



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
DE DISCRIMINACIÓN Y POSICIÓN DE BOTELLAS
PLÁSTICAS TIPO PET PARA COMPLEMENTAR LA PRIMERA
ETAPA DE UNA MÁQUINA RECICLADORA.**

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

CRISTHIAN JAVIER VILLARREAL OJEDA

DIRECTOR: ING. LUIS HIDALGO. MSC

Quito, octubre del 2016

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2016.
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721432449
APELLIDO Y NOMBRES:	Villarreal Ojeda Cristhian Javier
DIRECCIÓN:	Urbanización el condado calle Q y A
EMAIL:	cristhian_villarreal@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	022496462
TELÉFONO MOVIL:	0984906095

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño y construcción de un sistema automático de discriminación y posición de botellas plásticas tipo PET para complementar la primera etapa de una máquina recicladora
AUTOR O AUTORES:	Cristhian Villarreal
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	06 de octubre del 2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. Luis Hidalgo
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Mecatrónico
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	Se desarrolló el diseño, modelado CAD y construcción de la primera etapa de una máquina recicladora de botellas plásticas tipo PET utilizando el modelo en V de proyectos mecatrónicos. Se presenta dos etapas principales dentro del desarrollo de todo el proyecto. La primera etapa consiste en un sistema que permite el acceso de botellas plásticas de tipo PET con características de una botella de 2 litros o menor a ésta. La segunda etapa de seguridad tiene la finalidad de descartar

	<p>elementos que contenga agua o sobrepasen el peso máximo establecido obtenidos del peso de una botella plástica de 2 litros. El proyecto cumple con diferentes características y requerimientos plateados como su fácil montaje y desmontaje, amigable con el usuario, energización del sistema a 110V, diseño enfocado al mejoramiento de la máquina, desarrollo bajo software libre, y dos etapas de seguridad para la máquina, todos éstos debidamente evaluados y respaldados mediante sus planos eléctricos y mecánicos así como de un protocolo de pruebas para comprobar los resultados obtenidos con los esperados. El sistema tiene la capacidad de procesar 115 botellas en 17 minutos aproximadamente si el ingreso de botellas es continua.</p>
PALABRAS CLAVES:	Diseño, Protocolo, montaje , desmontaje
ABSTRACT:	<p>The design, CAD modeling and construction of the first stage of a plastic bottle recycling machine type PET was developed, using the V model of mechatronic projects. Two main stages in the development of the whole project are presented. The first stage consists of a system that allows access to PET type plastic bottles with characteristics of a 2-liter bottle or less than this. The second stage of security is intended to exclude items containing water or that exceed the maximum weight set obtained from the weight of a 2-liter plastic bottle. The project complies with different characteristics and requirements set such</p>

	<p>as easy assembly and disassembly, user friendly, energization system to 110V, design focused on improving machine development under free software and two stages of safety for the machine; all these properly evaluated and supported by its electrical and mechanical drawings as well as a testing protocol with which it was found that the system meets the initial design requirements proposed. The system has the capacity to process 115 bottles in 17 minutes approximately with a continued bottle placement.</p>
KEYWORDS	Design, Protocol, Assembly, Dismantling

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f.


VILLARREAL OJEDA CRISTHIAN JAVIE

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Villarreal Ojeda Cristhian Javier**, CI 172143244-9 autor/a del proyecto titulado: **Diseño y construcción de un sistema automático de discriminación y posición de botellas plásticas tipo PET para complementar la primera etapa de una máquina recicladora** previo a la obtención del título de **GRADO ACADÉMICO COMO APRECE EN EL CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 06 de octubre del 2016

f.



VILLARREAL OJEDA CRISTHIAN JAVIER

DECLARACIÓN

Yo **CRISTHIAN JAVIER VILLARREAL OJEDA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



CRISTHIAN JAVIER VILLARREAL OJEDA

C.I 172143244-9

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DISCRIMINACIÓN Y POSICIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS TIPO PET PARA COMPLEMENTAR LA PRIMERA ETAPA DE UNA MÁQUINA RECICLADORA**", que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónica** fue desarrollado por **Cristhian Villarreal**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



Ing. Luis Hidatgo. Msc

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1707721435

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado en primer lugar a Dios que ha estado presente en toda mi vida y jamás me ha abandonado.

A mis padres quienes son las personas más importantes y han sabido guiarme a lo largo de toda mi vida y pese cualquier adversidad han estado incondicionalmente conmigo con palabras de aliento, con buenos deseos, con su sonrisa y con amor.

Mis dos hermanos Andrea y Alex que son una inspiración y un motor que me empuja a seguir adelante.

Andrea Mera con quien compartí grandes experiencias a lo largo del desarrollo de este proyecto y siempre estuvo dispuesta a brindarme su apoyo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 BOTELLAS PLÁSTICAS PET	4
2.1.1 POLIETILENO TEREFTALATO.....	4
2.1.2 PET RECICLADO	4
2.2 SISTEMAS DE RECICLADO PET	4
2.2.1 RECICLADO MECÁNICO DEL PET	5
2.2.2 RECICLADO QUÍMICO DEL PET	5
2.2.3 RECICLADO ENERGÉTICO DEL PET	6
2.3 RESORTES DE TORSIÓN	6
2.3.1 PROCESO PARA CALCULAR UN RESORTE SOMETIDO A TORSIÓN	8
2.4 SENSORES.....	12
2.5 PANTALLA TFT	12
2.6 ARDUINO MEGA.....	13
2.6.1 ALIMENTACIÓN DE VOLTAJE PARA LA TARJETA ARDUINO.	13
2.7 VOLTAJE.....	14
2.7.1 VOLTAJE DC.....	14
2.7.2 VOLTAJE AC.....	14
2.8 FRECUENCIA	15
2.9 SEÑAL ELÉCTRICA.....	15
2.10 SERVOMOTORES	15
2.10.1 PAR TORSIONAL.....	15
2.10.2 VELOCIDAD ANGULAR O ROTACIÓN	16
2.10.3 FUNCIONAMIENTO	16
2.11 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA	17
2.12 SOFTWARE Y HARDWARE LIBRE	17

3. METODOLOGÍA Y DISEÑO

3.1 SISTEMA MECATRÓNICO	18
3.2 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO	19
3.2.1 MONTAJE Y DESMONTAJE	19
3.2.2 FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	19
3.2.3 MEDIDAS	19
3.2.4 AMIGABLE CON EL USUARIO	19
3.2.5 ENERGÍA.....	19
3.2.6 DISEÑO	20
3.2.7 RANGO DE FALLAs	20
3.3 ESPECIFICACIONES.....	20
3.4 RESTRICCIONES	21
3.5 PROTOCOLO DE PRUEBAS	21
3.6 DISEÑO DEL SISTEMA.....	21
3.7 DISEÑO MECÁNICO.....	24
3.7.1 FILTRO DE BOTELLAS POR COMPUERTA	24
3.7.1.1 Agujero de ingreso de pico de botellas	25
3.7.1.2 Entrada Cúbica.....	25
3.7.1.3 Barra de sujeción	26
3.7.1.4 Pestaña de sujeción	27
3.7.2 SISTEMA MECÁNICO PARA FILTRO DE ELEMENTOS	27
3.7.2.1 Diseño de los resortes.....	29
3.7.2.2 Diseño de palanca.....	35
3.7.2.3 Diseño de eje	36
3.7.3 DUCTO	36
3.7.4 RAMPA DE SALIDA DE BOTELLAS.....	38
3.7.5 CARCASA DE RAMPA.....	40
3.7.6 CARCASA DE LA MÁQUINA	41
3.8 DISEÑO ELECTRÓNICO	42
3.8.1 SERVOMOTORES	42
3.8.2 JUEGO DE LUCES LED RGB.....	44
3.8.3 SENSOR INFRARROJO	44

3.8.4	TARJETA ELECTRÓNICA DE ACTUADORES Y SENSORES ..	45
3.8.5	PANTALLA TFT	46
3.8.6	TFT SHIELD INTERCONEXIÓN CON ARDUINO MEGA.....	47
3.8.7	FUENTES DE VOLTAJE	47
3.8.8	UPS	48
3.8.8.1	Cálculos para selección de UPS	48
3.8.9	SISTEMA DE CONTROL.....	49
3.9	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA COMPLETO	50
3.10	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO	51
3.11	CONSTRUCCIÓN Y DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	55
3.11.1	SERVOMOTORES	56
3.11.2	JUEGO DE LUCES LED RGB.....	57
3.11.3	SENSOR INFRARROJO	57
3.11.4	PANTALLA TFT	59
3.11.5	FUENTES DE VOLTAJE	59
3.11.6	SISTEMA DE CONTROL.....	59
3.11.7	TARJETA ELECTRONICA DE ACTUADORES Y SENSORES	59
3.12	RECORRIDO DE LA BOTELLA EN EL SISTEMA	61
3.13	VISTA EXPLOSIONADA DEL SISTEMA	62
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1	RESULTADOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS	64
4.1.1	PRUEBAS DE MONTAJE Y DESMONTAJE	64
4.1.2	PRUEBA DE MANTENIMIENTO	65
4.1.3	PRUEBA DE MÁQUINA INTUITIVA	66
4.1.4	PRUEBA POR FALLA DE DETECCIÓN DEL SENSOR INFRARROJO	67
4.1.5	PRUEBA DE DISCRIMINACIÓN DE BOTELLAS CON LÍQUIDO	68
4.1.6	PRUEBA DE FALLA POR CORTE DE ENERGÍA.....	69
4.2	PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA COMPLETO.....	71
4.3	CAPACIDAD DE CAJÓN	73
4.4	COSTO DEL SISTEMA.....	74
4.5	ANÁLISIS DE RECUPERACION DE INVERSIÓN.....	75

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	77

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Características del PET VS RPET	6
Tabla 2. Características del microcontrolador Atmega328 utilizado por la tarjeta de control Arduino Mega	13
Tabla 3. Especificaciones generales del servomotor Hitec HS-311	43
Tabla 4. Descripción de la placa electrónica del sistema por secciones	60
Tabla 5. Pruebas de montaje y desmontaje de la máquina	64
Tabla 6. Pruebas de tiempo de mantenimiento	65
Tabla 7. Prueba de facilidad de uso e intuición del usuario al usar la máquina	66
Tabla 8. Pruebas de fallas del sensor infrarrojo	67
Tabla 9. Pruebas de discriminación de botellas con diferentes pesos añadidos	68
Tabla 10. Pruebas del sistema tras corte de energía	70
Tabla 11. Pruebas de tiempo de apertura y cerrado de los servos, tiempo de caída, tiempo de laminado y tiempo total de procesamiento para cada botella plástica.....	72
Tabla 12. Pruebas de capacidad del cajón.....	73
Tabla 13. Costo de construcción de la máquina reciclador	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Proceso de reciclado mecánico avanzado.....	5
Figura 2. Resortes de Torsión.....	7
Figura 3. Especificación de la carga y requerimientos de deflexión para resortes de torsión.....	8
Figura 4. Señal, frecuencia y período de trabajo para los movimientos de 0°, 90 ° y 180° de posición de un servomotor.....	16
Figura 5. Modelo en V para el desarrollo de la primera etapa de una máquina recicladora.....	18
Figura 6. Estructura básica del sistema automático de discriminación y posición de botellas plásticas tipo PET.....	22
Figura 7. Modelado en CAD del filtro de botellas por compuerta.....	24
Figura 8. Modelado en CAD del filtro de botellas por compuerta en estado abierto.....	25
Figura 9. Gráfico en CAD entrada cúbica y diámetro de botella.....	26
Figura 10. Barra de sujeción modelada en CAD.....	26
Figura11. Modelado en CAD del Sistema mecánico para filtro de elementos.....	28
Figura 12. Resorte de torsión modelado en CAD.....	35
Figura 13. Entrada y salidas hacia el ducto modelado en CAD.....	36
Figura 14. Rampa de salida de botellas modelado en CAD.....	38
Figura 15. Carcasa de rampa modelado en CAD.....	41
Figura 16. Carcasa de la máquina modelado en CAD.....	41
Figura 17. Puertas de la carcasa modeladas en CAD.....	42
Figura 18. Tira rígida de 5 luces led RGB.....	44
Figura 19. Sensor Infrarrojo E18-D80NK.....	45
Figura 20. Diseño tarjeta electrónica de sensores y actuadores.....	46
Figura 21. Pantalla TFT 4.3 " SaintSmart.....	46
Figura 22. TFT shield para arduino mega.....	47
Figura 23. Fuente de Poder.....	47
Figura 24. UPS 1000 VA.....	48

Figura 25. Arduino Mega 2560.....	49
Figura 26. Máquina Reciclador.....	50
Figura 27. Interior de la máquina recicladora.....	51
Figura 28. Vista isométrica del ensamblaje mecánico completo del ducto y laminadora.....	52
Figura 29. Vista lateral del ensamblaje mecánico completo del ducto y laminadora.....	52
Figura 30. Fotografía de medición de peso, volumen y área de botellas.....	53
Figura 31. Fotografía de construcción del ducto en proceso.....	53
Figura 32. Implementación del sistema mecánico para filtro de elementos.....	54
Figura 33. Carcasa de la máquina recicladora.....	54
Figura 34. Puertas de la carcasa de la máquina recicladora.....	55
Figura 35. Sistema electrónico y de control del proyecto por piezas.....	55
Figura 36. Sistema de control de la máquina completa ubicado en el panel de control.....	56
Figura 37. Fotografía de servomotores adaptados al sistema de filtro de botella.....	56
Figura 38. Luces RGB del sistema.....	57
Figura 39. Sensor Infrarrojo E18-D80NK ensamblado en la entrada del ducto.....	58
Figura 40. Sensor Infrarrojo E18-D80NK y sistema de seguridad de filtro de botellas por compuerta ensamblados en la entrada del ducto.....	58
Figura 41. Pantalla TFT 4.3”.....	59
Figura 42. Fotografía de tarjeta electrónica de sensores y actuadores.....	60
Figura 43. Recorrido que realiza la botella dentro del proceso de discriminación y validación.....	61
Figura 44. Vista no explosionada del sistema de ingreso de botellas modelado en CAD.....	62
Figura 45. Vista explosionada del sistema de ingreso de botellas modelado en CAD.....	62
Figura 46. Vista no explosionada la máquina modelada en CAD.....	63
Figura 47. Vista explosionada la máquina modelada en CAD.....	63

Figura 48. Fotografía de muestras de botellas para realización de pruebas.....	64
Figura 49. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de montaje y desmonatje.....	65
Figura 50. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de tiempo de mantenimiento.....	65
Figura 51. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de máquina intuitiva.....	67
Figura 52. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de detección del sensor.....	68
Figura 53. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de discriminación de botellas con peso líquido.....	69
Figura 54. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de corte de energía.....	71
Figura 55. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de tiempos de laminado, tiempos de apertura y tiempos de caída.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. Materiales comunes de alambres para resortes.....	82
Anexo 2. Diámetros de alambres comerciales.....	83
Anexo 3. Tabla de coeficientes y exponentes para la ecuación de resistencia última a la tensión.....	84
Anexo 4. Tabla de resistencia máxima a la fluencia por flexion SY recomendada para resortes helicoidales de torsion en aplicaciones estáticas.....	85
Anexo 5. Toma de datos de las fuerzas ejercidas por una persona con una botella de 2 litros.....	86
Anexo 6. Toma de datos de 26 botellas plásticas PET de diferentes marcas para obtener su peso, tiempo de apertura de servomotores y tiempo de caída de botella por el ducto para cada botella.....	87
Anexo 7. Especificaciones técnicas del servomotor Hitec 311.....	88
Anexo 8. Hoja de datos tira rígida de 5 luces led RGB.....	89
Anexo 9. Hoja de datos, sensor infrarrojo E18-D80NK-N.....	91
Anexo 10. Hoja de datos Pantalla TFT 4.3 y TFT shield para del acero Arduino Mega.....	92
Anexo 11. Medidas específicas de la botella coca-cola de 2 litros.....	93
Anexo 12. Protocolo de pruebas de la primera etapa de la máquina recicladora.....	94
Anexo 13. Tabla de características mecánicas galvanizado ASTM A635.....	96
Anexo 14. Literales de las normas de calidad ambiental para el manejo de desechos sólidos no peligrosos.....	96
Anexo 15. Planos.....	97

RESUMEN

Se desarrolló el diseño, modelado CAD y construcción de la primera etapa de una máquina recicladora de botellas plásticas tipo PET utilizando el modelo en V de proyectos mecatrónicos. Se presentan dos etapas principales dentro del desarrollo de todo el proyecto. La primera etapa consiste en un sistema que permite el acceso de botellas plásticas de tipo PET con características de una botella de 2 litros o menor a ésta. La segunda etapa de seguridad tiene la finalidad de descartar elementos que contengan agua o sobrepasen el peso máximo establecido obtenido del peso de una botella plástica de 2 litros. El proyecto cumple con diferentes características y requerimientos planteados como su fácil montaje y desmontaje, amigable con el usuario, energización del sistema a 110V, diseño enfocado al mejoramiento de la máquina, desarrollo bajo software libre y dos etapas de seguridad para la máquina, todos éstos debidamente evaluados y respaldados mediante sus planos eléctricos y mecánicos así como de un protocolo de pruebas con los cuales se comprobó que el sistema cumple con los requerimientos iniciales planteados. El sistema tiene la capacidad de procesar 115 botellas en 17 minutos aproximadamente con un ingreso de botellas continuo.

ABSTRACT

The design, CAD modeling and construction of the first stage of a plastic bottle recycling machine type PET was developed, using the V model of mechatronic projects. Two main stages in the development of the whole project are presented. The first stage consists of a system that allows access to PET type plastic bottles with characteristics of a 2-liter bottle or less than this. The second stage of security is intended to exclude items containing water or that exceed the maximum weight set obtained from the weight of a 2-liter plastic bottle. The project complies with different characteristics and requirements set such as easy assembly and disassembly, user friendly, energization system to 110V, design focused on improving machine development under free software and two stages of safety for the machine; all these properly evaluated and supported by its electrical and mechanical drawings as well as a testing protocol with which it was found that the system meets the initial design requirements proposed. The system has the capacity to process 115 bottles in 17 minutes approximately with a continued bottle placement.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el ser humano ha logrado contaminar gran parte del planeta y por ello, grandes consecuencias vienen acompañados. La humanidad es la responsable de los cambios climáticos, la deforestación, extinción de especies y la mayoría de las enfermedades del mundo. Este impacto que el hombre ha causado difícilmente se puede revertir pero se puede contribuir con el desarrollo de proyectos que estimulen el reciclaje.

El reciclaje de botellas plásticas es una solución que aplicada de manera correcta puede llegar a tener alcances positivos de gran magnitud. Países como Canadá, Suiza e Inglaterra son pioneros en el reciclaje de botellas tipo PET. Existen ingeniosos sistemas que van desde programas educativos de concientización en escuelas, colegios y universidades hasta la elaboración de máquinas automáticas de reconocimiento de plástico. Estas son algunas muestras de lo que el ser humano es capaz de desarrollar para contribuir con el cuidado del planeta.

Ecuador no se queda atrás dentro del tema de reciclaje. Desde que se implementó en el 2011 el impuesto redimible de 2 centavos por cada botella transportada hacia los centros de acopio el reciclaje ha incrementado, así los principales actores son las personas que se dedican a recoger botellas por toda la ciudad. Esta ley fomenta el reciclaje por parte de recolectores pero no de las personas ajenas a este negocio.

Es así como se cristaliza la idea de una máquina de reciclaje que pueda ser utilizada por todas las personas y que pueda ser adaptada en cualquier parque, colegio, universidad, biblioteca o bar. El tema de reciclaje debe ser cultural y social, y este proyecto propone ambas ya que tendrá contacto directo con el usuario y se podrá disponer de la máquina en muchos lugares concurridos donde la gente consume bebidas contenidas en botellas PET y éstas puedan ser desechadas de forma apropiada.

(Mariano, 2011)

El Objetivo General de este proyecto es diseñar y construir un sistema automático de discriminación y posición de botellas plásticas tipo PET para el complemento de una máquina recicladora.

Donde sus objetivos específicos son:

1. Identificar las variables que intervendrán en el sistema para el ingreso correcto de las botellas
2. Diseñar un sistema mecatrónico para el ingreso y colocación vertical de las botellas
3. Diseñar un sistema mecánico que valide el peso de las botellas para discriminar las mismas o permitir el ingreso exclusivo de aquellas que tengan el peso óptimo
4. Seleccionar el software y hardware adecuado para el control automático del sistema
5. Modelar y construir la estructura de la máquina.
6. Realizar pruebas de validación

El alcance de este proyecto es el diseño y construcción de un sistema automático de discriminación y posición de botellas plásticas tipo PET para complementar la primera etapa de una máquina recicladora.

Este sistema contará con dos etapas de seguridad para el ingreso de botellas que son:

Primera etapa de seguridad: Filtro de botellas por compuerta

Será ubicado en el ingreso del sistema y tendrá la finalidad de negar el acceso a aquellos elementos que no sean botellas y que sus medidas sean mayores a las botellas de 2 litros. Será esta etapa aquella que defina la posición de la botella pues solo se podrá ingresar la botella en un solo sentido.

Segunda etapa de seguridad: Sistema mecánico para filtro de elementos

Tendrá la finalidad de excluir del sistema todo elemento que logre pasar la primera etapa de seguridad y que sobrepase un peso máximo establecido, así esta etapa definirá si la botella debe ser laminada o debe regresar al usuario.

También contará con un sistema de control para sus sensores y actuadores y una pantalla TFT para la visualización del estado de la máquina y brindar información al usuario.

La tarjeta de control debe tener una plataforma de software libre para que ésta y su programación puedan ser compartidas con una comunidad dispuesta a continuar con el desarrollo de la misma para así promover la implementación de tecnología con el reciclaje.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 BOTELLAS PLÁSTICAS PET

Las botellas de plástico PET han sustituido al cristal para el envasado de productos como agua, aceites, refrescos, productos de limpieza, productos de aseo personal, etc. La producción de envases de este material conlleva a obtener mejores beneficios que el cristal, como es su fácil producción, su bajo costo, es desechables y pueden adquirir infinitas formas.

2.1.1 POLIETILENO TEREFTALATO

Denominado como Poliéster Termoplástico o PET, es el más utilizado a nivel mundial para contener líquidos de toda clase debido a que posee una baja velocidad de cristalización y sus componentes tienen alta resistencia química y propiedades de transparencia. Este material está compuesto de dos elementos el ácido tartárico y etilenglicol, en algunos países es obtenido con la sustitución del ácido tartárico por dimetil tereftalato.

2.1.2 PET RECICLADO

Llamado también como RPET, es aquel material plástico reciclado proveniente de antiguo plástico PET que sirve para la fabricación de diversos productos para fines como embalaje, botellas para contener líquido no apto para el consumo humano, cuerdas, etc. Los RPET dependiendo de su proceso de obtención se encuentran en forma de pedacitos de plástico no cristalizado o cristalizados.

(Mariano, 2011)

2.2 SISTEMAS DE RECICLADO PET

Existen tres sistemas de reciclado del plástico PET una vez que terminó su vida útil (Mariano, 2011).

- Reciclado mecánico
- Reciclado químico
- Reciclado energético

2.2.1 RECICLADO MECÁNICO DEL PET

En el mundo es el más utilizado debido a que tiene mayor facilidad de ser desarrollado y puesto en marcha. Este sistema consiste en varias etapas de separación, limpieza y molido como se muestra en la Figura 1



Figura 1. Proceso de reciclado mecánico avanzado
(Mariano, 2011)

2.2.2 RECICLADO QUÍMICO DEL PET

El reciclaje por el método químico no es más que el proceso de descomponer las moléculas de polímeros o también llamada despolimerización de plásticos en materias primas. Así se puede obtener pequeñas escamas de PET con mayor porcentaje de pureza que el conseguido con el reciclaje mecánico, dándole la ventaja de poder utilizar este plástico en materiales que puedan contener alimentos caso que no se puede obtener con el reciclaje mecánico. Es importante aclarar que el reciclaje químico utiliza al reciclaje mecánico

como parte de su proceso para que el material limpio y en escamas de PET sea luego procesado por medio de la despolimerización (Mariano, 2011).

2.2.3 RECICLADO ENERGÉTICO DEL PET

Llamado también reciclado por aprovechamiento energético, es aquel que por medio de la combustión se aprovechan las propiedades del plástico para poder así dar asistencia a escuelas, asilos y sectores de menos recursos para poder complementar las mismas con agua caliente o calefacción. El beneficio de este tipo de reciclado debe ser medido en el mejoramiento de la calidad de vida de la población. (Mariano, 2011)

A continuación en la Tabla 1 se describe las diferentes características que tiene el PET en contraste con el RPET

Tabla 1. Características del PET VS RPET

Propiedad	PET virgen	RPET
Módulo de Young [MPa]	1890	1630
Resistencia a la rotura [MPa]	47	24
Elongación a la rotura [%]	3,2	110
Resistencia al impacto [$J m^{-1}$]	12	20
IV (dl g ⁻¹)	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión (°C)	244 - 254	247 - 253
Peso molecular (g mol ⁻¹)	81600	58400

(Mariano, 2011)

2.3 RESORTES DE TORSIÓN

Llamado también como resorte helicoidal es un elemento que conforma la segunda etapa de seguridad de esta máquina y está definido como un elemento que puede ser sometida a carga de torsión que diferencia de los resortes cargados a la tensión o compresión varían en su diseño y forma. Sus brazos se extienden de manera tangencial para poder proporcionar facilidad al momento de aplicar el momento de carga. Los extremos de las espiras pueden tomar diferentes formas como se indica en la Figura 2. Su diseño y forma depende de la utilidad que se le vaya a dar al resorte. Las espiras de los resortes son generalmente enroscadas con una mínima separación para

evitar así la fricción entre cada una, sin embargo la mayoría de los resortes de torsión están enrollados estrechamente (Norton, 2011).

