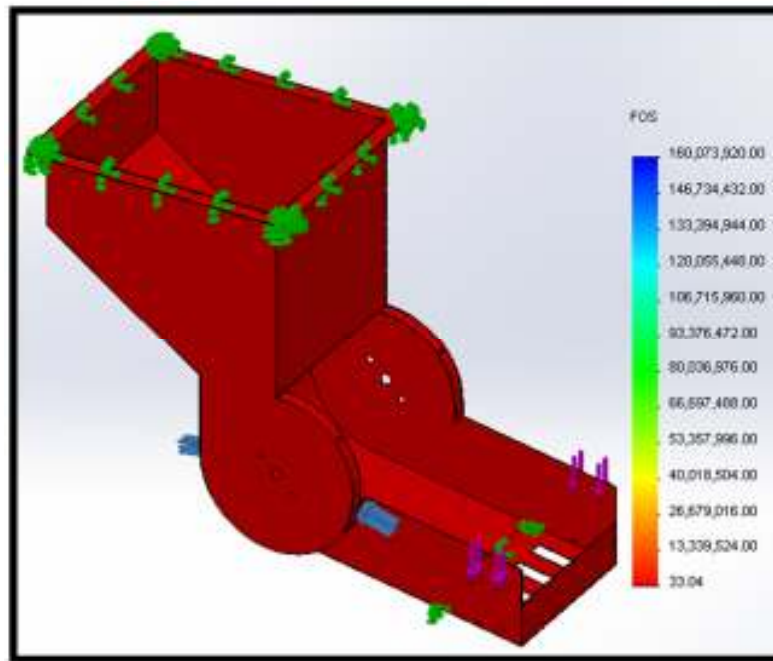


Figura 47. Análisis de Factor de Seguridad de la tolva.

Se observó en la escala de factor de seguridad es mayor a 33 por lo que la tolva es estable.

- Eje motor 24 VDC:

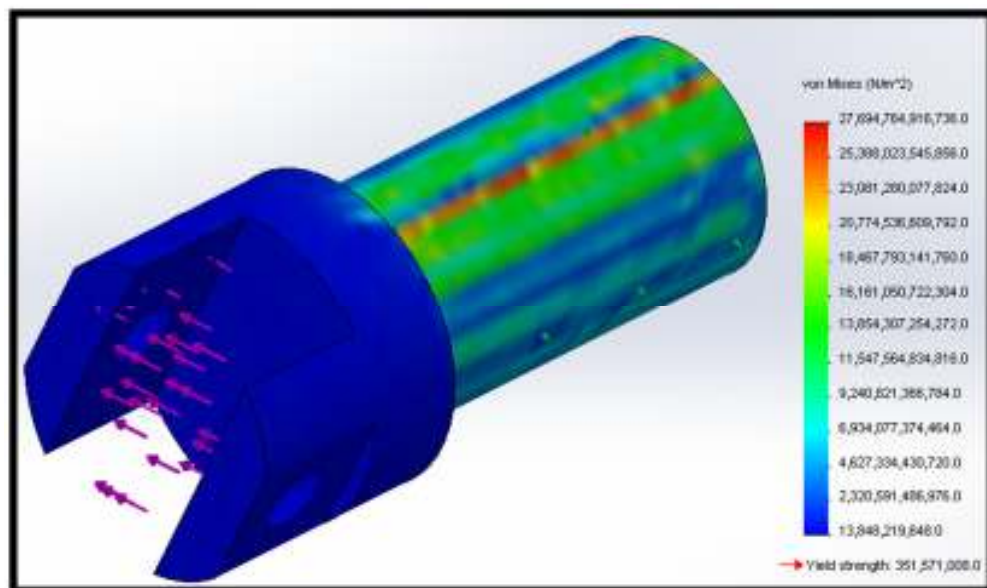


Figura 48. Análisis de Esfuerzos Von Misses del Eje Motor 24 VDC.

Se observó que no existe deformación en el eje y se procedió a realizar el análisis de factor de seguridad.

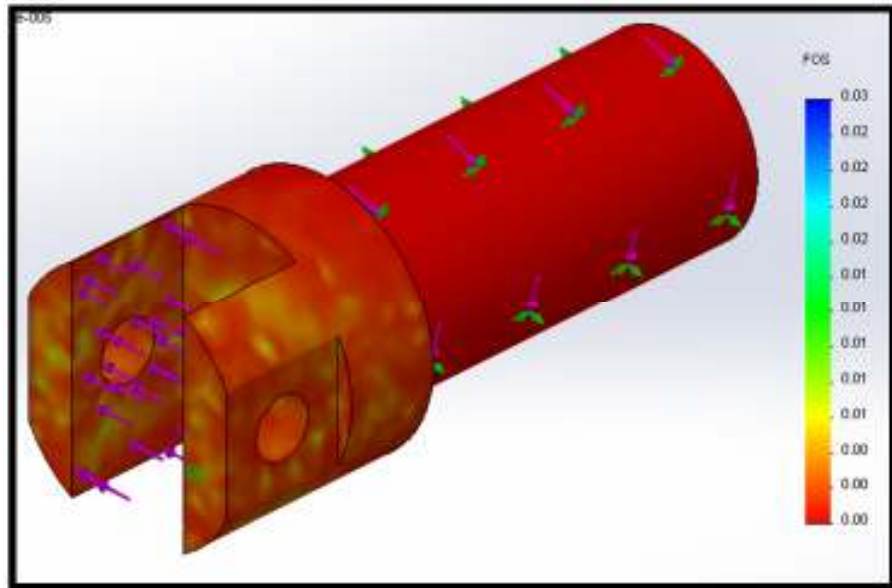


Figura 49. Análisis de Factor de Seguridad del Eje del Motor 24 VDC.

Se observó en la escala de factor de seguridad es regular en toda la pieza por lo que el eje del motor 24VDC es estable.

2.6.2. DISEÑO ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

2.6.2.1. CONTROLADOR

En cuanto a microcontroladores existe un sinfín de opciones que pueden ser utilizadas no obstante, se optó por utilizar el Atxmega 192d3 el cual cuenta con las características necesarias para el uso de los periféricos en el área industrial. A este microcontrolador se le realizó un circuito impreso que se describe a continuación.

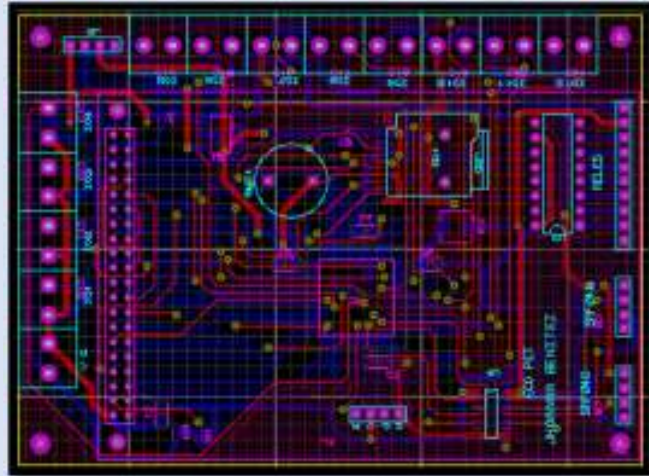
Tabla 15.
Propiedades Tarjeta del controlador Atxmega 192d3

| Propiedades | Valor | Propiedad | Valor |
|---|------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Microcontrolador | Atxmega 192d3 | Corriente máx. por cada PIN de E/S | 130 mA |
| Tensión de operación (nivel lógico) | 3.3 V | Memoria Flash | 32 - 384 KB |
| Tensión de entrada (recomendado) | 5 V | SRAM | 4 - 32 KB |
| Frecuencia de reloj | 32 MHz | Entradas de sensor ultrasónico | 2 |
| Entradas digitales con interrupción | 12 | Salida para pantalla táctil | 1 |
| Salidas digitales a tarjeta de Relés | 8 | Dimensiones | 77.5 mm x 108 mm |

Continúa



Fotografía



Fuente: (ATMEL, 2014)

2.6.2.2. SENSORES

Los sensores utilizados son de proximidad y los más comunes son interruptores de posición, detectores capacitivos, inductivos y los fotoeléctricos, ya que el material a detectar es plástico y posee poca fuerza constante se ha descartado sensores interruptores e inductivos pero debido al gran costo de los sensores de capacitivos se utilizó sensores de presencia ultrasónicos e interruptores con la tentativa de ser reemplazados por sensores de plástico PET, las variables de sensores de entrada son:

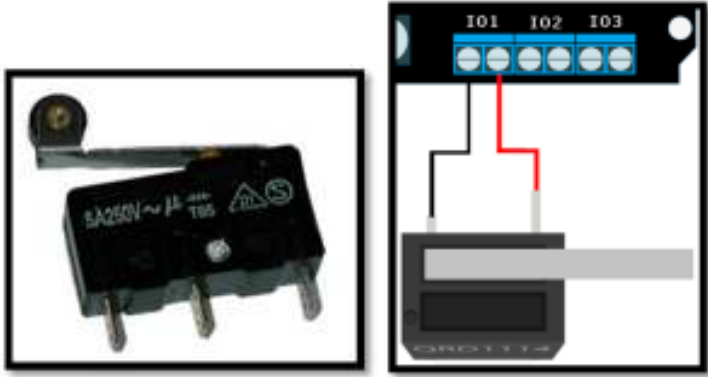
Tabla 16.
Funciones de los sensores

| Fase | Tipo de sensor | Función |
|------|------------------|---|
| I | Fin de carrera 1 | Posición del motor F1 |
| | Ultrasónico 1 | Presencia de botella en los discos de presencia |
| | Ultrasónico 2 | Presencia de botella y posición del elevador |
| II | Fin de carrera 2 | Posición inicial de la plataforma F2 |
| | Fin de carrera 3 | Posición final de la plataforma F2 |
| | Fin de carrera 4 | Límite para el corte de la botella plástica |

2.6.2.2.1. SENSOR FIN DE CARRERA

Este sensor también conocido como “interruptor límite” es un dispositivo situado al final del recorrido de un elemento móvil para censarlo internamente tiene interruptores normalmente abiertos (NA) y cerrados (NC), y la palanca puede ser de diferentes formas y dimensiones utilizadas según la aplicación, la conexión de este sensor es directo a las borneras de entradas digitales.


