



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE
RECICLAJE DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET DE HASTA 500ml.**

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

VITERI ÁLVAREZ ESTEBAN JAVIER

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS PARRA MENA, MSc

Quito, Octubre 2014

DECLARACIÓN

Yo ESTEBAN JAVIER VITERI ÁLVAREZ, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

ESTEBAN JAVIER VITERI ÁLVAREZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por ESTEBAN JAVIER VITERI ÁLVAREZ, bajo mi supervisión.

ING. JUAN CARLOS PARRA MENA, MSc

DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y mi fuerza, a mi madre por enseñarme la bondad que puede tener un ser humano y la dedicación que se llega a tener por la familia, a mi padre por enseñarme el esfuerzo y sacrificio que debe hacer una persona para poder lograr sus objetivos, a mi hermana por ser mi apoyo, mi guía y ayuda en cada momento de mi vida, a mi hermano por brindarme cada día una sonrisa y darme un amigo incondicional, a mis abuelitos por enseñarme que el camino hacia la felicidad es muy largo y que sólo con honestidad, humildad y esfuerzo se lo puede lograr.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme día a día sus bendiciones y no dejarme rendir por más difícil que sea la situación,

A mis padres por el apoyo recibido durante todas mis metas propuestas y el soporte brindado en mis fracasos,

A mis hermanos por creer en mí y alentarme en el cumplimiento de mis propósitos,

A mis abuelitos por sus consejos que han sabido guiarme en mi camino,

A mi novia por todo el cariño y amor recibido en estos años,

A mis amigos por ser mi apoyo en todo momento,

A mi director el Ing. Juan Carlos Parra Mena por todo el apoyo brindado en el proceso de desarrollo de este proyecto de titulación, quien con sus acertados consejos y ayudas hicieron posible la culminación de este proceso tan importante en mi vida.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación plantea el diseño de un sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas PET de hasta 500 ml, con lo cual se pretende aportar al reciclaje en el país.

En la actualidad, cada vez más, se genera la conciencia en el cuidado del medio ambiente en todos los ámbitos, uno de los cuales implica la reducción de desperdicios a través de la reutilización de los mismos. Sin embargo, aún se encuentran vigentes las formas manuales o artesanales de reciclar, por ello, existe la necesidad de crear tecnología útil y de bajo costo que contribuya a la consecución, en este caso, no solamente de objetivos relacionados con la preservación del medio ambiente, sino además, en la reducción de costos de los procesos productivos en las empresas, e inclusive, a la disminución de mano de obra y su reemplazo por tecnología innovadora.

Este trabajo contempla, en primer lugar, un análisis de las necesidades que el sistema a desarrollar debe considerar para satisfacer las expectativas de los usuarios. Así mismo, determina, basado en un serio estudio, los diferentes módulos a ser incorporados dentro del sistema y, posteriormente, analiza alternativas existentes, obteniendo como resultado la selección de la opción que logre optimizar el funcionamiento integral del mismo.

Una vez tomada la decisión de la alternativa a realizar, continúa el presente trabajo al estudio y cálculo de cada uno de los procesos que forman parte del sistema, y en la correcta integración de cada uno de ellos con el objetivo de lograr el diseño de un sistema óptimo.

ÍNDICE GENERAL

Declaración _____	II
Certificación _____	III
Agradecimiento _____	V
Resumen _____	VI
Índice general _____	VII
Índice de figuras _____	X
Índice de tablas _____	XIII
Índice de cuadros _____	XIV
Capítulo 1 Generalidades _____	1
1.1 Planteamiento del problema _____	1
1.2 Formulación y sistematización del problema _____	2
1.3 Objetivos de la investigación _____	3
1.3.1 Objetivo general _____	3
1.3.2 Objetivos específicos _____	3
1.4 Justificación del proyecto _____	3
1.4.1 Justificación teórica _____	3
1.4.2 Justificación metodológica _____	6
1.4.3 Justificación práctica _____	7
1.5 Marco de referencia _____	7
1.5.1 Marco teórico _____	7
1.5.1.1 Residuos sólidos urbanos (RSU) _____	7
1.5.1.2 Residuos sólidos urbanos en el ecuador _____	8
1.5.1.3 Residuos sólidos urbanos(RSU) en el distrito metropolitano de quito (DMQ) _____	9
1.5.1.4 Gestión de los residuos sólidos urbanos _____	11
1.5.1.5 Reciclaje _____	12
1.5.1.6 Importancia del reciclaje _____	13
1.5.1.7 Tipos de plásticos _____	13
1.5.1.8 Plástico pet _____	15

1.5.1.9 Procesos para reciclar el plástico pet	16
1.5.1.10 Reciclaje mecánico del pet	17
1.5.2 Marco conceptual	18
1.6 Hipótesis de trabajo	19
Capítulo 2 Análisis y selección de alternativas	20
2.1 Casa de la calidad	20
2.1.1 Voz del usuario	21
2.1.2 Voz del ingeniero	21
2.1.3 Matriz casa de la calidad	22
2.1.4 Conclusiones de la casa de la calidad	23
2.2 Análisis funcional	23
2.3 Separación por módulos	25
2.3.1 Módulo 1: clasificación	25
2.3.2 Módulo 2: reducción de tamaño	26
2.3.3 Módulo 3: limpieza	26
2.4 Análisis para cada módulo	26
2.4.1 Módulo 1 - clasificación	26
2.4.2 Módulo 2 - reducción de tamaño	29
2.4.3 Módulo 3 - limpieza	31
2.5 Matriz morfológica	33
2.6 Método ordinal corregido de criterios ponderados	35
Capítulo 3 Diseño y selección de elementos	39
3.1 Cálculo de potencia para el motor del sistema de rechazo	39
3.1.1 Selección del motor paso a paso	42
3.2 Cálculo de la velocidad de corte y potencia del motor para el triturador de cuchillas	43
3.2.1 Selección del motor para el triturador de cuchillas	46
3.2.2 Selección de chumaceras para el triturador de cuchillas	47
3.3 Cálculo de la bomba necesaria para el lavado de pet triturado	49
3.3.1 Selección de la bomba para el lavado	53
3.4 Sistema de transporte de pet triturado y lavado	54

3.4.2 Selección de la banda transportadora	57
3.4.2 Selección del motor para la banda transportadora	58
3.5 Diseño de la estructura	58
3.5.1 Cálculo en una columna	59
3.5.2 Cálculo en una viga	63
3.6 Selección del sistema de secado	66
3.7 Selección del sensor óptico	67
3.8 Diseño del tamiz	69
3.9 Diagrama eléctrico del sistema completo	70
3.10 Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina	71
3.11 Diseño del sistema	73
Capítulo 4 Construcción e implementación de un prototipo demostrativo	81
4.1 Introducción	81
4.2 Procedimiento de construcción del prototipo	81
4.3 Circuitos electrónicos	86
4.4 Programación	88
4.5 Pruebas de funcionamiento y resultados	89
Conclusiones	95
Recomendaciones	96
Referencias bibliográficas	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Econo BM-Lavapet-500Kg/hr lavado, secado, molido botellas PET	4
Figura 2. Máquina Alianza china	5
Figura 3. Valores de las PPCS del DMQ	9
Figura 4. Composición de los RSU en el DMQ	11
Figura 5. Código para identificar los tipos de plástico	14
Figura 6. Reciclaje mecánico	18
Figura 7. Casa de la calidad aplicada al proyecto	22
Figura 8. Análisis funcional nivel 0	24
Figura 9. Análisis funcional nivel 1	25
Figura 10. Modelado sensor óptico	27
Figura 11. Modelado sensor color	27
Figura 12. Modelado sistema compuerta-motor	28
Figura 13. Modelado sistema empuje-cilindro hidráulico	29
Figura 14. Modelado triturador cuchillas de corte	30
Figura 15. Modelado triturador coloidal muelas Acero	30
Figura 16. Modelado Tamiz	31
Figura 17. Modelado sistema empuje del material sobre agua	32
Figura 18. Modelado banda Transportadora	32
Figura 19. Modelado calefactor	33
Figura 20. Matriz Morfológica de Alternativas	34
Figura 21. Movimiento motor sistema de rechazo	39
Figura 22. Modelado compuerta de selección	40
Figura 23. Centro de masa compuerta sistema de rechazo	41
Figura 24. Motor sistema de rechazo	42
Figura 25. Selección motor triturador de cuchillas	46
Figura 26. Selección Chumaceras	47
Figura 27. Diagrama sistema de lavado	49
Figura 28. Especificaciones técnicas bomba SHURflo	53
Figura 29. Sistema banda transportadora	54

Figura 30. Diagrama de fuerzas de sistema de secado	55
Figura 31. DCL de la carga	55
Figura 32. Selección banda transportadora	57
Figura 33. Selección motor banda transportadora	58
Figura 34. Estructura del sistema mecatrónico de reciclaje de botellas de plástico PET	58
Figura 35. Columna principal de la estructura	59
Figura 36. Propiedades Columna	60
Figura 37. Límite ancho-espesor para elementos a compresión	62
Figura 38. Viga principal de la estructura	63
Figura 39. Propiedades Viga	64
Figura 40. Sensor Fotoeléctrico OMRON	68
Figura 41. Sensor Fotoeléctrico	69
Figura 42. Sensor Fotoeléctrico Allen-Bradley	69
Figura 43. Diseño Tamiz	70
Figura 44. Diseño sistema eléctrico de potencia	70
Figura 45. Diseño sistema eléctrico de control	71
Figura 46. Diagrama de flujo del sistema	72
Figura 47. Diseño completo máquina	73
Figura 48. Diseño interno máquina	73
Figura 49. Diseño sistema de rechazo.	74
Figura 50. Diseño interno sistema de rechazo	74
Figura 51. Paleta de selección	75
Figura 52. Análisis del factor de seguridad para la paleta de selección	75
Figura 53. Diseño sistema de reducción de tamaño	76
Figura 54. Diseño interno sistema de reducción de tamaño	77
Figura 55. Cuchilla de corte	77
Figura 56. Análisis del factor de seguridad para la cuchilla de corte	78
Figura 57. Prisma de corte	78
Figura 58. Análisis del factor de seguridad para el prisma de corte	79
Figura 59. Acople Renold serie NTS	79