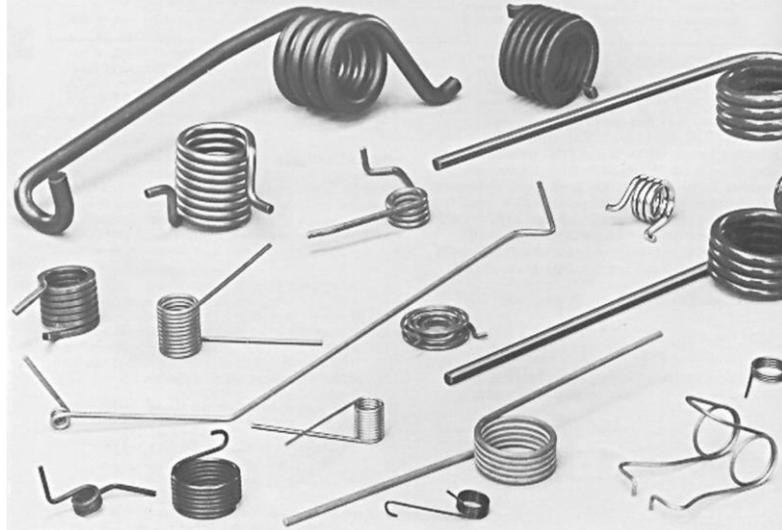


Figura 2. Resortes de Torsión
(Norton, 2011)

Los resortes cargados a torsión deben ser diseñados como una viga curva al momento de aplicar un momento sobre éstas como se muestra en la Figura 3. El momento aplicado siempre debería estar configurado de forma que las espiras se cierren en lugar de abrirlas.

Es importante mencionar que se debe dar soporte al diámetro de la espiral en tres o más puntos para así poder obtener las fuerzas de reacción. Este soporte por lo general tiene lugar en la varilla que pasa a través del diámetro del interior de la espira. La varilla no deberá tener un diámetro mayor al 90% del diámetro menor del interior de la espira cuando este se encuentra enrollado por la carga aplicada con el fin de evitar un atasco.

Para manufacturar un resorte es importante definir algunos parámetros indicados en la Figura 3 como: longitud del brazo de momento, momento mínimo, momento máximo y material seleccionado. El ángulo α se obtiene con una medición angular entre los extremos tangenciales en posición de carga de los brazos de momento.

(Norton, 2011)

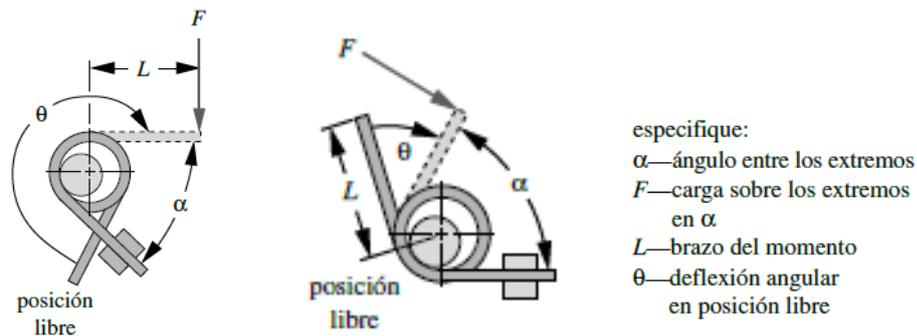


Figura 3. Especificación de la carga y requerimientos de deflexión para resortes de torsión
(Norton, 2011)

2.3.1 PROCESO PARA CALCULAR UN RESORTE SOMETIDO A TORSIÓN

Durante todo el proceso de cálculo para obtener el número de espiras en un resorte cargado a torsión, se debe utilizar unidades en Sistema Ingles debido a que este proceso fue diseñado en este sistema y el cambio del mismo puede ocasionar perdida de decimales a la hora de calcular. Al finalizar este proceso las unidades pueden ser cambiadas a Sistema Internacional. Se debe mencionar que todo el documento excluyendo el diseño de resortes fue diseñado con el Sistema Internacional de medidas (Norton, 2011).

El índice C del resorte es la razón entre el diámetro D de la espiral y el diámetro d del alambre. Su fórmula está representada de la siguiente manera:

$$C = \frac{D}{d} \quad [1]$$

Donde:

C = Índice del resorte

D = Diámetro de la espiral [in]

d = Diámetro del alambre [in]

(Norton, 2011)

Para obtener los momentos máximos y mínimos se debe descomponer las fuerzas aplicadas si el caso lo requiere.

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F}$$

$$F_x = F * \cos \alpha \quad [2]$$

Se debe obtener los momentos mínimos y máximos que estarán sometidos los resortes.

$$M_{min} = r \times F_{min} \quad [3]$$

$$M_{max} = r \times F_{max} \quad [4]$$

Donde:

r = es el vector posición

F_{max} = Fuerza máxima con respecto al origen [lb]

F_{min} = Fuerza mínima con respecto al origen [lb]

M_{max} = Momento máximo [lb.in]

M_{min} = Momento mínimo [lb.in]

Es necesario el cálculo de los momentos medios y alternantes que están sometidos los resortes

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2} \quad [5]$$

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \quad [6]$$

Donde:

M_a = Momento medio [lb.in]

M_m = Momento alternante [lb.in]

Por tratarse del diseño de un resorte sometido a torsor éste es tomado como una viga curva es decir que el esfuerzo se concentra en su interior. La ecuación del factor de flexión de Wahl K_{bi} deduce el factor de concentración de esfuerzo de flexión en el interior de un alambre redondo enrollado.

$$K_{bi} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad [7]$$

El diámetro interior de las espiras de un resorte helicoidal de torsión con alambre redondo cargado para cerrar sus espiras es llamado esfuerzo máximo de flexión por compresión ($\sigma_{i_{max}}$) y se representa con la ecuación:

$$\sigma_{i_{max}} = K_{b_i} \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \quad [8]$$

Existe también la ecuación del factor de flexión de Wahl K_{b_0} que deduce el factor de concentración de esfuerzo de flexión en la parte exterior de un alambre redondo enrollado.

$$K_{b_0} = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} \quad [9]$$

Se debe calcular los componentes del esfuerzo a la tensión por flexión en el diámetro exterior de la espira.

Esfuerzo mínimo [psi]

$$\sigma_{o_{min}} = K_{b_0} \frac{32M_{min}}{\pi d^3} \quad [10]$$

Esfuerzo máximo [psi]

$$\sigma_{o_{max}} = K_{b_0} \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \quad [11]$$

Esfuerzo medio [psi]

$$\sigma_{o_{medio}} = \frac{\sigma_{o_{max}} + \sigma_{o_{min}}}{2} \quad [12]$$

Esfuerzo alternante [psi]

$$\sigma_{o_{alt}} = \frac{\sigma_{o_{max}} - \sigma_{o_{min}}}{2} \quad [13]$$

La resistencia última a la tensión (S_{ut}) puede ser obtenida gracias a la tabla de coeficientes y exponentes mostrada en el Anexo 3. Adaptada a la siguiente ecuación:

$$S_{ut} = Ad^b \quad [14]$$

Donde:

A = Es el coeficiente del material [psi]

b = Exponente del material

Mediante la resistencia última a la tensión se puede obtener la resistencia de fluencia por flexión (S_y). Se debe diseñar con un esfuerzo residual favorable del 100% como se muestra en el Anexo 4.

$$S_y = 1.0 S_{ut} \text{ [psi]} \quad [15]$$

Se debe determinar la resistencia límite a la fatiga por flexión del alambre (S_{ewb}) en este caso para resortes no granallados se utiliza el Anexo 4.

$$S_{ewb} = \frac{S_{ew}}{0.577} \text{ [psi]} \quad [16]$$

La ecuación de resistencia a la fatiga invertida (S_e) se utiliza en escenarios de esfuerzo repetido es decir componentes media y alternantes iguales por lo tanto se debe convertir la ecuación a valores de ciclo invertido.

$$S_e = 0.5 \frac{S_{ewb} \cdot S_{ut}}{S_{ut} - S_{ewb}} \text{ [psi]} \quad [17]$$

Una vez que la resistencia a la fatiga ha sido convertida a flexión invertida se puede calcular el factor de seguridad contra la fatiga (N_{fb}).

$$N_{fb} = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_{0min})}{S_e(\sigma_{0medio} - \sigma_{0min}) + S_{ut}\sigma_{0alt}} \quad [18]$$

$$N_{yb} = \frac{S_y}{\sigma_{imax}} \quad [19]$$

La constante del resorte (k) se obtiene siempre a partir de la fórmula de deflexión.

$$k = \frac{\Delta M}{\theta} \cong \frac{d^4 E}{10.8 D N_a} \quad [20]$$

Donde se debe despejar el número de espiras activas (N_a) que es el resultado de la suma del contribuyente de espiras (N_e) y el número de espiras en el cuerpo (Nb).

$$k = \frac{d^4 E}{10.8 D N_a} \quad [21]$$

La contribución de los extremos curvos del resorte

$$N_e = \frac{L1+L2}{3\pi D} \quad [22]$$

El número de espiras completas en el resorte

$$Nb = N_a - N_e \quad [23]$$

2.4 SENSORES

El termino sensor da referencia a un objeto capaz de transformar magnitudes químicas o físicas en variables eléctricas. Las variables pueden ser de temperatura, intensidad lumínica, aceleración, distancia, presión, fuerza, humedad, torsión, etc.(Bolton, 2011).

2.5 PANTALLA TFT

TFT (Transistor de película delgada o thin film transistor) utiliza la tecnología de transistores de efecto de campo colocada en una capa de cristal de electrodo capaz de conducir electricidad por la misma. Son varias capas que están sobrepuestas unas con otras y estas pueden brindar diferentes colores por pixel para que la mezcla de estos tonos dé como resultado el color final que el usuario podrá observar.

La pantalla TFT tiene un microcontrolador que depende del tamaño de la pantalla, es así como puede manejar los cambios de color en cada capa del cristal. La corriente que llega a cada pixel determina el color final del mismo, la combinación de dichos pixeles genera una amplia gama de colores.

El tamaño de la pantalla está definida por la distancia entre la esquina superior derecha y la esquina inferior izquierda medida en pulgadas. Las pantallas ya tienen medidas estándares por lo que su tamaño depende de los fabricantes y los valores ya establecidos.

La resolución de la pantalla TFT no es más que el máximo número de pixeles que es capaz de desplegar la misma. Un pixel se define como cada uno de los puntos capaces de mostrar color dentro de la pantalla.

(Adafruit, 2013)

2.6 ARDUINO MEGA

Esta es una placa electrónica de control que utiliza un microcontrolador Atmega1280 y basa su programación en una plataforma libre llamada Arduino. Cuenta con 54 salidas digitales de las cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM (modulación por ancho de pulso). Dentro de sus pines también presenta 16 salidas análogas, 4 puertos de comunicación serial, un oscilador de 16 MHz, un Jack de poder y un botón de reseteo. Las características de su microcontrolador se encuentran definidas en la Tabla 2 (Arduino, 2008).

Tabla 2. Características del microcontrolador Atmega328 utilizado por la tarjeta de control Arduino Mega

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada(recomendada)	7-12V
Voltaje de entrada(Límite)	6-20V
Pines entrada y salida digital	14
Pines entrada analógica	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

(Arduino, 2008)

2.6.1 ALIMENTACIÓN DE VOLTAJE PARA LA TARJETA ARDUINO

Arduino Mega puede recibir energía de un computador si se conecta el dispositivo directamente mediante un puerto USB. También puede funcionar por medio de una conexión externa con el conector de voltaje llamado de tipo Jack de 2.1mm de diámetro, éste voltaje debe ya ser regulado y transformado de AC a DC antes de ser conectado con Arduino. Este puerto acepta un rango de 6V-20V DC los cuales serán transformados a 5V, es importante recalcar que la placa electrónica podría fallar si el voltaje ingresado es menor a 7V. El voltaje recomendado es de 7V a 12V ya que si se sobrepasa los 12V la placa puede recalentarse y producir fallos electrónicos.

Los pines de salida y entrada de voltaje son los siguientes:

VIN: Este pin generalmente es utilizado para probar proyectos sencillos donde no se necesita una conexión segura con Arduino. El voltaje debe estar previamente regulado a 5V ya que no cuenta con regulador propio.

5V: Este pin puede brindar 5V usualmente es utilizado para realizar experimentos pequeños o pruebas de elementos que funcionen a 5v.

3.3V: Tiene la misma aplicación que el pin anterior a diferencia que este proporciona 3.3V para elementos que necesiten voltajes bajos como los transmisores de RF.

GND: En español conocido como tierra, es utilizada como la referencia cero en los circuitos, sirve para poder cerrar el circuito y que la energía pueda circular (Arduino, 2008).

2.7 VOLTAJE

El voltaje no es más que la diferencia de potencial eléctrico o también llamado tensión que esta representado como una magnitud física con el símbolo de V y puede ser medida por un aparato electrónico llamado voltímetro (Bolton, 2011).

2.7.1 VOLTAJE DC

Voltaje DC es la magnitud física representada como corriente continua (DC) y se refiere al continuo flujo de carga entre dos puntos a través de sus conductores, estas cargas circulan en una sola dirección de forma constante (Bolton, 2011).

2.7.2 VOLTAJE AC

Esta denominada como corriente alterna (AC) y la magnitud y el sentido de la misma varían cíclicamente en el tiempo. Un ejemplos de voltajes AC son las de los tomacorrientes que nos entrega un voltaje elevado con variaciones que para ser utilizado por aparatos electrónicos debe pasar por un sistema de filtros y transformadores. (Bolton, 2011).

2.8 FRECUENCIA

Es el movimiento ondulatorio con un número de oscilaciones que es calculado en una unidad temporal llamado Hertz. Esto ocurre una vez por segundo es decir que si en un segundo se obtiene dos oscilaciones se dice que tenemos dos hertz. La frecuencia es obtenida de las señales y sirven para poder interpretarlas y poder desarrollar elementos que se adapten mejor a cada frecuencia (Bolton, 2011).

2.9 SEÑAL ELÉCTRICA

Es un tipo de señal que es provocada por un fenómeno electromagnético. La diferencia de potencial entre dos puntos es una señal, es decir que el voltaje que se puede obtener de distintos elementos electrónicos o eléctricos pueden ser tomados como una señal (Bolton, 2011).

2.10 SERVOMOTORES

Un servo es aquel motor que permite controlar la velocidad y la posición del mismo por medio de un potenciómetro y una placa adaptada, generalmente estos motores tienen un movimiento angular total de 180 grados pero también existen servomotores de 360 grados de giro.

Debido a que estos son motores de precisión no pueden moverse más de 360 grados ya que perderían su funcionalidad

2.10.1 PAR TORSIONAL

Es la fuerza que es capaz de ejercer el servo en su eje, generalmente se expresa en [kg/cm]. A mayor fuerza exigida al servomotor mayor es su corriente de consumo.

Torque:

$$\tau = F \cdot d \quad [24]$$

Donde:

d = distancia del brazo de aplicación

F = Fuerza ejercida

2.10.2 VELOCIDAD ANGULAR O ROTACIÓN

La velocidad de rotación del eje de los servomotores está definida por la frecuencia de la señal y el voltaje con el que funciona, por lo regular los servomotores funcionan de 4.8V a 6V, si el voltaje es menor al mencionado el servomotor no alcanzará la potencia necesaria para girar su eje, en cambio sí es mayor éste puede estar en riesgo de quemar sus componentes internos.

2.10.3 FUNCIONAMIENTO

Un servomotor trabaja mediante pulsos eléctricos, la longitud de la señal será quien defina lo posición del servomotor, su magnitud está representada en [ms]. Con la frecuencia de la señal es posible modificar la velocidad del servomotor pero este se va a ver limitado por su sistema de engranaje. La Figura 4. A continuación muestra las diferentes longitudes de señal, período y frecuencia con la que se debe trabajar para alcanzar la posición de 0°, 90° y 180°

(Hitec, 2009).

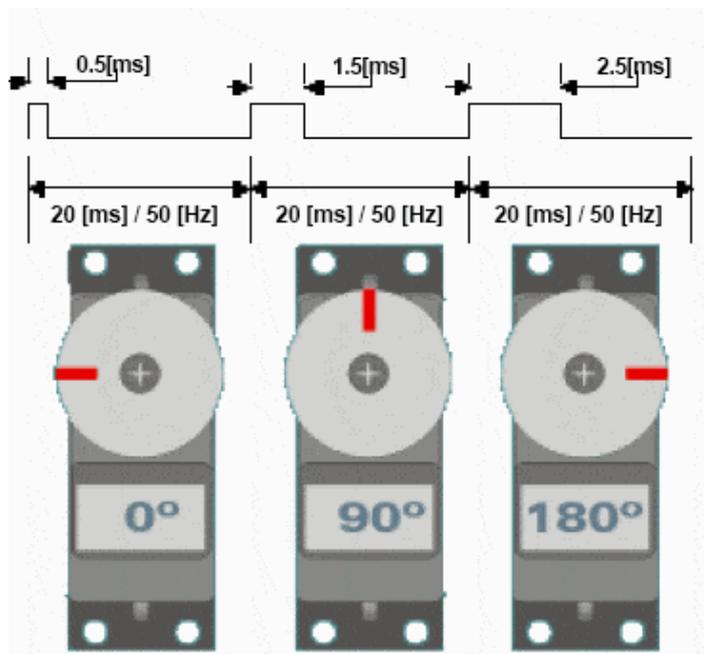


Figura 4. Señal, frecuencia y período de trabajo para los movimientos de 0°, 90° y 180° de posición de un servomotor.

(Hitec, 2009)

2.11 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA

Por sus siglas en inglés UPS es un dispositivo que contiene en su interior elementos de carga de energía como baterías, capacitores y otros elementos de almacenamiento, éste puede proporcionar energía eléctrica a todos los dispositivos que se encuentren conectados al mismo durante un apagón eléctrico. Otro aspecto importante sobre los UPS es que mejora la calidad de energía que se brinda a los dispositivos por medio de filtros que ayudan a las subidas y bajadas de tensión regulando así la energía para que sea estable (Shneider, 2014).

2.12 SOFTWARE Y HARDWARE LIBRE

Llamados como sistemas de código abierto son aquellos dispositivos de software y hardware que sus especificaciones y diagramas son de acceso público. Es una filosofía de cultura libre donde proyectos desarrollados bajo estos sistemas son subidos a internet para colaborar con investigaciones o con desarrollos de este proyecto en otras partes del mundo. Una de las ventajas de desarrollar un proyecto de código abierto es que existe mucha facilidad para encontrar información en internet, que los proyectos pueden ser desarrollados a bajo costo, y que las personas se motivan para desarrollar estos proyectos al encontrar información entendible y al alcance de todos (Arduino, 2008).

3. METODOLOGÍA Y DISEÑO

3.1 SISTEMA MECATRÓNICO

Se define como la integración completa de sistemas mecánicos, electrónicos y un sistema de control con un enfoque concurrente al diseño que permite desarrollar sistemas más eficientes, confiables y flexibles según Bolton (2011) La Figura 5 muestra la adaptación del modelo en V propuesto por Ingenieure (2004) para el desarrollo del presente proyecto.

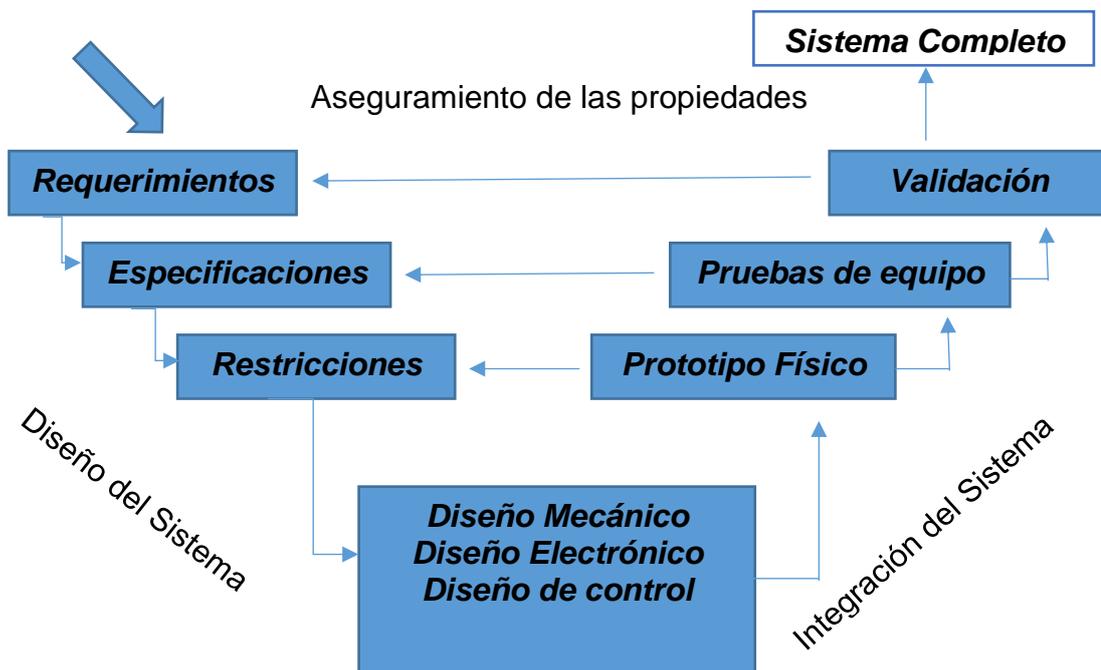


Figura 5. Modelo en V para el desarrollo de la primera etapa de una máquina recicladora

El modelo en V cuenta con diversas etapas en donde cada una de éstas se encuentra relacionadas con la que le precede, las mismas que deben ser cumplidas en su totalidad para poder continuar con la siguiente etapa. Este modelo es flexible ya que permite realizar retrospectivas del desarrollo para poder realizar cambios o simplemente comparar con el resultado esperado. El modelo en V debe ser utilizado de izquierda a derecha y es utilizado generalmente para el desarrollo de proyectos mecatrónicos. El presente proyecto inicia su desarrollo con la identificación de los requerimientos, las especificaciones y las restricciones del sistema, continua con un diseño específico de cada una de las ingenierías utilizando las mismas de forma

paralela y simultánea; finaliza con la integración del sistema y la retrospectiva del cumplimiento de la etapa del diseño del sistema obteniendo así el sistema completo.

3.2 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

3.2.1 MONTAJE Y DESMONTAJE

La máquina debe ser desmontable para facilitar el traslado y el mantenimiento de la misma.

3.2.2 FACILIDAD DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento consta de

- Limpieza de polvo
- Revisión de movimiento de compuertas
- Revisión del ángulo de apertura entre los extremos del resorte
- Entradas y salidas de señal de sensores

3.2.3 MEDIDAS

Todos los elementos y etapas del presente proyecto deben ser diseñados tomando como base de datos las medidas de las botellas de máxima y mínima capacidad que vayan a ser procesadas por la máquina.

3.2.4 AMIGABLE CON EL USUARIO

La máquina debe brindar facilidad de uso al usuario mediante sistemas sencillos e intuitivos para que permita un correcto uso de la máquina.

3.2.5 ENERGÍA

Debe trabajar con 110V y tener un sistema de protección de sobrecargas

3.2.6 DISEÑO

El proyecto debe estar enfocado al futuro mejoramiento y desarrollo del mismo, por lo que se debe prever nuevas adaptaciones como sensores y actuadores, así como el desarrollo de su programación en una plataforma de software libre.

3.2.7 RANGO DE FALLAS

El sistema debe contar con un número de fallas igual o menor a un error por cada treinta pruebas realizadas, las fallas posibles en el sistema son las siguientes:

- Falla por detección de botellas por el sensor infrarrojo
- Fallas por separación de botellas con agua por parte de la segunda etapa de seguridad
- Fallas por corte de energía

3.3 ESPECIFICACIONES

Mediante las normas técnicas ecuatorianas de gestión ambiental mostradas en el Anexo 14 que trata sobre la estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos y también la norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos se formularon las siguientes especificaciones:

La norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos descrita en el Anexo 14 punto 4.2.2 habla sobre la prohibición del depósito de desechos sólidos como botellas plásticas fuera de los contenedores, es por eso que el diseño de la máquina debe ser llamativa e intuitiva para fomentar el uso de la misma y evitar el desecho de las botellas en las calles o en contenedores no aptos para el reciclaje.

La máquina debe ser capaz de discriminar elementos que no sean botellas plásticas de otros elementos para cumplir con la norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos tratado en el punto 4.2.18 del Anexo14. La máquina debe poder almacenar el plástico en un lugar cerrado y seguro para satisfacer la norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos tratado en el Anexo 14 punto 4.3.2.

Al terminar la máquina deberá ser de color azul ya que es el color distintivo del reciclaje acogiéndose a la norma técnica de gestión ambiental sobre la estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos descrito en el punto 6.1 de la norma.

3.4 RESTRICCIONES

- La máquina no puede procesar botellas plásticas con líquido en su interior
- La mayor capacidad de la botella que puede reciclar esta máquina es de 2 litros
- El usuario no tiene acceso al interior de la máquina
- La máquina debe estar ubicado en lugares bajo techo.

3.5 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Se debe realizar un protocolo de pruebas para saber si el sistema desarrollado cumple con los requerimientos, especificaciones y restricciones del sistema basándose en el Anexo 12. Los resultados de las pruebas deben obtener un resultado positivo en cada una de ellas para cumplir con los requerimientos, especificaciones y restricciones de la máquina

3.6 DISEÑO DEL SISTEMA

La estructura básica de un sistema mecatrónica de acuerdo con Verein Deutscher Ingenieure (2004) consta de un sistema base, sensores, fuente,

procesamiento de información, actuadores, ambiente y usuario, todos ellos trabajando en conjunto y relacionados entre sí.

A continuación en la Figura 6 se muestra la estructura básica tomada de Ingenieure (2004) adaptada al presente proyecto.