Tabla 17.
Propiedades del sensor fin de carrera.

| Propiedad | Detalle |
|------------------------|--|
| Voltaje de Operación | Hasta 250 V |
| Corriente de Operación | 5 A |
| Accionamiento | Mecánico |
| Dimensiones | 30 mm x 20 mm x 10 mm |
| Contactos | 1 NA y 1 NC |
| Tipo | Interruptor |
| Característica | Trabaja con todo tipo de material |
| Fotografía |  |

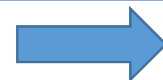
2.6.2.2.2. SENSOR ULTRASÓNICO

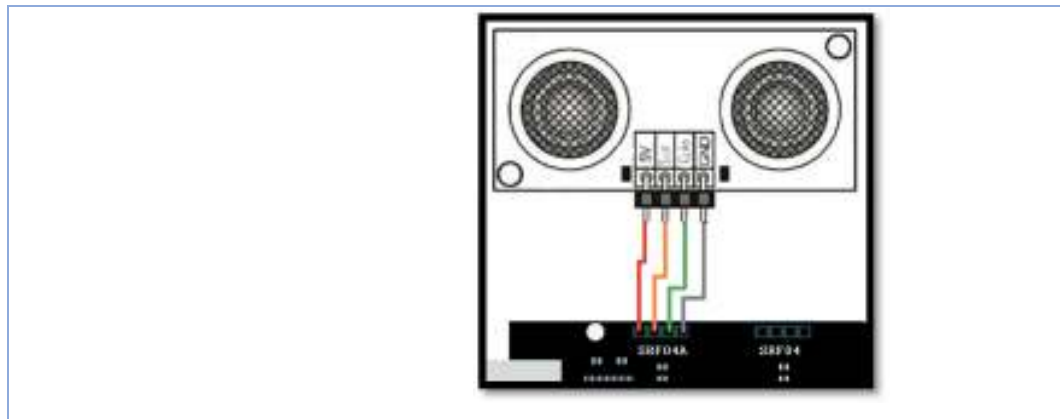
Los sensores ultrasónicos detectan proximidad de cualquier objeto y a largas distancias. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar, estas reflejan en un objeto y el sensor recibe el eco producido convirtiéndolo en señales eléctricas, trabajan solamente en el aire y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales.

Tabla 18.
Propiedades del sensor ultrasónico.

| Propiedad | Detalle |
|------------------------|--|
| Voltaje de Operación | 5 VDC |
| Corriente de Operación | 30 mA |
| Rango de distancia | 3 cm – 3 m |
| Dimensiones | 46 mm x 22 mm x 16 mm |
| Conexión | 1. Vdc 2. Trig (salida, disparo 2 μ s) 3. Echo (entrada, eco) 4. GND |
| Frecuencia | 40 kHz |
| Característica | Trabaja con todo tipo de material y no necesita acondicionamiento |
| Fotografía |  |

Continua









Fuente: (Parallax, 2014)

2.6.2.3. ACTUADORES

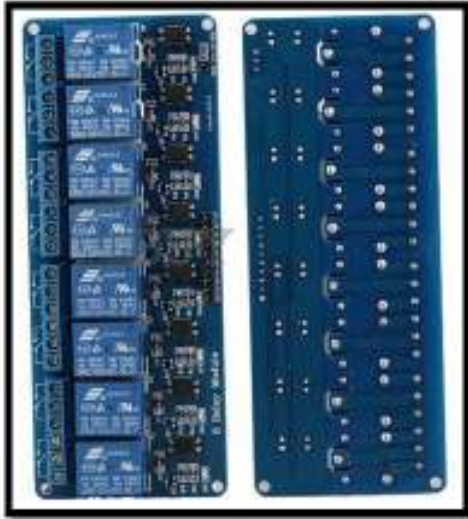
Los actuadores se han detallado en la selección de materiales y diseño mecánico, en resumen se controla los siguientes actuadores:

Tabla 19.
Resumen de actuadores

| Fase | Actuador | Sensores a depender |
|------|--|--------------------------------------|
| I | Motor F1.1  | Fin de carrera 1 Ultrasónico 1 |
| | Alambre de Acero Inoxidable | Fin de carrera 1 Ultrasónico 1 |
| | Motor F1.2  | Ultrasónico 2 |
| II | Motor F2.1  | Fin de carrera 2 Fin de carrera 3 |
| | Motor F2.2  | Fin de carrera 4 |

Estos actuadores necesitan un circuito de relés para poder ser controlados para lo cual se utilizará un circuito impreso con 8 canales con las siguientes características:

Tabla 20.
Propiedades Shield Relés.

| Propiedad | Detalle |
|----------------------------------|--|
| Voltaje de Operación de Entradas | 5 VDC |
| Corriente de Operación | 30 mA |
| Canales | 8 |
| Máximo voltaje por canal | 120 V |
| Máxima corriente por canal | 3 A |
| Dimensiones | 135 x 50 x 20 mm |
| Característica | Fiabilidad |
| Fotografía |  |

2.6.2.4. ENERGIZACIÓN

Por la variedad de actuadores fue necesaria la conexión de una fuente de 12 V y un circuito externo para obtener 24 V las conexiones se indican a continuación:

Para los actuadores Motor 1.2 y 2.1 fue necesaria la conexión para cambio de giro utilizando dos canales de la siguiente forma:

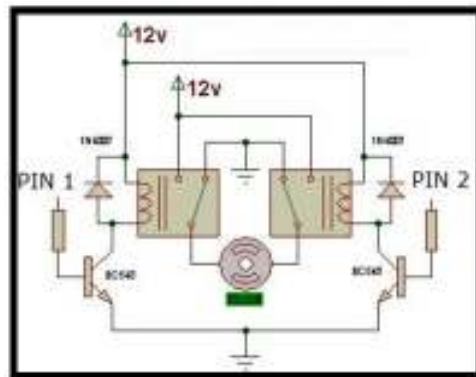


Figura 50. Conexión cambio de giro

Los actuadores Motor 2.2 y alambre de acero inoxidable tienen su propia conexión directa a la red eléctrica de 110 V alterna.

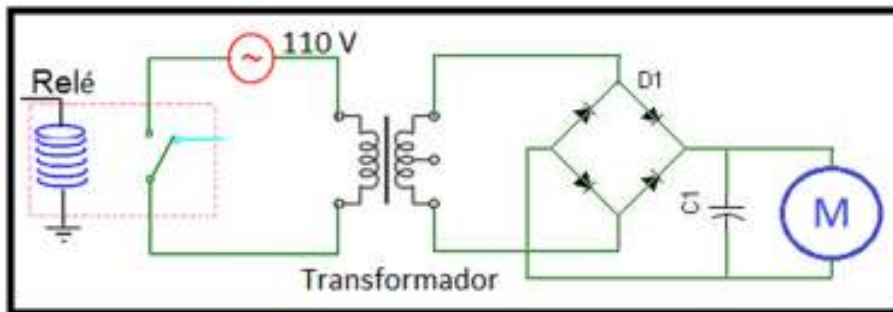


Figura 51. Conexión Motor 24 VDC.

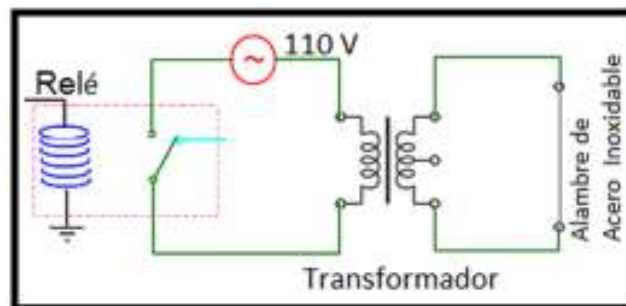


Figura 52. Conexión Alambre de Acero Inoxidable.

2.7. PLANOS

Los planos de la máquina se encuentran organizados de la siguiente forma en los Anexos B:

Tabla 21.
Código de planos de la máquina.

| Código | Ensamble | Pieza |
|----------|---|---------------------------|
| B.1 | Ensamble General | |
| B.2 | Ensamble Fase I | |
| B.2.1 | | Tolva |
| B.2.2 | | Eje de disco de selección |
| B.2.3 | | Discos de Selección |
| B.2.4 | | Chumacera de pared |
| B.2.5 | | Chaveta |
| B.2.6 | | Plataforma fase I. |
| B.2.7 | | Platina para soporte |
| B.2.8 | | Tapa tolva |
| B.2.9 | | Estructura Fase I |
| B.2.10 | Ensamble Sistema de corte alambre de acero inoxidable | |
| B.2.10.1 | | Regulador de tensión |
| B.2.11 | | Bocín 1 |
| B.2.12 | | Bocín 2 |
| B.2.13 | | Eje sistema de elevación |

Continúa



| | |
|---------------|----------------------------------|
| B.2.14 | Polea 1 in |
| B.2.15 | Corredera |
| B.3 | Ensamble Fase II – Subproceso I |
| B.3.1 | Base cóncava |
| B.3.2 | Riel |
| B.3.3 | Plataforma Fase 2.1 |
| B.3.4 | Estructura Fase 2.1 |
| B.3.5 | Placa para motor |
| B.3.6 | Bocín 3 |
| B.3.7 | Bocín 4 |
| B.3.8 | Bocín 5 |
| B.3.9 | Bocín 6 |
| B.3.10 | Porta cuchilla 1 |
| B.3.11 | Porta cuchilla 2 |
| B.4 | Ensamble Fase II – Subproceso II |
| B.4.1 | Estructura total |
| B.4.2 | Estructura H |
| B.4.3 | Eje bobina |
| B.4.4 | Eje bobina - motor |
| B.4.5 | Bobina redonda |
| B 4.6 | Soporte rodamiento |
| B 4.7 | Palanca acarreador |

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN

3.1. SISTEMA MECÁNICO

3.1.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN

Los procesos de fabricación se refieren al conjunto de operaciones que se han utilizado para la fabricación de las piezas y el montaje de la máquina.