Figura 60. Esquema del sistema mecatrónico de reciclaje de botellas de plástico PET	81
Figura 61. Cortes de los perfiles	82
Figura 62. Soldadura de los perfiles	82
Figura 63. Construcción del eje del triturador	83
Figura 64. Construcción paredes del triturador	83
Figura 65. Construcción de las cuchillas.	84
Figura 66. Adaptación del motor triturador	85
Figura 67. Montaje banda transportadora, ventilador y bomba de agua	85
Figura 68. Esquema Arduino® Mega	86
Figura 69. Circuito baja potencia para el prototipo demostrativo	87
Figura 70. Circuito alta potencia para el prototipo demostrativo	88
Figura 71. Diagrama de flujo del programa del prototipo demostrativo	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones motor NEMA 23, MS technology _____	43
Tabla 2. Número de RPM utilizadas en trituradores existentes _____	43
Tabla 3. Características motor WEG dos polos _____	47
Tabla 4. Características chumacera _____	48
Tabla 5. Especificaciones técnicas rodamiento _____	48
Tabla 6. Especificaciones técnicas bomba SHURflo _____	54
Tabla 7. Especificaciones vigas de eje recto hiperestáticas _____	64
Tabla 8. Pruebas de secado _____	66
Tabla 9. Selección del calefactor _____	67
Tabla 10. Análisis comparativo sensores ópticos _____	68
Tabla 11. Propiedades chumaceras SKF _____	76
Tabla 12. Propiedades de acoples Renold serie NTS _____	80
Tabla 13. Pruebas sistema de rechazo _____	90
Tabla 14. Pruebas sistema de lavado _____	91
Tabla 15. Pruebas sistema de secado _____	92
Tabla 16. Pruebas del sistema de trituración de botellas enteras _____	93
Tabla 17. Pruebas del sistema de trituración de botellas sin pico ni base _____	93
Tabla 18. Pruebas del sistema de trituración de botellas con corte longitudinal _____	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Especificaciones máquina AMG Machinery_____	5
Cuadro 2. Especificaciones máquina alianza china _____	6
Cuadro 3. Subproductos resumen DMQ _____	10
Cuadro 4. Propiedades PET _____	15
Cuadro 5. Análisis sensor de óptico _____	27
Cuadro 6. Análisis sensor de color_____	27
Cuadro 7. Análisis sistema compuerta-motor _____	28
Cuadro 8. Análisis sistema empuje-cilindro hidráulico _____	29
Cuadro 9. Análisis triturador cuchillas de corte _____	30
Cuadro 10. Análisis triturador coloidal muelas de acero _____	30
Cuadro 11. Análisis tamiz _____	31
Cuadro 12. Análisis empuje de material sobre agua _____	32
Cuadro 13. Análisis banda transportadora _____	32
Cuadro 14. Análisis calefactor _____	33
Cuadro 15. Análisis peso específico de cada criterio_____	36
Cuadro 16. Análisis peso específico tamaño _____	36
Cuadro 17. Análisis peso específico costo_____	37
Cuadro 18. Análisis peso específico disponibilidad _____	37
Cuadro 19. Análisis peso específico velocidad _____	37
Cuadro 20. Análisis peso específico precisión_____	38
Cuadro 21. Conclusiones método ordinal corregido de criterios ponderados _____	38

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carrera hacia la obtención de ganancias de un mundo tan competitivo como el que habitamos, ha traído graves consecuencias para la raza humana, el consumismo y la producción incontrolada de desperdicios de tiempo atrás, ha alcanzado un punto en el cual el daño es en ciertos casos inmanejable.

Afortunadamente la época actual ha traído consigo una concientización a este respecto, generándose una nueva tendencia mundial que apunta al cuidado y resarcimiento del medio ambiente barajando varias alternativas que ayuden a la consecución de este objetivo.

Una de estas alternativas es el uso y re-uso de materiales de desecho que mediante tratamiento se convierten en materias primas reutilizables, es decir, materiales reciclados. Esta práctica significa no solamente una contribución para la disminución de la contaminación y el cuidado del ecosistema mediante la reducción de desechos, sino también a un ahorro de recursos tanto materiales como monetarios.

En el caso particular del Ecuador, paulatinamente se va notando un interés por el reciclaje de desechos de todo tipo, sin embargo, aún no se ha alcanzado un nivel satisfactorio.

Por tal motivo, surge la iniciativa de realizar un aporte que se traduzca en una tecnología innovadora, fácil, rápida, de bajo costo y alta funcionalidad que sea capaz de realizar este importante trabajo, optimizando, además, tiempo, costos y mano de obra.

1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿El sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas es un aporte valioso para la resolución de un problema ecológico, social y económico provocado por el uso inconsciente de recursos en la actualidad?
- ¿El sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas es una herramienta útil para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Internacional del Ecuador?
- ¿Aporta la construcción de este tipo de máquinas no solamente a la formación científica de los estudiantes sino también a su formación social y ecológicamente responsable?
- ¿En la actualidad, existe un mecanismo con el cual se realice la misma labor que la máquina que se pretende desarrollar?
- ¿Actualmente, existe la tecnología necesaria en el Ecuador para desarrollar este tipo de maquinaria?
- ¿El producto terminado del sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas será utilizable como materia prima para otros tipos de procesos?
- ¿De qué forma el sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas resuelve o ayuda en la resolución de un problema social?
- ¿En qué manera el sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas constituye un aporte para el cuidado del medio ambiente?
- ¿Cómo ayuda el sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas al ahorro de dinero en las empresas?
- ¿Constituye el sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas un apoyo para la consolidación de una cultura integral de protección al medio ambiente y reciclaje?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas PET de hasta 500 ml.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar los procesos de rechazo, reducción de tamaño y lavado correspondientes al reciclaje mecánico de botellas plásticas PET.
2. Diseñar un sistema que garantice una capacidad de procesamiento de 1 kg/h de plástico reciclado.
3. Implementar una fase de lavado y secado con el fin de entregar un producto final limpio para su posterior utilización.
4. Obtener pequeños trozos de plástico mediante la utilización de un triturador para poder venderlo o utilizarlo en procesos de extrusión, inyección, etc.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Se ha señalado ya el problema medioambiental provocado por el uso indiscriminado de recursos y el tratamiento inadecuado que se ha dado a los desperdicios.

Por otra parte, en un mundo tan competitivo como es el que habitamos, la necesidad de desarrollar maquinaria con tecnología de punta y de bajo costo, cada vez se hace más necesario.

El desarrollo del presente proyecto intenta crear un prototipo cuyos resultados contribuyan a la solución de un problema medioambiental gracias al avance tecnológico de bajo costo.

A continuación se presentan algunas de las máquinas industriales (Figuras 1 y 2) que realizan el reciclaje de PET a gran escala y que están disponibles en el mercado y tienen las siguientes especificaciones (Cuadro 1 y 2):

Máquina: AMG Machinery-Econo BM-Lavapet-500 kg/hr



Figura 1. Econo BM-Lavapet-500Kg/hr lavado, secado, molido botellas PET

Fuente: <http://amgmachinery.com/producto/28/econo-bm-lavapet-500kg-hr-lavado-secado-molido-botellas-pet/>.

La máquina Econo BM-Lavapet es capaz de entregar PET lavado, secado y molido, y consta de un detector de metales que le ayuda a separar los materiales plásticos de los metales, una cinta transportadora, un molino y un tornillo alimentador.

Especificaciones:

Cuadro 1. Especificaciones máquina AMG Machinery

Capacidad	500 kg/h
Detector de metales	
Altura de inspección	120 mm
Ancho efectivo de inspección	440 mm
Cinta transportadora	
Largo de transmisión efectiva	4000 mm
Potencia motor	1.5 kW sin escala de tiempo
Ancho faja	700 mm
Altura ajustable	
Molino	
Potencia motor	37 kW
Material cuchillas	9SiCr
Capacidad de rompimiento	500-550 kg/h
Tipo molido	Molido con agua
Diámetro orificios malla	20 mm
Tornillo alimentador	
Diámetro tornillo	300 mm
Potencia motor	2.2 kW
Longitud	3300 mm

Máquina: Alianza China



Figura 2. Máquina Alianza china

Fuente: <http://www.maquinariadereciclaje.com/component/content/article/3-reciclar-pet>.

Esta máquina del fabricante alianza china es capaz de realizar el lavado y molido del PET y ocupa una cinta transportadora y un triturador para lograr este objetivo

Especificaciones:

Cuadro 2. Especificaciones máquina alianza china

Capacidad	500 kg/h
Transportador de cinta	
Longitud de transporte	5000 mm
Potencia de motor	1.5 kW
Ancho de la cinta	600 mm
Gama de ajuste de Velocidad	0-3 m/s
Material de la correa	correa de PVC
Capacidad de transporte	0-1000 kg/h
Tamaño	5000x85x3500mm (LxWxH)
Peso	550 kg
Trituradora SWP800	
Potencia del motor	30 kW
Motor de alimentación forzada	1.5 kW
Capacidad	600 kg/h
Hoja fija	4 piezas
Material de la cuchilla	W18
Tamaño	2000x1800x2800mm (LxWxH)
Peso	1800 kg

1.4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La investigación que se llevará a cabo tendrá su fundamento, en primer lugar, en un método analítico basado en la información que se obtenga de máquinas que realicen un reciclado de botellas de una manera manual, de tal forma que se pueda aportar con un valor agregado basado en elementos de mayor avance tecnológico como son los sensores y controladores que realicen el trabajo de reciclaje automático. Después se utilizará un método inductivo ya que los resultados de la investigación podrán ser extendidos para su utilización en el diseño y fabricación de distintos tipos

de máquinas en esta o en otras áreas del conocimiento. Finalmente se utilizará un método experimental para corregir los errores y problemas que se presenten en la investigación.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La presente investigación tiene una justificación práctica dado que, una vez obtenido el prototipo final, se contribuirá con el desarrollo de una tecnología que facilite y agilite un proceso que actualmente se desarrolla de manera manual o semiautomática, esto es, el reciclaje de botellas plásticas y que repercutirá en la generación de soluciones viables para problemáticas empresariales relacionados con:

- Responsabilidad ambiental, al aportar a la disminución de residuos sólidos urbanos mediante la reutilización de desechos.
- Costos de producción, al reducir el uso de materia prima virgen y de mano de obra empleada en los procesos productivos.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

1.5.1 MARCO TEÓRICO

1.5.1.1 Residuos sólidos urbanos (RSU)

"Normalmente nos referimos al término de residuo, a todo lo que es generado, producto de una actividad y no es de nuestro interés, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos, formándose una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales. Los residuos han existido siempre sobre la tierra, pero desde el mismo momento en que comienzan a acumularse en el medio ambiente ya sea por la velocidad con la

que se generan, como por la naturaleza química de estos; haciendo que se dificulte su descomposición e incorporación a los ciclos naturales, entonces comienzan a ser un problema ambiental"[1]. Mientras sigan existiendo tales actividades, se seguirán produciendo residuos, por esto, es necesario que el ser humano profundice su accionar para la solución de estos problemas que de no hacerlo, en algún momento se volverían incontrollables y empezarían a jugar en contra de nosotros mismos.