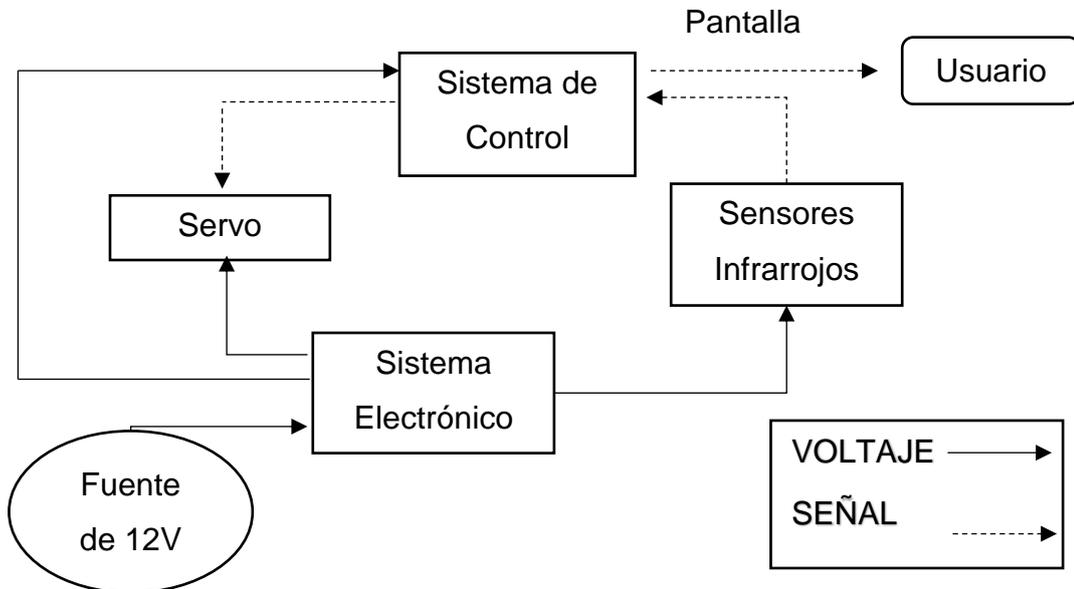


Figura 6. Estructura básica del sistema automático de discriminación y posición de botellas plásticas tipo PET

El funcionamiento de la estructura básica del sistema se encuentra desarrollado de la siguiente forma:

Fuente de 12V: Provee de voltaje a toda la máquina, ésta se encuentra conectada a través de un UPS para proteger a la misma de sobrecargas y caídas de tensión.

Sistema Electrónico: Es el único elemento electrónico que tiene comunicación con la fuente de 12V pues es aquí donde el voltaje que provee la fuente es filtrado y regulado, consta de una tarjeta electrónica que está diseñada para poder brindar voltaje regulado a todos los elementos de la máquina. Es decir que los elementos como sensores, servomotores etc. Se conectan directamente con la tarjeta electrónica. La tarjeta electrónica cuenta también con pines que comunican a la tarjeta de control Arduino.

Sensor Infrarrojo: Este sensor envía una señal al sistema de control que indica la presencia de una botella en la primera etapa de seguridad. El sistema de control la analiza y envía nuevamente una señal al servo para que tome su posición correspondiente.

Sistema de Control: La tarjeta arduino es aquella que contiene el microcontrolador capaz de recibir y enviar señales para que el presente proyecto pueda ser autónomo.

Servo: Los servomotores tienen la función de mover las compuertas de la primera etapa de seguridad.

Pantalla: La pantalla interactúa con todas las señales emitidas por el sistema al en tiempo real ya que ésta se encarga de mostrar el estado actual de la máquina, estas señales son tomadas directamente del sistema de control.

A continuación se presenta todos los sistemas que incluye el proyecto

Sistemas Mecánicos

- Filtro de botellas por compuerta
- Sistema mecánico para filtro de elementos
- Ducto
- Rampa de salida de botellas
- Carcasa de rampa
- Carcasa de la máquina

Sistema Eléctrico/Electrónico

- Servomotores
- Juego de luces led
- Sensor Infrarrojo
- Tarjeta electrónica de actuadores y sensor
- Pantalla TFT
- Fuente de voltaje
- UPS

Sistema de Control

- Tarjeta de control Arduino

3.7 DISEÑO MECÁNICO

A continuación se describe la máquina por sus diferentes etapas mecánicas

3.7.1 FILTRO DE BOTELLAS POR COMPUERTA

Como se muestra en la Figura 7 y Figura 8 la etapa fue diseñada tomando como parámetros principales la geometría de una botella plástica de 2 litros. La misma etapa que es considerada de seguridad para la máquina ya que impide el paso de objetos y elementos que no sean botellas y que pueden perjudicar el buen funcionamiento de la misma.

Éste consistió en una entrada de forma cúbica para las botellas de máximo de dos litros de capacidad.

Consta de dos compuertas rectangulares que forman la entrada de las botellas, las mismas que están sujetas por medio de dos servomotores con el fin de poder brindar movilidad automatizada a cada una de ellas. La unión de las compuertas en posición cerrada crea un agujero que permite al usuario ingresar el pico de la botella. Cabe recalcar que todas las botellas que cumplen con los requerimientos de reciclaje tipo PET tienen medidas estándar de picos de botella. Las medidas se muestran en los Anexos de planos.

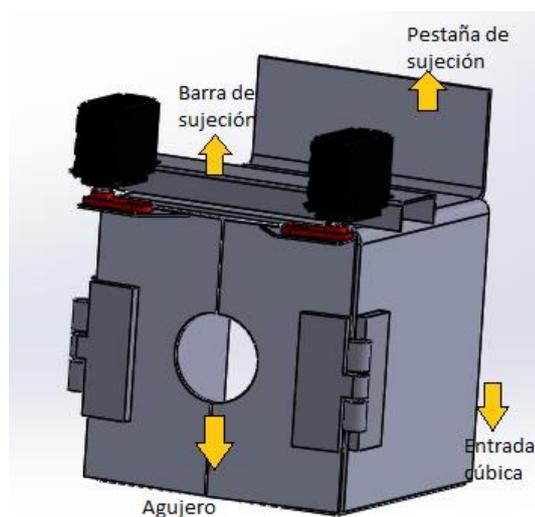


Figura 7. Modelado en CAD del filtro de botellas por compuerta

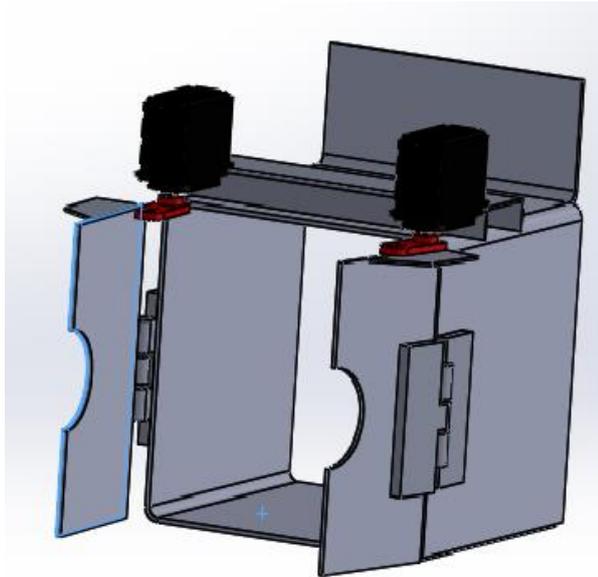


Figura 8. Modelado en CAD del filtro de botellas por compuerta en estado abierto

3.7.1.1 Agujero de ingreso de pico de botellas

El agujero fue diseñado mediante el diámetro común de las botellas plásticas cumpliendo con los requerimientos establecidos.

Diámetro picos de botella: $30\text{mm} \pm 1$

Por lo tanto el agujero fue diseñado de mayor diámetro para que puedan ingresar las botellas con facilidad:

Diámetro Agujero: $50\text{mm} \pm 1$

3.7.1.2 Entrada Cúbica

Como se muestra en la Figura 9 la entrada cúbica tomó medidas que dependieron de la botella de mayor diámetro escogida, en éste caso la botella de 2 litros de la marca Coca-Cola la cual su diámetro mayor es de 100 mm. Por requerimiento la botella de 2 litros debe entrar con las medidas próximas al ducto para no permitir el paso de botellas de mayor diámetro, es por eso que la entrada cubica tomó las siguientes medidas por cada lado del cubo. Las medidas también se muestran en el Anexos de planos

Lado: 110 mm \pm 1

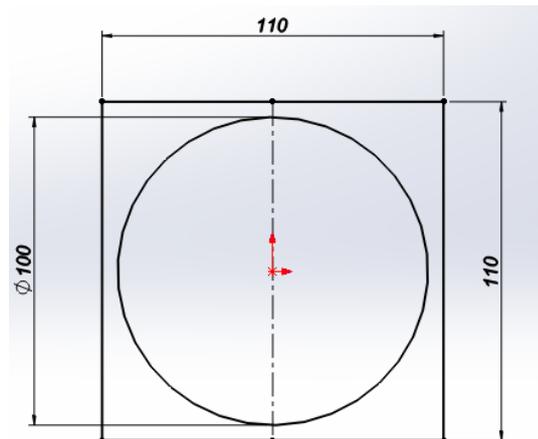


Figura 9. Gráfico en CAD entrada cúbica y diámetro de botella

3.7.1.3 Barra de sujeción

Como se muestra en la Figura 10 la barra de sujeción fue diseñada para dar soporte a los dos servomotores, es aquí donde uno de los extremos de los servos son enganchados al sistema de filtro de botellas. Por requerimiento las medidas dependen tanto del ducto como del servomotor y éstas están mostradas en los Anexos de planos.

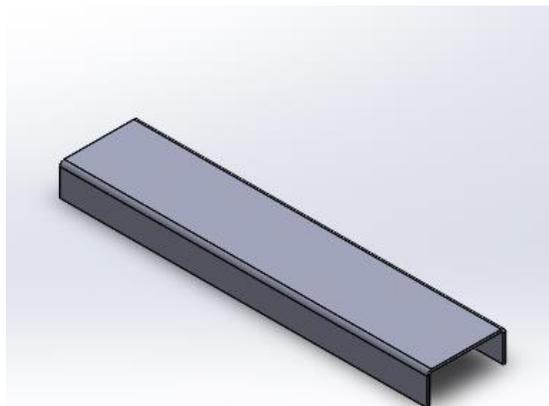


Figura 10. Barra de sujeción modelada en CAD

La altura de esta pieza está tomada por la distancia desde el pin de enganche ubicado al extremo del servomotor hasta eje de rotación.

Alto = 11.3 mm \pm 1

El ancho puede tomar cualquier valor siempre y cuando sea mayor al largo del pin de enganche del servo.

$$\text{Pin de enganche} = 5 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Ancho} = 28.5 \text{ mm} \pm 1$$

El largo de la pieza debe ser la misma que el ancho del ducto

$$\text{Largo} = 150 \text{ mm} \pm 1$$

3.7.1.4 Pestaña de sujeción

Sirve para dar soporte al sistema completo de filtro de botellas por compuerta. Esta pestaña es tomada desde el ingreso del sistema hacia el armazón de la máquina.

El ancho de esta pieza debe ser igual al ancho de la entrada cúbica y su altura puede tomar cualquier valor siempre y cuando se adapte de manera correcta en la carcasa de la máquina.

$$\text{Ancho} = 110 \text{ mm} \pm 1$$

La pestaña de sujeción se encuentra unida hacia el ducto mediante una bisagra de medidas estándar.

$$\text{Alto} = 80 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Ancho} = 70 \text{ mm} \pm 1$$

3.7.2 SISTEMA MECÁNICO PARA FILTRO DE ELEMENTOS

La primera etapa de seguridad (etapa de filtro de botellas por compuerta) no podrá identificar botella con líquido en su interior es por eso que se incluirá una segunda etapa de seguridad.

Como se muestra en la Figura 11 esta segunda etapa de seguridad se compone de una compuerta inclinada sujeta por una bisagra y dos resortes de torsión donde la botella cae de forma vertical, así ésta ejercerá una fuerza sobre la compuerta. Se tomaron varias mediciones de fuerzas ejercidas por diferentes botellas con distintos pesos y se diseñaron los resortes con estos datos, se muestra en Anexo 5 y Anexo 6 utilizando como referencia la botella de 2 litros de capacidad. A la menor variación de fuerza ejercida por la caída de las botellas y al sobrepasar los límites de resistencia de los resortes estos deberán ceder y la compuerta se desplazará, de esta manera dejará pasar el elemento hacia un ducto que retorna al usuario, dicho proceso evita el paso de las botellas que excedan el peso propuesto anteriormente. Las piezas que conforman este sistema mecánico son:

- Resortes de torsión
- Palanca
- Eje

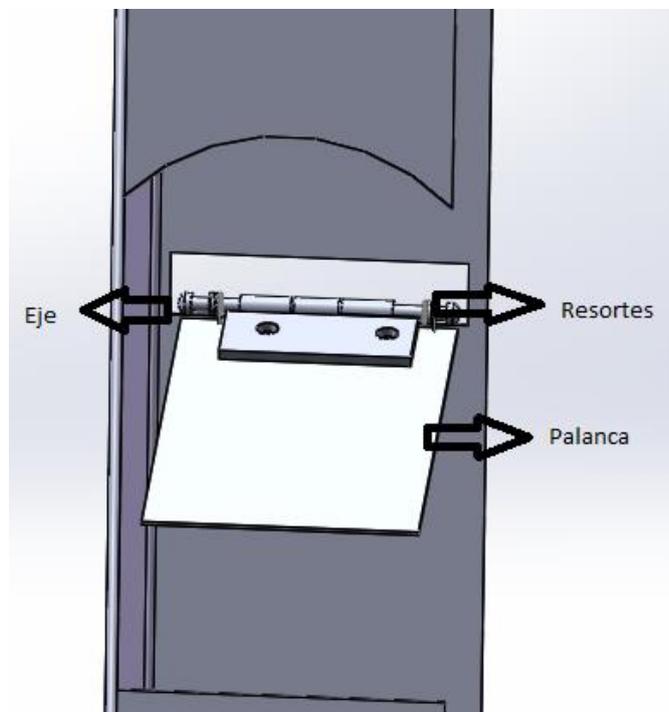


Figura 11. Modelado en CAD del Sistema mecánico para filtro de elementos

3.7.2.1 Diseño de los resortes

Datos iniciales para el diseño:

- $\Theta = 0.125$ rev (Deflexión Dinámica del Resorte)
- $L1$ y $L2 = 90$ mm = 3,543309 in (Longitudes de los extremos rectos del resorte)
- $d = 1$ mm = 0.0394 in (Diámetro del Alambre)
- Peso mínimo botella = 12 gr = 0.02646lb
- Peso máximo botella = 56 gr = 0.12346 lb
- Peso palanca = 200 gr = 0.440924 lb
- Longitud media de la palanca = 90 mm = 3,543309 in

El índice C del resorte es la razón entre el diámetro D de la espiral y el diámetro d del alambre.

Se debe escoger un índice de resorte C para calcular D , el rango más apropiado va desde 4 hasta 12 ya que si se escoge un número menor o un mayor se pelagra a que el resorte se pandee o se enrede respectivamente.

Se escoge el material A228 Alambre musical tomando de referencia el Anexo1 y Anexo2

Diámetro del Alambre:

$$d = 0.039 \text{ in}$$

Índice de Resorte:

$$c = 9$$

Diámetro Medio:

$$C = \frac{D}{d} \quad [1]$$

$$D = (9) * (0.039)$$

$$D = 0.354 \text{ in}$$

Para obtener los momentos máximos y mínimos se debe descomponer las fuerzas aplicadas en la palanca incluida la fuerza que la palanca ejerce por su propio peso hacia los resortes.

$$\cos \alpha = \frac{Fx}{F}$$

$$Fx = F * \cos \alpha \quad [2]$$

Fuerzas que se ejercen en la palanca:

$$Fx_{botella\ menor} = 0.026 * \cos 45$$

$$Fx_{botella\ menor} = 0.018\ lb$$

$$Fx_{botella\ mayor} = 0.123 * \cos 45$$

$$Fx_{botella\ mayor} = 0.087\ lb$$

$$Fx_{palanca} = 0.441 * \cos 45$$

$$Fx_{palanca} = 0.312\ lb$$

Momento mínimo:

$$M_{min} = (Fx_{botella\ menor} + Fx_{palanca}) * \text{Longitud media de la palanca} \quad [3]$$

$$M_{min} = (0.018 + 0.312) * 3.543$$

$$M_{min} = 1.172\ lb - in$$

Momento Máximo:

$$M_{max} = (Fx_{botella\ mayor} + Fx_{palanca}) * \text{Longitud media de la palanca} \quad [4]$$

$$M_{max} = (0.087 + 0.312) * 3.543$$

$$M_{max} = 1.415\ lb - in$$

Los momentos medios y alternantes fueron calculados de la siguiente forma:

Cálculo del Momento medio:

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2} \quad [5]$$
$$M_{med} = \frac{1.415 + 1.172}{2} = 1.294 \text{ lb} - \text{in}$$

Cálculo de momento alternante:

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \quad [6]$$
$$M_a = \frac{1.415 - 1.172}{2} = 0.122 \text{ lb} - \text{in}$$

Se obtuvo el factor de flexión de Wahl k_{bi} para los resortes de la siguiente manera:

$$K_{bi} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad [7]$$
$$K_{bi} = \frac{4(9)^2 + (-10)}{4(9)(9 - 1)} = 1.090$$

El esfuerzo de compresión máximo es calculado de la siguiente manera:

$$\sigma_{i_{max}} = K_{bi} \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \quad [8]$$
$$\sigma_{i_{max}} = 1.090 * \frac{32(1.415)}{\pi(0.039)^3} = 256929.453 \text{ psi}$$

Se obtuvo el factor de flexión de Wahl k_{b0} para los resortes de la siguiente manera:

$$K_{b0} = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} \quad [9]$$
$$K_{b0} = \frac{4 * 9^2 + 9 - 1}{4 * 9(9 + 1)} = 0.922$$

Es necesario para los cálculos posteriores encontrar el esfuerzo mínimo, el esfuerzo máximo, el esfuerzo medio y el esfuerzo alternante de la siguiente forma:

$$\sigma_{o_{min}} = K_{bo} \frac{32M_{min}}{\pi d^3} \quad [10]$$

$$\sigma_{o_{min}} = 0.922 \frac{32 * 1.172}{\pi * 0.0394^3} = 179957.51 \text{ psi}$$

$$\sigma_{o_{max}} = K_{bo} \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \quad [11]$$

$$\sigma_{o_{max}} = 0.922 \frac{32 * 1.415}{\pi * 0.0394^3} = 217269.52 \text{ psi}$$

$$\sigma_{o_{medio}} = \frac{\sigma_{o_{max}} + \sigma_{o_{min}}}{2} \quad [12]$$

$$\sigma_{o_{medio}} = \frac{217269.52 + 179957.51}{2} = 198613.52 \text{ psi}$$

$$\sigma_{o_{alt}} = \frac{\sigma_{o_{max}} - \sigma_{o_{min}}}{2} \quad [13]$$

$$\sigma_{o_{alt}} = \frac{217269.52 - 179957.51}{2} = 18656 \text{ psi}$$

$$S_{ut} = Ad^b \quad [14]$$

$$S_{ut} = 184649 * 0.039^{-0.1625} = 312304.918 \text{ psi}$$

Obtenemos la resistencia a la fluencia mediante:

$$S_y = 1.0 S_{ut} \quad [15]$$

$$S_y = 1.0 * (312304.918) = 312304.918 \text{ psi}$$

Es necesario para el paso posterior el cálculo de la resistencia límite a la fatiga por flexión para resortes no granallados con la fórmula:

$$S_{ewb} = \frac{45000}{0.577} = 77989.601 \text{ psi} \quad [16]$$

Cálculo de la resistencia a la fatiga por flexión invertido

$$S_e = 0.5 \frac{S_{ewb} \cdot S_{ut}}{S_{ut} - S_{ewb}} \quad [17]$$

$$S_e = 0.5 \frac{77989.601 * 312304.9185}{312304.9185 - (0.5 * 77989.601)} = 44558.423$$

Cálculo del factor de seguridad contra la fatiga:

$$N_{fb} = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_{0min})}{S_e(\sigma_{0medio} - \sigma_{0min}) + S_{ut}\sigma_{0alt}} \quad [18]$$

$$N_{fb} = \frac{44558.4235(312304.9185 - 179957.51)}{44558.4235(198613.52 - 179957.51) + (312304.9185 * 18656)} = 0.89$$

Cálculo del factor de seguridad estático:

$$N_{yb} = \frac{S_y}{\sigma_{i_{max}}} \quad [19]$$

$$N_{yb} = \frac{312304.9185}{256929.453} = 1.22$$

Cálculo de constante para uno y dos resortes

$$k = \frac{\Delta M}{\theta} \quad [20]$$

$$k = \frac{1.414 - 1.17102}{0.125} = 1.944 \text{ lb} - \text{in}/\text{rev}$$

$$k = 2 * \frac{1.414 - 1.17102}{0.125} = 3.89 \text{ lb} - \text{in}/\text{rev}$$

El número de espiras activas nos indica el número de espiras totales que debe tener cada uno de nuestros resortes:

$$k = \frac{d^4 E}{10.8 D N_a} \quad [21]$$

$$k = \frac{d^4 E}{10.8 D N_a}$$

$$N_a = \frac{(0.0394^4) * (30000000)}{3.89 * 10.8 * 0.354} = 4.86$$

Los extremos contribuyentes a la espira son aquellos pedazos de alambre que con su longitud no logra completar una espira:

$$N_e = \frac{L1+L2}{3\pi D} \quad [22]$$

$$N_e = \frac{2.5 + 2.5}{3\pi * 0.354} = 1.5$$

El número de espiras en el cuerpo del resorte son el número de espiras completo que realizó el alambre:

$$N_b = N_a - N_e \quad [23]$$

$$N_b = 4.86 - 1.5 = 3.36$$

Los resultados del resorte deben ser similares a los obtenidos en la modelación en CAD como se muestra en la Figura 12 las medidas del mismo se muestran en los Anexos de planos.



Figura 12. Resorte de torsión modelado en CAD

3.7.2.2 Diseño de palanca

Las medidas de la palanca dependen de las medidas del ducto para que estas no sean tan amplias como para rozar con el ducto ni tan pequeñas como para permitir que objetos pasen por los bordes de esta. Es importante mencionar que esta palanca se encuentra inclinada a 45 grados de la pared del ducto por lo que se obtiene la longitud de la palanca por medio del Teorema de Pitágoras. Las medidas se muestran en el Anexo de planos.

Las medidas de ducto del son de 150x150 mm.

$$\text{Sen}(45) = \frac{150}{\text{Longitud de la palanca}}$$

$$\text{Longitud de la palanca} = 210.23 \text{ mm}$$

Se disminuye la distancia debido a que puede haber atascos al caer una botella.

$$\text{Longitud de la palanca} = 180 \text{ mm} \pm 1$$

El ancho de la palanca debe ser menor a 150 mm.

$$\text{Ancho de la palanca} = 130 \text{ mm} \pm 1$$

3.7.2.3 Diseño de eje

La selección del eje no puede ser mayor que el 90% del diámetro interior del resorte es decir 10mm.

$$\text{Diámetro del eje máximo} = 10 \times 90\%$$

$$\text{Diámetro máximo de eje} = 9 \text{ mm} \pm 1$$

En el mercado ecuatoriano se encontró un eje de 6 mm lo cual es perfecto para el resorte a diseñar.

$$\text{Diámetro del eje} = 6 \text{ mm} \pm 1$$

3.7.3 DUCTO

La botella antes de llegar a la etapa de laminado necesita ser conducida a las etapas de seguridad. Se logrará esto mediante el uso de un ducto, el mismo que deberá estar construido de tol galvanizado. El ducto contará con una entrada de botellas y dos salidas la primera salida estará direccionada hacia la etapa de laminación y la segunda hacia el usuario. El ducto y sus partes se encuentran descritas en la Figura 13.

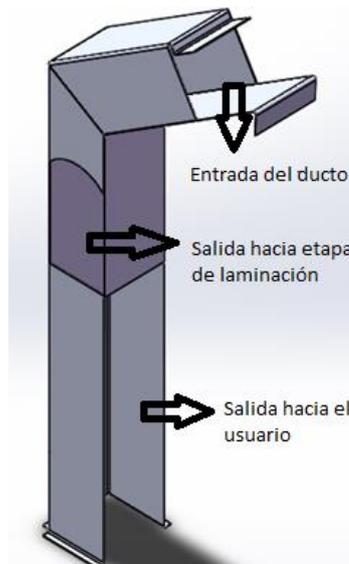


Figura 13. Entrada y salidas hacia el ducto modelado en CAD

Las medidas en el diseño del ducto por requerimiento son tomadas de una botella de 2 litros de bebida gaseosa Coca-Cola la cual es la botella más popular en el mercado.

Diámetro de la botella

$$D_b = 100 \text{ mm} \pm 1$$

La entrada del ducto debe ser mayor al diámetro de la botella de 100 mm por lo que se añadirá un factor de seguridad de 50%.

Medida de un lado de la entrada del ducto

$$L_d = 100 * 150\% = 150 \text{ mm} \pm 1$$

La longitud de la pendiente del ducto debe ser mayor a la altura de la botella para que pueda entrar la botella completa antes de llegar a la curva.

$$\text{Altura de botella} = 350 \text{ mm} \pm 1$$

La longitud de la pendiente debe ser mayor a la altura de la botella para asegurar que la botella va a ingresar en su totalidad es por eso que se añade un factor de seguridad de 40%.

$$\text{Longitud de la pendiente} = 350 \text{ mm} \times 140\% = 490 \text{ mm} \cong 500 \text{ mm} \pm 1$$

La distancia de caída que tiene la botella hacia el sistema mecánico de filtro de elementos debe ser igual o mayor a la altura de la botella para que esta pueda posicionarse de forma vertical antes de llegar al sistema mecánico.

$$\text{Altura de botella} = 350 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Longitud de caída} = 380 \text{ mm} \pm 1$$

La abertura para la salida de las botellas hacia la etapa de laminación tiene medidas de:

$$\text{Altura de la abertura} = 240 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Ancho de la abertura} = 150 \text{ mm} \pm 1$$

La caída posterior a la abertura (segunda caída) hace referencia a la etapa de laminación que toma como medidas la altura de la mesa de laminación sumada a un factor de seguridad.

$$\text{Altura mesa de laminación} = 420 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Altura de segunda caída} = 420\text{mm} + 200\text{mm} = 620 \text{ mm} \pm 1$$

3.7.4 RAMPA DE SALIDA DE BOTELLAS

Como se muestra en la Figura 14 la rampa de la salida de botellas tiene la función de guiar a las botellas que fueron descartadas del sistema por un exceso de peso hacia el usuario. Los parámetros principales para el diseño de esta pieza se tomaron de la geometría de una botella de dos litros de bebida gaseosa totalmente sellada para poder así obtener sus medidas y su peso máximo.