Cuadro 5. Proceso de Manufactura de la máquina

Un correcto proceso de fabricación garantiza optimización de recursos económicos y laborales, además permite distribuir de mejor manera los tiempos de manufactura de cada componente.

3.1.2. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN

Los diagramas de proceso de fabricación de las piezas más representativas de la máquina se detallan a continuación.

Tabla 22.
Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 1.1 – Sistema de corte de la base de la botella

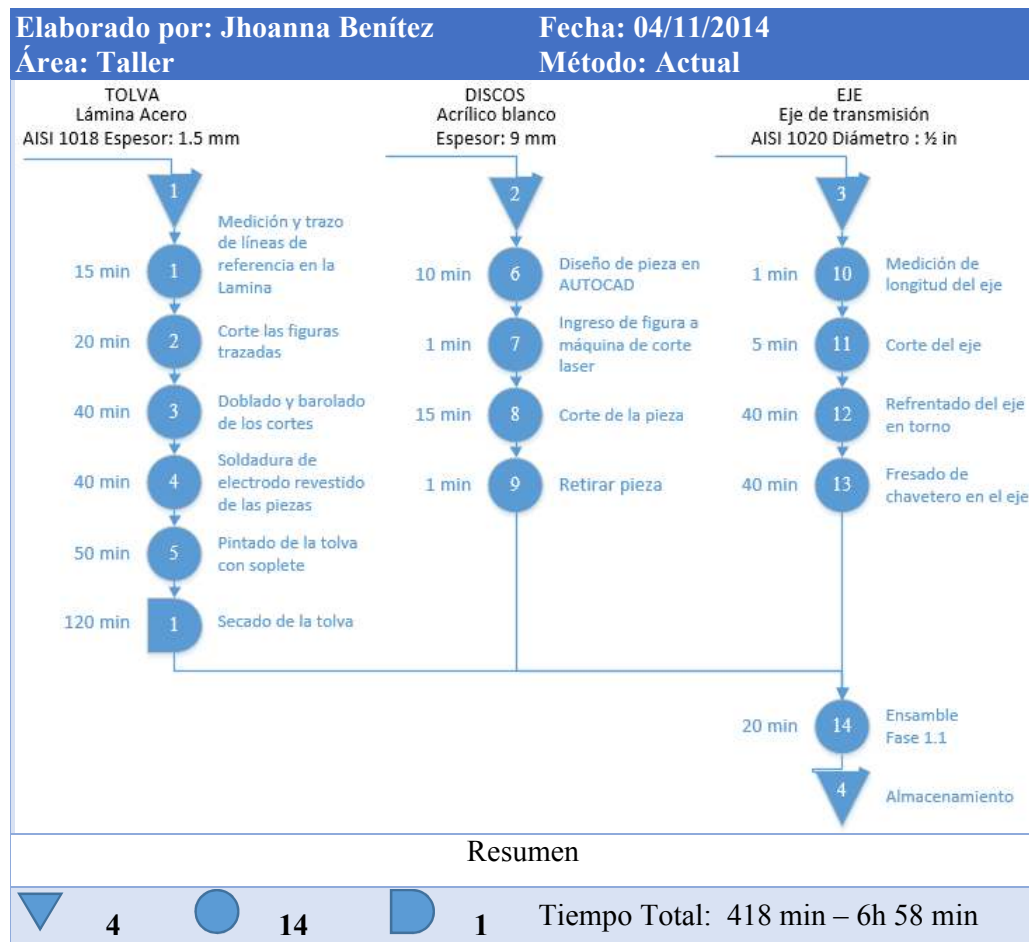


Tabla 23.
Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 1.2 – Sistema de elevación de la botella

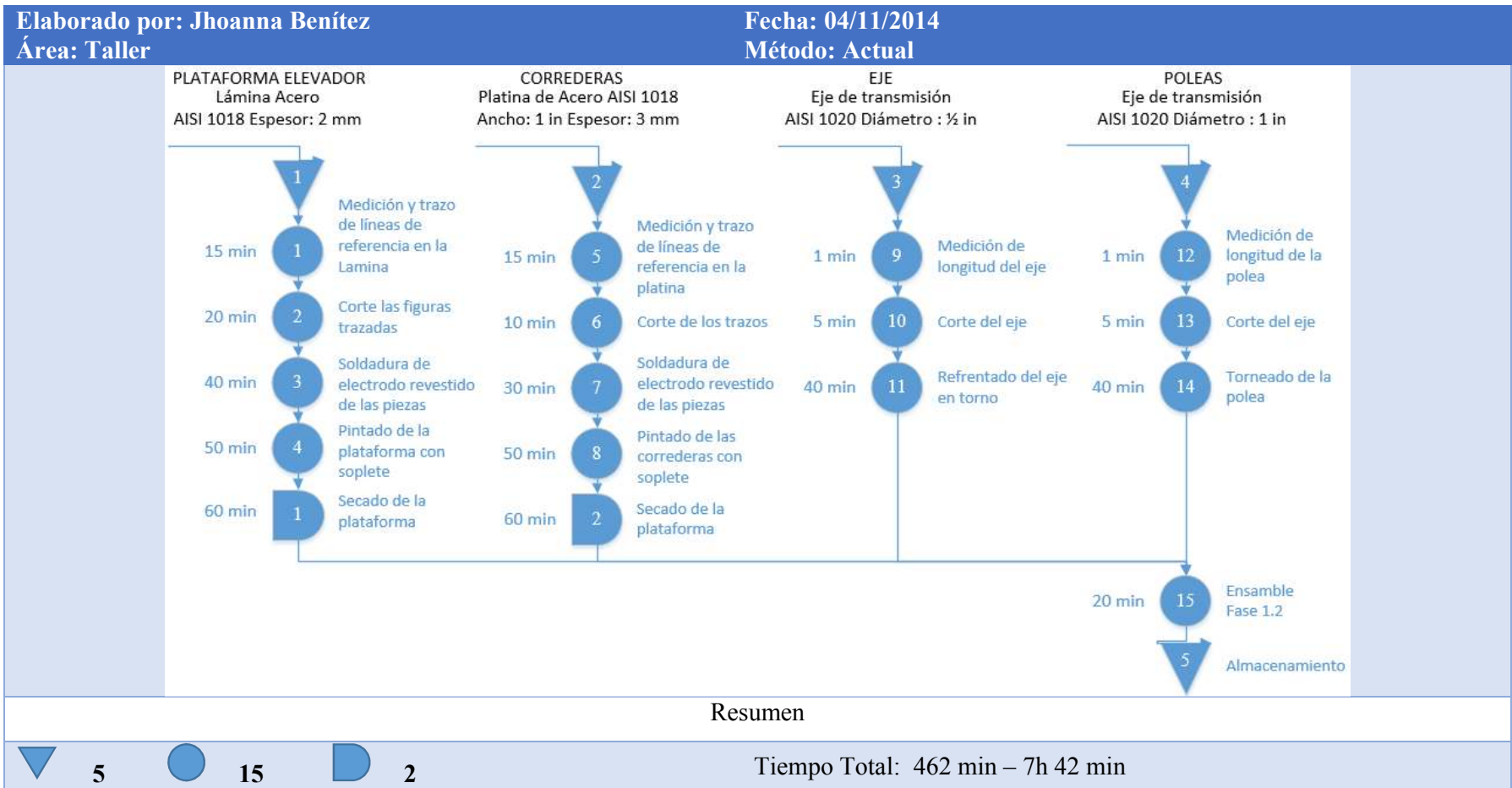


Tabla 24.
Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 2.1 – Sistema de traslación de la botella