Dentro del desarrollo del presente proyecto de titulación, es indispensable conocer este término pues constituye el objeto mismo del estudio.

1.5.1.2 Residuos sólidos urbanos en el Ecuador

La población del Ecuador según el censo de población y vivienda del año 2010 corresponde a 14.483.499 millones de habitantes, de lo cual se registra que un 77% de los hogares elimina la basura a través de carros recolectores y el restante 23% la elimina de otras maneras, así por ejemplo, la arroja a terrenos baldíos o quebradas, la quema, la entierra, la deposita en ríos acequias o canales, etc.

El Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI y otras instituciones, proveen datos que permiten determinar que el servicio de recolección de residuos sólidos tiene una cobertura nacional promedio del 84.2% en las áreas urbanas y de 54.1% en el área rural, la fracción no recolectada contribuye directamente a la creación de micro basurales descontrolados.

Escasamente un 24% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados ha iniciado procesos de clasificación de residuos; 26%, procesos de recuperación de materia orgánica y 32%, procesos de recolección diferenciada de desechos hospitalarios.

Apenas el 28% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios, sitios inicialmente controlados que, con el tiempo terminan convirtiéndose en botaderos a cielo abierto. El restante 72% de los residuos es dispuesto en botaderos a cielo

abierto, provocando inconvenientes de diferente índole como taponamiento de cauces de agua y alcantarillados, generación de deslaves, proliferación de insectos y roedores; que incrementan los problemas ambientales y de salud a la población.

Actualmente la generación de residuos en el país es de 4,06 millones de toneladas métricas al año, con una generación per cápita de 0,74 kg. Se estima que para el año 2017 el país generará 5,4 millones de toneladas métricas anuales, por lo que se requiere de un manejo integral planificado de los residuos.[2]

1.5.1.3 Residuos sólidos urbanos(RSU) en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)[3]

Se considera, que la PPC(Producción Per Cápita) global de RSU del DMQ es del orden de 0,850 (kg/hab) • día, teniendo un valor de 0,879 (kg/hab) • día a nivel urbano y de 0,779 (kg/hab) • día a nivel rural.

En cuanto a la composición de la PPC global de RSU del DMQ (Figura 3), se observa cómo el 62% de la misma tiene como origen los residuos en los domicilios, seguido del 16% de los residuos de usuarios comerciales, 13% de la generación de mercados, otros generadores con 6% y educativos con el 3%.

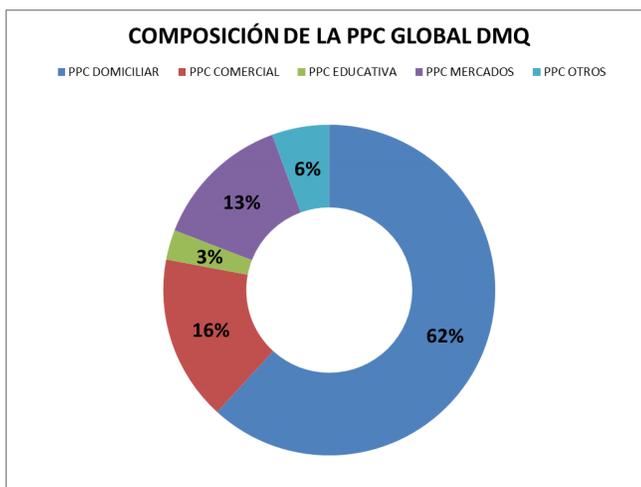


Figura 3. Valores de las PPCS del DMQ

Fuente: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf.

De acuerdo al informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010 (BID – AIDIS – OPS), el caso del DMQ está en el rango de las denominadas ciudades grandes, que tienen como media a nivel de la región en 1,14 (kg/hab) • día para los RSU y 0,74 (kg/hab) • día para los RSD (residuos sólidos domiciliarios).

Los valores obtenidos en el DMQ son bastante inferiores a la media regional, pero se encuentran dentro del rango de la media del país que oscila entre 0,85 Kg/hab*día para los RSU y es menor la RSD estimada en 0,73 Kg/hab*día comparado con los 0,53 obtenidos.

Subproductos de los RSU en el DMQ

Los estudios de caracterización fueron realizados para los usuarios domésticos, comerciales, educativos, mercados y en dos sectores de muestreo se efectuó la caracterización de los residuos de barrido de calles (Cuadro 3 y Figura 4).

Cuadro 3. Subproductos resumen DMQ

CARACTERIZACION DE RESIDUOS SOLIDOS.- NIVEL CANTONAL												
CANTON QUITO.- URBANA Y RURAL												
	Año:	2012		Población:	2.344.231							
CANTIDADES POR TIPO DE GENERADOR												
Subproducto	% Prom.	DOMESTICA	% Prom.	COMERCIAL	% Prom.	EDUCATIVA	% Prom.	MERCADOS	% Prom.	OTROS	% Promedio	TOTAL
PPC (kg/día/hab)		0,525		0,135		0,025		0,117		0,048		0,850
TOTAL (Ton/día/)		1231,645		317,210		59,346		273,410		111,581		1993,192
01 PAPEL	5,29%	65,215	7,65%	24,275	14,42%	8,558	1,96%	5,365	7,73%	8,624	5,62%	112,038
02 CARTON	2,37%	29,204	5,18%	16,418	3,14%	1,865	2,77%	7,568	3,37%	3,761	2,95%	58,817
03 COMPUESTOS	0,40%	4,924	0,23%	0,731	11,14%	6,609	0,00%	0,000	2,98%	3,329	0,78%	15,593
04 PELIGROSOS (PILAS, BAT, ...)	0,29%	3,544	0,25%	0,788	0,04%	0,025	0,00%	0,000	0,15%	0,172	0,23%	4,529
05 BOTELLAS PET	1,70%	20,943	2,78%	8,818	4,07%	2,418	1,28%	3,502	2,59%	2,893	1,94%	38,572
06 PLASTICOS ALTA DENSIDAD	2,13%	26,187	2,06%	6,549	4,21%	2,499	0,97%	2,654	2,40%	2,674	2,04%	40,564
07 FUNDAS PLASTICAS	5,53%	68,151	9,67%	30,667	5,23%	3,102	3,88%	10,618	6,11%	6,823	5,99%	119,361
08 POLIPROPILENO	1,54%	18,916	2,55%	8,080	5,45%	3,237	0,00%	0,000	2,46%	2,750	1,65%	32,982
09 POLIESTIRENO	0,73%	8,961	1,41%	4,477	2,88%	1,708	0,00%	0,000	1,30%	1,447	0,83%	16,593
10 INERTES (LOSA, CERAMICA, ...)	0,63%	7,748	0,08%	0,259	0,36%	0,212	0,00%	0,000	0,28%	0,312	0,43%	8,531
11 ORGANICOS DE JARDIN	2,58%	31,749	1,06%	3,369	0,24%	0,212	0,00%	0,000	1,04%	1,162	1,83%	36,492
12 ORGANICOS DE COCINA	51,36%	632,604	49,07%	155,643	24,47%	14,521	83,62%	228,623	50,79%	56,668	54,59%	1088,059
13 RECHAZOS (PAPEL HIGIENICO)	12,61%	155,297	6,82%	21,640	9,73%	5,772	5,39%	14,741	8,63%	9,633	10,39%	207,083
14 ELECTRONICOS	0,23%	2,879	0,19%	0,604	0,07%	0,041	0,00%	0,000	0,13%	0,141	0,18%	3,664
15 MADERA, TEXTILES, OTROS	2,83%	34,816	2,73%	8,654	4,89%	2,902	0,12%	0,328	2,76%	3,079	2,50%	49,780
16 METALICOS	1,05%	12,873	0,79%	2,493	1,41%	0,835	0,00%	0,000	0,86%	0,958	0,86%	17,159
17 VIDRIO	2,55%	31,383	1,65%	5,249	4,10%	2,433	0,00%	0,000	2,19%	2,449	2,08%	41,514
18 MENOR A 1 CM	6,19%	76,234	5,83%	18,494	4,16%	2,467	0,00%	0,000	4,22%	4,704	5,11%	101,899

Fuente: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf.