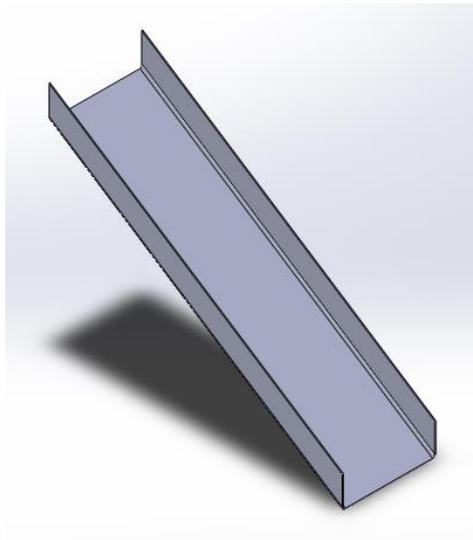


Figura 14. Rampa de salida de botellas modelado en CAD

El material escogido para la rampa es acero galvanizado ASTM A653 con calidad G33. Todas las medidas de la rampa son tomadas en función de la botella de mayores dimensiones que puede procesar la máquina y el ducto.

$$\text{Largo} = 537 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Ancho} = 160 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Altura} = 52 \text{ mm} \pm 1$$

$$\text{Inclinación} = 56^\circ \pm 1$$

Se obtiene la fuerza más grande que puede alcanzar una botella

$$F = 1.808 \text{ kgrf}$$

Descomponemos la fuerza para que sea perpendicular a la rampa de salida de botellas.

$$F_y = \text{Cos}(56) * 1.808N$$

$$F_y = 1.01N$$

Donde:

F_y = Es la fuerza perpendicular a la rampa, descompuesta de la fuerza de la caída de la botella

Añadimos un factor de seguridad al diseño utilizando la fluencia del material mostrado en el Anexo 13

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Resistencia de fluencia}}{\text{Esfuerzo admisible}} \quad [25]$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{\text{Resistencia de fluencia}}{\text{Factor de seguridad}}$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{230\text{Mpa}}{4}$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 57.5 \text{ Mpa}$$

Obtenemos el área mínima para poder soportar la fuerza que ejerce la botella calculando con la fórmula de esfuerzo.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{F}{A} \quad [26]$$

$$A = \frac{Fy}{\text{Esfuerzo admisible}}$$

$$A = \frac{1.01N}{57.5Mpa}$$

$$A = 0.0176mm^2$$

Donde:

A = Área de la rampa donde se produce la caída de la botella

El grosor del material escogido es de 1.2 mm y el área obtenida será

$$A = 160 \text{ mm} * 1.2 \text{ mm}$$

$$A = 192 \text{ mm}^2 > 0.0176 \text{ mm}^2$$

3.7.5 CARCASA DE RAMPA

La carcasa de la rampa como su nombre lo indica tiene la función de recubrir a la rampa con la finalidad de que ninguna botella pueda salir expulsada de la misma hacia los laterales como se muestra en la Figura 15. Las medidas del diseño por requerimiento fueron tomadas de la rampa y de la botella máxima que la máquina puede aceptar. Las medidas del mismo son mostradas los Anexos de planos.

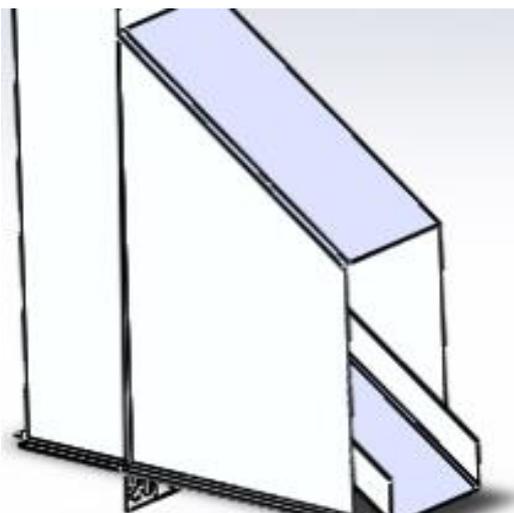


Figura 15. Carcasa de rampa modelado en CAD

3.7.6 CARCASA DE LA MÁQUINA

La carcasa de la máquina es aquella que se encargara de cubrir todas las piezas de la misma incluyendo su parte electrónica y mecánica. Las medidas de este diseño se muestran en los Anexos de planos que fueron tomadas del área total que tiene el ensamblaje de la máquina completa. Cuenta con dos partes: su carcasa y las puertas de la misma mostradas en la Figura 16 y Figura 17.

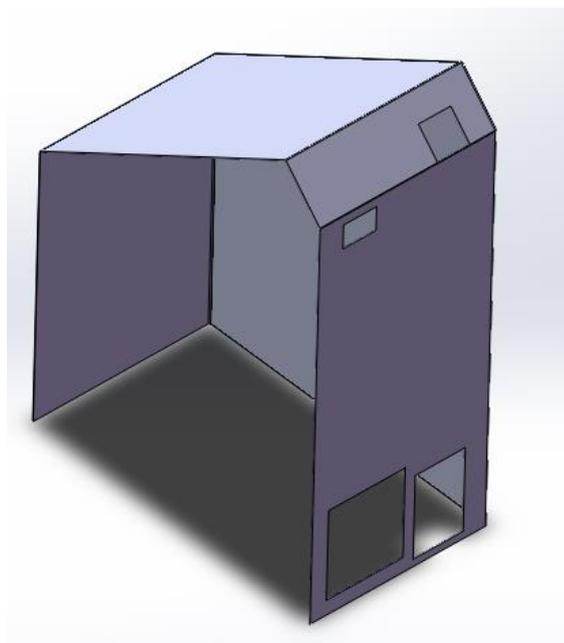


Figura 16. Carcasa de la máquina modelado en CAD

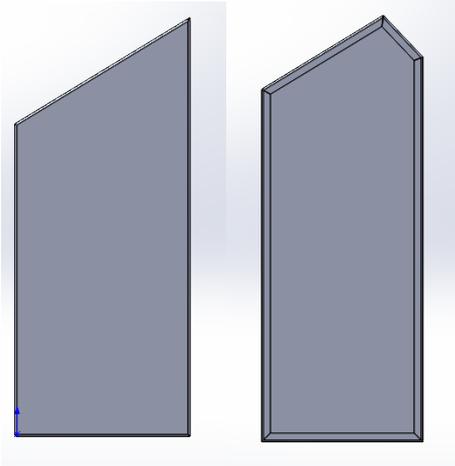


Figura 17. Puertas de la carcasa modeladas en CAD

3.8 DISEÑO ELECTRÓNICO

A continuación se describe el sistema eléctrico y electrónico por sus diferentes partes

3.8.1 SERVOMOTORES

El filtro de botellas por compuertas constará de dos servomotores para poder abrir y cerrar las mismas a los grados de apertura correctos mediante el uso de señales. Las fuerzas ejercidas en las compuertas se calcula mediante la sumatoria de:

- Fuerza promedio de una persona al colocar una botella, se muestra en Anexo 5
- Fuerza de una botella vacía de 2 litros, se muestra en Anexo 6
- Descomposición de la fuerza obtenida del peso de la compuerta

Los cálculos para escoger los servomotores se encuentran representados de la siguiente manera:

- $d = 60$ mm distancia del brazo de aplicación
- $F = 0.056$ kg Fuerza ejercida por botella
- $Fp = 0.25$ kg Fuerza promedio ejercida por personas
- $Pc = 0.052$ kg Peso de la compuerta

La fuerza ejercida de cada una de las compuertas se obtiene mediante la descomposición de sus fuerzas al saber que cada compuerta ejerce una fuerza de 52 gr.

$$F_c = 52 \text{ gr}$$

$$F_{c_x} = \text{Cos } 60 * 52 = 26 \text{ gr} = 0.026 \text{ kg} \quad [2.2]$$

Se calcula el torque final con la sumatoria de todas las fuerzas que ejercen en el servo multiplicado por la distancia del brazo de aplicación.

$$\tau = F \cdot d \quad [2.24]$$

$$\tau = (6) \cdot (0.056 + 0.25 + 0.026) = 1.992 \text{ Kg.cm}$$

El servomotor seleccionado es el:

$$\text{Hitec HS-311 con: } \tau = 3.0 \text{ kg.cm}$$

A continuación en la Tabla 3 se presenta las especificaciones del servomotor Hitec HS-311

Tabla 3. Especificaciones generales del servomotor Hitec HS-311

Especificaciones generales del servomotor Hitec 311		
Especificación	Valor Mínimo	Valor Máximo
Voltaje de operación	4.8V	6V
Torque	3.0 kg/cm	3.5 kg/cm
Corriente de consumo sin carga	7.4 mA	7.7 mA
Corriente de consumo en movimiento sin carga	160 mA	180 mA
Velocidad de operación sin carga	0.19 seg/60°	0.15 seg/60°
Peso	43 gr	
Dimensiones	40x20x36,5 mm	

(Hitec, 2009)

3.8.2 JUEGO DE LUCES LED RGB

Serán utilizadas como indicadores de estado para el usuario. Las luces se encienden de manera intermitente cuando el sensor esté listo para detectar una botella y permanecerá encendida cuando el proceso esté en marcha.

Pueden ser seleccionadas luces que trabajen a 5v o 12v para el proyecto, ya que la tarjeta electrónica de actuadores y sensores cuenta con distintos voltajes y líneas de señal para poder variar los actuadores. Se muestran en la Figura 18 el juego de luces utilizado en la máquina.

Requerimientos

- Voltaje de alimentación 5V o 12V
- Corriente de trabajo máximo 0.5 A



Figura 18. Tira rígida de 5 luces led RGB
(DuncanElectronics, 2016)

3.8.3 SENSOR INFRARROJO

Se encargará de dar aviso sobre la presencia de una botella en el agujero del filtro de botellas por compuertas mediante una señal que activará la apertura de las mismas. Una vez que la botella sea procesada y haya pasado la etapa de filtro de botellas enviará una segunda señal para dar cierre a las compuertas y así estará lista para la siguiente botella. El modelo seleccionado se muestra en la Figura 19.

Especificaciones de selección

- Sensor digital
- 5v de alimentación
- Potenciómetro incluido para aumentar o disminuir distancia de censado
- Sensor tipo rosca de 180 mm de diámetro para ajustar con la máquina
- Trabajo normal en condiciones de oscuridad



Figura 19. Sensor Infrarrojo E18-D80NK
(DuncanElectronics, 2016)

3.8.4 TARJETA ELECTRÓNICA DE ACTUADORES Y SENSORES

Esta tarjeta se encargará de recibir señales del microcontrolador y sensores. Activará los actuadores correspondientes a la señal entrante. Esta tarjeta también contará con salidas de voltaje variable para poder tomar el voltaje necesario para cada sensor, actuador y luces de la máquina. Se puede alimentar esta tarjeta con una fuente de voltaje de 12v y mínimo un Amperio de corriente. El esquemático para realizar la placa se muestra en la Figura 20.

Requerimientos

- Sistema de protección para picos de corriente
- Reguladores de voltaje a 3.3, 5 y 6 V
- Pines de salida de voltaje a 3.3, 5, 6, 12 V para actuadores
- Pines de entrada de señal para sensores digitales
- Pines adaptados de entrada y salida para Arduino Mega
- Pines de salida y entrada para pantalla TFT
- Pines de 5V y 12V de salida para Juego de luces led o buzzers
- Pines de salida para 3 servomotores

3.8.6 TFT SHIELD INTERCONEXIÓN CON ARDUINO MEGA

Esta tarjeta sirve para interconectar la pantalla TFT con el Arduino Mega sin necesidad de crear un circuito. TFT shield se muestra en la Figura 22.

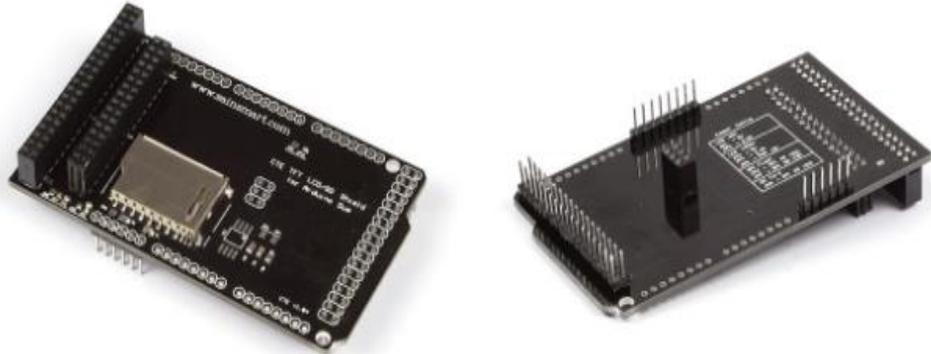


Figura 22. TFT shield para arduino mega
(SaintSmart, 2016)

3.8.7 FUENTES DE VOLTAJE

El sistema cuenta con dos fuentes de voltaje de 12V a 2A cada una sirve como alimentación para la tarjeta de actuadores y la otra para la tarjeta de control y pantalla TFT. Fuente de voltaje se muestra en la Figura 23.

Requerimientos

- 2A de corriente mínima de entrega
- 12V de salida
- Salida conector 2.1mm



Figura 23. Fuente de Poder
(Winston, 2016)

3.8.8 UPS

Se utilizará un UPS con dos propósitos, el primero de filtrar picos de corriente hacia nuestra máquina y el segundo evitar que la máquina se quede sin energía durante el proceso de discriminación y posición de botellas plásticas. Figura 24 se muestra el UPS seleccionado.



Figura 24. UPS 1000 VA
(CDP, 2016)

3.8.8.1 Cálculos para selección de UPS

Con la corriente de consumo del sistema que se obtiene al terminar la construcción, ensamblaje, acople y programación del proyecto mediante experimentación se obtiene la corriente de consumo del sistema.

$$I_{total} = 1.2A \quad (\text{Corriente de consumo del sistema})$$

Voltaje AC de entrada hacia el sistema.

$$V = 110V \quad (\text{Voltaje de toma corriente})$$

Voltio Amperios de un UPS de baja categoría disponible en el mercado ecuatoriano.

$$VA = 1000VA \quad (\text{Voltios Amperios de capacidad de UPS})$$

Cálculo de potencia de consumo del sistema:

$$P = I \cdot V$$

$$P = 1.2 \text{ A} \cdot 110\text{V}$$

$$P = 132 \text{ W}$$

Cálculo en minutos de abastecimiento de energía para el sistema:

$$1000\text{VA} \cdot (0.6) = 600 \text{ W (Watts de capacidad del UPS por hora)}$$

Se debe dividir la capacidad en watts del UPS por los Watts que consume el sistema y se obtiene el resultado en horas.

$$\frac{600\text{W}}{132\text{W}} = 4.545 \text{ horas}$$

$$4.545 \cdot 60 \text{ min} = 272.7 \text{ min (minutos de abastecimiento de energia)}$$

3.8.9 SISTEMA DE CONTROL

Evaluará la señal brindada por el sensor, así esta podrá tomar decisiones independientes para poder dar movilidad a los actuadores y mostrar el estado de la misma en la pantalla TFT. Sistema de control Arduino se muestra en la Figura 25.

Requerimientos

- Compatibilidad con pantalla TFT
- 15 Pines Digitales
- Programación por software libre



Figura 25. Arduino Mega 2560
(Arduino, 2008)

3.9 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA COMPLETO

A continuación se presenta en la Figura 26 la máquina recicladora con vista exterior donde se puede observar la pantalla TFT , la entrada de botellas, el cajón de las botellas laminadas, la salida para las botellas que no cumplieron con el peso adecuado y las puertas para poder realizar mantenimientos o poder verificar el estado de la máquina. El material escogido para la elaboración de la mayoría de partes mecánicas fue Acero Galvanizado AST A635 (tol galvanizado), escogido por su resistencia a la corrosión y su alta vida útil por tener un recubrimiento de zinc



Figura 26. Máquina Reciclador

El sistema completo como se muestra en la Figura 27 cuenta con una parte mecánica, una electrónica y una de control. Se puede observar claramente el ducto que transporta las botellas y el sistema mecánico de laminación de las mismas. El panel de control contiene el sistema electrónico y de control de toda la máquina.



Figura 27. Interior de la máquina recicladora

3.10 CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO

Ducto terminado y ensamblado junto a la segunda etapa de la máquina recicladora no descrita en esta tesis mostrada en la Figura 28 y Figura 29.



Figura 28. Vista isométrica del ensamblaje mecánico completo del ducto y laminadora



Figura 29. Vista lateral del ensamblaje mecánico completo del ducto y laminadora

La toma de muestras de peso, volumen y área de las botellas permitió partir con el diseño de casi toda la máquina pues las medidas de los máximos y mínimos valores de botellas ayudaron a que las piezas diseñadas se acoplen bien a las mismas. Anexo 5 y Anexo 6. La Figura 30 muestra el proceso de toma de medidas.



Figura 30. Fotografía de medición de peso, volumen y área de botellas

La Figura 31 Construcción del ducto con las medidas obtenidas a partir de los datos recolectados al medir las botellas, antes de construir este ducto se realizó pruebas con cartón y madera para el desplazamiento de la botella.



Figura 31. Fotografía de construcción del ducto en proceso

La Figura 32 muestra la implementación de las etapas de seguridad así como de rampa de retorno de botellas y la carcasa guía para botellas en el ducto



Figura 32. Implementación del sistema mecánico para filtro de elementos

Carcasa y puertas de la misma fueron trabajadas con tol galvanizado de 1 mm de espesor, se muestran en la Figura 33 y Figura 34.



Figura 33. Carcasa de la máquina recicladora



Figura 34. Puertas de la carcasa de la máquina recicladora

3.11 CONSTRUCCIÓN Y DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema de control de la máquina fue ubicado en el panel de control para poder protegerlos de la suciedad, líquidos y golpes. Los otros componentes fueron ubicados en las diferentes partes del sistema como ducto, sistemas de seguridad y en el caso de la pantalla TFT en la carcasa como se muestra en l Figura 35 y Figura36.

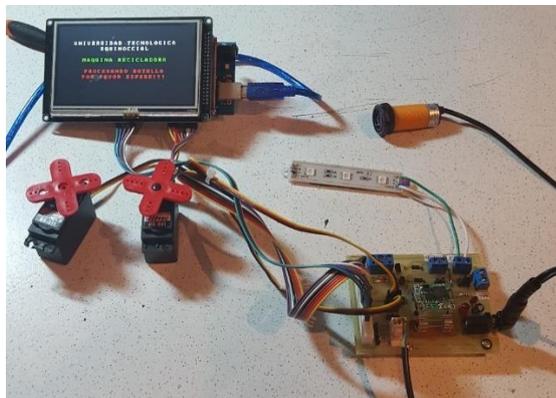


Figura 35. Sistema electrónico y de control del proyecto por piezas



Figura 36. Sistema de control de la máquina completa ubicado en el panel de control

3.11.1 SERVOMOTORES

Servomotores implementados al primer sistema de seguridad de filtro de botellas por compuerta se muestra en la Figura 37.

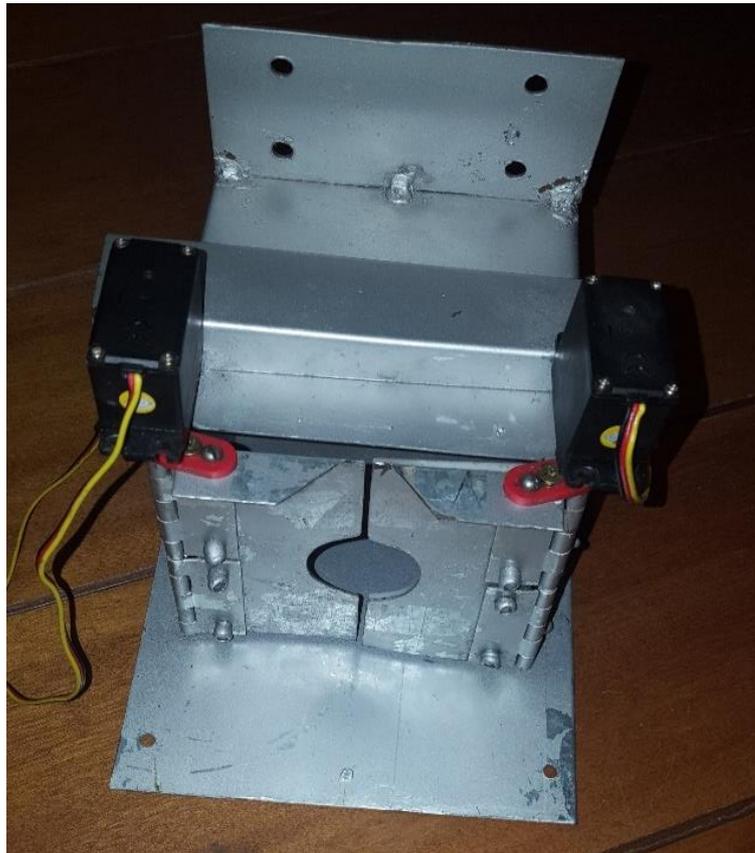


Figura 37. Fotografía de servomotores adaptados al sistema de filtro de botella

3.11.2 JUEGO DE LUCES LED RGB

Como se muestra en la Figura 38 el juego de luces cumplió con el funcionamiento esperado a 5 V pero si se requiere más luminosidad se puede cambiar el jumper de la placa electrónica de los controladores a 12 V.

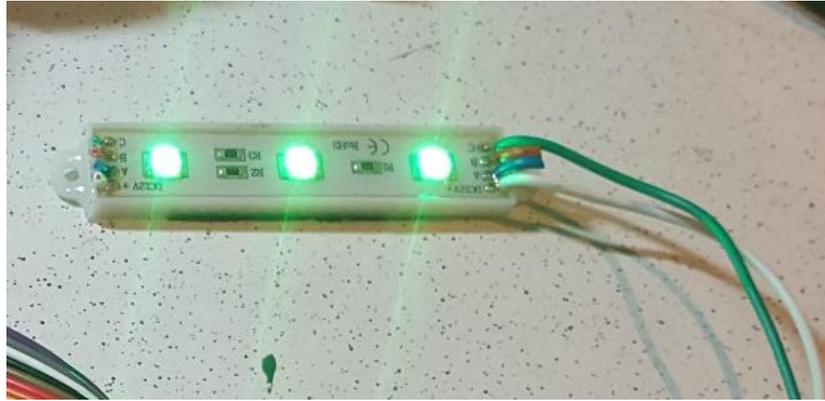


Figura 38. Luces RGB del sistema

3.11.3 SENSOR INFRARROJO

Como se muestra en la Figura 39 y Figura 40 el sensor Infrarrojo E18-D80NK fue ubicado en la entrada del ducto, éste detectó de manera correcta la presencia de botellas plásticas dentro del sistema de filtro de botellas por compuertas. Su señal es muy fácil de manejar y brinda una amplitud de voltaje de 5V para su señal de salida. Éste fue debidamente calibrado a 3 cm de detección por medio de su potenciómetro integrado. Para el uso de este sensor fue necesario utilizar una fuente de voltaje adaptada a 5V por medio de un regulador ya que si se adapta a 12 v este se recalienta y terminará dañado. El sensor E18-D80NK no siempre está disponible en los tiendas electrónicas pero existe una variedad de sensores muy grande que nosotros podemos remplazar por éste.

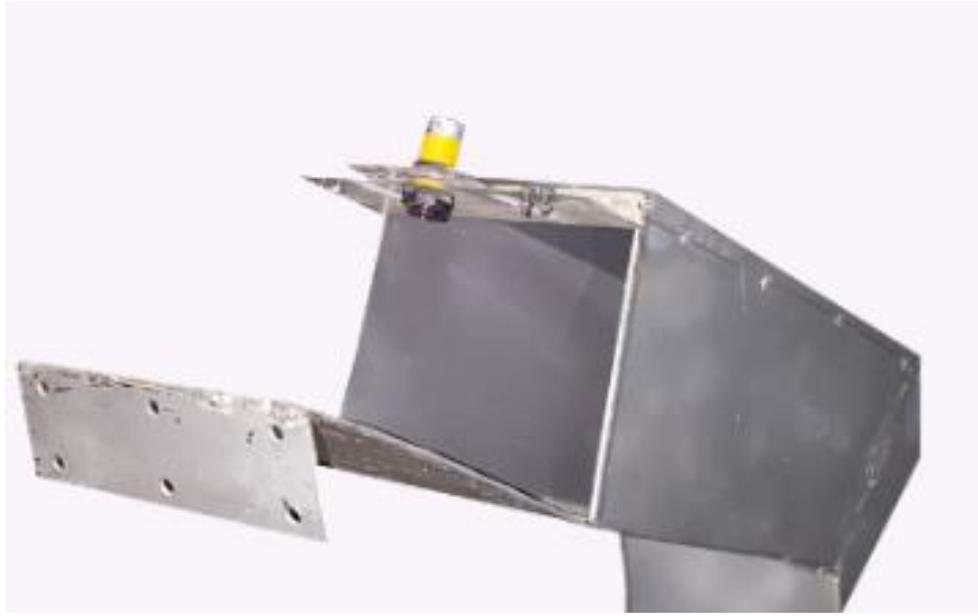


Figura 39. Sensor Infrarrojo E18-D80NK ensamblado en la entrada del ducto

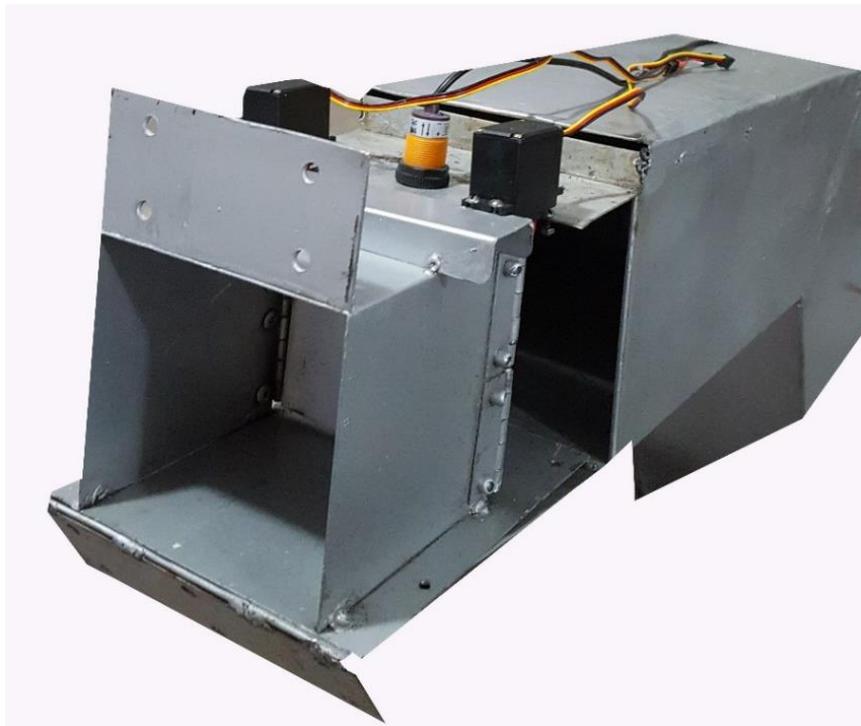


Figura 40. Sensor Infrarrojo E18-D80NK y sistema de seguridad de filtro de botellas por compuerta ensamblados en la entrada del ducto

3.11.4 PANTALLA TFT

Como se muestra en la Figura 41 la pantalla TFT nos permitió visualizar el estado de la máquina.