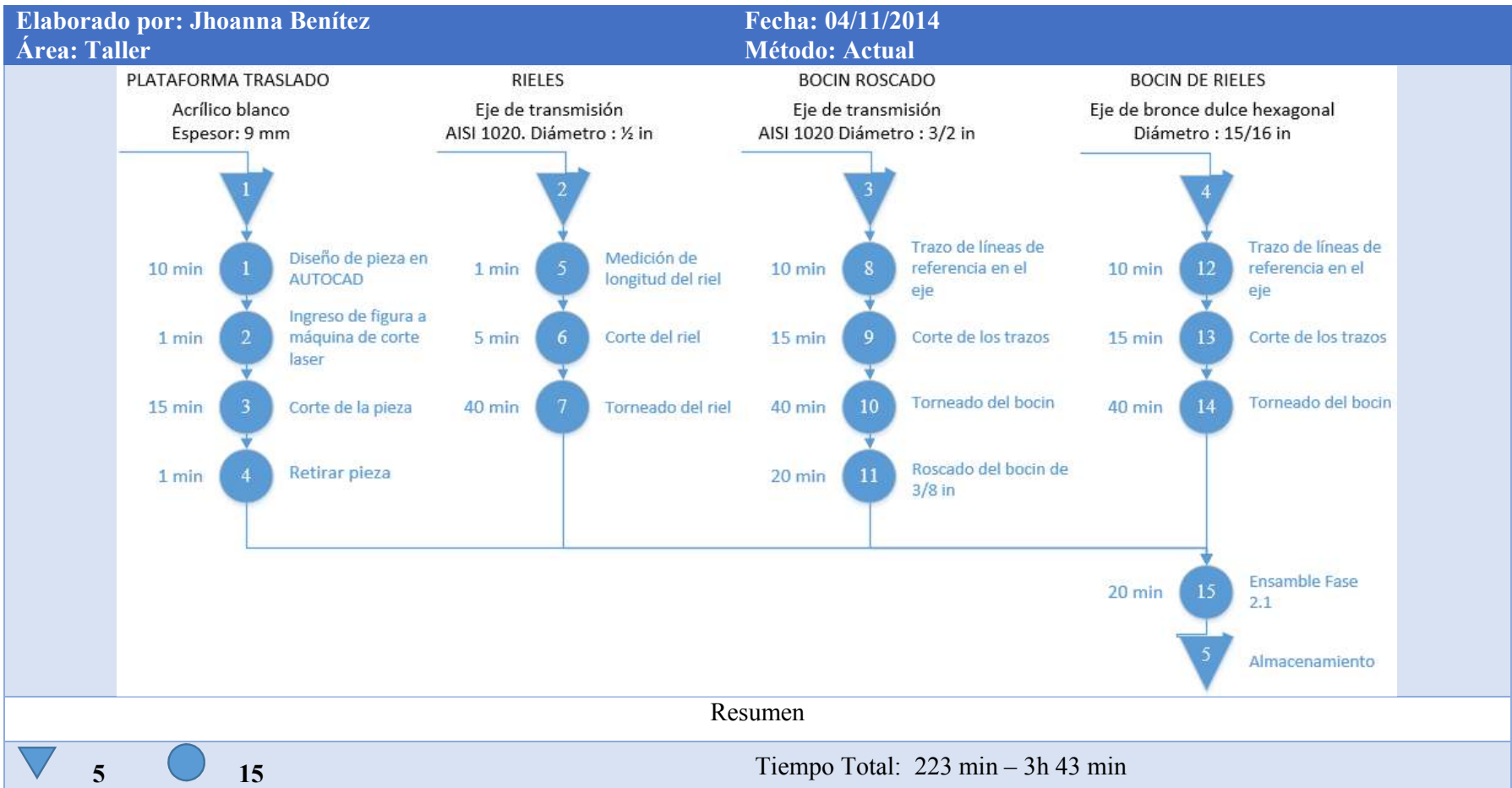


Tabla 25.
Diagrama de Operaciones. Ensamble Fase 2.2 – Sistema de corte de fibra plástica y bobinado

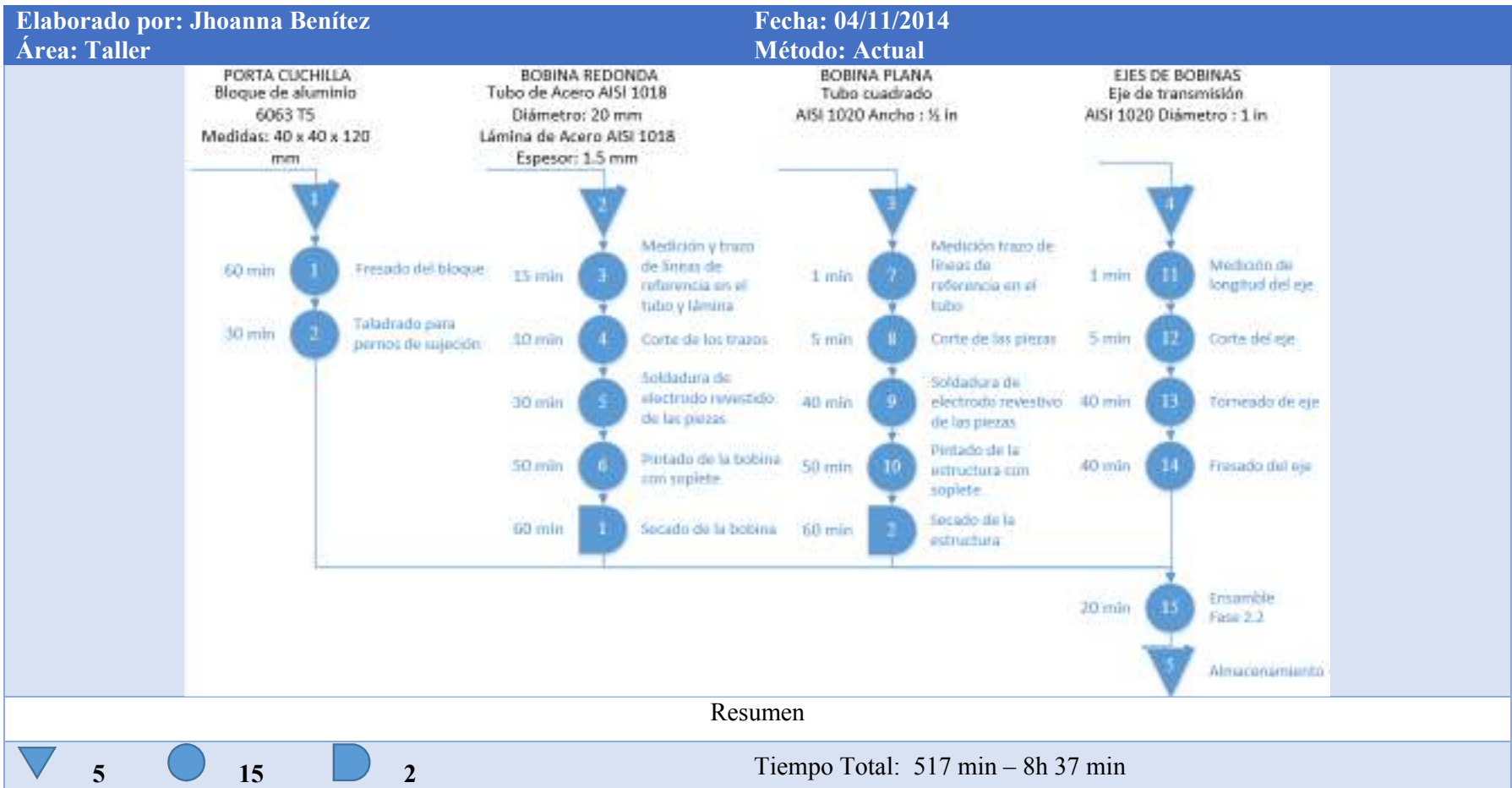
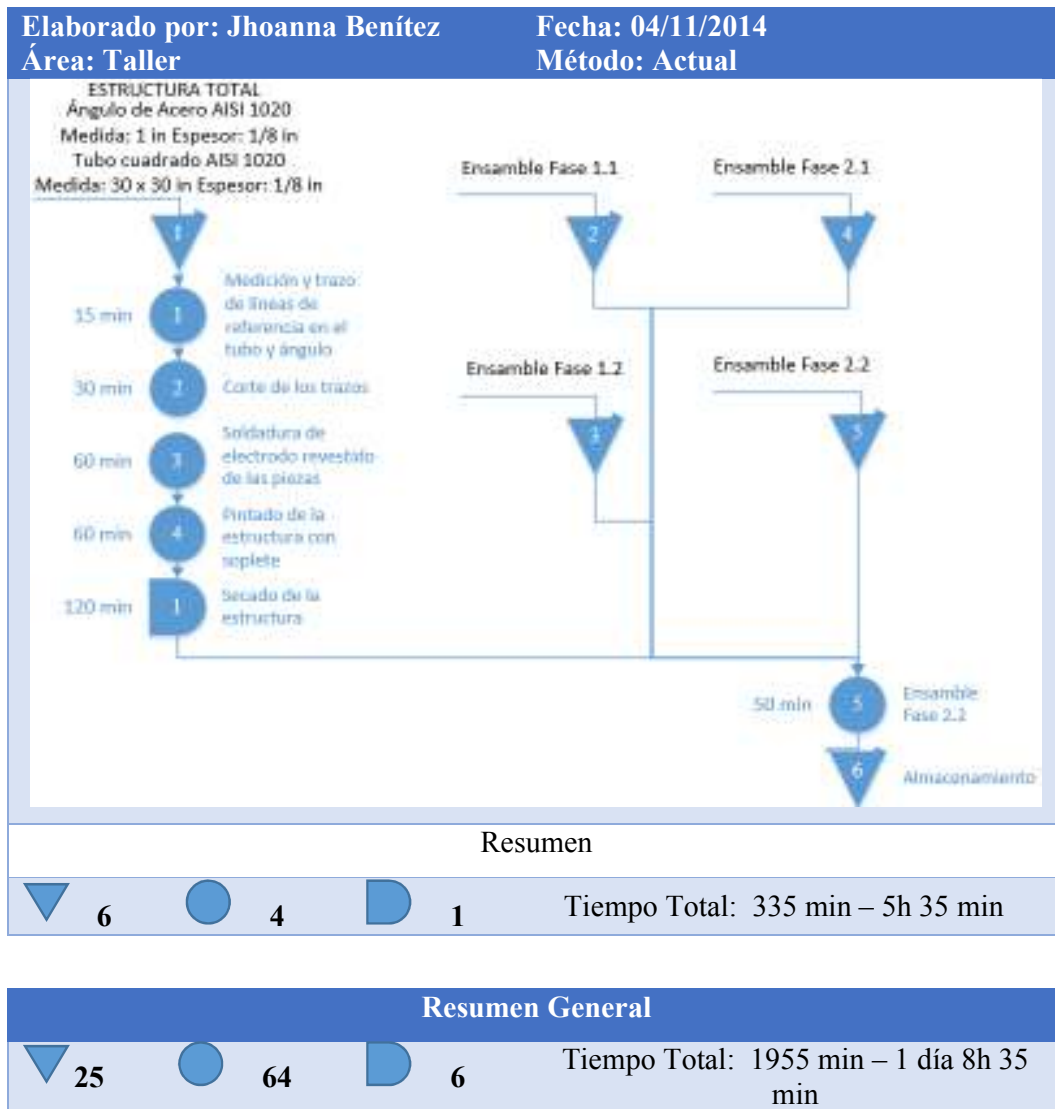


Tabla 26.
Diagrama de Operaciones. Ensamble total



3.1.3. INSTALACIÓN

Luego del ensamblaje de la máquina está fue llevada al hangar de tratamiento de desechos inorgánicos y se inició con la instalación del sistema eléctrico.



Figura 53. Máquina ensamblada

3.2. SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

Se inició con el cableado y conexiones de todos los actuadores a la caja de control ubicada en la estructura.



Figura 54. Caja de control de la máquina

Luego se inició la elaboración del circuito impreso y su instalación en la caja de control con sus periféricos y fuente de energización.

3.2.1. CIRCUITO IMPRESO DEL CONTROLADOR

Se diseñó el circuito impreso en doble cara para que todos los periféricos se conecten directamente. Estos son: pantalla táctil, placa de relés, entradas digitales para los sensores fin de carrera, sensores ultrasónicos y un buzzer para la pantalla táctil. En la figura se muestra la organización del circuito impreso.