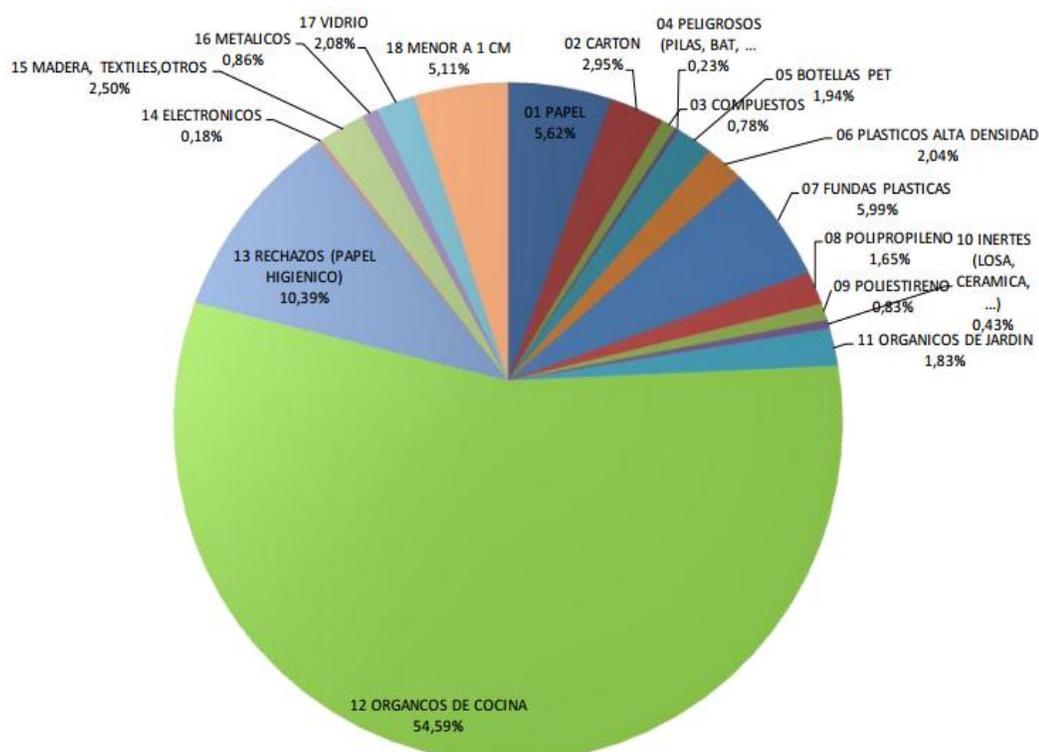


Figura 4. Composición de los RSU en el DMQ

Fuente: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf.

1.5.1.4 Gestión de los residuos sólidos urbanos

La generación de residuos sólidos es un hecho inevitable en todo el mundo, siendo una responsabilidad cooperar en la solución de los problemas ambientales que esto genera, se debe tener un cambio de mentalidad y llenarse de información para poder gestionar los residuos sólidos de una manera responsable que ayude tanto al medio ambiente como a la economía.

"Por el efecto negativo que tienen los residuos en el medio ambiente, no se puede permitir que su acción se haga persistente. Se necesita del montaje de un sistema de acciones ambientales planificadas, que abarquen desde el momento de la generación del residuo, hasta su disposición final más adecuada. Se debe tener en cuenta las características de los residuos: socioeconómicas y de volumen, su

procedencia, costos de emisión y tratamiento, directrices administrativas y posibilidades de recuperación y comercialización. A este sistema de acciones u operaciones se le conoce como Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos."[4]

1.5.1.5 Reciclaje

"Reciclar es un modo importante para recolectar materiales de desecho y convertirlos en productos útiles que se puedan vender en el mercado. El reciclaje implica volver a procesar los materiales sólidos descartados para obtener productos útiles y nuevos"[5]. En la actualidad y teniendo en cuenta la realidad y las necesidades del planeta en el que vivimos, la humanidad debe empezar a considerar el reciclaje para crear todo tipo de productos novedosos e ingeniosos con los que incluso puedan obtener un mayor provecho económico. Tal es el caso de zapatos, carteras y todo tipo de accesorios usados hoy en día por las mujeres, los cuales son hechos 100% con materiales reciclados. El mercado de los productos reciclados constituye hoy en día un nicho, pero con el pasar del tiempo lo más normal y deseable será utilizar la mayor cantidad de productos con materiales reciclados.

"El reciclaje hoy en día es y debe entenderse como una estrategia de gestión de residuos sólidos. Un método para la gestión de residuos sólidos igual de útil que el vertido o la incineración, y ambientalmente, más deseable".[6] Esta aseveración podría ser extendida añadiendo que el reciclaje actualmente es incluso un método de gestión más conveniente que los citados, pues constituye una potencial fuente de ingresos en lugar de solamente generar costos.

Los materiales usados que serían desechados, mediante el reciclaje son transformados en recursos muy valiosos. Materiales como botellas usadas, latas y periódicos son reutilizables; llevarlos a una instalación o puesto de recogida, es el primer paso dentro de una cadena generadora de una gran cantidad de recursos

financieros, ambientales y de beneficios sociales. Algunos de estos beneficios se acumulan tanto a nivel local como a nivel mundial.[7]

1.5.1.6 Importancia del reciclaje

La lucha contra la reducción de la contaminación cada día se vuelve una tarea más ardua ya que con el pasar de los años, el mundo se va contaminando cada día más, sintiéndose ya los efectos de la inconsciente generación de desperdicios. He aquí el por qué reciclar, la respuesta a esta interrogante es solamente el deseo de generar un mundo mejor para las futuras generaciones.

El reciclaje hoy en día nos brinda un sinnúmero de ventajas, no solo en el aspecto del cuidado del medio ambiente sino además, en el ámbito económico, ya que gracias a este proceso de recuperación de materiales desechados se puede abaratar costos de materia prima, lo cual repercute en los costos de producción.

"El reciclaje tiene beneficios directos sobre la economía nacional, el servicio de aseo, el ambiente, la industria, el bienestar social y la comunidad."[8]

1.5.1.7 Tipos de plásticos

Existe en la actualidad varios tipos de plástico, de los cuales, solamente algunos de ellos pueden ser sometidos a procesos de reciclaje, haciéndose por tanto indispensable, saber identificar cada uno de ellos.

Para ayudar a identificar y clasificar el plástico reciclable, la Sociedad Americana de la Industria Plástica ha desarrollado un código estándar. Este código simplemente identifica el tipo de plástico utilizado para el objeto de producción (Figura 5).



Figura 5. Código para identificar los tipos de plástico

Fuente: http://www.articulo.org/articulo/26091/tipos_de_plasticos_que_pueden_ser_reciclados.html.

El código por lo general se encuentra en la parte inferior del recipiente de plástico, se compone de tres flechas en sentido de las agujas del reloj y crea un triángulo con esquinas redondeadas. Dentro de cada triángulo hay un número que identifica el tipo de plástico que corresponde.

Hay siete diferentes tipos de plástico que son productos derivados del petróleo y han sido identificados por la Sociedad Americana de la Industria del Plástico:

1. PET o PETE (tereftalato de polietileno).
2. HDPE (polietileno de alta densidad).
3. PVC (policloruro de vinilo).
4. LDPE (Polietileno de baja densidad).
5. PP (Polipropileno).
6. PS (Poliestireno).
7. Otros.[9]

1.5.1.8 Plástico PET

El Polietileno tereftalato (PET) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de poli condensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado de preforma y termo conformado.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.[10]

A continuación se detallan las propiedades del PET (Cuadro 4).

Cuadro 4. Propiedades PET

POLIETILENTEREFTALATO				PET
PROPIEDADES MECÁNICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECÍFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	kg/cm ²	D-638	53455	900 / --
RES. A LA COMPRESIÓN (1 Y 2 % DEF)	kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	kg/cm ²	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	kg.cm/cm ²	D-256	53453	> 50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MÓDULO DE ELASTICIDAD (TRACCIÓN)	kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTÁTICO S/ACERO		D-1894		--
COEF. DE ROCE DINÁMICO S/ACERO		D-1894		0.2
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

PROPIEDADES TÉRMICAS				
	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CALOR ESPECÍFICO	kcal/kg.°C	C-351		0.25
TEMP. DE FLEXIÓN B/CARGA (18.5Kg/cm ²)	°C	D-648	53461	75
TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE	°C			-20 a 110
TEMP. DE FUSIÓN	°C			255
COEF. DE DILATACIÓN LINEAL DE 23 A 100°C	por °C	D-696	52752	0.00008
COEF. DE CONDUCCIÓN TÉRMICA	kcal/m.h.°C	C-177	52612	0.25
PROPIEDADES ELÉCTRICAS				
	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CONSTANTE DIELECTRICA A 60 Hz		D-150	53483	3,4
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 kHz		D-150	53483	3,3
CONSTANTE DIELECTRICA A 1 MHz		D-150	53483	3,2
ABSORCIÓN DE HUMEDAD AL AIRE	%	D-570	53472	0,25
RESISTENCIA SUPERFICIAL	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 14
RESISTENCIA VOLUMÉTRICA	Ohms-cm	D-257	53482	> 10 a la 15
RIGIDEZ DIELECTRICA	kv/mm	D-149		22
PROPIEDADES QUÍMICAS			OBSERVACIONES	
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS			BUENA	
RESISTENCIA A ÁCIDOS DÉBILES A TEMP. AMBIENTE			BUENA	
RESISTENCIA A ALCALIS DÉBILES A TEMP. AMBIENTE			BUENA	
EFECTO DE LOS RAYOS SOLARES			ALGO LO AFECTAN	
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS			SI	
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTIÓN			ARDE CON MEDIANA DIFICULTAD	
PROPAGACIÓN DE LLAMA			MANTIENE LA LLAMA	
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO			GOTEA	
COLOR DE LA LLAMA			AMARILLO ANARANJADO TIZNADO	
OLOR AL QUEMARLO			AROMÁTICO DULCE	

Fuente: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>.

1.5.1.9 Procesos para reciclar el plástico PET

"Existen tres métodos diferentes de reciclaje y recuperación de los plásticos: reciclaje mecánico, químico y recuperación de energía. De estas alternativas, en el Ecuador la que más frecuentemente se utiliza es el reciclaje mecánico".[11] Esto se

debe al hecho de que el reciclaje químico implica cambios en la estructura química del material, de lo cual se deduce que se trata de un proceso más complicado que el anterior y; en cuanto al reciclaje energético, este simplemente constituye una alternativa para aprovechar la energía desprendida al quemar el material, es decir, su meta es netamente ambiental y social.

1.5.1.10 Reciclaje mecánico del PET [12]

Es un proceso físico mediante el cual el plástico post-consumo o el industrial es recuperado, permitiendo su posterior utilización. Esta técnica de reciclaje es la más utilizada en la actualidad, consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. Las escamas resultantes (flakes) de este proceso se pueden destinar en forma directa en la fabricación de productos de inyección o extrusión. A continuación se describen los pasos necesarios para el reciclaje mecánico de PET (ver Figura 6):

Separación: La separación tiene por finalidad liberar al plástico de interés de diferentes tipos de materiales especialmente de los otros tipos de polímeros que estén acompañando al material de interés y también de metales, algunas veces, vidrio o papel. La importancia de la separación radica en que si existiesen otros materiales presentes, éstos podrían perjudicar el proceso de reciclaje o directamente empeorar la calidad del producto final.