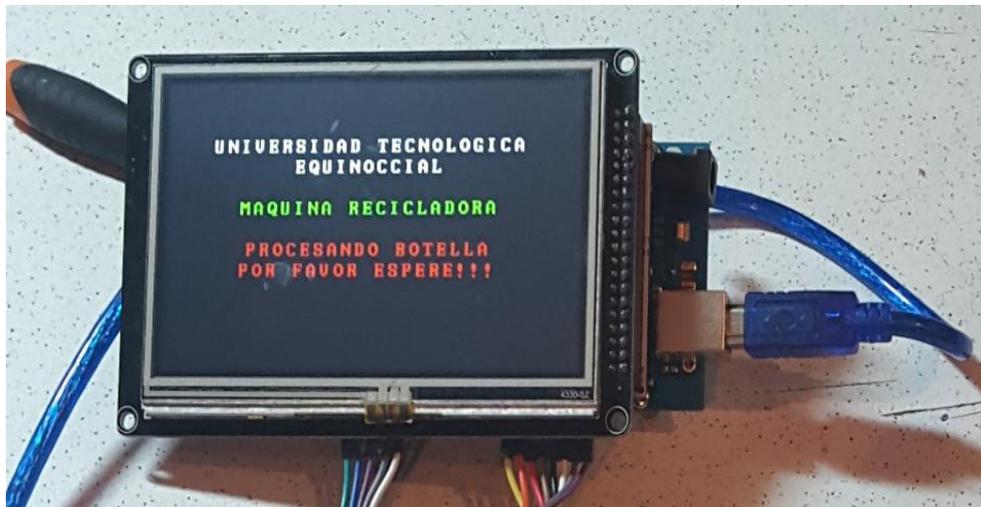


Figura 41. Pantalla TFT 4.3"

3.11.5 FUENTES DE VOLTAJE

Las fuentes seleccionadas de 12V a 2A funcionaron de manera correcta alimentando así todo el sistema sin ningún inconveniente

3.11.6 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control Arduino Mega demostró tener gran poder de procesamiento de datos por lo cual no tuvo problema al trabajar con señales y mostrar datos en nuestra pantalla al mismo tiempo.

3.11.7 TARJETA ELECTRONICA DE ACTUADORES Y SENSORES

La tarjeta electrónica fue de gran versatilidad por contar con fuentes variables de voltaje de salida. Así se pudo alimentar a todos los actuadores y al sensor así como también la pantalla TFT.

A continuación se presenta en la Figura 42 y la Tabla 4 la descripción por partes de la placa electrónica de todo el sistema.

Tabla 4. Descripción de la placa electrónica del sistema por secciones

1	Jack in de voltaje	Entrada de voltaje desde la fuente de poder. Entrada de voltaje 12V. Acople Jack 2.1 mm
2	Fusible	Fusible de protección 1.2A
3	Entradas para sensores infrarrojos	Entradas de señal y alimentación para sensores E18-D80NK
4	Salidas y entradas de señal interconectadas con Arduino	Entradas y Salidas de señal que sirven para añadir sensores al proyecto en caso de ser requerido
5	Salidas y entradas para pantalla TFT	Pines de funcionamiento para pantalla TFT
6	Pines para servomotores	Pines para servomotores con su respectiva energización
7	Salidas de tierra extra	Salidas adicionales de GND en caso de ser requeridas
8	Pines 1 de salida	Pines de salida para buzzer o luz
9	Pines 2 de salida	Pines de salida para buzzer o luz
10	Fuente de 5V	Fuente de 5V extra para el sistema en caso de ser requerido
11	Jumpers de voltaje	Jumpers que regulan el voltaje de salida de los pines
12	Led Indicador	Funciona como indicador de estado de la máquina
13	Regulador de voltaje	Regulador de voltaje variable para alimentar todo el sistema

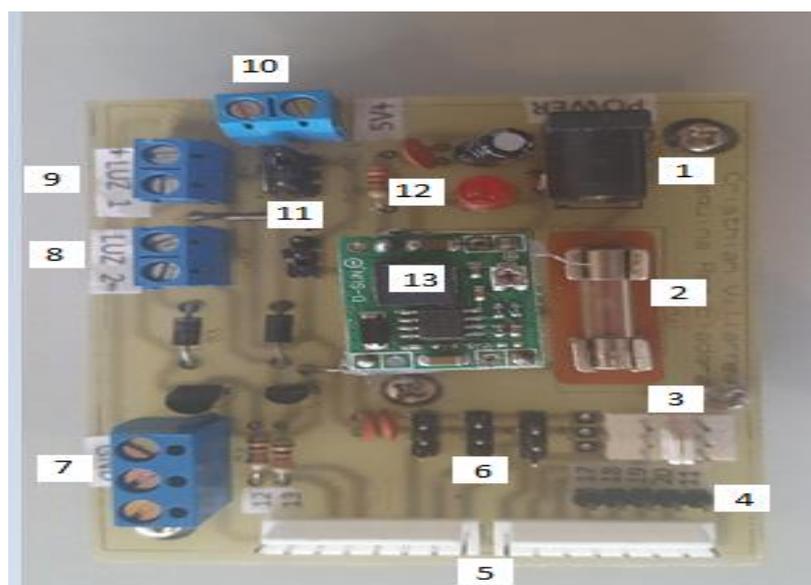


Figura 42. Fotografía de tarjeta electrónica de sensores y actuadores

3.12 RECORRIDO DE LA BOTELLA EN EL SISTEMA

Como se muestra en la Figura 43 la botella solo puede ser ingresada de forma inclinada y con el pico de botella por delante ya que el sensor infrarrojo detecta la botella y permite el acceso de la misma. En el punto 1 se refleja como la botella cuando está vacía es conducida hacia la etapa de laminación de botellas y en el punto 2 se muestra como la botella es discriminada y devuelta al usuario cuando esta contiene líquido en su interior.

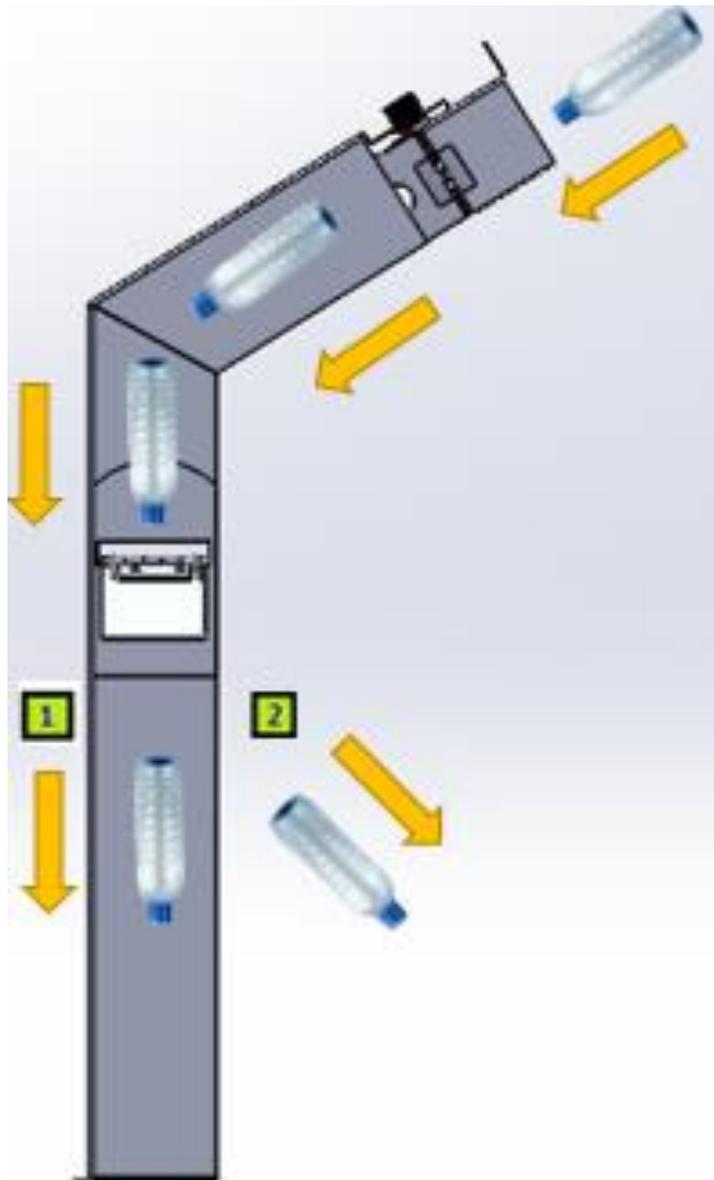


Figura 43. Recorrido que realiza la botella dentro del proceso de discriminación y validación

3.13 VISTA EXPLOSIONADA DEL SISTEMA

A continuación en las Figuras 44, 45, 46, 47 se presenta la vista explosionada y no explosionada de la máquina.

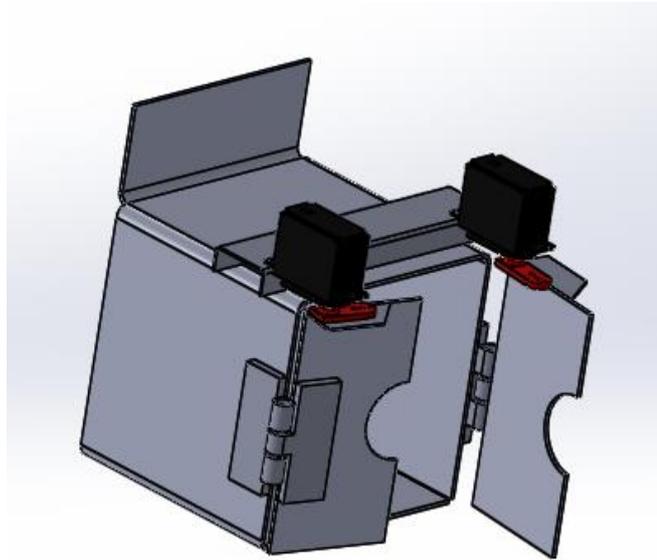


Figura 44. Vista no explosionada del sistema de ingreso de botellas modelado en CAD

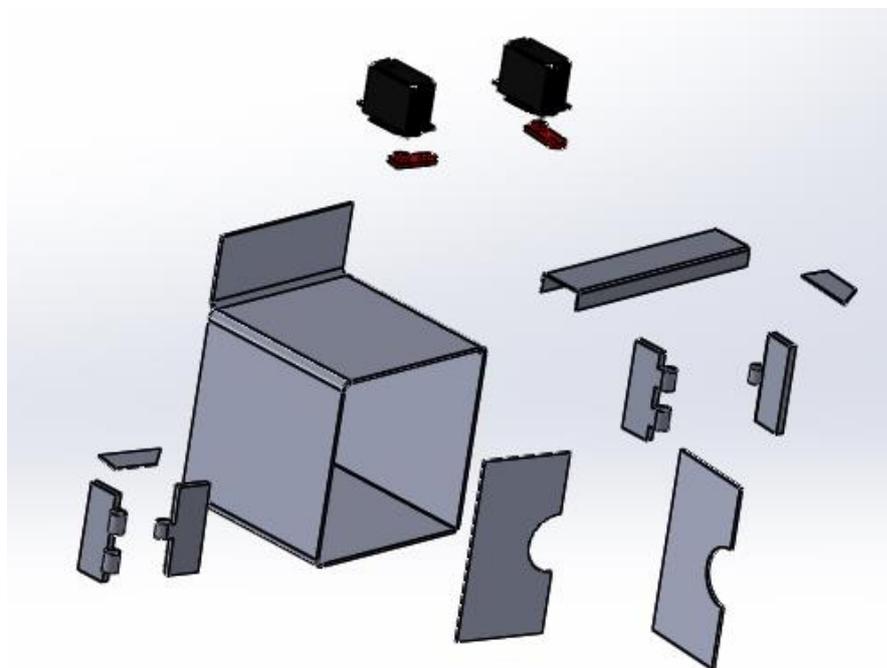


Figura 45. Vista explosionada del sistema de ingreso de botellas modelado en CAD

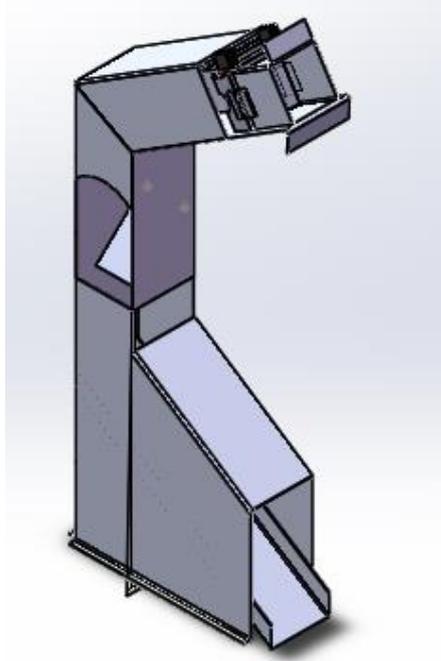


Figura 46. Vista no explosionada la máquina modelada en CAD

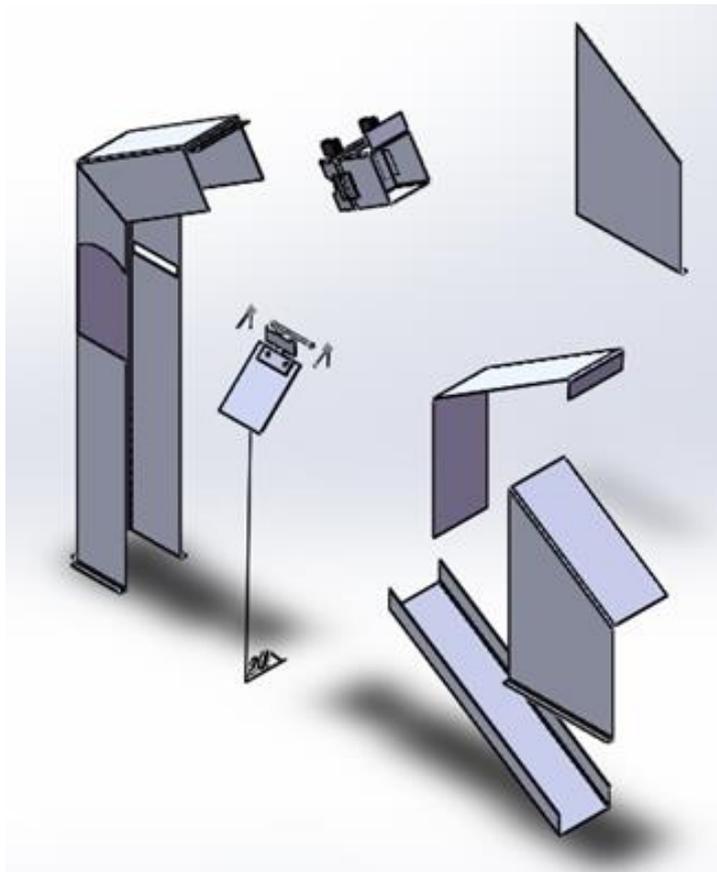


Figura 47. Vista explosionada la máquina modelada en CAD

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo de pruebas se realizó con varias muestras de botellas como se refleja en la Figura 47 y los resultados mostrados a continuación son guiados bajo el Anexo 12



Figura 48. Fotografía de muestras de botellas para realización de pruebas

4.1.1 PRUEBAS DE MONTAJE Y DESMONTAJE

Como se muestra en la Tabla 5 fueron realizadas 4 pruebas de montaje y desmontaje para obtener el tiempo que cada una de éstas.

Tabla 5. Pruebas de montaje y desmontaje de la máquina

	Tiempo Montaje[min]	Tiempo Desmontaje[min]	Tiempo Máximo[min]
Prueba 1	49.21	36.28	60
Prueba 2	47.12	35.36	60
Prueba 3	41.13	35.12	60
Prueba 4	42.45	33.17	60

Se puede observar en la Figura 49 como los tiempos obtenidos durante las pruebas se mantienen dentro de un rango menor a 60 minutos.

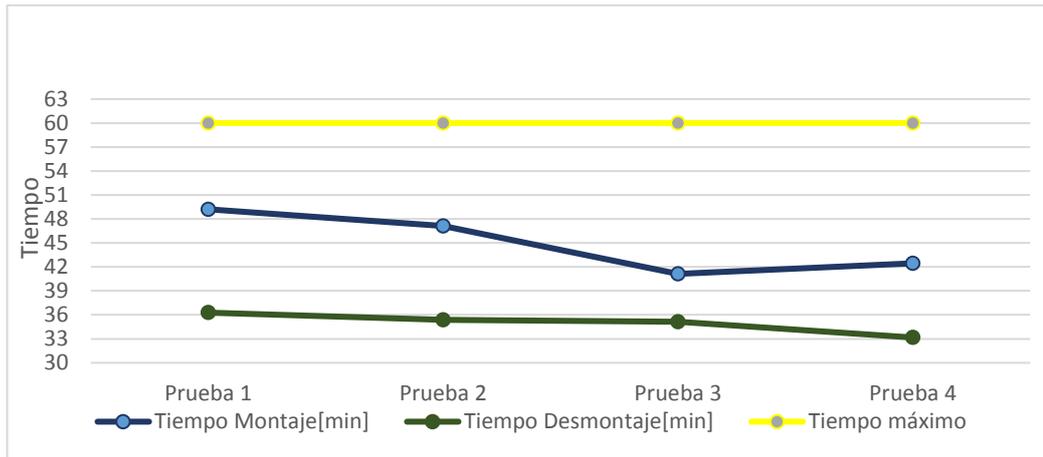


Figura 49. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de montaje y desmontaje

4.1.2 PRUEBA DE MANTENIMIENTO

A continuación se muestra en la Tabla 6 los resultados del tiempo que tarda realizar el mantenimiento de la máquina.

Tabla 6. Pruebas de tiempo de mantenimiento

	Tiempo [min]	Tiempo Máximo
Tiempo de mantenimiento 1	25.46	30
Tiempo de mantenimiento 2	27.12	30
Tiempo de mantenimiento 3	24.20	30
TIEMPO PROMEDIO	26.16	30

Se puede observar en la Figura 50 un tiempo de mantenimiento menor a 30 minutos por lo que se puede decir que es de corta duración y que no supera el rango máximo establecido de 30 minutos.

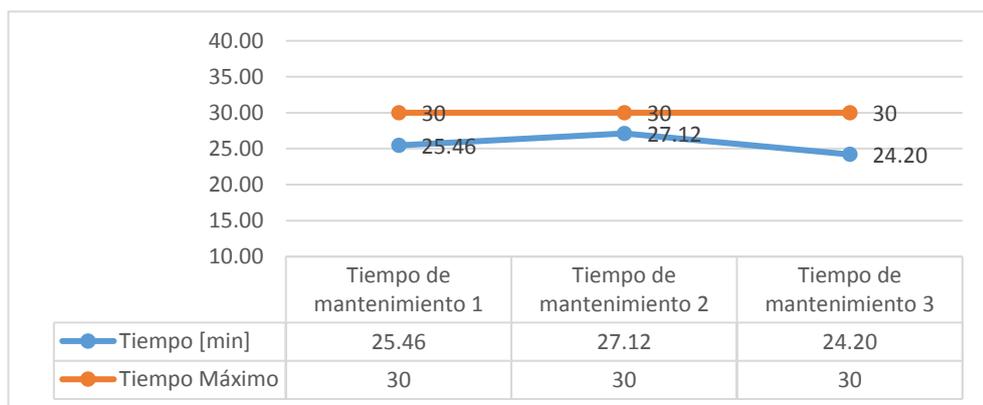


Figura 50. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de tiempo de mantenimiento

4.1.3 PRUEBA DE MÁQUINA INTUITIVA

La Tabla 7 refleja el uso de la máquina por parte de 20 personas diferentes en donde cada una de ellas tuvo que usar la máquina sin ningún tipo de instrucciones para así poder calificar si la máquina es de fácil uso e intuitiva para el usuario.

Tabla 7. Prueba de facilidad de uso e intuición del usuario al usar la máquina

Número de personas	El uso de la máquina fue intuitiva
Persona 1	si
Persona 2	si
Persona 3	si
Persona 4	si
Persona 5	si
Persona 6	si
Persona 7	si
Persona 8	si
Persona 9	si
Persona 10	si
Persona 11	si
Persona 12	si
Persona 13	si
Persona 14	si
Persona 15	si
Persona 16	si
Persona 17	si
Persona 18	si
Persona 19	si
Persona 20	si

Como se muestra en la Figura 51 la ponderación del uso de la máquina se encuentra asignado el 1 para el si (si fue intuitivo) y el 2 para el no (no fue intuitivo), determinando que ninguna persona que usó la máquina tuvo inconvenientes en usarla.

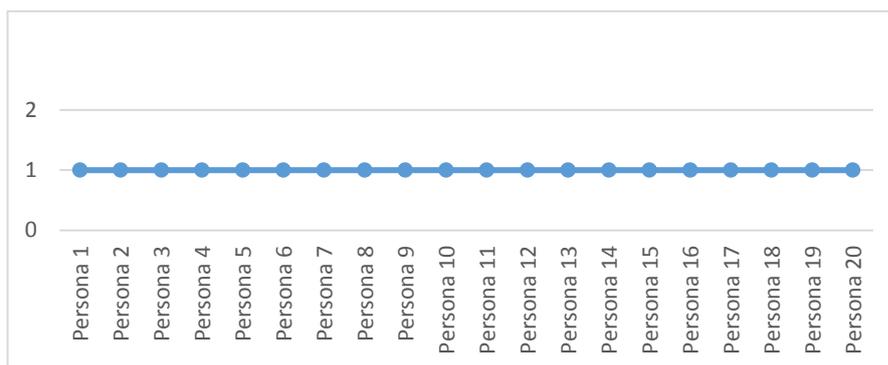


Figura 51. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de máquina intuitiva

4.1.4 PRUEBA POR FALLA DE DETECCIÓN DEL SENSOR INFRARROJO

La respuesta del sensor infrarrojo ante el pico de una botella se muestra en la Tabla 8 tomando como muestra 2 veces 15 botellas de diferentes características.

Tabla 8. Pruebas de fallas del sensor infrarrojo

N	Capacidad de botellas disponibles en el mercado ecuatoriano	Prueba detección 1	Prueba detección 2
1	Gaseosa 2000 ml	si	si
2	Gaseosa 1950 ml	si	si
3	Gaseosa 1750 ml	si	si
4	Gaseosa 1500ml	si	si
5	Gaseosa 1350 ml	si	si
6	Gaseosa 1000 ml	si	si
7	Gaseosa 500 ml	si	si
8	Gaseosa 350ml	si	si
9	Jugos 2000 ml	si	si
10	Jugos 1000 ml	si	si
11	Jugos 350 ml	si	si
12	Agua 2000 ml	si	si
13	Agua 1500 ml	si	si
14	Agua 1000 ml	si	si
15	Agua 650 ml	si	si
TOTAL		30/30	

Como resultado se obtuvo un óptimo funcionamiento del sensor al trabajar correctamente con todas las botellas propuestas, en la Figura 52 se toman valores de 1 para la respuesta si (sí detecto el sensor la botella) y valores de 2 para la respuesta de no (no detecto el sensor la botella).

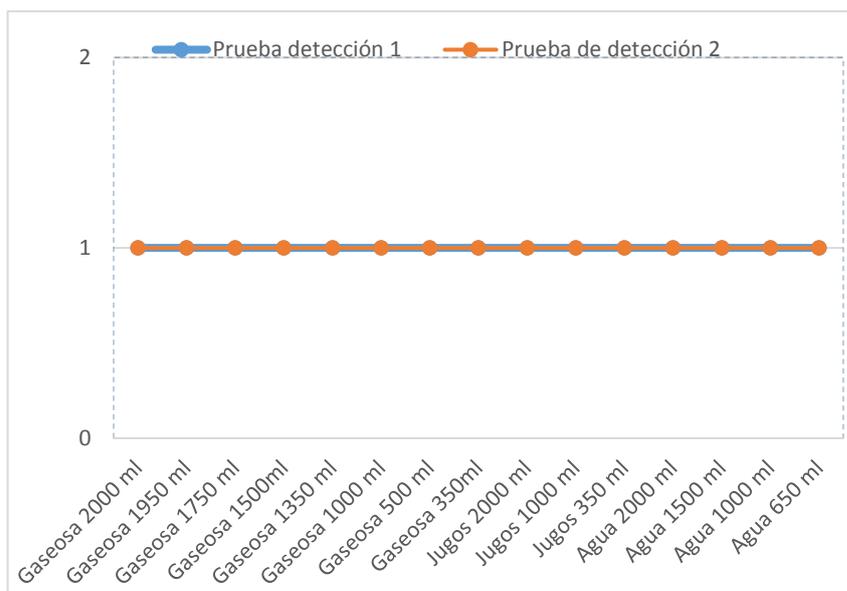


Figura 52. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de detección del sensor

4.1.5 PRUEBA DE DISCRIMINACIÓN DE BOTELLAS CON LÍQUIDO

En la Tabla 9 se muestra las diferentes pruebas de discriminación de botellas plásticas realizadas con diferentes pesos añadidos a las mismas.