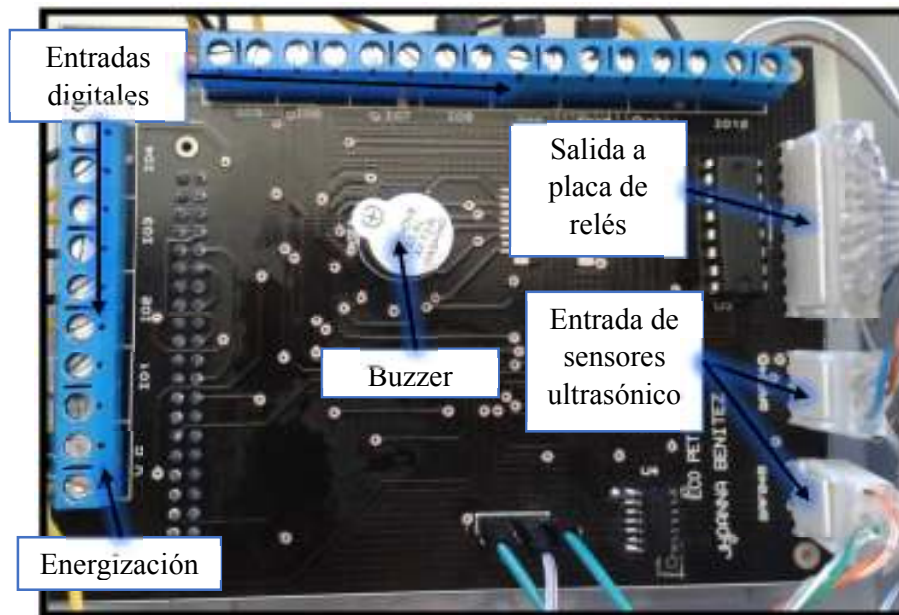
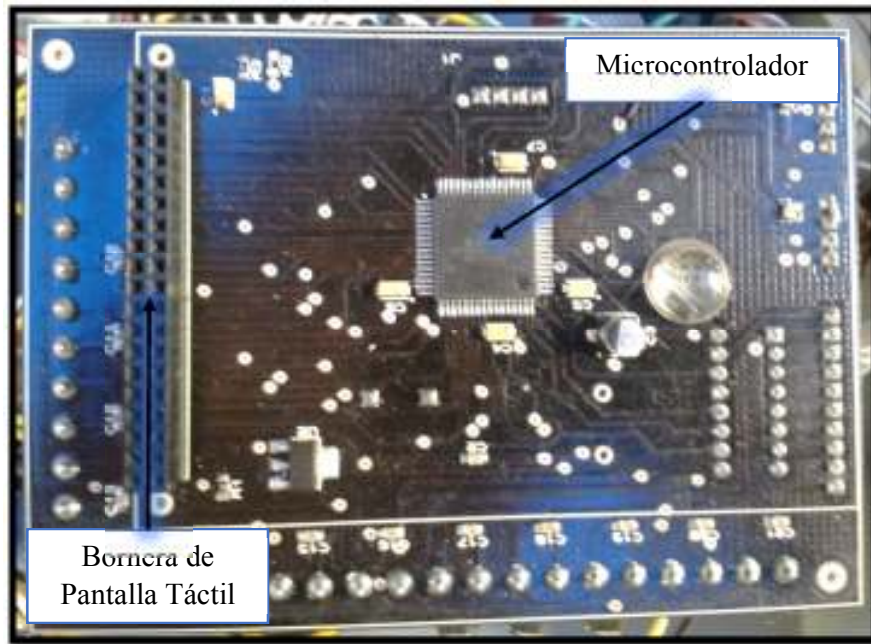


Figura 55. Circuito impreso del controlador

3.2.1.1. MICROCONTROLADOR

Se seleccionó el microcontrolador Atxmega 192d3 de montaje superficial para reducir el espacio del circuito impreso y los periféricos se los ubicó alrededor.



Figura 56. Microcontrolador de montaje superficial Atxmega 192d3

Fuente: (ATMEL, 2014)

3.2.1.2. ACONDICIONAMIENTO DE SENSORES

Se tiene dos tipos de acondicionamiento para los sensores fin de carrera y ultrasónicos.

3.2.1.2.1. ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR FIN DE CARRERA

Gracias a que el microcontrolador cuenta con resistencias internas, los sensores tipo interruptor se pueden conectar directamente al pin y a tierra, se diseñó 12 entradas digitales con disposición de interrupciones en cada pin.

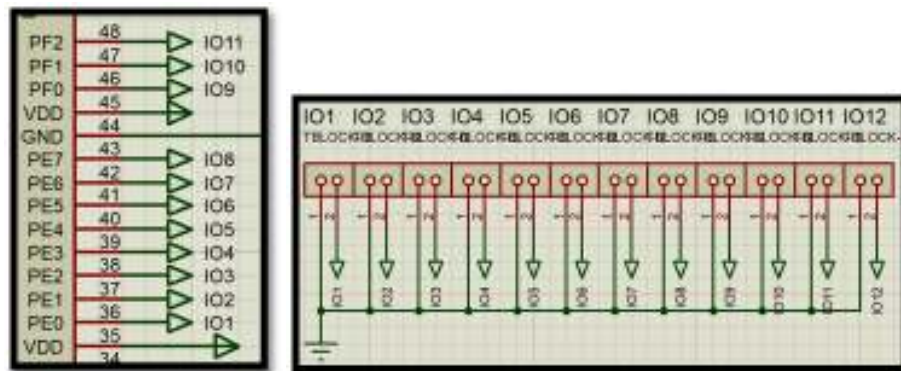


Figura 57. Acondicionamiento del sensor fin de carrera

3.2.1.2.2. ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR ULTRASÓNICO

El acondicionamiento del sensor ultrasónico se lo realizó por que trabaja con 5V y la señal de entrada al microcontrolador debe ser de 3.3V; se utilizó un traductor de voltaje bidireccional TXS0104E, este eleva la tensión enviada del micro al pin *trigger* del sensor y baja la tensión enviada del pin *echo* del sensor al microcontrolador.

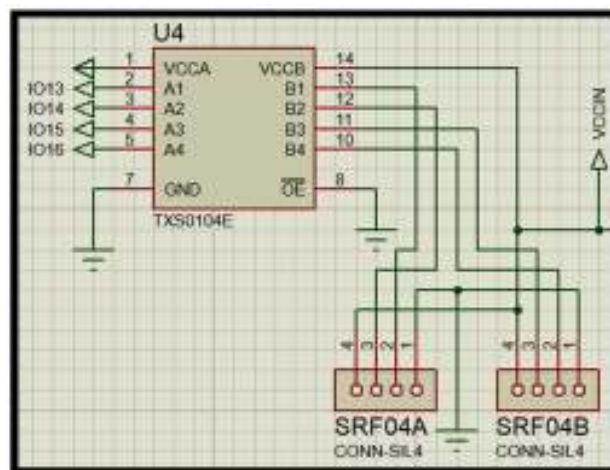


Figura 58. Acondicionamiento del sensor ultrasónico

3.2.1.2.3. ACONDICIONAMIENTO DE SALIDAS DIGITALES

Para acondicionar las salidas a la placa de relés se utilizó un multiplexor para la activación de cada salida en 5V.

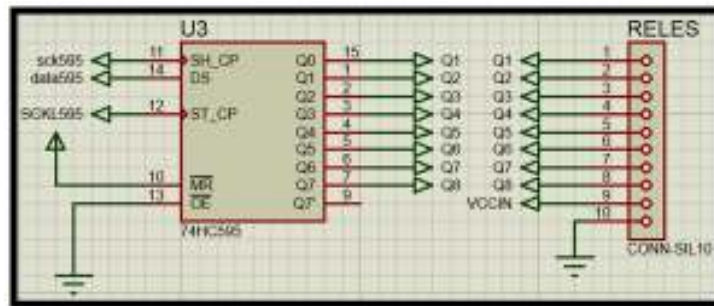


Figura 59. Acondicionamiento de salidas a placa de relés

3.2.1.2.4. PANTALLA TÁCTIL

Se seleccionó una pantalla táctil para reducir el uso de botones e indicar el proceso a los operarios mediante imágenes a color. El acondicionamiento de la pantalla es directo al microcontrolador, cuenta con una memoria SD de 2GB para guardar todas las imágenes impresas en la pantalla.



Figura 60. Pantalla Táctil

3.2.1.2.5. BOTÓN DE EMERGENCIA

Es un botón de enclavación normalmente cerrado ubicado en la caja de control y es utilizado cuando la máquina suscite una emergencia que requiera el apagado de los motores inmediatamente.



Figura 61. Tapa de caja de control

3.2.2. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR

El programa desarrollado utiliza los datos proporcionados por los sensores para controlar los actuadores como se muestra en el Anexo C.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

Esta sección describe las pruebas realizadas en los sistemas del equipo, los resultados esperados y medidas correctivas en caso del incumplimiento de parámetros y un análisis final del producto.

4.1 PARÁMETROS DEL PRODUCTO FINAL

Finalmente con la máquina ensamblada e instalada se procedió a ponerla en marcha y realizar las pruebas necesarias en los sistemas mecánico, eléctrico, electrónico y de control, además analizar los resultados esperados y medidas correctivas en caso del incumplimiento de parámetros del producto final.

Los parámetros del producto final son tomados de los requerimientos que usuario de la escoba observa necesarios:

- Escoba ligera.-
Se espera que la fibra plástica de una escoba ecológica sea de menor o igual peso que una escoba de plástico duro PE, usada en la actualidad.
- Escoba durable.-
Se espera que la fibra plástica ecológica sea resistente al desgaste por rozamiento con suelos de diferentes rugosidades.
- Escoba ancha.-
Se espera que el tamaño de la escoba ecológica tenga mayor o igual área de barrido que una escoba utilizada actualmente.
- Escoba barata.-
Se espera que el uso de materiales reciclados para la manufactura de escobas reduzca el costo actual de estas.