Reducción de tamaño: La reducción de tamaño no es otra cosa que el triturado del material recolectado, cuyo principal objetivo es facilitar la siguiente operación dentro el proceso de reciclado, la limpieza del material picado y la introducción en la cadena de producción así como también una agregación de valor en el caso de venta directa de materia prima.

Para la reducción de tamaño existen diversos tipos de tecnología según el tamaño al cual se requiera, para el PET puede obtenerse hojuelas de media pulgada, un cuarto

de pulgada o finalmente polvo, según el diseño y el tipo de molino del que se disponga.

Limpieza: El PET está generalmente contaminado con comida, papel, piedras, polvo, aceite, solventes y en algunos casos pegamento. De ahí que tienen que ser primero limpiados en un baño que garantice la eliminación de contaminantes.

Secado: Posterior al ciclo de lavado continúa un proceso de secado el cual debe eliminar el remanente de humedad del material, para que pueda ser comercializado y posteriormente procesado.

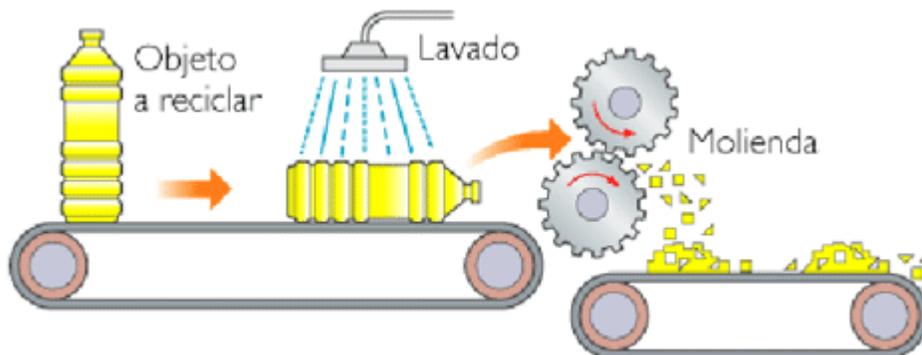


Figura 6. Reciclaje mecánico

Fuente: <http://eco-natura.jimdo.com/se-amigable-con-el-planeta/consejos-para-reciclar/>.

1.5.2 MARCO CONCEPTUAL[13]

Materia prima: Cada una de las materias que empleará la industria para la conversión de productos elaborados. Generalmente, las materias primas son extraídas de la mismísima naturaleza, para luego ser sometidas a un proceso de transformación que desembocará en la elaboración de productos de consumo.

Elasticidad: Propiedad que todos los cuerpos poseen en mayor o menor grado, de recobrar su extensión y forma primitiva tras cesar la fuerza exterior que los había deformado.

Maleable: Dicho de un material: Que se le puede dar otra forma sin romperlo.

Extrudir: Dar forma a una masa metálica, plástica, etc., haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

PPC: Producción per cápita de residuos sólidos o generación per cápita de residuos sólidos. Que es la cantidad de residuos sólidos generados por cada persona en un día.

Poliéster: Resina termoplástica obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

Polímero: Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

Termoplásticos: Dicho de un material: Maleable por el calor.

1.6 HIPÓTESIS DE TRABAJO

El presente proyecto de investigación resultará en el diseño y construcción de una máquina mecatrónica de reciclaje de botellas plásticas PET de hasta 500 ml.

El método de reciclaje propuesto es capaz de recuperar botellas de plástico mediante la secuencia de varios procesos adecuados para el efecto y contribuirá a la producción de plástico reciclado el cual puede ser vendido o utilizado como materia prima en otros tipos de procesos de manufactura.

En el siguiente capítulo se desarrollará a profundidad los aspectos referentes a la concepción estructural de la máquina, seleccionando en especial los elementos que la compondrán y que permitirán la fabricación más idónea posible.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En el presente capítulo se analizarán las diferentes alternativas de piezas, sensores y mecanismos para poder realizar el sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas PET de hasta 500 ml, lo cual resultará en la selección de los elementos más óptimos y que se adapten a las necesidades, para esto se recurre a algunas herramientas de calidad como:

- Casa de la calidad
- Análisis funcional
- Separación por módulos
- Solución para cada módulo
- Matriz morfológica
- Método ordinal corregido de criterios ponderados
- Selección de la alternativa a diseñar

2.1 CASA DE LA CALIDAD[14]

La casa de la calidad es una matriz que traduce las demandas de los usuarios en requerimientos del producto con el fin de conocer las prioridades tanto del usuario como del ingeniero. Consta de 6 pasos:

1. *Voz del usuario*: Describe las *demandas* de los usuarios
2. *Análisis de competitividad*: Describe, según el usuario, el grado de satisfacción que proporciona el producto de la empresa con respecto a productos de la competencia.
3. *Voz del ingeniero*: Describe las características técnicas que debe satisfacer el producto para cumplir con las necesidades del usuario
4. *Correlaciones*: Establece las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero

5. *Comparación técnica*: Compara el producto de la empresa con los de la competencia

6. *Compromisos técnicos*: Establece los compromisos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto

2.1.1 VOZ DEL USUARIO

Las necesidades del usuario son descritas a continuación:

- Máquina pequeña.
- Acceso restringido a cuchillas y motores.
- Costo bajo.
- PET molido, lavado y secado.
- Procesamiento rápido.
- Consumo de energía bajo.

2.1.2 VOZ DEL INGENIERO

Las características técnicas para satisfacer las necesidades del usuario se describen a continuación:

- Tamaño
- Seguridad
- Potencia de motores
- Materiales
- Capacidad
- Automatización

2.1.3 MATRIZ CASA DE LA CALIDAD

En la matriz (Figura 7) se muestran los 6 pasos correspondientes a la casa de la calidad para este caso específico.

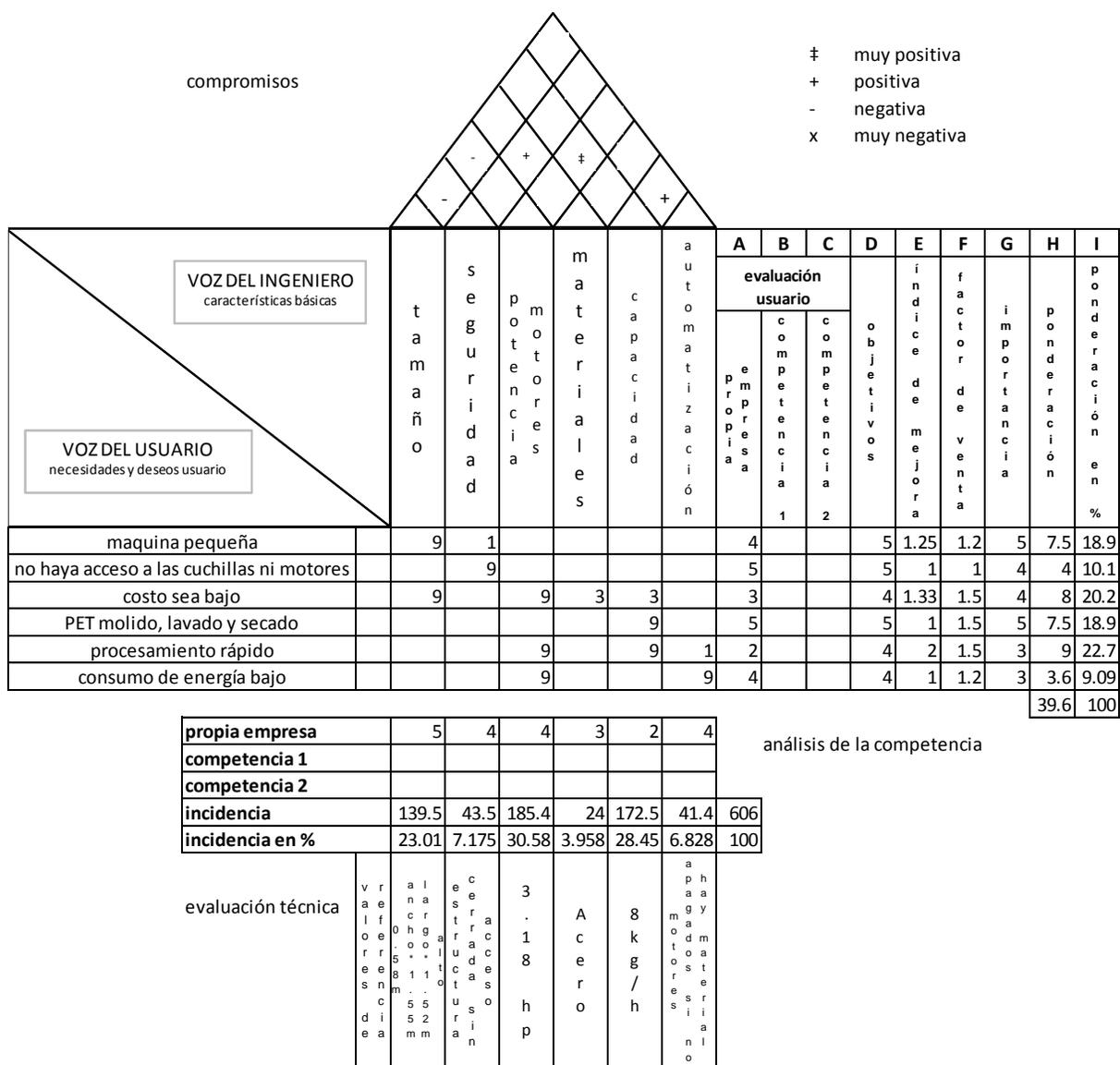


Figura 7. Casa de la calidad aplicada al proyecto

2.1.4 CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD

Para el usuario las prioridades son:

1. Que el procesamiento sea rápido
2. Que el costo sea bajo
3. Que se entregue el PET molido, lavado y secado, que la máquina sea pequeña
4. Que no haya acceso a las cuchillas
5. Que el consumo de energía sea bajo

Para el ingeniero las prioridades son:

1. Potencia del motor
2. Capacidad de la máquina
3. Tamaño de la máquina
4. Seguridad
5. Automatización
6. Materiales

2.2 ANÁLISIS FUNCIONAL[14]

Para poder describir y resolver los problemas de diseño, es útil aplicar el concepto de cualquier transformación entre flujos de entrada y de salida, tanto si se trata de funciones estáticas como de funciones dinámicas. La función es una formulación abstracta de una tarea, independientemente de la solución particular que la materializa.