Tabla 9. Pruebas de discriminación de botellas con diferentes pesos añadidos

N	Capacidad de botellas disponibles en el mercado ecuatoriano	Prueba de discriminación con 150 gr	Prueba de discriminación con 200 gr	Prueba de discriminación con 250 gr	Prueba de discriminación con 300 gr
1	Gaseosa 2000 ml	si	si	si	si
2	Gaseosa 1950 ml	si	si	si	si
3	Gaseosa 1750 ml	si	si	si	si
4	Gaseosa 1500ml	si	si	si	si
5	Gaseosa 1350 ml	si	si	si	si
6	Gaseosa 1000 ml	si	si	si	si
7	Gaseosa 500 ml	si	si	si	si
8	Gaseosa 350ml	no	si	si	si
9	Jugos 2000 ml	si	si	si	si
10	Jugos 1000 ml	si	si	si	si
11	Jugos 350 ml	si	si	si	si
12	Agua 2000 ml	si	si	si	si
13	Agua 1500 ml	si	si	si	si
14	Agua 1000 ml	si	si	si	si
15	Agua 650 ml	si	si	si	si
TOTAL		29/30		30/30	

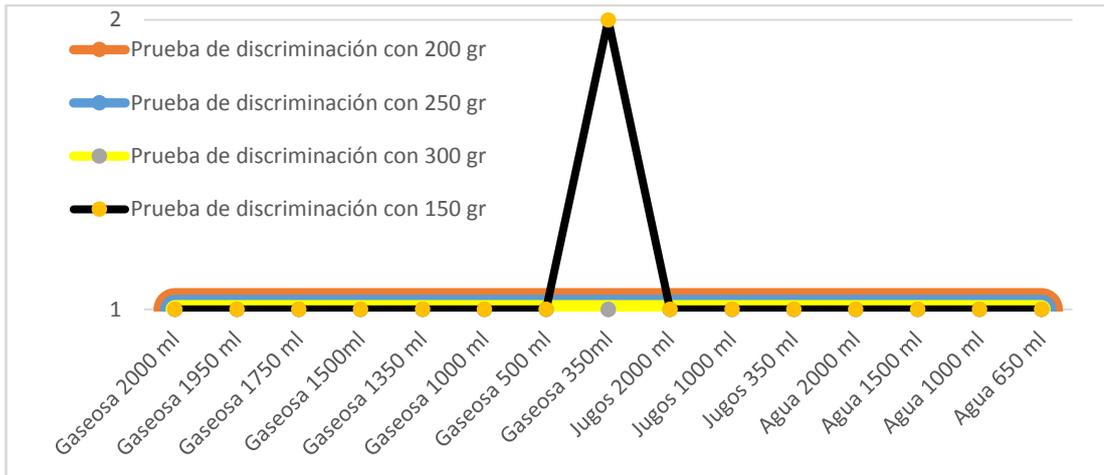


Figura 53. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de discriminación de botellas con peso líquido

El resultado obtenido indica que una de cada 60 botellas no retorna al usuario el momento de ser discriminada por el sistema mecánico para filtro de elementos. Como se muestra en la Figura 53 se obtiene una falla en las pruebas de discriminación de botellas con 150 gr de peso extra, la botella que reflejo este resultado fue la de menor tamaño en el mercado es decir la de 350 ml. Por sus características geométricas y bajo peso, la botella no pudo aplicar la fuerza suficiente para que el sistema mecánico abra la compuerta hacia el usuario sino más bien fue enviada a la etapa de laminación. La etapa de laminación puede tolerar esta baja cantidad de agua ya que los sistemas electrónicos se encuentran aislados por un panel de control.

4.1.6 PRUEBA DE FALLA POR CORTE DE ENERGÍA

Las pruebas de corte de energía reflejaron que el sistema funciona con cortes de energía momentáneos o caídas y subidas de tensión como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Pruebas del sistema tras corte de energía

Número de prueba	Funcionamiento UPS tras corte de energía
Prueba 1	si
Prueba 2	si
Prueba 3	si
Prueba 4	si
Prueba 5	si
Prueba 6	si
Prueba 7	si
Prueba 8	si
Prueba 9	si
Prueba 10	si
Prueba 11	si
Prueba 12	si
Prueba 13	si
Prueba 14	si
Prueba 15	si
Prueba 16	si
Prueba 17	si
Prueba 18	si
Prueba 19	si
Prueba 20	si
Prueba 21	si
Prueba 22	si
Prueba 23	si
Prueba 24	si
Prueba 25	si
Prueba 26	si
Prueba 27	si
Prueba 28	si
Prueba 29	si
Prueba 30	si
TOTAL	30/30

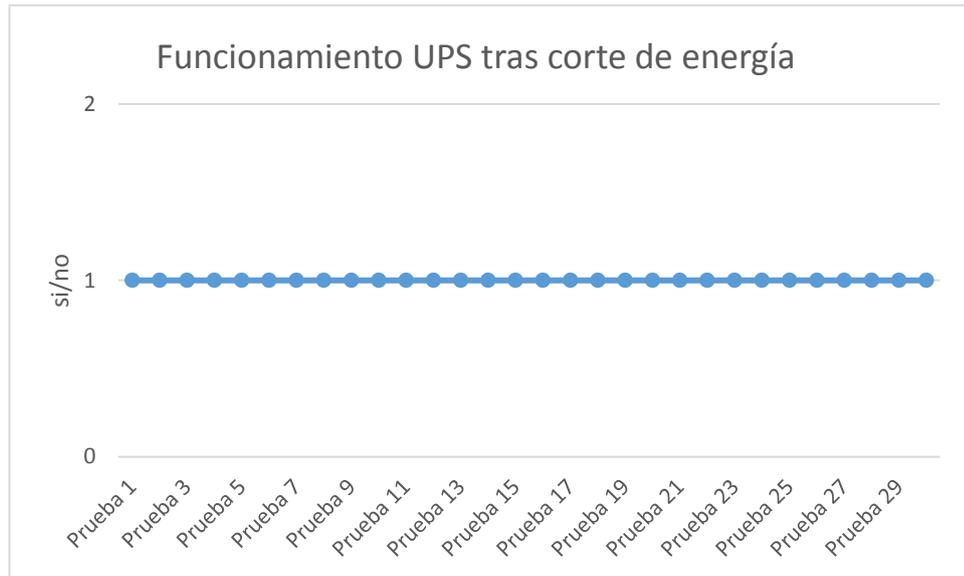


Figura 54. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de corte de energía

Los resultados obtenidos en la Figura 54 reflejan un correcto funcionamiento del sistema de almacenaje de energía UPS al no haber presentado fallas durante 30 pruebas donde el si (si funciona de manera correcta) está representado por el 1 y el no (no funciona de manera correcta) está representado por el número 2. La duración del funcionamiento de la máquina sin energía es de 4 horas y 52 minutos aproximadamente

4.2 PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA COMPLETO

Para los datos obtenidos reflejados en la Tabla 11 se ha tomado una muestra de 5 botellas por cada clase, los tiempos de laminado fueron tomados del desarrollo de la segunda etapa de esta máquina no descritos en este documento.

Tabla 11. Pruebas de tiempo de apertura y cerrado de los servos, tiempo de caída, tiempo de laminado y tiempo total de procesamiento para cada botella plástica

(Mera, 2016)

Capacidad de botellas disponibles en el mercado ecuatoriano	Tiempo de apertura servomotores [s]	Tiempo de caída [s]	Tiempo de laminado [s]	Tiempo total [s]
Gaseosa 2000 ml	3.10	1.10	6.15	10.35
Gaseosa 1950 ml	3.20	1.10	5.32	9.62
Gaseosa 1750 ml	3.10	0.90	6.14	10.14
Gaseosa 1500ml	3.10	0.90	6.25	10.25
Gaseosa 1350 ml	2.90	1.00	6.38	10.28
Gaseosa 1000 ml	2.90	1.00	6.54	10.44
Gaseosa 500 ml	3.10	1.00	2.25	6.35
Gaseosa 350ml	2.90	1.10	2.18	6.18
Jugos 2000 ml	3.20	0.90	7.24	11.34
Jugos 1000 ml	3.20	0.80	6.52	10.52
Jugos 350 ml	2.90	0.90	2.14	5.94
Energizante 365 ml	3.10	1.00	2.36	6.46
Agua 2000 ml	3.20	1.00	7.37	11.57
Agua 1500 ml	2.90	0.90	6.51	10.31
Agua 1000 ml	3.20	1.10	3.21	7.51
Agua 650 ml	3.10	1.10	3.29	7.49
Agua 500 ml	3.10	1.00	4.05	8.15
Agua 250 ml	3.20	1.10	3.28	7.58
PROMEDIO	3.08	0.99	4.84	8.91

La Figura 55 refleja el tiempo que le toma a cada botella ser procesada por toda la máquina. Ninguno de los tiempos realizados en pruebas supera los 12 segundos.

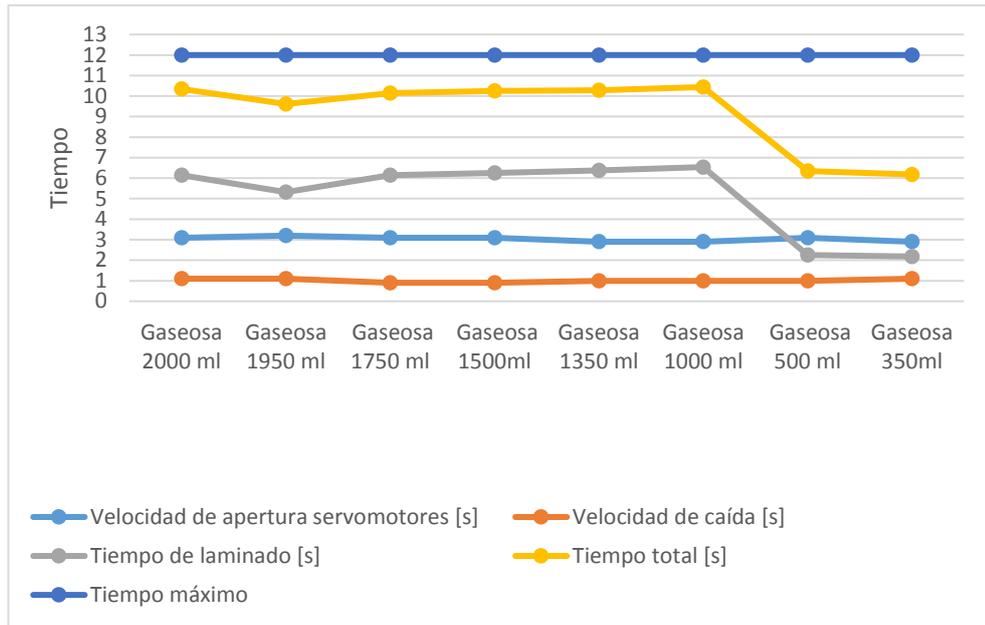


Figura 55. Gráfico de líneas indicativa de las pruebas de tiempos de laminado, tiempos de apertura y tiempos de caída.

4.3 CAPACIDAD DE CAJÓN

A continuación en la Tabla 12 nos muestra el número de botellas capaces de contener el cajon en tres pruebas diferentes.

Tabla 12. Pruebas de capacidad del cajón

Pruebas de capacidad del cajón	Número de botellas
Prueba 1	102
Prueba 2	113
Prueba 3	121

La Tabla 11 refleja que la máquina es capaz de procesar un promedio de 1 botella en 9 segundos y la Tabla 12 muestra que el cajón es capaz de almacenar un promedio de 100 a 120 botellas plásticas.

Para obtener el tiempo que tarda la máquina en alcanzar la capacidad máxima, se multiplica el promedio de tiempo de reciclaje de una botella plástica y la capacidad promedio de botellas que puede almacenar el cajon.

$$\text{Tiempo total de reciclaje continuo} = 115 \text{ botellas} * 8.91 \text{ seg}$$

Se obtiene el tiempo total de reciclaje de 115 botellas de forma continua hasta llenar el cajón de almacenamiento.

$$\textit{T tiempo total de reciclaje continuo} = 1024.65 \textit{ seg}$$

$$\textit{T tiempo total de reciclaje continuo} = 17.07 \textit{ min}$$

La máquina puede reciclar el total de su capacidad en tan solo 17.07 min aproximadamente lo que representa 115 botellas. Por lo que si se lo compara con el reciclaje por parte de los recicladores ambulantes se obtienen las siguientes ventajas:

- Almacenamiento de botellas por parte de la máquina en un lugar estable. Es decir la gente se aproxima a la máquina para reciclar evitando el reciclaje ambulante.
- El tiempo de reciclado es veloz por lo que una persona puede reciclar varias botellas sin esperar mucho tiempo.
- La cantidad de botellas reciclada es alta por lo que fácilmente se puede llenar el contenedor 2 o 3 veces al día en lugares concurridos.
- La máquina lamina las botellas por lo que se aprovecha bien el espacio en el cajón entregando al cliente plástico comprimido y de fácil acceso para el mismo.

4.4 COSTO DEL SISTEMA

El costo del sistema total se muestra en la Tabla 13

Tabla 13. Costo de construcción de la máquina reciclador

CONCEPTO	VALOR
Componentes electrónicos	\$ 225
Componentes mecánicos	\$ 380
Mano de obra	\$ 400
Transporte	\$ 50
Varios	\$ 50
Total	\$ 1.105

Como se refleja en la Tabla anterior el costo total de la máquina recicladora es de \$1105. Los valores pueden variar dependiendo de proveedores, taller de fabricación, la ciudad y el país.

4.5 ANÁLISIS DE RECUPERACION DE INVERSIÓN

Mediante la Tabla 13 se obtuvo el costo de la máquina de \$1105 por lo que se procedió a realizar el análisis para saber qué número de botellas es el necesario para poder recuperar la inversión realizada sin contar costos variables.

Remuneración por botella reciclada = 0.02 ctvs

Costo total de la máquina = \$1105

El número de botellas necesarias para recuperar la inversión será:

$$\text{Número de botellas} = \frac{1105}{0.02} = 55250$$

Asumiendo un valor de reciclaje de 200 botellas por día se obtiene

$$\text{T tiempo de recuperación de inversion: } \frac{55250}{200} = 276.25 \text{ días} = 9.2 \text{ meses}$$

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Entre las variables necesarias para la construcción del sistema, las cuales fueron tomadas de una botella de 2 litros de capacidad, se encuentran la altura, diámetro y peso. También influyó la fuerza que se ejerce al ingresar una botella y las señales brindadas por el sensor infrarrojo para poder abrir y cerrar las compuertas de acceso.
- La máquina permite el acceso de botellas solamente de forma vertical por medio de un sistema de compuertas inclinadas, así éstas caen con el pico de botella hacia abajo consiguiendo que entren a la etapa de laminación con el menor diámetro posible ya que así facilita su entrada en los rodillos de laminación.
- El sistema mecánico para filtro de elementos tiene la función principal de permitir o discriminar el acceso de botellas plásticas en la máquina por medio de una placa de acero galvanizado y dos resortes diseñados para ceder ante pesos excesivos devolviendo la botella al usuario por el ducto de retorno.
- El software y hardware escogidos para el desarrollo de este proyecto fue Arduino, cumpliendo con el requerimiento de mejoramiento continuo por parte de diversos interesados alrededor del mundo, pudiendo ser el código de esta máquina compartido, copiado, estudiado y modificado.
- La máquina fue construida y modelada con resultados ajustados a los requerimientos iniciales realizando las respectivas pruebas de validación especificadas en el protocolo de pruebas, determinando que los resultados obtenidos fueron los esperados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el sistema desarrollado en el presente proyecto para la fabricación de máquinas para el reciclaje de botellas
- Al momento del ensamblaje de las piezas electrónicas es necesario que todos los elementos estén conectados antes de su energización para que los mismos tomen sus posiciones iniciales y evitar posibles daños a sensores y actuadores
- Se debe adquirir la pantalla TFT de 4.3 pulgadas ya que cada pantalla TFT tiene su propio microcontrolador y al cambiar de pantalla se perderán las imágenes o no funcionará la misma
- Los resortes deben ser diseñados bajos las variables de botellas plásticas de cada país ya que estas pueden cambiar y afectar al sistema mecánico para filtro de elementos.
- La máquina debe estar ubicada en un lugar donde esté protegido de la lluvia ya que esta podría penetrar en el sistema eléctrico y sufrir daños en el sistema
- La distancia de reconocimiento de objetos del sensor infrarrojo debe ser calibrado antes de ensamblar la carcasa total de la máquina, ya que una vez ahí no podrá ser calibrado.
- El cajón de almacenamiento debe ser diseñado tomando en cuenta las posibles botellas que pueden ser recicladas en un determinado tiempo, se recomienda la construcción de un cajón espacioso para almacenar una cantidad superior de botellas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ada. L. (2013). Adafruit. Funcionamiento de pantallas TFT. Recuperado de: <https://learn.adafruit.com/adafruit-5-800x480-tft-hdmi-monitor-touchscreen-backpack/raspberry-pi-config?view=all>
- Alciatore. D. G. (2008). Introducción a la Mecatrónica y los sistemas de medición. (Tercera Edición). México: McGraw-Hill.
- Bolton. W. (2006). Mecatrónica. Sistemas de control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica. (Tercera edición). México: Pearson Education Limited.
- Boylestad. Nashelsky. (2003). Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos (octava edición). México: Pearson Prentice Hall.
- Carrillo. L. (2013). Fabricación de botellas Plásticas Recuperado de: <es.slideshare.net/alejoarenas792/trabajo-escrito-ing-de-manu>
- Castillo. P. (2010). Arduino. Septiembre. 2010. Recuperado de: www.arduino.cc
- DuncanElectronics. (2016). *Controladores y sensores*. Recuperado de: <http://www.beisensors.com/about-bei-sensors.html>
- Hi-Tec. (2009). Hi-Tec Servos Standard. Recuperado de: <http://hitecrd.com/products/servos/sport-servos/analog-sport-servos/hs-311-standard-economy-servo/product>
- Ingenieure. V.D. (2004). Design Methodology for mechatronic systems. Dusseldorf. Germany.

- Mariano: (2011) Tecnología de los plásticos. Recuperado de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>
- Mott. R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta Edición). México: Pearson Prentice Hall.
- Norton. R. (2011). Diseño de máquinas (Cuarta Edición). México: Pearson Prentice Hall.
- SaintSmart. (2016). Sensores y acoples electronicos. Recuperado de: <http://www.sainsmart.com/>
- SRI. Impuesto redimible a las botellas plasticas no retornables. Recuperado de: <http://www.sri.gob.ec/de/impuesto-redimible-a-las-botellas-plasticas-no-retornables>
- Winston. (2016). Winston Electronics Factory. Recuperado de: <http://www.cnwinston.com/>

ANEXOS

ANEXO 1

Materiales comunes de alambres para resortes

ASTM #	Material	SAE #	Descripción
A227	Alambre forjado en frío ("forjado duro")	1066	Alambre menos costoso para resortes de uso general. Adecuado para cargas estáticas, pero no contra la fatiga o el impacto. Intervalo de temperatura 0 °C a 120 °C (250 °F).
A228	Alambre musical	1085	El material más duro, más ampliamente usado en resortes con espiras pequeñas. Mayor resistencia contra la fatiga y la tensión que todos los demás alambres para resortes. Intervalo de temperatura de 0 °C a 120 °C (250 °F).
A229	Alambre revenido al aceite	1065	Acero para resortes de uso general. Menos costoso y disponible en tamaños más grandes que el alambre musical. Adecuado para cargas estáticas, pero no para cargas de fatiga o impacto. Intervalo de temperatura 0° a 180 °C (350 °F).
A230	Alambre revenido en aceite	1070	Resorte con calidad para válvula, apropiado para cargas de fatiga.
A232	Cromo-vanadio	6150	La aleación de acero más popular para resortes. Con calidad para válvulas, adecuada para cargas de fatiga. También buena para cargas de choque y de impacto. Para temperaturas hasta de 220 °C (425 °F). Disponible recocida o prerevenida.
A313 (302)	Acero inoxidable	30302	Adecuado para aplicaciones de fatiga.
A401	Cromo-silicio	9254	Resorte con calidad para válvulas, apropiado para cargas de fatiga. Segunda mayor resistencia después del alambre musical, y con resistencia más alta a la temperatura, de hasta 220 °C (425 °F).
B134, #260	Resorte de latón	CA-260	Resistencia baja; buena resistencia contra la corrosión.
B159	Bronce al fósforo	CA-510	Mayor resistencia que el latón; mejor resistencia a la fatiga; buena resistencia contra la corrosión. No se puede tratar térmicamente ni doblarse a lo largo de la veta.
B197	Cobre al berilio	CA-172	Mayor resistencia que el latón; mejor resistencia a la fatiga; buena resistencia contra la corrosión. Se puede tratar térmicamente y doblarse a lo largo de la veta.
-	Inconel X-750	-	Resistencia contra la corrosión.

(Norton, 2011)

ANEXO 2

Diámetros de alambres comerciales

Diámetros de alambre preferidos

U.S. (In)	SI (mm)
0.004	0.10
0.005	0.12
0.006	0.16
0.008	0.20
0.010	0.25
0.012	0.30
0.014	0.35
0.016	0.40
0.018	0.45
0.020	0.50
0.022	0.55
0.024	0.60
0.026	0.65
0.028	0.70
0.030	0.80
0.035	0.90
0.038	1.00
0.042	1.10
0.045	
0.048	1.20
0.051	
0.055	1.40
0.059	
0.063	1.60
0.067	
0.072	1.80
0.076	
0.081	2.00
0.085	2.20
0.092	
0.098	2.50
0.105	
0.112	2.80
0.125	3.00
0.135	3.50
0.148	
0.162	4.00
0.177	4.50
0.192	5.00
0.207	5.50
0.225	6.00
0.250	6.50
0.281	7.00
0.312	8.00
0.343	9.00
0.362	
0.375	
0.406	10.0
0.437	11.0
0.469	12.0
0.500	13.0
0.531	14.0
0.562	15.0
0.625	16.0

(Norton, 2011)

ANEXO 3

Tabla de coeficientes y exponentes para la ecuación de resistencia ultima a la tensión

ASTM #	Material	Intervalo		Exponente <i>b</i>	Coeficiente <i>A</i>		Factor de correlación
		mm	in		MPa	psi	
A227	Forjado en frío	0.5–16	0.020–0.625	-0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Alambre musical	0.3–6	0.010–0.250	-0.162 5	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Revenido en aceite	0.5–16	0.020–0.625	-0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Cromo-v.	0.5–12	0.020–0.500	-0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Cromo-s.	0.8–11	0.031–0.437	-0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

(Norton, 2011)

ANEXO 4

Tabla de resistencia máxima a la fluencia por flexión S_y recomendada para resortes helicoidales de torsión en aplicaciones estáticas

Material	Porcentaje máximo de resistencia última a la tensión	
	Esfuerzo eliminado	Esfuerzo residual favorable
Acero al carbono forjado en frío (p. ej., A227, A228)	80%	100%
Acero al carbono endurecido y revenido, (y aleación de acero al bajo carbono revenido y endurecido (p. ej., A229, A230, A232, A401)	85	100
Acero inoxidable austenítico y aleaciones no ferrosas (p. ej., A313, B134, B159, B197)	60	80

$$S_{ew_b} \cong \frac{45.0}{0.577} = 78 \text{ kpsi (537 MPa)} \quad \text{para resortes no granallados}$$

$$S_{ew_b} \cong \frac{67.5}{0.577} = 117 \text{ kpsi (806 MPa)} \quad \text{para resortes granallados}$$

(Norton, 2011)

ANEXO 5

Toma de datos de las fuerzas ejercidas por una persona con una botella de 2 litros

Número de persona	Fuerza ejercida por una persona con una botella de 2 litros [kgf]
1	0.260
2	0.240
3	0.230
4	0.230
5	0.250
6	0.260
7	0.240
8	0.240
9	0.260
10	0.260
11	0.250
12	0.260
13	0.250
14	0.260
15	0.240
16	0.260
17	0.230
18	0.250
19	0.240
20	0.220
21	0.240
22	0.250
23	0.260
24	0.250
25	0.250
PROMEDIO	0.247

ANEXO 6

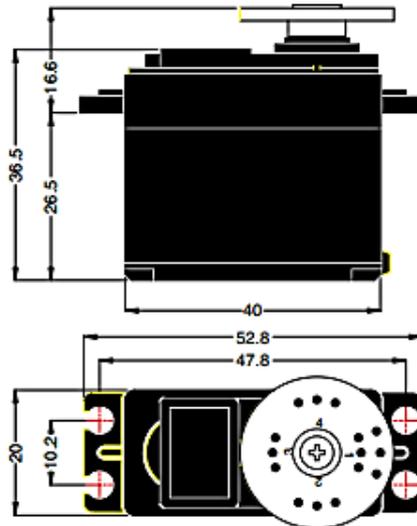
Toma de datos de 26 botellas plásticas PET de diferentes marcas para obtener su peso, tiempo de apertura de servomotores y tiempo de caída de botella por el ducto para cada botella.