4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO

Después de realizar varias pruebas experimentales se fue variando el diseño de la máquina en materiales y forma, a continuación se describe los resultados obtenidos de cada fase del sistema mecánico.

4.2.1 PRUEBAS FASE I: CORTADORA DE LA BASE DE LA BOTELLA

Se experimentó el corte de la base con diferentes tipos de botellas de 3 litros. Inicialmente el corte se realizó con niquelina (NiCr) de calibre 0.5 mm pero el alambre al momento del corte de aproximadamente 20 botellas tendía a romperse, después se procedió a cambiar el material del alambre por acero inoxidable del mismo calibre haciendo el corte más preciso y que el sistema necesite mantenimiento cada 100 botellas.



Figura 62. Corte de base de la botella



Figura 64. Sistema de tensión del alambre

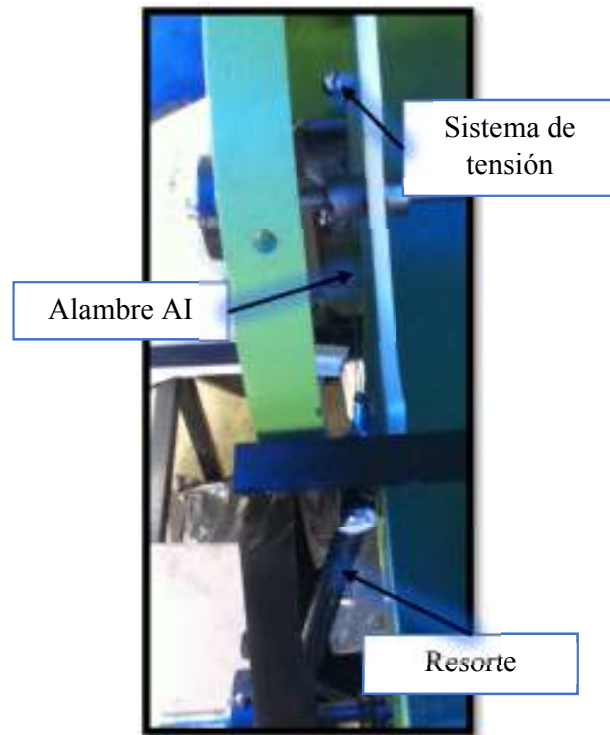


Figura 63. Sistema de corte por alambre de acero inoxidable

4.2.2 PRUEBAS FASE II: CORTADORA DE FIBRA PLÁSTICA DE LA BOTELLA

Se realizaron varias pruebas y cambios de diseño en esta fase, para lo cual se describen las pruebas realizadas en dos subprocesos.

4.2.2.1 PRUEBAS SUBPROCESO I: CORTE DE LA FIBRA PLÁSTICA

Se analizó y construyó dos mecanismos de corte basados en la posición horizontal de la botella pero finalmente el sistema usado dió mejores resultados en cuanto al corte de fibra continua sin cambiar su grosor.



Figura 65. Cortador de fibra plástica

4.2.2.2 PRUEBAS SUBPROCESO II: BOBINADO DE LA FIBRA PLÁSTICA

Inicialmente el sistema de bobinado se diseñó para que la fibra sea enrollada en una estructura plana y esté lista para entrar al horno pero por motivos de capacidad del torque del motor se tuvo que dividir este subproceso en dos pasos.

El primer paso es enrollar la fibra plástica en una bobina redonda y cuando se cumplan 40 botellas de 3 litros cambiar la bobina redonda por una plana y rebobinar la fibra.

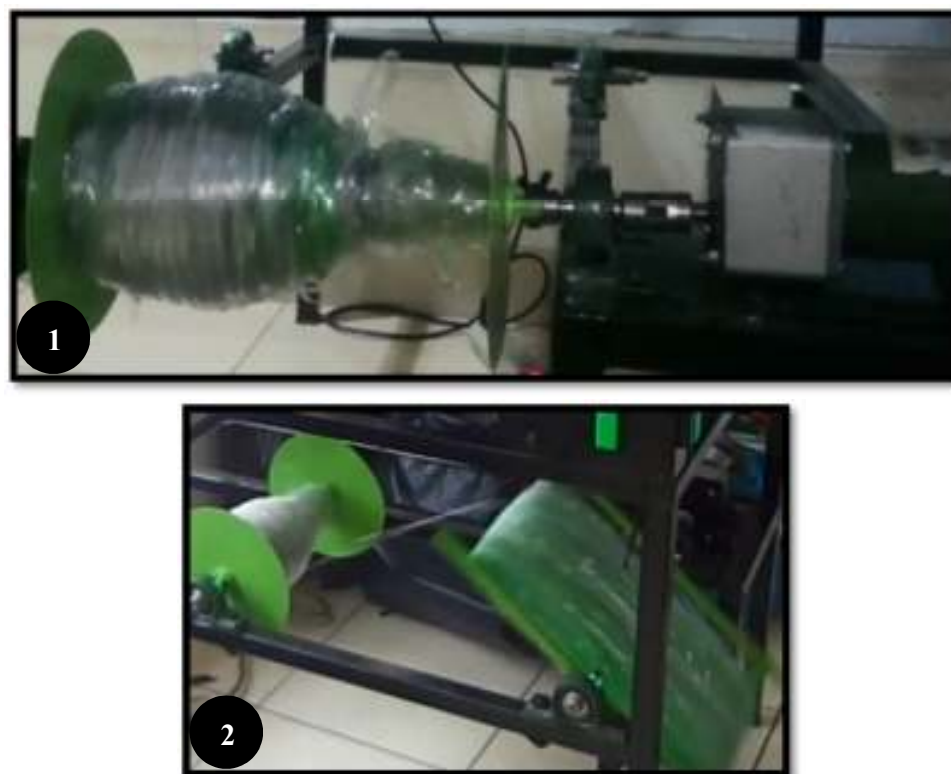


Figura 66. Bobinador de fibra plástica

Además se realizó pruebas de velocidad del motor cuando realiza el bobinado redondo y plano.

Tabla 27.
Pruebas de velocidad al motor de bobinado de fibra plástica

| Tipo de bobinado | Bobinado redondo | Bobinado plano |
|----------------------|------------------|----------------|
| Revoluciones (rev) | 41 | 60 |
| Tiempo de prueba (s) | 30 | 30 |
| Velocidad (rpm) | 82 | 120 |

En los resultados se puede observar un cambio de velocidad ocurrido por el cambio de carga que tiene el motor, el bobinado redondo tiene una fuerza de

resistencia en este caso la fuerza de corte de la botella plástica PET es mayor a la resistencia que tiene el bobinado plano.

4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

4.3.1 PRUEBAS DE CONSUMO DE POTENCIA

Se realizaron mediciones con un amperímetro a la entrada de la caja de control que alimenta a la máquina cuando estaba en funcionamiento dando como resultado.

Tabla 28.
Pruebas de amperaje a la entrada de energización.

| Fase | Corriente (A) |
|---------------------------------|---------------|
| Encendido | 4 |
| I – Corte de base de la botella | 9.2 |
| I – Elevador de botella | 0.4 |
| II – Traslado de botella | 0.5 |
| II – Bobinado de fibra plástica | 0.7 |

Tomando la fase I – Corte de base de la botella para los cálculos de potencia por ser la mayor requerida. Se tiene el cálculo de potencia.

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

Donde la máquina está conectada a la red eléctrica monofásica de 110 V y el factor de potencia ($\cos \phi$) es la razón que existe entre la Potencia Real (P_r) y Potencia Aparente (S), y siendo el caso de sistema monofásico este es 1.

$$P = 110 V \cdot 9.2 A \cdot 1$$

$$P = 1.012 kW$$

4.3.2 PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN DE RED ELÉCTRICA

Se realizaron mediciones con un voltímetro digital a la entrada de la caja de control que alimenta a la máquina, comprobando un voltaje de 110 VAC adecuado para las fuentes de energización de motores y circuito impreso.

4.3.3 PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN DE CIRCUITO DE CONTROL

Se realizaron mediciones con un voltímetro digital a la salida del adaptador que alimenta al circuito de control, comprobando un voltaje de 5VDC indicado para el correcto funcionamiento del proceso de la máquina.

4.3.4 PRUEBAS DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN DE MOTORES

Se realizaron mediciones con un voltímetro digital a la salida de la fuente de voltajes variables, comprobando un voltaje de 12,3 VDC adecuado para los motores de 12 VDC y 4,9 VDC para la placa de relés de los motores. Para el motor de 24 VDC se realizó una fuentes externa desde la tensión eléctrica de 110 a 24 VAC con un transformador y rectificando con un puente de diodos y un capacitor, comprobando un voltaje de 23.8 VDC adecuado para este motor.

4.4 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Se realizaron pruebas de funcionamiento al circuito de control, sensores y placa de relés, resultando ruido cuando entran en funcionamiento los motores. La solución aplicada fue colocar capacitores en cada entrada de motores, sensores ultrasónicos y placa del circuito de control.

Igualmente se realizaron pruebas para el uso de la pantalla táctil con programas específicos.




4.5 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Se comprobó el funcionamiento del sistema de control en cada proceso con indicadores numéricos en la pantalla táctil, una vez corregido el procesamiento se colocó las pantallas explicativas al usuario y se eliminó los indicadores numéricos. El sistema de control se muestra en el programa del Anexo C.

4.6 ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL

Una vez solventados los problemas y dificultades se logró parámetros satisfactorios para el funcionamiento de la máquina. La siguiente tabla muestra las diferencias entre las escobas usadas actualmente por los barrenderos y las escobas fabricadas con fibra plástica ecológica manufacturada por la máquina.