La función global representa la tarea general que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece como una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida.

La representación del conjunto de sub funciones con las entradas y salidas así como las interrelaciones de flujos entre ellas se denomina estructura funcional.

El análisis funcional de un producto o sistema y la elaboración de la estructura funcional es un primer paso para establecer su estructura modular, a partir de combinar las diversas funciones en módulos de forma que se consigan los dos objetivos prioritarios siguientes:

a) Agrupar las funciones en módulos

Es conveniente que cada una de las funciones sea realizada por un solo módulo. En caso de no ser posible, hay que delimitar convenientemente la parte de la función que realiza cada módulo y sus interrelaciones.

b) Establecer interfaces adecuadas entre módulos

Interfaz es cualquier zona real o imaginaria entre dos módulos de un sistema, a través de la cual se establece alguna de las siguientes relaciones: unión mecánica, flujo de energía, flujo de materiales o flujo de señales.

A continuación se realiza el análisis funcional para el presente proyecto (Figura 8 y 9)

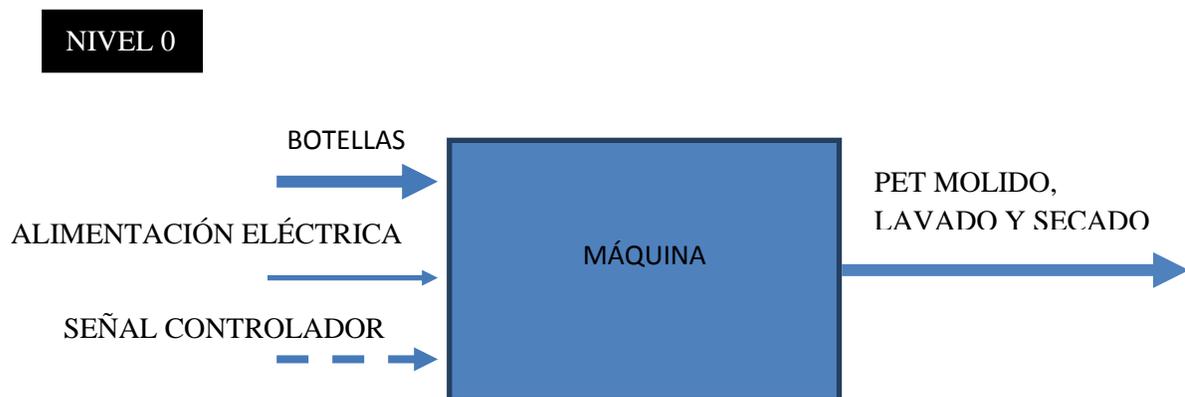


Figura 8. Análisis funcional nivel 0

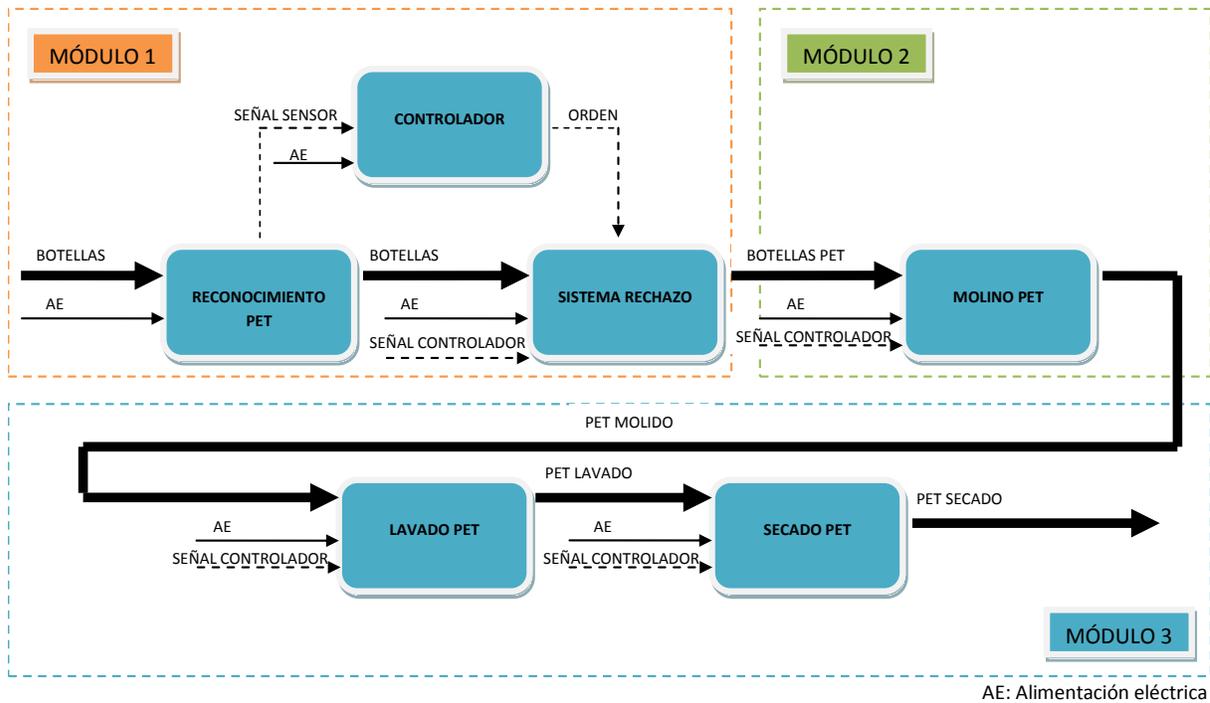


Figura 9. Análisis funcional nivel 1

2.3 SEPARACIÓN POR MÓDULOS

Se ha decidido separar la máquina gracias al análisis funcional en 3 módulos los cuales son: módulo de clasificación, módulo de reducción de tamaño y módulo de limpieza.

2.3.1 MÓDULO 1: CLASIFICACIÓN

El siguiente módulo tiene como función general permitir el paso única y exclusivamente de plástico PET, para lo cual se debe realizar las siguientes subfunciones:

- Detectar si el material introducido es plástico PET
- Rechazar materiales diferentes hacia un depósito de basura

2.3.2 MÓDULO 2: REDUCCIÓN DE TAMAÑO

El módulo de reducción de tamaño es el encargado de lograr que el plástico PET que va a ser lavado y secado tenga un tamaño máximo de 5 mm ya que un tamaño superior implicaría un aumento en el tiempo de procesado en la extrusión o inyección posterior al reciclaje, para lo cual cumple con las siguientes funciones:

- Reducir el tamaño de las botellas de plástico PET introducidas al sistema
- Asegurar que sólo siga a la siguiente etapa PET de 5mm

2.3.3 MÓDULO 3: LIMPIEZA

El objetivo de este módulo es eliminar el residuo de líquido de las botellas para poder entregar un plástico limpio para su posterior utilización, para esto cumple con las siguientes funciones:

- Lavar el plástico molido
- Secar el plástico lavado

2.4 ANÁLISIS PARA CADA MÓDULO

Para poder realizar cada tarea de una manera óptima, que se ajuste a las necesidades se considerarán varias opciones, las cuales serán evaluadas para escoger la mejor.

2.4.1 MÓDULO 1 - CLASIFICACIÓN

- ✓ Detectar si el material introducido es plástico PET
 - Sensor óptico
 - Sensor de color

Sensor óptico (Figura 10): Elemento de detección basado en la emisión de un haz de luz el cual es reflejado por el objeto a detectar.

Cuadro 5. Análisis sensor de óptico

 <p>Figura 10. Modelado sensor óptico</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sin contacto, sin partes móviles, pequeño. • Insensible a vibraciones y golpes. • Existencia local 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requiere alineamiento • Requiere ambiente sin polvo y agua.
--	---	--

Sensor de color (Figura 11): Estos sensores detectan colores y los compara con el valor referencial almacenado. Son la solución óptima siempre y cuando el color de un objeto o el marcaje puedan servir como criterio de control o clasificación. El resultado, dependen de los parámetros y de los valores de tolerancia especificados del sistema y generan una señal en la salida.[15]

Cuadro 6. Análisis sensor de color

 <p>Figura 11. Modelado sensor color Fuente: http://www.ifm.com/products/us/ds/O5C500.htm.</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sin contacto, sin partes móviles, pequeño. • Insensible a vibraciones y golpes. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad • Requiere alineamiento • Requiere ambiente sin polvo y agua.
--	---	--

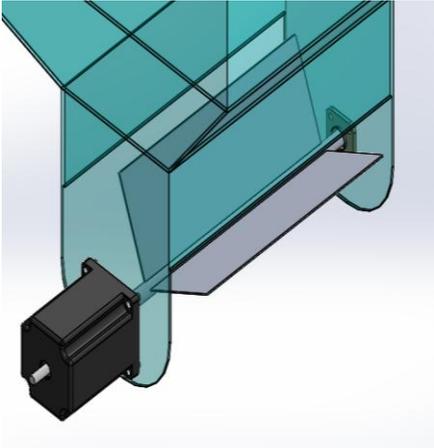
✓ Rechazar materiales diferentes hacia un depósito de basura

- Sistema compuerta-motor (Figura 12).
- Sistema empuje con cilindro hidráulico (Figura 13).