N	MARCA DE BEBIDAS GASEOSAS	ML	PESO(gr)	PESO(lb)
1	BONISSIMA	500	21	0.046
2	DEL VALLE	250	16	0.035
3	FUZE TEA	400	15	0.033
4	TESALIA	500	18	0.040
5	V220	365	22	0.048
6	COCA COLA	250	21	0.046
7	FANTA	400	21	0.046
8	SPRITE	250	21	0.046
9	PONY MALTA	330	17	0.037
10	CIFRUT	360	18	0.040
11	GUITIG	500	20	0.044
12	MANANTIAL	500	21	0.046
13	MAS MANZANA	400	24	0.053
14	GUITIG	1500	39	0.086
15	COCA COLA ZERO	2000	56	0.123
16	CIFRUT	1700	36	0.079
17	COCA COLA	1750	44	0.097
18	DASANI	1000	24	0.053
19	ALL NATURAL	2000	49	0.108
20	OK WATER	500	25	0.055
21	SUNTEA	365	23	0.051
22	NESTEA	500	19	0.042
23	PURE WATER	500	12	0.026
24	COCO FREEZE	355	25	0.055
25	CIELO AGUA	1000	35	0.077
26	FUZE TEA	1250	33	0.073

ANEXO 7

Especificaciones técnicas del servomotor HiTec 311

1. TECHNICAL VALUE		
CONTROL SYSTEM	:+PULSE WIDTH CONTROL 1500usec NEUTRAL	
OPERATING VOLTAGE RANGE	:4.8V TO 6.0V	
TEST VOLTAGE	:AT 4.8V	AT 6.0V
OPERATING SPEED	:0.19sec/60° AT NO LOAD	0.15sec/60° AT NO LOAD
STALL TORQUE	:3.0kg.cm(42oz.in)	3.5kg.cm(48.60oz.in)
IDLE CURRENT	:7.4mA AT STOPPED	7.7mA AT STOPPED
RUNNING CURRENT	:160mA/60° AT NO LOAD	180mA/60° AT NO LOAD
STALL CURRENT	:700mA	800mA
DEAD BAND WIDTH	:5usec	5usec
OPERATING TRAVEL	:40°/ONE SIDE PULSE TRAVELING 400usec	
DIRECTION	:CLOCK WISE/PULSE TRAVELING 1500 TO 1900usec	
MOTOR TYPE	:CORED METAL BRUSH	
POTENTIOMETER TYPE	:4 SLIDER/DIRECT DRIVE	
AMPLIFIER TYPE	:ANALOG CONTROLLER & TRANSISTOR DRIVER	
DIMENSIONS	:40x20x36.5mm(1.57x0.78x1.43in)	
WEIGHT	:43g(1.51oz)	
BALL BEARING	:TOP/RESIN BUSHING	
GEAR MATERIAL	:RESIN	
HORN GEAR SPLINE	:24 SEGMENTS/Ø5.76	
SPLINED HORNS	:SUPER/R-XA	
CONNECTOR WIRE LENGTH	:300mm(11.81in)	
CONNECTOR WIRE STRAND COUNTER	:40EA	
CONNECTOR WIRE GAUGE		



(Hitec, 2009)

ANEXO 8

Hoja de datos tira rígida de 5 luces led RGB



Descripción

- *Nombre del producto: Tira rígida 5 SMD 5050 LED del Módulo de Luz Impermeable Barra de Luz de la Lámpara 12V blanco/R/G/B/Y*
- *Código del artículo: 234594052*
- *Categoría: Tiras De LED*
- *A Prueba De Agua: Sí*
- *Es regulable: No*
- *Chip LED: SMD 5050*

Breve descripción:

- *5 SMD 5050 LED del Módulo de Luz Impermeable Duro Tira de la Barra de Luz de la Lámpara 12V blanco/R/G/B/Y*
- *Cantidad: 1 lotes (600 Pieza / lot)*
- *Tamaño del paquete: 5.0 * 5.0 * 5.0 (cm)*
- *Peso bruto/Paquete: 2.5 (kg)*
- *SMD 5050 LED del módulo de 5leds impermeable DC12V*

Especificaciones

- *Fuente De Luz De Vida: 50.000 H*
- *Potencia: 1.2 W*
- *Voltaje de trabajo: DC 12V*
- *Lumen: 18-20lm/Led(Blanco)*
- *Qty de LED: 5 Pcs SMD 5050/ Módulo de*
- *Grado del IP: IP68*
- *Color: Verde/Rojo/Azul/Blanco(6000-7000K)/Blanco Cálido(2800-3200K)*
- *Material de Shell: ABS anti-estática*

- *Tamaño: 77 * 12 * 5 mm*
- *El uso de la temperatura: -40 ~ + 50°C*
- *Temperatura de almacenamiento: -50 ~ +60°C*
- *Certificado: CE, ROHS*

Características

- *La marca del LED, vida útil más larga, menor depreciación de lúmenes, menos del 3% en un año.*
- *Alta calidad impermeable de material utilizado. Buena estabilidad térmica y no perder el color en mucho tiempo.*
- *Aplicaciones Típicas*
- *Tablero De La Muestra De La Retroiluminación*
- *Caja de luz del cuadro de Signo de Retroiluminación*
- *Letras De Canal Retroiluminación*
- *Carteles De Propaganda De La Retroiluminación*
- *Anuncio De Cajas De Luz De Retroiluminación*
- *Comercial Signo De La Retroiluminación*
- *Etapa De Retroiluminación*
- *Mensaje De Retroiluminación De La Pantalla*

(Kenko, 2016)

ANEXO 9

Hoja de datos, sensor infrarrojo E18-D80NK-N

E18-D80NK-N

Adjustable Infrared Sensor Switch Manual

61mcu.Com
北京化学通电子

Introduction

This is an infrared distance switch. It has an adjustable detection range, 3cm - 80cm. It is small, easy to use/assemble, inexpensive. Useful for robot, interactive media, industrial assembly line, etc.



Specification

Model NO: E18-D80NK-N

Diameter: 18mm, Length: 45mm

Sensing range: 3-80cm adjustable

Appearance: Threaded cylindrical

Sensing object: Translucency, opaque

Material: Plastic

Supply voltage: DC5V

Guard mode: Reverse polarity protection

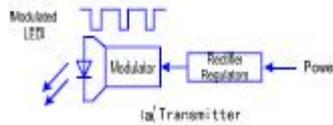
Load current: 100mA

Ambient temperature: -25-70°C

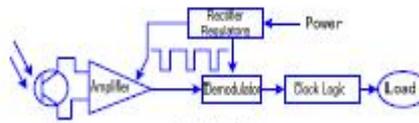
Output operation: Normally open(O)

Red: +5V; Yellow:Signal;Green:GND

Output: DC three-wire system(NPN)



1a) Transmitter



2a) Receiver

北京化学通电子

Tel: 010-62668058
Website: www.61mcu.com
E-mail: fae_61mcu@163.com

(Winston, 2016)

ANEXO 10

Hoja de datos Pantalla TFT 4.3 y TFT shield para Arduino Mega

Description:

This is SainSmart 4.3 inch TFT LCD module with the TFT LCD shield kit For arduino enthusiasts. It includes one pcs of 4.3 inch TFT LCD display and a TFT LCD shield for Arduino Mega. We will provided you the whole document including the example project of Arduino Mega with the kit. We will supply you the technical support after your purchase.

SainSmart 4.3 inch TFT LCD 480X800 Arduino MEGA2560 R3

It is 100% compatible with the normal MCU like ARM AVR PIC and 8051, especially on Arduino family such as Arduino Mega and Arduino MEGA2560(R3). The module uses the LCD controller Chip SSD1963 with 5 inch LCD including the touchscreen.

Features:

- 4.3" TFT LCD Module, Resolution 800x480, SSD1963 Controller
- On board 64Mbit SPI Flash for storing fonts of 10 sizes and 236 icons for custom application development
- Write images/icons to flash memory via SD card with zero programming
- 64Mbit can store 1800 42x42 pixel icons/images
- LCD Type: TFT Transmissive Normal White
- Interface: 8/16bit parallel bus interface
- PCB Color: Blue
- On board 400mA DC-DC Boost regulator to provide power supply to LCD backlight
- LCD-specified intialization code is provided, so that you can save time to optimize power control register and gamma curves for best display performance. We have test the provided code, it gives the best display performanace
- Module dimension: 186mmx106mmx23mm(including pin header extrusion)
- Active Area: 154mmx86mm
- Pixel pitch: 0.179mmx0.179mm
- Standard 2x20 2.54mm pin header for connection to MCU/development board
- Module weight: 410grams

SainSmart TFT LCD Extend Shield for Arduino Mega with 4.3 inch TFT LCD

This is SainSmart TFT LCD Extend shield for Arduino Mega .Using this shield can help you out of the bothers to use other cables. You just need to plug the module to Arduino Mega through this shield.

(Adafruit, 2013)

ANEXO 11

Medidas específicas de la botella Coca-Cola de 2 litros

Datos específicos de botellas 2 litros Coca-Cola	
Diámetro mayor	100 mm
Diámetro menor	30 mm
Capacidad	2 lt
Altura	350 mm
Perímetro mayor	314.16 mm



ANEXO 12

Protocolo de pruebas de la primera etapa de la máquina recicladora

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA PRIMERA ETAPA DE LA MÁQUINA RECICLADORA				
Diseño del Sistema	Nombre de las pruebas a cumplir	Explicación	Parámetros	SI / NO
Requerimientos del proyecto	Fácil montaje y desmontaje	El montaje y desmontaje debe tomar poco tiempo al técnico	Tiempo máximo de montaje o desmontaje 60 minutos	
	Facilidad de mantenimiento	Limpieza de polvos, revisión de movimiento de compuertas , revisión de ángulo de apertura entre los extremos de las compuertas, Entradas y salidas de señal de sensores	Tiempo de mantenimiento máximo 30 minutos	
	Medidas del sistema	En el diseño del sistema las medidas de la máquina deben ser tomadas como referencia una botella PET de 2 litros de capacidad con medidas similares a las mostradas en el Anexo 11		
	Amigable con el usuario	La máquina es intuitiva para el usuario?	Los usuarios no tienen inconvenientes al usar la máquina	
	Energía		Trabaja a 110V? Se encuentra conectada a un sistema de seguridad de sobrecargas?	
	Diseño		El diseño electrónico contiene una tarjeta capaz de expandirse para utilizar más	

			motores y sensores?	
			El software es de desarrollo libre?	
Rango de fallas bajo	Falla por detección de botellas por sensor infrarrojo		Las fallas del sensor infrarrojo dan como resultado 1 prueba fallida sobre 30?	
	Fallas por discriminación de botellas con agua por parte de la segunda etapa de seguridad		Las pruebas de fallas por discriminación de botellas con agua dan como resultado 1 prueba fallida sobre 30?	
	Falla por corte de energía		Las pruebas de fallas de corte de energía dan como resultado 1 prueba fallida sobre 30?	
Especificaciones	Máquina llamativa e intuitiva	Basado en la norma de calidad ambiental	Cumple con el punto 4.2.2 del anexo 14?	
	Discriminación de elementos que no sean botellas	Basado en la norma de calidad ambiental	Cumple con el punto 4.2.18 del anexo 14?	
	Almacenamiento seguro	Basado en la norma de calidad ambiental	Cumple con el punto 4.3.18 literal J y K del anexo 14?	
	Máquina de color azul o combinaciones con azul	Basado en la norma de estandarización de colores	Cumple con el punto 6.1 del anexo 14?	
Restricciones	Diámetro máximo de botellas a reciclar		Diámetro máximo de botellas a reciclar tomado de botella 2 litros?	
	Usuario sin acceso al interior de la máquina		Usuario sin acceso al interior de la máquina?	

ANEXO 13

Tabla de características del acero galvanizado ASTM A653

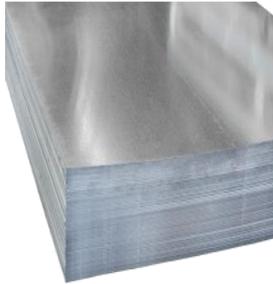
Acero Galvanizado

Calidad Comercial:

Norma: ASTM A653/924 y NTC 4011

Acabado: Flor regular o mínima, con o sin skin-pass, pasivado seco y no aceitado.

Recubrimientos: Z90 (G30), Z120 (G40), Z180 (G60), Z275 (G90)



FICHA TÉCNICA	
Espesor (mm)	Ancho Bobinas (mm)
2.50 - 3.00	1220
2.00	1000
1.40 - 1.90	1000;1220
0.36 - 1.20	914;1000;1220
0.27 - 0.30	914;1000
0.20 - 0.27	914

PROPIEDADES MECÁNICAS			
Calidad	Fluencia (Mpa)	Resistencia (Mpa)	Elongación %
CS Comercial	-	-	25 mín
SS G33 (230)	230	310	20 mín
SS G40 (275)*	275	380	16 mín
SS G50 (350)**	350	450	-

TOLERANCIAS ESPESOR				
Ancho especificado (mm)	Tolerancia superior e inferior (+/-) espesor nominal (mm)			
	Hasta 1.5	Más de 1.5 a 2.0 inclusive	Más de 2.0 a 2.5 inclusive	Más de 2.5 a 5.0 inclusive
914	0.05	0.08	0.15	0.18
1000	0.05	0.08	0.15	0.18
1220	0.05	0.08	0.15	0.18
Tolerancia máxima en longitud: + 35 Tolerancia máxima en ancho: + 6mm Tolerancia máxima en planitud: 30 mm en 1.50m				

(ACESCO, 2016)

ANEXO 14

Literales de las normas de calidad ambiental para el manejo de desechos sólidos no peligrosos

4.2 De las prohibiciones en el manejo de desechos sólidos

4.2.2. Se prohíbe arrojar o depositar desechos sólidos fuera de los contenedores de almacenamiento.

4.2.18 Se prohíbe mezclar desechos sólidos peligrosos con desechos sólidos no peligrosos.

4.3.2 El manejo de desechos sólidos no peligrosos comprende las siguientes actividades:

- j) Almacenamiento.
- k) Entrega.

6.1 Clasificación general

Para la separación general de residuos, se utilizan únicamente los colores a continuación detallados:

TIPO DE RESDUO	COLOR DE RECIPIENTE		DESCRIPCION DEL RESIDUO A DISPONER
Reciclables	Azul		Todo material susceptible a ser reciclado, reutilizado. (vidrio, plástico, papel, cartón, entre otros).
No reciclables, no peligrosos.	Negro		Todo residuo no reciclable.
Orgánicos	Verde		Origen Biológico, restos de comida, cáscaras de fruta, verduras, hojas, pasto, entre otros. Susceptible de ser aprovechado.
Peligrosos	Rojo		Residuos con una o varias características citadas en el código C.R.E.T.I.B
Especiales	Anaranjado		Residuos no peligrosos con características de volumen, cantidad y peso que ameritan un manejo especial.

(Calidad, 2015)

1

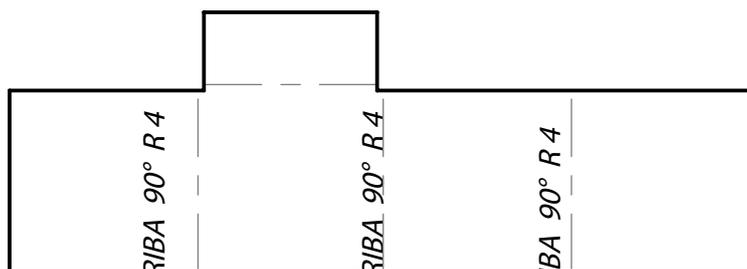
2

3

4

A

HACIA ABAJO 90° R 4



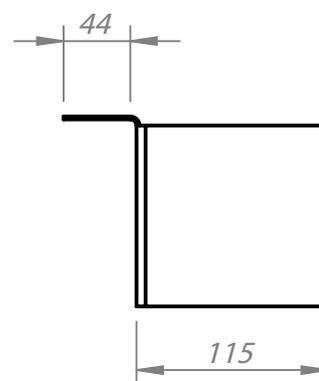
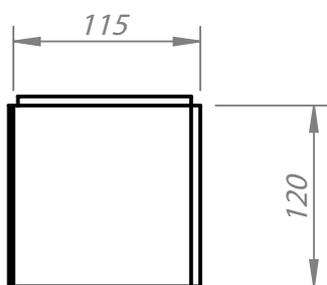
HACIA ARRIBA 90° R 4

HACIA ARRIBA 90° R 4

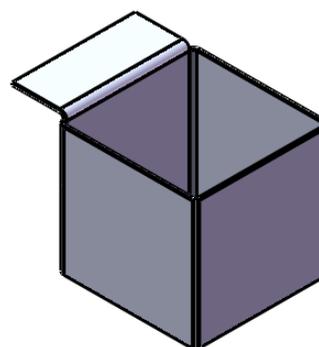
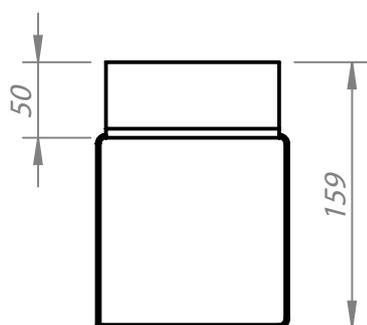
HACIA ARRIBA 90° R 4

B

C



D



E

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 0.4	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
						Entrada cúbica	ESCALA: 1:5
				Fecha	Nombre		
				Dibujado	14/08/2016		Cristhian Villarreal
				Revisado		Msc. Luis Hidalgo	
				Aprobado		Msc. Luis Hidalgo	
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 001	HOJA: A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

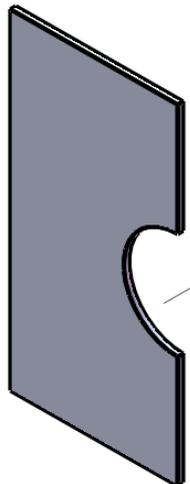
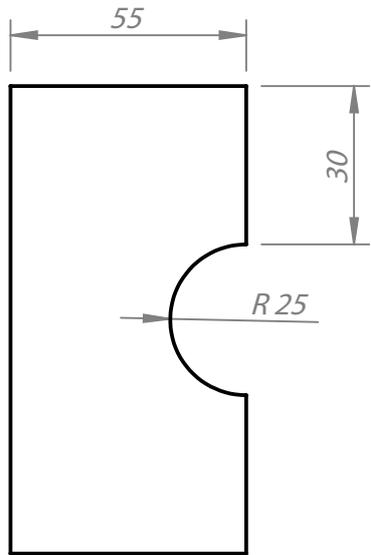
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 0.2	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol		
						Compuerta ingreso	ESCALA: 1:1	
				Fecha	Nombre			
				Dibujado	14/08/2016		Cristhian Villarreal	
				Revisado			Msc. Luis Hidalgo	
				Aprobado		Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 002	HOJA: A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

2

3

4

A

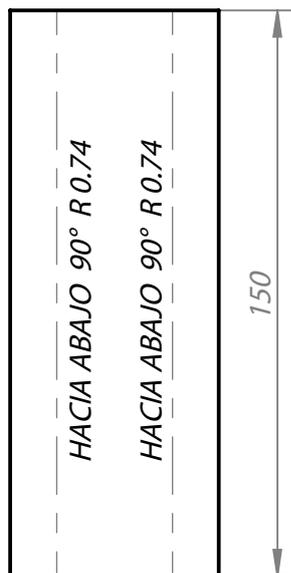
B

C

D

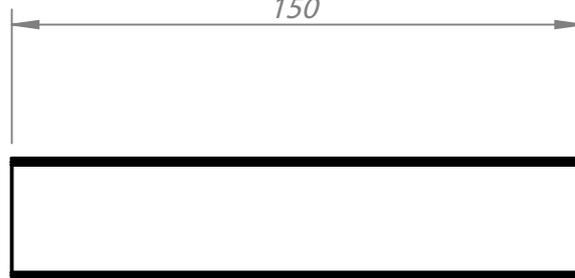
E

12,2



32

150

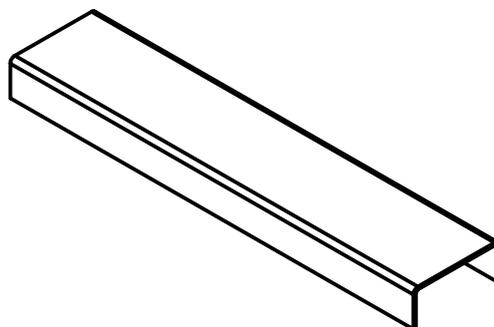
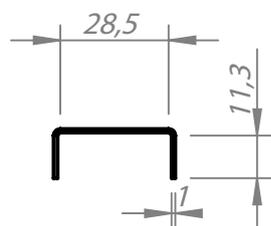


54,9

28,5

11,3

7



TOLERANCIA:

PESO (Kg):

MATERIAL:

 ± 0.1

0.3

Acero Galvanizado Tol

Fecha

Nombre

Dibujado 14/08/2016

Cristhian Villarreal

Revisado

Msc. Luis Hidalgo

Aprobado

Msc. Luis Hidalgo

ESCALA:

Barra Sujeción

1:2

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO N°:

UTE**003**

HOJA:

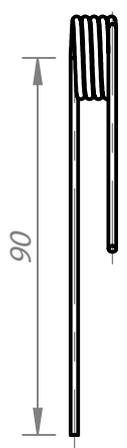
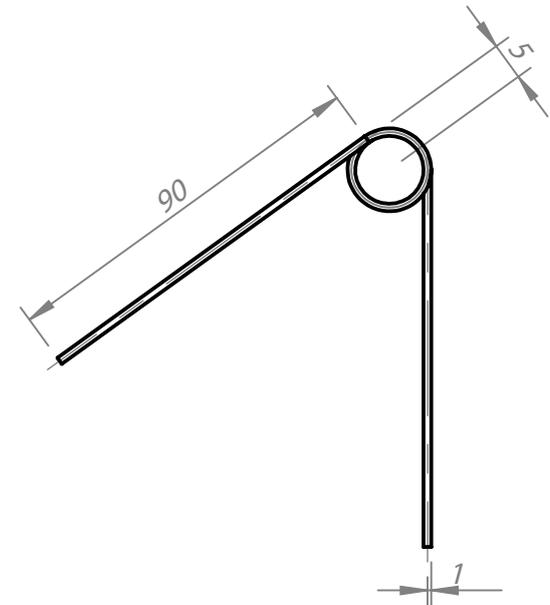
A4

Edición

Modificación

Fecha

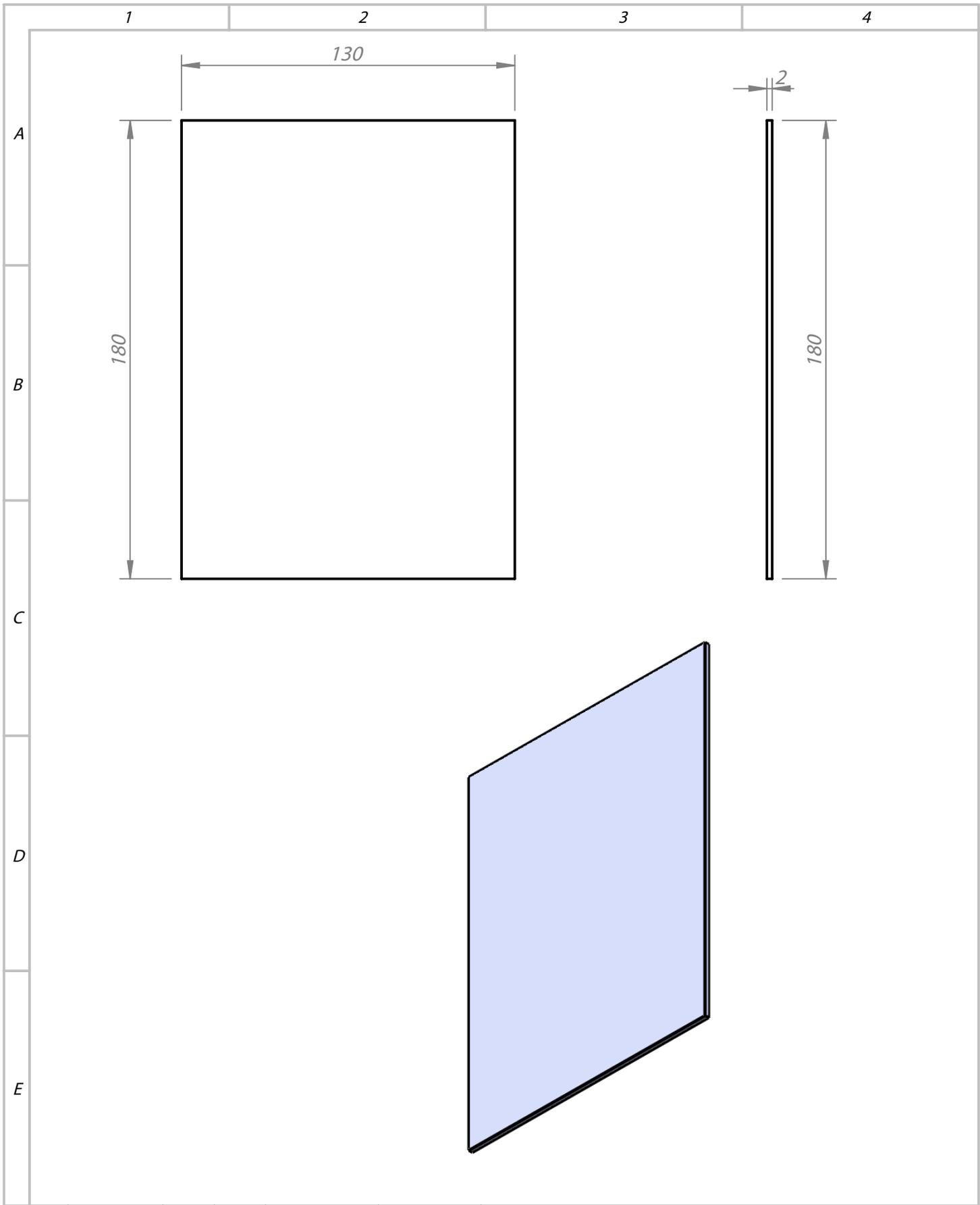
Nombre



A
B
C
D
E

1 2 3 4

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 0.05	MATERIAL: <i>Alambre musical ASTM A227</i>		
						<i>resorte de torsión</i>	ESCALA: 1:1	
				Fecha	Nombre			
				Dibujado	14/08/2016		Cristhian Villarreal	
				Revisado			Msc. Luis Hidalgo	
				Aprobado		Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 004	HOJA: A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Número de espiras: 4.86	Abertura del resorte: 45°	