Tabla 29.
Análisis entre escobas




| Caracter. | Escoba de cerdas duras PE | Escoba ecológica de cerdas PET | |
|--------------|---|--|---|
| |  |  |  |
| Ligera (lb) | 1.78 | 1.95 | 1.37 |
| Ancha (mm) | 380 | 400 | 280 |
| Barata (Usd) | 3.50 | 3.60 | 2.80 |

El costo de la escoba de cerdas duras PE consta de la mano de obra y materia prima usada en la escoba, el dato fue proporcionado por la Empresa ARTLIM productora de escobas. El costo de las escobas ecológicas involucra el costo de

materia prima, horas de trabajo del operario al tratar la materia prima y el ensamble de la escoba sin embargo este valor se puede disminuir al desarrollar la máquina en el siguiente prototipo.

Además se realizó una prueba de eficiencia a las escobas. En un área de un metro cuadrado se seleccionó el mismo tipo de basura para las tres pruebas, utilizando la misma persona y con diferente escoba se midió el tiempo que ocupa para barrer el cien por ciento del área, dando como resultado:



Tabla 30.
Prueba de eficiencia de las escobas

| Tipo de escoba | Escoba de cerdas duras PE | Escoba ecológica de cerdas PET | |
|--------------------------------|--|---|--|
| |  |  |  |
| Porcentaje de área barrida (%) | 100 | 100 | 100 |
| Espacio (m ²) | 1 | 1 | 1 |
| Tipo de basura | Hojas secas y polvo | Hojas secas y polvo | Hojas secas y polvo |
| Tiempo (s) | 45,2 | 36,8 | 39,6 |

Como resultado se tiene que las escobas manufacturadas con fibra plástica PET tiene mejor eficiencia que las usadas actualmente por los barrederos ya que cuentan con mayor número de cerdas y al ser menos duras que el plástico rígido tienen la propiedad de mejor barrido de objetos pequeños, además son amigables con el medio ambiente.

A continuación se describe cuanta materia prima se necesita para cada tipo de escoba ecológica:

Tabla 31.
Materia prima utilizada en las escobas ecológicas de cerdas PET

| Tipo de escoba |  Campana |  Cepillo |
|-------------------------|--|--|
| Longitud de cerda | 400 mm | 300 mm |
| Número de cerdas aprox. | 1000 cerdas | 390 cerdas |
| Longitud de fibra | 400 m | 117 m |
| Botellas de 3 litros | 40 botellas | 12 botellas |

A continuación se muestra el tiempo de trabajo de la máquina para cada tipo de escoba:

Tabla 32.
Tiempos de manufactura de las escobas ecológicas de cerdas PET

| Tipo de escoba | Campana | | Cepillo | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|--|
| | 40 botellas | | 20 botellas | |
| Fases | Tiempo de cada fase | Tiempo empleado a cada escoba | | |
| Fase I: Cortadora de la base | 47 s | 1880 s | 940 s | |
| Fase II: Cortadora de fibra plástica | 87 s | 3480 s | 1740 s | |
| Fase II: Bobinado plano | 13 s | 530 s | 260 s | |
| Tiempo de máquina | | 5890 s | 2940 s | |
| Fase III: Horneado | 900 s | 900 s | 900 s | |
| Fase IV: Corte de tiras plásticas | 900 s | 900 s | 900 s | |
| Fase V: Ensamble de escoba | --- | 3600 s | 1800 s | |
| Tiempo de operario | | 5400 s | 3600 s | |
| Tiempo total (s) | | 11290 s | 6540 s | |
| Tiempo total | | 3 h 8 min 10 s | 1 h 49 min | |

CAPITULO V

ANÁLISIS ECÓNOMICO Y FINANCIERO

El presente capítulo estudia la rentabilidad del proyecto, costo e impacto social, económico y ambiental de la máquina.

5.1 PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto general del proyecto está dado por la sumatoria de costos de elementos y materiales que conforman la máquina junto a la mano de obra utilizada para la fabricación de la misma, los cuales se encuentran especificados a continuación.

Tabla 33.
Presupuesto general.

| No. | Descripción de Pieza | Cantidad | Precio |
|-------------------------|-----------------------------|----------|--------|
| Sistema Mecánico | | | |
| 1 | Acople love joy | 4 u | 60,00 |
| 2 | Alambre de Acero Inoxidable | 5 m | 25,00 |
| 3 | Bobina plana | 1 u | 10,00 |
| 4 | Bobina redonda | 1 u | 10,00 |
| 5 | Bocines | 7 u | 56,00 |
| 6 | Chaveta | 2 u | 4,00 |
| 7 | Chumacera pared | 2 u | 17,92 |
| 8 | Chumacera piso | 4 u | 25,40 |
| 9 | Cuchillas | 1 u | 1,00 |
| 10 | Discos de selección | 2 u | 30,88 |
| 11 | Eje de transmisión ½ in | 5 m | 8,75 |
| 12 | Eje de transmisión de 1 in | 1 m | 3,50 |

Continúa



| | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-----|--------|
| 13 | Estructura total | 1 u | 120,00 |
| 14 | Guías de plataforma | 2 u | 5,00 |
| 15 | Implementos mecánicos | 1 u | 36,54 |
| 16 | Pintura | 1 u | 56,90 |
| 17 | Plataforma de elevador | 1 u | 27,00 |
| 18 | Plataforma de traslado | 1 u | 15,00 |
| 19 | Poleas | 4 u | 5,00 |
| 20 | Porta cuchilla | 1 u | 40,00 |
| 21 | Resorte | 1 u | 2,00 |
| 22 | Tolva | 1 u | 150,00 |
| 23 | Tornillo sin fin | 1 u | 4,77 |
| Sistema Eléctrico | | | |
| 24 | Botón de emergencia | 1 u | 8,50 |
| 25 | Cable | 1 u | 10,00 |
| 26 | Caja de control | 1 u | 13,71 |
| 27 | Canaleta | 5 m | 9,70 |
| 28 | Implementos eléctricos | 1 u | 7,84 |
| 29 | Motor 12 VDC – caja reductora | 2 u | 33,48 |
| 30 | Motor 12 VDC usado | 1 u | 13,00 |
| 31 | Motor 24 VDC usado | 1 u | 50,00 |
| Sistema Electrónico | | | |
| 32 | Adaptador 5V | 1 u | 4,60 |
| 33 | Circuito impreso | 1 u | 50,00 |
| 34 | Fuente varios voltajes | 1 u | 47,32 |
| 35 | Implementos electrónicos | 1 u | 20,00 |
| 36 | Memoria SD | 1 u | 6,50 |
| 37 | Pantalla táctil | 1 u | 30,00 |

Continúa



| | | | |
|---------------------|---------------------------------|--------------|---------|
| 38 | Placa de relés | 1 u | 15,00 |
| 39 | Sensor fin de carrera | 4 u | 4,00 |
| 40 | Sensor ultrasónico | 3 u | 25,20 |
| Mano de obra | | | |
| | Diseño e ingeniería | | 500 |
| | Mecanizados | | 330 |
| | Asesoría Mecánica y Electrónica | | 500 |
| | Transporte | | 100,00 |
| | | Total | 2493,51 |

5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Por medio de este análisis se estudiará la relación existente entre los ingresos y egresos resultantes de la utilización de la máquina por parte de la entidad beneficiada del proyecto.

5.2.1 CÁLCULO DE INGRESOS

Terminado el proyecto “Recolección Selectiva de Material Reciclable e Inclusión Social Fase II” organizado por el Departamento de Medio Ambiente de la Administración Zonal Eloy Alfaro Sur las personas beneficiadas crearon una asociación independiente de gestión del medio ambiente.

Este estudio considera solo la manufactura de la escoba ecológica tipo campana para el análisis de ingresos.

Para producir este tipo de escobas es necesario 5890s de máquina y 5400s de operario que pueden ser simultáneos, por lo que se analizará con el tiempo de máquina 1h 38 min si los operarios responsables de la máquina trabajan ocho horas diarias de los cinco días de la semana se calcula la producción de escobas mensual y anual.

$$\text{Tiempo de manufactura escoba (min)} = 1h \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 h} + 38 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de manufactura escoba (min)} = 98 \text{ min}$$

$$\text{Producción de escabas al día (núm. escobas)} = 1 \text{ escoba} \cdot \frac{8 h}{98 \text{ min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 h}$$

$$\text{Producción de escabas al día (núm. escobas)} = 4,90 \text{ escobas}$$

Tabla 34.
Producción anual de escobas ecológicas.

| Producción | Día | Semanal | Mensual | Anual |
|---------------------|------|---------|---------|---------|
| Núm. Escobas | 4,90 | 24,49 | 97,96 | 1175,51 |

La producción anual es de 1175 escobas a un costo de 3,60 usd daría un total de ingresos:

$$\text{Ingreso anual} = 1175 \text{ escobas} \cdot 3,60 \text{ usd}$$

$$\text{Ingreso anual} = 4230,00 \text{ usd}$$

Suponiendo un aumento de 9% anual en la producción de escobas ecológicas y un tiempo de vida útil de la máquina de 5 años, se muestra una proyección de ingresos anuales.

Tabla 35.
Cálculo de ingresos en 5 años.

| Periodo (Años) | Ingreso (usd) |
|-------------------|------------------|
| 1 | 4230,00 |
| 2 | 4610,70 |
| 3 | 5025,66 |
| 4 | 5477,97 |
| 5 | 5970,99 |

5.2.2 CÁLCULO DE EGRESOS

Los egresos de la asociación estarán determinados solamente por los costos de utilización de la máquina, pues el valor de esta fue financiado totalmente por la estudiante que realizó el proyecto.

Si la máquina trabaja las ocho horas de los cinco días a la semana esta permanece encendida cuarenta horas semanales que equivale a 1920 horas al año y tendrá un consumo de 1,012 kW. El costo actual del kilovatio es de \$0,15 (Empresa Eléctrica Quito, 2014) por hora con una inflación anual del 3,41% (Banco Central del Ecuador, 2014).

$$\text{Consumo eléctrico (kW - h)} = 1920 \text{ h} \cdot 1,6 \text{ kW}$$

$$\text{Consumo eléctrico (kW - h)} = 1943,04 \text{ kW - h}$$

$$\text{Costo del consumo eléctrico ($) = } 1943,04 \text{ kW - h} \cdot \$ 0,15$$

$$\text{Costo del consumo eléctrico ($) = } \$ 291,46$$

Adicionalmente la máquina necesita un operario, quien por ser parte de la asociación tiene un sueldo colectivo que no cuenta como egreso de la máquina y un costo de mantenimiento de \$ 20 cada mes lo que suma \$240 anuales.

Considerando estos datos, la siguiente tabla muestra los egresos anuales por utilización de la máquina proyectados a 5 años.

Tabla 36.
Cálculo de egresos en 5 años.

| Periodo | Gasto energía eléctrica | Operador | Mantenimiento | Egreso total |
|----------|-------------------------|----------|---------------|---------------|
| 1 | 291,46 | 0,00 | 240,00 | 531,46 |
| 2 | 301,40 | 0,00 | 248,18 | 549,58 |
| 3 | 311,68 | 0,00 | 256,65 | 568,33 |
| 4 | 322,31 | 0,00 | 265,40 | 587,71 |
| 5 | 333,30 | 0,00 | 274,45 | 607,75 |

5.2.3 CÁLCULO DEL BENEFICIO NETO (BNt)

Para el cálculo del beneficio neto se toma en cuenta las ventas anuales (ingresos) y costos de producción (egresos).

$$BNt = Ingresos - Egresos$$

Tabla 37.
Cálculo del beneficio neto.

| Periodo | Ingresos | Egresos | BNt |
|---------|----------|---------|----------------|
| 1 | 4230,00 | 531,46 | 3698,54 |
| 2 | 4610,70 | 549,58 | 4061,12 |
| 3 | 5025,66 | 568,33 | 4457,33 |
| 4 | 5477,97 | 587,71 | 4890,26 |
| 5 | 5970,99 | 607,75 | 5363,24 |

Se muestra un beneficio neto creciente cada año por el aumento de producción de escobas. Sin embargo para el número de asociados es bajo pero se prevé el desarrollo de la máquina y adquisición de otras para que a un futuro el beneficio neto sea mayor.

5.3 ANÁLISIS FINANCIERO

Para la evaluación financiera se utiliza como parámetro la inversión inicial que viene dada por los costos totales de la máquina y para determinar la rentabilidad de la máquina se realiza el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

5.3.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Permite determinar si se cumple con el objetivo básico financiero que en este caso es inyectar inversión a la asociación de gestión del medio ambiente mediante un flujo de caja futuro verificando si el proyecto de inversión es recomendable.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BNt}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde:

VAN = Valor actual neto

BNt = Beneficio neto del periodo t

I₀ = Inversión inicial

n = número de años

i = tasa de descuento, rentabilidad mínima que se espera del proyecto

Para el cálculo de VAN se proyecta a 5 años el beneficio neto junto con la inversión inicial como se muestra a continuación.

Tabla 38.
Cálculo de VAN

| n | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| I₀ | 2493,51 | | | | | |
| BNt | | 3698,54 | 4061,12 | 4457,33 | 4890,26 | 5363,24 |
| i | 20% | 20% | 20% | 20% | 20% | 20% |
| (1 + i)ⁿ | 1,00 | 1,20 | 1,44 | 1,73 | 2,07 | 2,49 |
| BNt / (1 + i)ⁿ | | 3082,12 | 2820,22 | 2579,47 | 2358,34 | 2155,37 |
| VAN | 10502,01 | | | | | |

El resultado obtenido indica que las ganancias que produce la máquina son mejores al paso de los años para los asociados.

5.3.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Permite determinar la rentabilidad del proyecto y se refiere al cálculo de la tasa de descuento que hace cero al VAN como se muestra a continuación.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BNt}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Se utilizó la tabla de Cálculo del VAN para buscar el valor más próximo que vuelva cero al VAN.

Tabla 39.
Cálculo de TIR

| n | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| I₀ | 2493,51 | | | | | |
| BNt | | 3698,54 | 4061,12 | 4457,33 | 4890,26 | 5363,24 |
| TIR % | 155,95 | 155,95 | 155,95 | 155,95 | 155,95 | 155,95 |
| (1 + TIR)ⁿ | 1,00 | 2,56 | 6,55 | 16,77 | 42,92 | 109,84 |
| BNt / (1 + TIR)ⁿ | | 1445,02 | 619,92 | 265,83 | 113,95 | 48,83 |
| VAN | 0,04 | | | | | |

El resultado obtenido de 155,95% de TIR indica una tasa de descuento superior a la planteada anteriormente, concluyendo que la máquina recicladora de plástico es rentable a cinco años.

5.4 ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Esta sección realizará un análisis cualitativo del impacto de la máquina en la sociedad, la economía y el medio ambiente.

5.4.1 IMPACTO SOCIAL

El grupo de asociados es el principal beneficiado del uso de la máquina, pues tiene la posibilidad de generar un producto auténtico y ecológico en el país, además el proyecto es la base para el desarrollo de una nueva plaza de trabajo con materia prima reciclada e incluso los ciudadanos del sur de Quito se verán beneficiados al reducir la contaminación de desechos urbanos en calles y residencias de la ciudad.

5.4.2 IMPACTO ECONÓMICO

La sección 5.3 comprueba la factibilidad de la máquina para los gestores del medio ambiente ya que añadiendo valor agregado al plástico recolectado pueden aumentar sus ingresos actuales desde el día de adquisición al contar con una máquina sin costo alguno.

Por el momento la escoba ecológica es comercializada al mismo precio de las usadas actualmente pero en un futuro este costo puede reducirse ya que la materia prima es reciclada.

5.4.3 IMPACTO AMBIENTAL

Este proyecto tiene un gran impacto ambiental ya que con la producción de escobas ecológicas se puede regular una parte de la contaminación en la ciudad de Quito por botellas plásticas.

La fabricación de cualquier máquina tiene cierto impacto ambiental negativo; sin embargo, se ha diseñado de tal forma que cuando cumpla sus años de vida útil la mayoría de materiales sean reciclables.

La utilización de la máquina fomentará al desarrollo de proyectos con mejores tecnologías optimizando su fabricación y evitando un mayor impacto en el reciclaje de desechos urbanos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La máquina de reciclaje de botellas plásticas aplicó una metodología basada en el desarrollo sustentable y sostenible en la manufactura de escobas ecológicas al reducir, reciclar y reutilizar los residuos de botellas plásticas de material PET reduciendo pasivos ambientales en Quito.
- El resultado de eficiencia de los dos tipos de escobas mostró que las escobas ecológicas tipo campana tienen mejores características a las usadas actualmente ya que al tener mayor número de fibras su área de barrido es mayor y al tener cerdas más suaves puede recoger objetos más pequeños y polvo.
- La máquina es un sistema mecatrónico ya que integró los subsistemas mecánico, eléctrico, electrónico, informático y de control de manera sinérgica.
- El proceso de diseño concurrente determinó los parámetros en la selección de alternativas mostrando las necesidades de los clientes de las escobas ecológicas.
- El diseño y construcción del presente trabajo cumplió el alcance planteado, se construyó un prototipo de máquina manufacturera de escobas con plástico reciclado PET y automatizándola para simplificar el trabajo del operario.
- La alta resistencia frente a esfuerzos permanentes, alta rigidez y dureza del plástico PET ayuda al aumento de eficiencia de las escobas ecológicas pero dificulta la unión de fibras en el proceso de manufactura. Se realizó varias

pruebas de soldadura en frío y caliente sin resultado favorecedor por lo cual el enlace de fibras se realizó de forma manual con un nudo.

- El diseño del sistema eléctrico permitió que la máquina pueda ser utilizada en cualquier lugar ya que se estandarizó a 110 VAC.
- El diseño del sistema electrónico con pantalla táctil permitió la utilización de elementos digitales reduciendo el uso de conexiones de elementos físicos.
- El sensor fotoeléctrico para detección de botellas plásticas mejorará el proceso ya que especialmente identifica material PET pero por su alto costo se escogió utilizar sensores ultrasónicos que identifican todo tipo de material.
- Se desarrolló documentación técnica y operativa de la máquina orientada al operario como fuente de consulta al utilizarla.
- El capítulo financiero demostró que el impacto social, económico y ambiental de la máquina es favorable.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para ampliar el nivel de automatización de la máquina y reducir trabajo y tiempo del operario se puede desarrollar un mecanismo con motor en el acarreador de la fibra plástica al momento de corte.
- La máquina fue diseñada para ser desarmable por lo que en futuros proyectos se puede reemplazar partes para admitir otros tipos de botellas recicladas.
- La unión de fibras plásticas puede ser desarrollada en futuros proyectos de grado.

- Para la regulación de la materia prima que ingresa a la máquina se puede reemplazar los sensores ultrasónicos por sensores fotoeléctricos para detección de materiales PET.
- Las fases de elevador y traslado aumentan el tiempo de operación innecesariamente por lo que para el siguiente prototipo se recomienda elegir uno de ellos o descartarlos.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS CONSULTADOS

Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw - Hill.

Menon, U., & Syan, C. S. (1994). Concurrent Engineering. En *Concurrent Engineering* (pág. 7). Chapman & Hall.

Norguez, M. E., Balderas, J. E., Robert, T., Ramirez, J., & Salas, G. (2002). *Propiedades mecánicas de aceros de bajo carbono con estaño y diferentes contenidos de elementos residuales*. D. F. México.

Pytel, A., & Kiusalaas, J. (2009). *Engineering Mechanics Statics*. Pennsylvania.

PROGRAMAS EDUCATIVOS

Cambridge Engineering Selector. (2009). CES - EDUPACK.

DIRECCIONES DE INTERNET

Empresa LUMETAL PLASTIC. (2014). *Propiedades del Nylon*. Obtenido de Lumetal: http://www.lumetalplastic.com/nylon_plc.html

Empresa Pública Metropolitana de Aseo. (2011). *Proyecto "Quito Patrimonio Sano"*. Obtenido de <http://www.emaseo.gob.ec/index.php/proyecto-3rs.html>

Irestal Group. (2014). *Tablas Técnicas del Acero Inoxidable*. Obtenido de Irestal Group Web site: www.irestal.com

Empresa TecMicro. (2014).

ANEXOS