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:	
				± 0.1	0.4	Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre	Palanca	ESCALA:
			Dibujado	14/08/2016	Cristhian Villarreal		1:5
			Revisado		Msc. Luis Hidalgo		
				Aprobado	Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				UTE		005	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

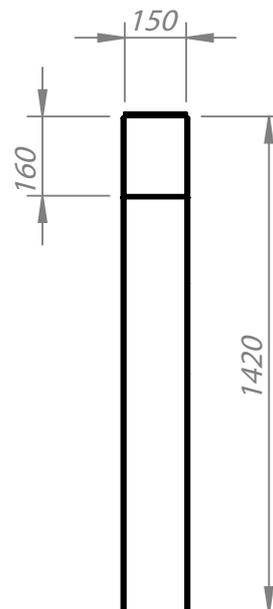
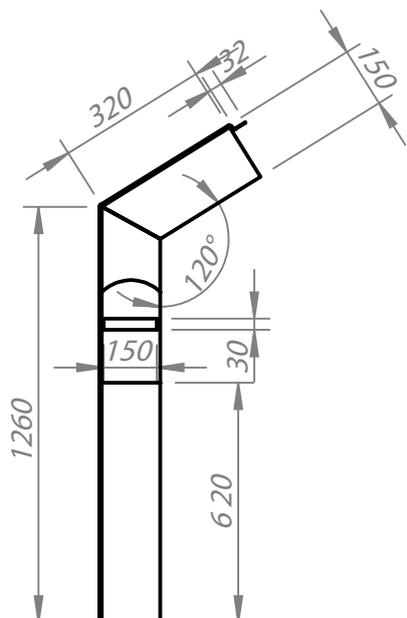
A

B

C

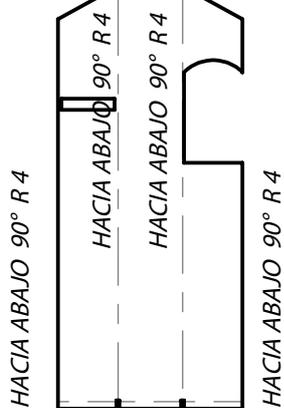
D

E

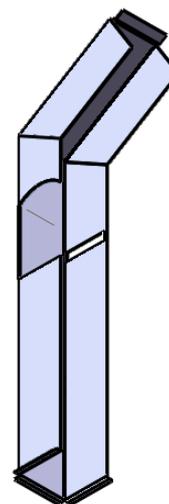


HACIA ARRIBA 90° R 4

HACIA ABAJO 58° R 4



HACIA ARRIBA 90° R 4



TOLERANCIA:

PESO (Kg):

MATERIAL:

± 0.1

10.4

Acero Galvanizado Tol

Fecha

Nombre

Dibujado 14/08/2016

Cristhian Villarreal

Revisado

Msc. Luis Hidalgo

Aprobado

Msc. Luis Hidalgo

Ducto segunda parte

ESCALA:

1:20

FIRMA / EMPRESA:

DIBUJO N°:

UTE



006

HOJA:

A4

Edición

Modificación

Fecha

Nombre

1

2

3

4

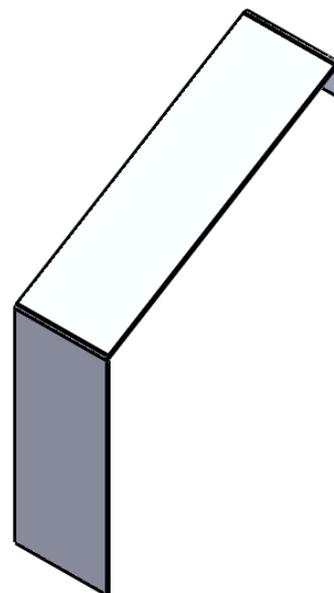
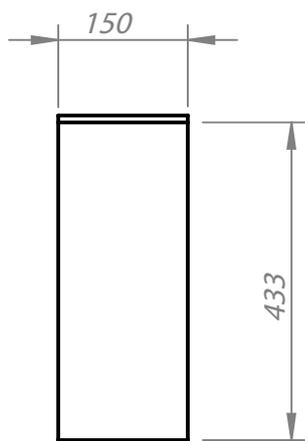
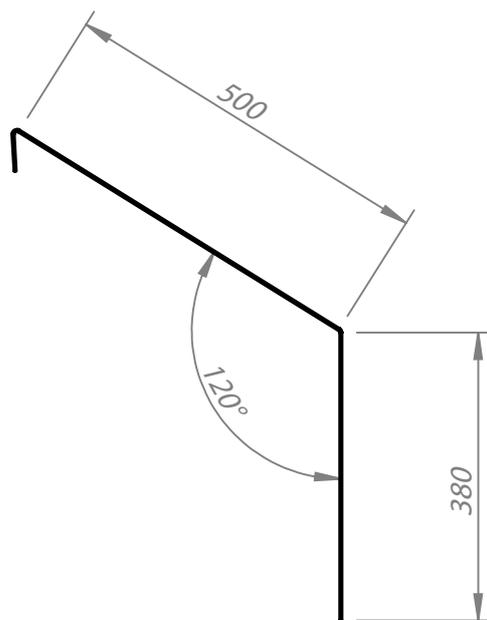
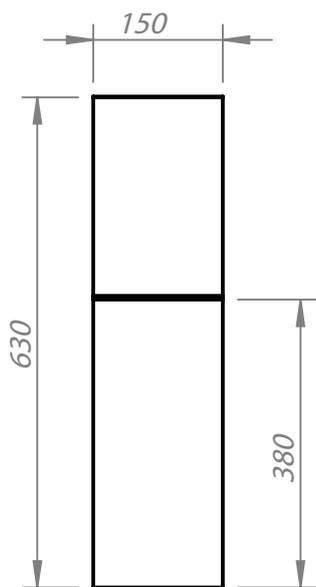
A

B

C

D

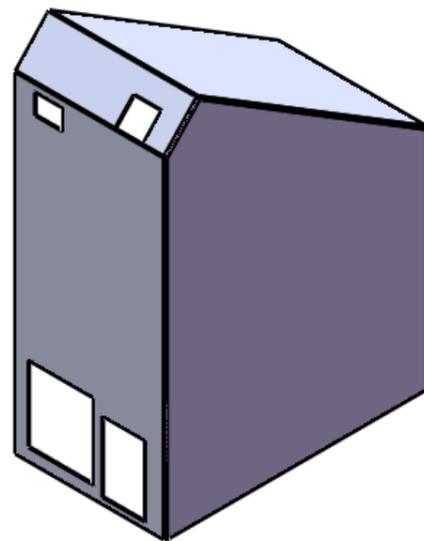
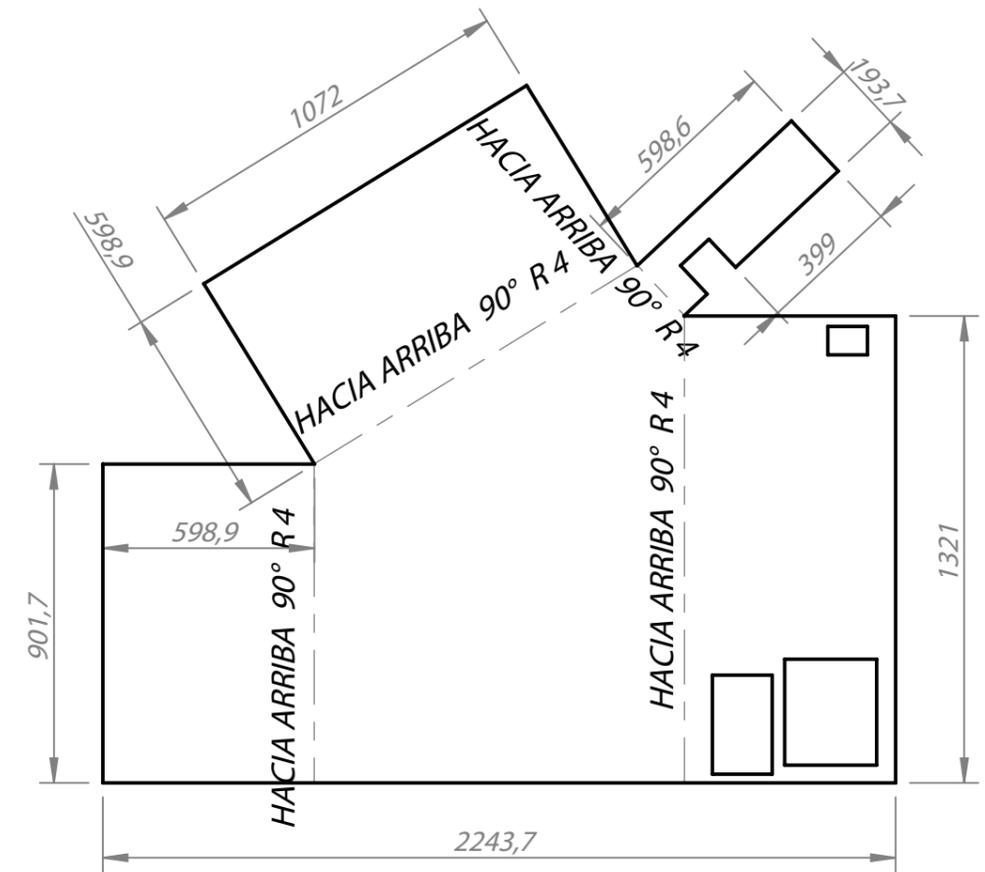
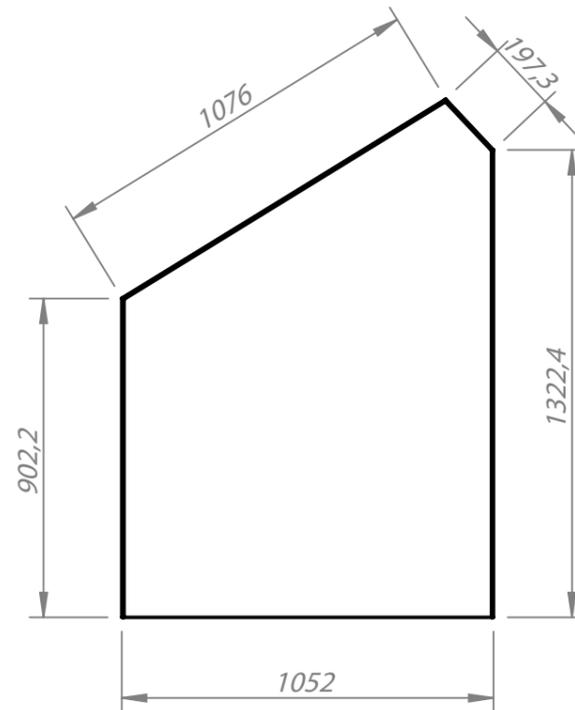
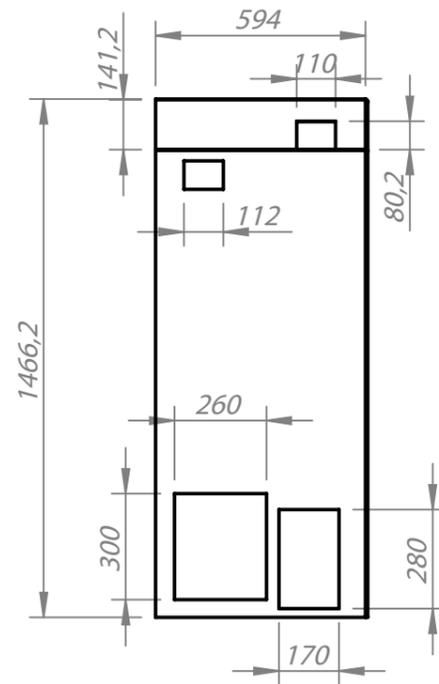
E



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 4.1	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre	Ducto primera parte	
				Dibujado 14/08/2016	Cristhian Villarreal		ESCALA: 1:10
				Revisado	Msc. Luis Hidalgo		HOJA: A4
				Aprobado	Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 007	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:	
				± 0.1	14.5	Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre		ESCALA:
			Dibujado	14/08/2016	Cristhian Villarreal	Recubrimiento máquina	1:20
			Revisado		Msc.Luis Hidalgo		
			Aprobado		Msc.Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				UTE		008	A3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

A

B

C

D

E

HACIA ARRIBA 90° R 4

17,9

398,5

529,3

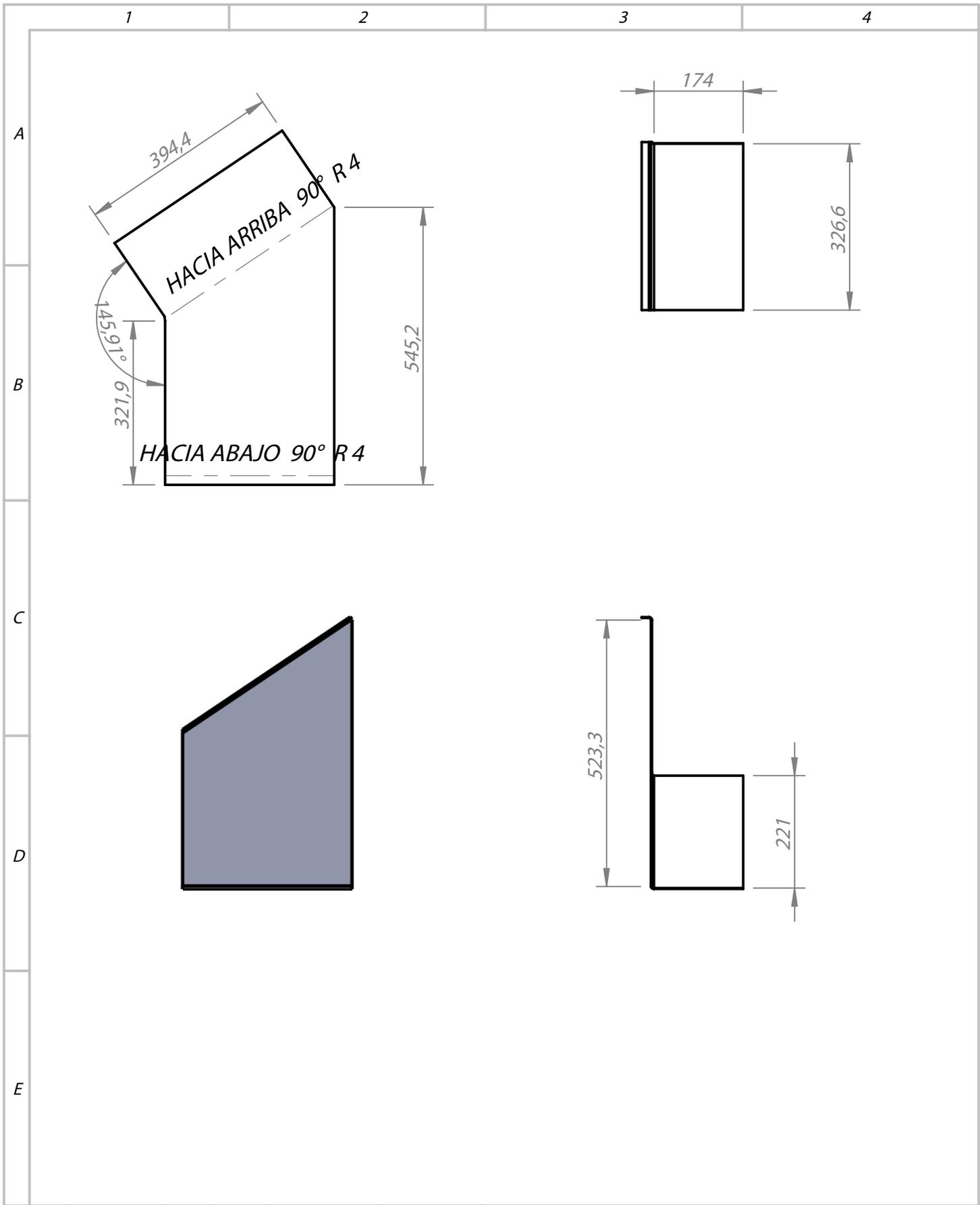
330

2

523,3

223,3

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 2.8	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
						Recubrimiento lateral	ESCALA: 1:10
				Fecha	Nombre		
				Dibujado	14/08/2016		Cristhian Villarreal
				Revisado		Msc. Luis Hidalgo	
				Aprobado		Msc. Luis Hidalgo	
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 009	HOJA: A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 3	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre	Carcasa de rampa	
			Dibujado	14/08/2016	Cristhian Villarreal		ESCALA: 1:10
			Revisado		Msc. Luis Hidalgo		
			Aprobado		Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 010	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			HOJA: A4	

1

2

3

4

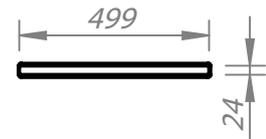
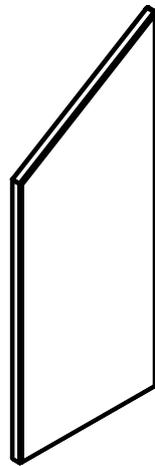
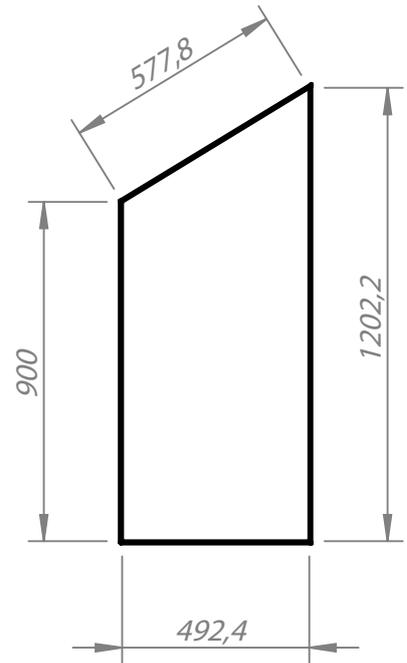
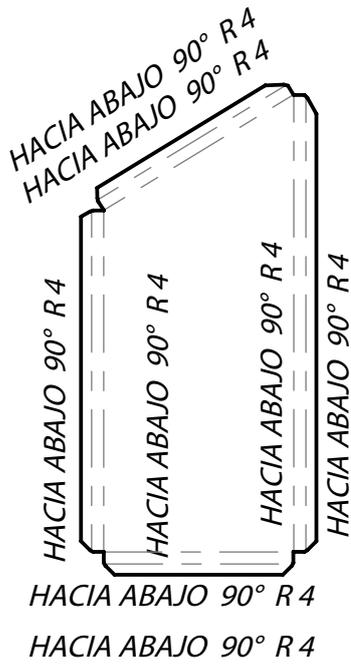
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 4.1	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre	Puerta 2	
				Dibujado 14/08/2016	Cristhian Villarreal		ESCALA: 1:20
				Revisado	Msc. Luis Hidalgo		
				Aprobado	Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 011	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			HOJA: A4	

1

2

3

4

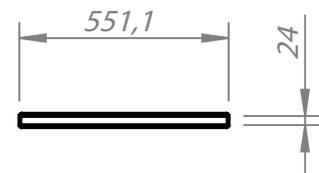
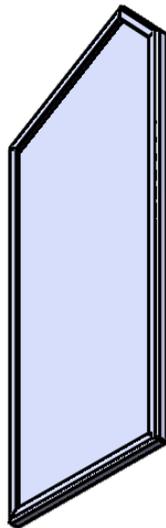
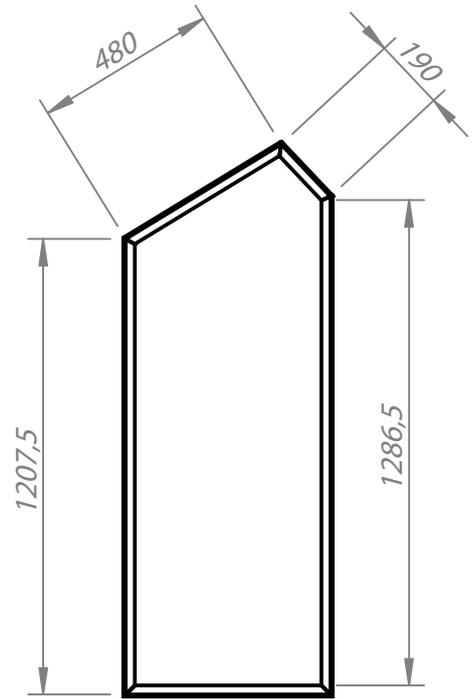
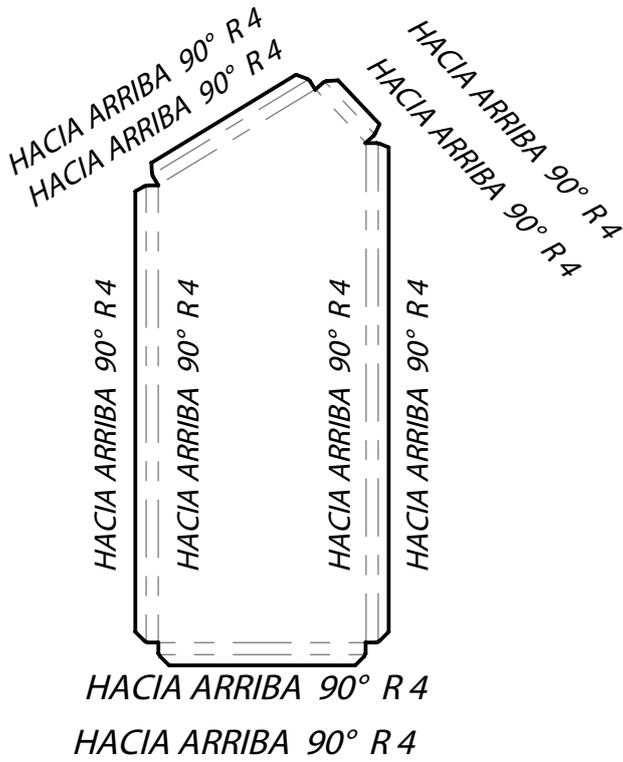
A

B

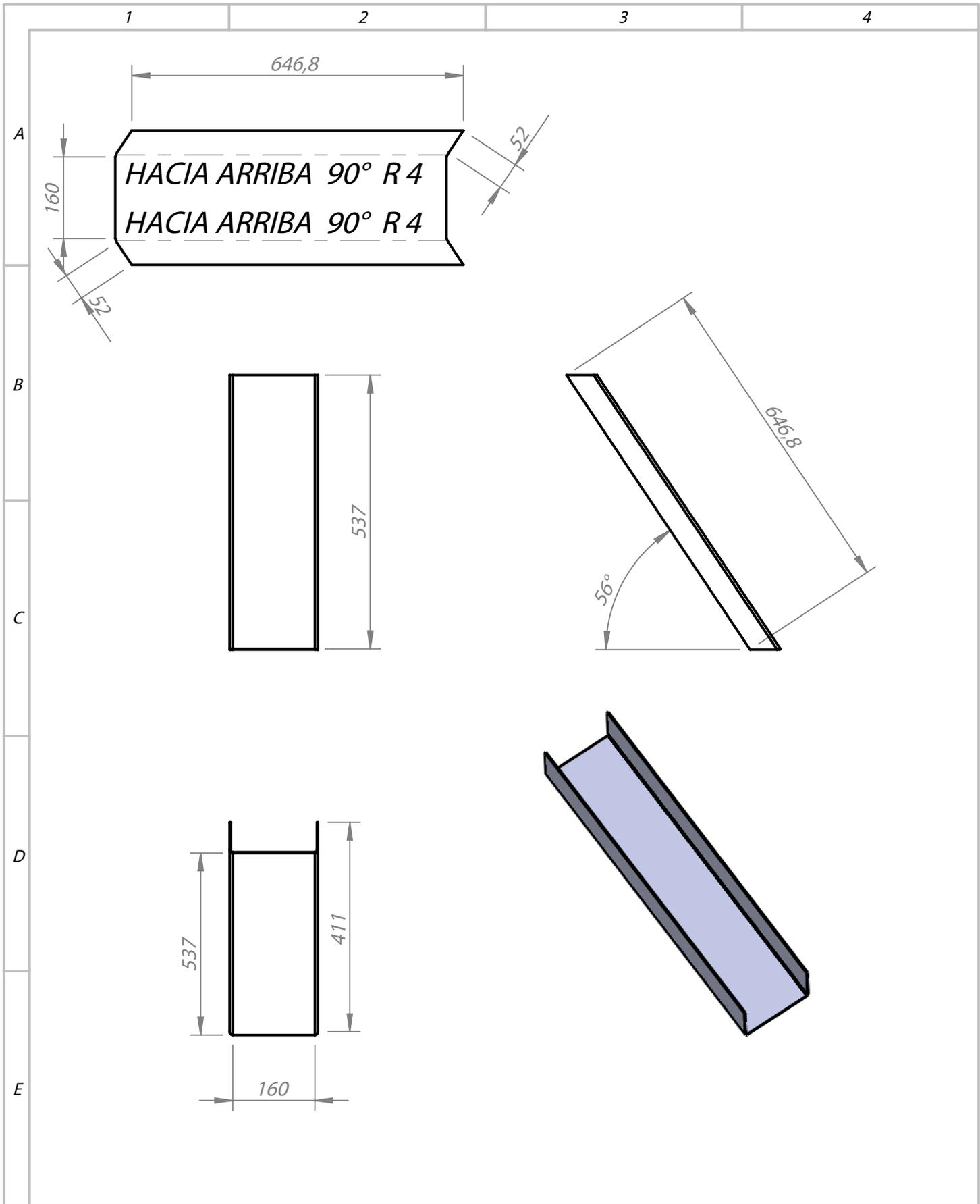
C

D

E



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 4.6	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre	Puerta 1	
				Dibujado 14/08/2016	Cristhian Villarreal		ESCALA: 1:20
				Revisado	Msc. Luis Hidalgo		
				Aprobado	Msc. Luis Hidalgo		
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 012	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			HOJA: A4	



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO (Kg): 2.2	MATERIAL: Acero Galvanizado Tol	
				Fecha	Nombre	Rampa salida de botellas	
				Dibujado 14/08/2016	Cristhian Villarreal		
				Revisado	Msc. Luis Hidalgo		
				Aprobado	Msc. Luis Hidalgo	ESCALA: 1:10	
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO N°: 013	HOJA: A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				