Motor paso a paso: "Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

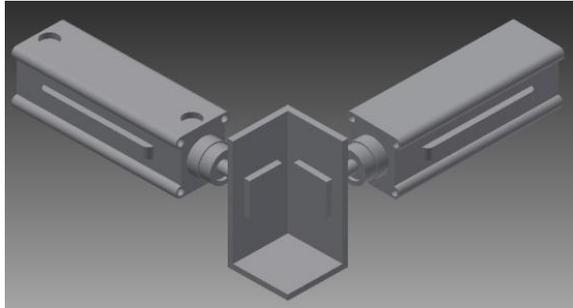
La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° ." [16]

Cuadro 7. Análisis sistema compuerta-motor

 <p>Figura 12. Modelado sistema compuerta-motor</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño pequeño • Costo bajo • Fácil reemplazo 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad lenta • Material plástico
--	--	--

Cilindro hidráulico: Estos elementos se componen, principalmente, de un cuerpo cilíndrico hueco que en el interior se desliza un pistón (también conocido como varilla) gracias a la presión ejercida por un líquido.[17]

Cuadro 8. Análisis sistema empuje-cilindro hidráulico

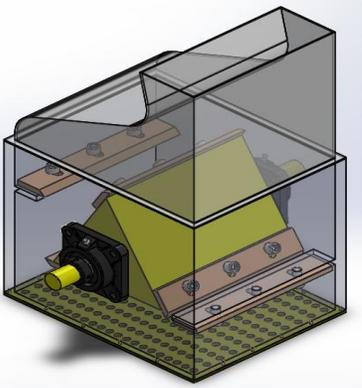
 <p>Figura 13. Modelado sistema empuje-cilindro hidráulico</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Robustez • Rapidez 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado • Tamaño grande
---	--	--

2.4.2 MÓDULO 2 - REDUCCIÓN DE TAMAÑO

- ✓ Reducir el tamaño de las botellas de plástico PET introducidas al sistema
 - Triturador de cuchillas de corte (Figura 14).
 - Triturador coloidal de muelas de acero (Figura 15).

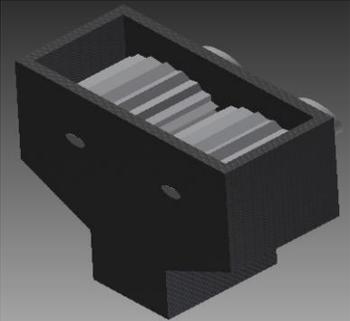
Triturador de cuchillas de corte: Este tipo de trituradores constan de un rotor con cuchillas uniformemente espaciadas. El producto se hace pasar por un tamiz el cual determina el tamaño del producto final.[18]

Cuadro 9. Análisis triturador cuchillas de corte

 <p data-bbox="245 789 570 842">Figura 14. Modelado triturador cuchillas de corte</p>	<p data-bbox="688 380 824 411">Ventajas:</p> <ul data-bbox="688 491 1045 800" style="list-style-type: none"> • Cortes más precisos • Cuchillas reemplazables en caso de daño • Cuchillas disponibles en el mercado 	<p data-bbox="1073 380 1258 411">Desventajas:</p> <ul data-bbox="1073 491 1349 527" style="list-style-type: none"> • Tamaño grande
--	---	---

Tritrador coloidal de muelas de acero: Elemento que está compuesto por un rotor y un elemento estacionario y entre estos existe una pequeña separación por donde pasa el material y realiza cortes.

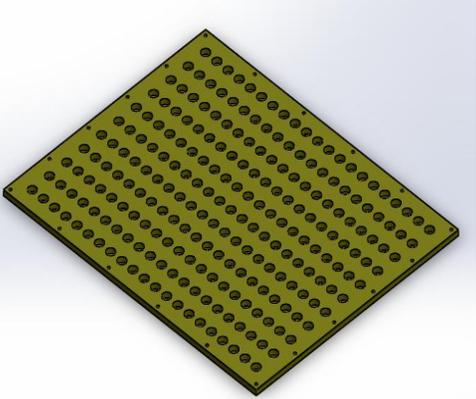
Cuadro 10. Análisis triturador coloidal muelas de acero

 <p data-bbox="228 1707 639 1759">Figura 15. Modelado triturador coloidal muelas Acero</p>	<p data-bbox="683 1367 820 1398">Ventajas:</p> <ul data-bbox="695 1482 870 1570" style="list-style-type: none"> • Tamaño Pequeño 	<p data-bbox="1006 1367 1192 1398">Desventajas:</p> <ul data-bbox="1006 1482 1373 1625" style="list-style-type: none"> • Cortes sin precisión • Utilización de dos motores
---	---	--

✓ Asegurar que sólo siga a la siguiente etapa PET de 5mm

- Tamiz (Figura 16): Malla metálica o rejilla que se utiliza para separar el material fino del grueso y dependiendo del diámetro de las perforaciones de la malla el tamaño final del material.

Cuadro 11. Análisis tamiz

 <p>Figura 16. Modelado Tamiz</p>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fácil realización • Costo bajo 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No posee desventajas
--	--	--

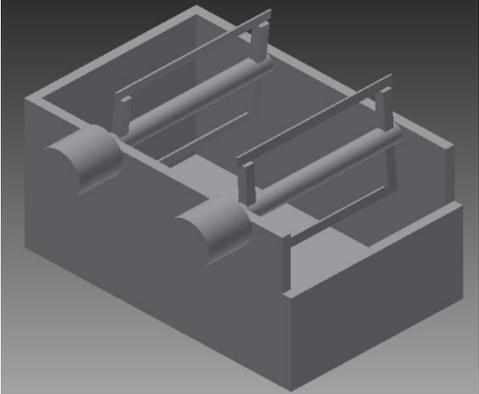
2.4.3 MÓDULO 3 - LIMPIEZA

✓ Lavar el plástico molido

- Empuje del material sobre agua (Figura 17).
- Transporte de material e inyección de agua (Figura 18).

Empuje del material sobre agua: El plástico al ser ligero flota en la superficie mientras los contaminantes caen al fondo. El plástico en la superficie del agua es empujado hasta que salga del área de lavado.

Cuadro 12. Análisis empuje de material sobre agua

 <p data-bbox="245 789 686 846">Figura 17. Modelado sistema empuje del material sobre agua</p>	<p data-bbox="773 380 906 411">Ventajas:</p> <ul data-bbox="777 491 951 579" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="777 491 951 579">• Tamaño pequeño 	<p data-bbox="1058 380 1247 411">Desventajas:</p> <ul data-bbox="1063 491 1398 579" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1063 491 1398 522">• Uso de dos motores <li data-bbox="1063 543 1349 579">• Transporte difícil
---	---	--

Transporte de material e inyección de agua: El material es transportado mediante una banda transportadora y se bombea agua la cual es expulsada por una rejilla de desfogue mediante gravedad.

Cuadro 13. Análisis banda transportadora

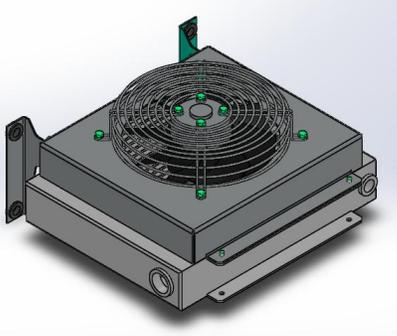
 <p data-bbox="245 1738 711 1770">Figura 18. Modelado banda Transportadora</p>	<p data-bbox="831 1365 971 1396">Ventajas:</p> <ul data-bbox="836 1476 1036 1564" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="836 1476 1036 1564">• Fácil transporte 	<p data-bbox="1130 1365 1318 1396">Desventajas:</p> <ul data-bbox="1135 1476 1414 1512" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1135 1476 1414 1512">• Tamaño grande
---	---	---

✓ Secar el plástico molido

- Calentador de aire (Figura 19)

Calefactor: Aparato que sirve para tomar el aire del ambiente y expulsarlo a una temperatura mayor.

Cuadro 14. Análisis calefactor

 <p data-bbox="250 1115 581 1142">Figura 19. Modelado calefactor</p>	<p data-bbox="708 758 841 793">Ventajas:</p> <ul data-bbox="708 869 1024 1073" style="list-style-type: none"> • Tamaño pequeño • Fácil uso • Disponibilidad en el mercado 	<p data-bbox="1053 758 1240 793">Desventajas:</p> <ul data-bbox="1053 869 1289 905" style="list-style-type: none"> • Potencia baja
--	--	---

2.5 MATRIZ MORFOLÓGICA

El análisis morfológico es un método de generación de ideas de probada eficacia que da lugar a la "invención organizada". Esta técnica permite la existencia de dos elementos fundamentales:

- El análisis sistemático de la estructura actual y futura de un área de la industria, así como también los vacíos fundamentales en esa estructura.
- Un fuerte estímulo para la invención de nuevas alternativas que llenen estos vacíos y cumplan los requisitos impuestos.

Para el presente caso se presenta la matriz morfológica de alternativas en la Figura 20:

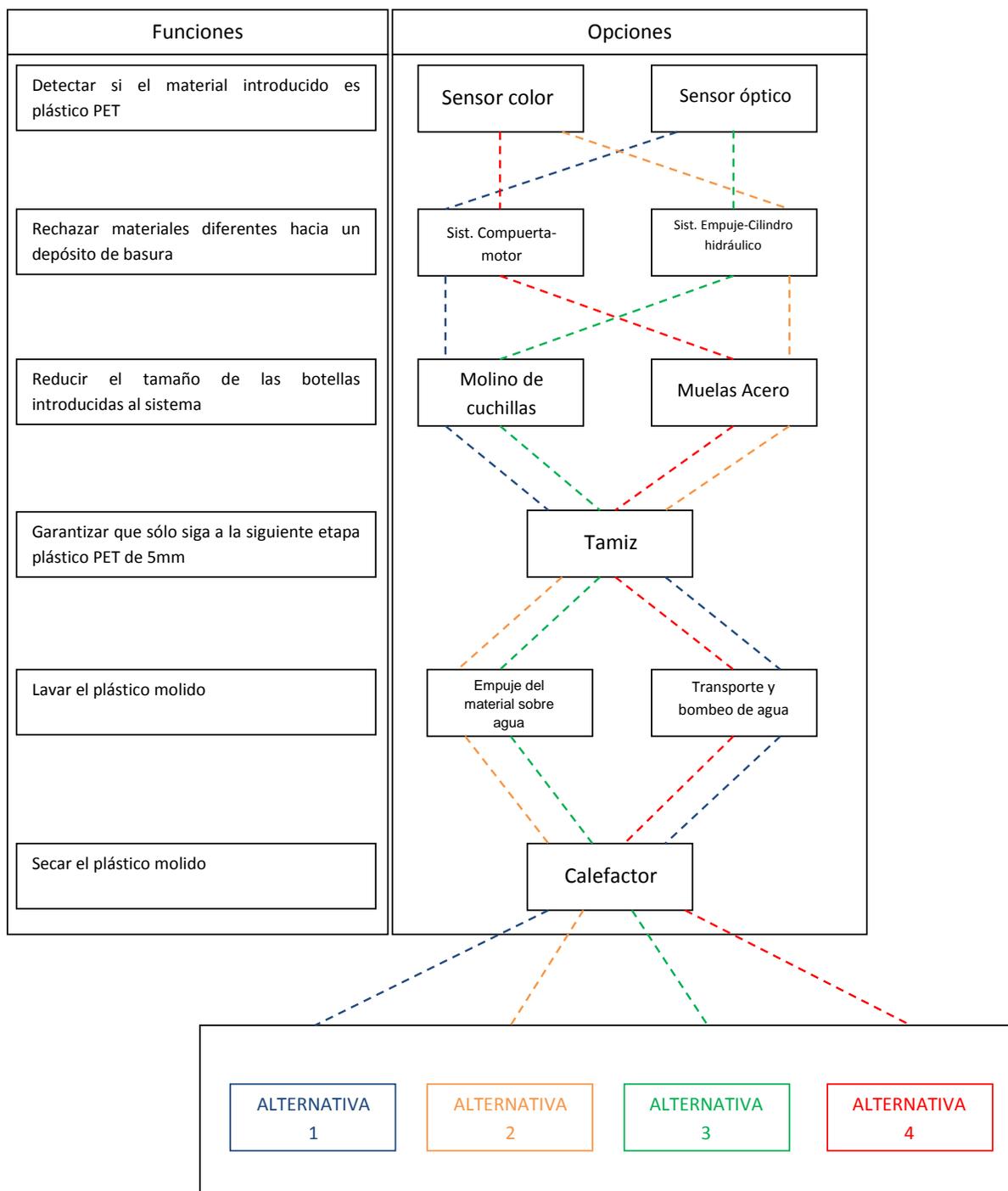


Figura 20. Matriz Morfológica de Alternativas

2.6 MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS[14]

La mayor parte de las veces, para decidir entre las soluciones posibles es necesario conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Para esto es recomendable el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y evitando estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite lograr resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores siguientes:

- | | |
|-----|--|
| 1 | Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas |
| 0,5 | Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas |
| 0 | Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas |

Luego, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios al que se le añade una unidad; después, en otra columna se calcula los valores ponderados para cada criterio.

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

Para este caso se considerarán 5 criterios importantes los cuales van a ser evaluados para escoger la mejor opción; los criterios son:

- Tamaño: Se necesita que las dimensiones de la máquina sean lo más pequeñas posibles.
- Costo: Costo debe ser competitivo

- Disponibilidad: Los materiales y piezas a utilizar deben estar disponibles en el mercado para poder ser reemplazadas en caso de daño.
- Velocidad: Se necesita que la máquina tenga una rapidez tal que satisfaga la necesidad de procesamiento.
- Precisión: Los procesos deben tener una buena precisión para garantizar la satisfacción del producto final.

Evaluación del peso específico de cada criterio:

Cuadro 15. Análisis peso específico de cada criterio

CRITERIO	TAMAÑO	COSTO	DISPONIBILIDAD	VELOCIDAD	PRECISIÓN	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
TAMAÑO		1	0	1	0	3	0.20
COSTO	0		0	0	0	1	0.07
DISPONIBILIDAD	1	1		1	1	5	0.33
VELOCIDAD	0	1	0		0	2	0.13
PRECISIÓN	1	1	0	1		4	0.27
					Suma	15	1.00

A continuación se mide los pesos específicos que corresponden a cada criterio.

Evaluación del peso específico del criterio: Tamaño

Cuadro 16. Análisis peso específico: Tamaño

TAMAÑO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
ALTERNATIVA 1		1	1	0.5	3.5	0.35
ALTERNATIVA 2	0		0.5	0	1.5	0.15
ALTERNATIVA 3	0	0.5		0	1.5	0.15
ALTERNATIVA 4	0.5	1	1		3.5	0.35
				Suma	10	1

Evaluación del peso específico del criterio: Costo

Cuadro 17. Análisis peso específico: Costo

COSTO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
ALTERNATIVA 1		1	1	1	4	0.44
ALTERNATIVA 2	0		0	0	1	0.11
ALTERNATIVA 3	0	1		0	2	0.22
ALTERNATIVA 4	0	0	1		2	0.22
				Suma	9	1

Evaluación del peso específico del criterio: Disponibilidad

Cuadro 18. Análisis peso específico: Disponibilidad

DISPONIBILIDAD	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
ALTERNATIVA 1		1	0.5	1	3.5	0.35
ALTERNATIVA 2	0		0	0.5	1.5	0.15
ALTERNATIVA 3	0.5	1		1	3.5	0.35
ALTERNATIVA 4	0	0.5	0		1.5	0.15
				Suma	10	1

Evaluación del peso específico del criterio: Velocidad

Cuadro 19. Análisis peso específico: Velocidad

VELOCIDAD	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
ALTERNATIVA 1		1	1	0.5	3.5	0.35
ALTERNATIVA 2	0		0.5	0	1.5	0.15
ALTERNATIVA 3	0	0.5		0	1.5	0.15
ALTERNATIVA 4	0.5	1	1		3.5	0.35
				Suma	10	1

Evaluación del peso específico del criterio: Precisión

Cuadro 20. Análisis peso específico: Precisión

PRECISIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
ALTERNATIVA 1		1	1	1	4	0.40
ALTERNATIVA 2	0		0	0.5	1.5	0.15
ALTERNATIVA 3	0	1		1	3	0.30
ALTERNATIVA 4	0	0.5	0		1.5	0.15
				Suma	10	1.00

Tabla de conclusiones:

Cuadro 21. Conclusiones método ordinal corregido de criterios ponderados

CONCLUSIÓN	TAMAÑO	COSTO	DISPONIBILIDAD	VELOCIDAD	PRECISIÓN	Σ	Prioridad
ALTERNATIVA 1	0.07	0.03	0.12	0.05	0.11	0.37	1
ALTERNATIVA 2	0.03	0.01	0.05	0.02	0.04	0.15	4
ALTERNATIVA 3	0.03	0.02	0.12	0.02	0.08	0.26	2
ALTERNATIVA 4	0.07	0.01	0.05	0.05	0.04	0.22	3

Como se puede observar la alternativa 1 tiene prioridad sobre las demás, la alternativa 3 le sigue en importancia, luego se ubica la alternativa 4 y finalmente, se tiene la alternativa 2 como la última opción.

Por lo tanto la alternativa número 1 es la que se usará como base para el diseño de la máquina.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Una vez estudiadas y seleccionadas las partes y piezas que compondrán la estructura de la máquina objeto del presente proyecto de titulación, es necesario profundizar en el estudio de los elementos que funcionalmente la integrarán de tal forma que se obtenga como resultado un funcionamiento óptimo; así como también, se desarrollarán en el presente capítulo, todos los cálculos necesarios para que el sistema funcione correctamente.

3.1 CÁLCULO DE POTENCIA PARA EL MOTOR DEL SISTEMA DE RECHAZO

Se parte de la ecuación general de potencia (1):

$$P = \tau * \omega \quad (1)$$

Donde:

P = potencia (W)

τ = torque (Nm)

ω = velocidad angular (rpm)

Se considera que el sistema debe moverse 120° en $t = 1$ segundo (Figura 21).

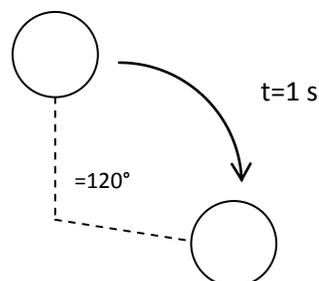


Figura 21. Movimiento motor sistema de rechazo

$$n = \frac{120^\circ}{1 \text{ seg}} * \frac{1 \text{ rev}}{360^\circ} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$n = 20 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

Para calcular el torque es necesario conocer el peso que se va poner en el eje del motor, el cual consta del peso de 10 botellas de PET y el peso del sistema de la compuerta realizada en aluminio (Figura 22).

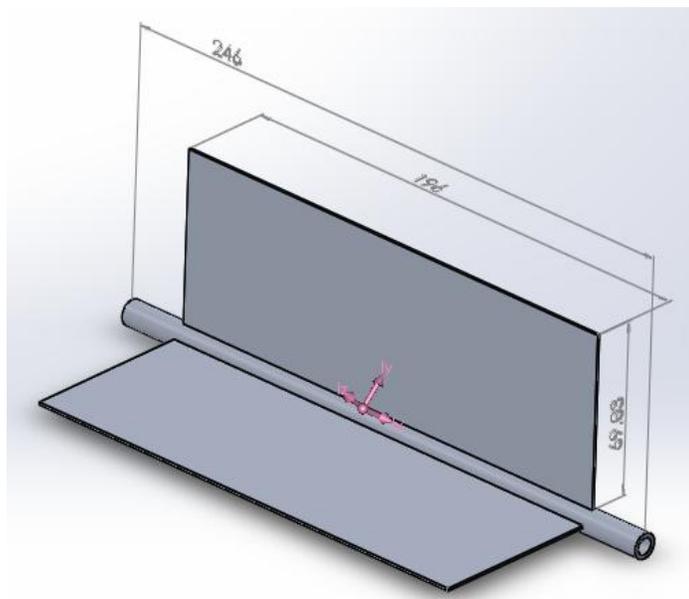


Figura 22. Modelado compuerta de selección

Masa aproximada botella PET vacía = 20 gramos

Masa sistema compuerta = 123.4 gramos

Masa total = 323.4 gramos = 0.323 kg

Para averiguar el peso que deberá ser capaz de mover el motor del sistema de rechazo se utiliza (2):

$$W = m * g \quad (2)$$

Donde:

W = Peso (N)

m = masa (kg)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

$$W = 0.323 * 9.8$$

$$W = 3.1654 \text{ N}$$

Mediante la utilización del software SolidWorks®¹ se encuentra en centro de masa $r=11.69$ mm (Figura 23).

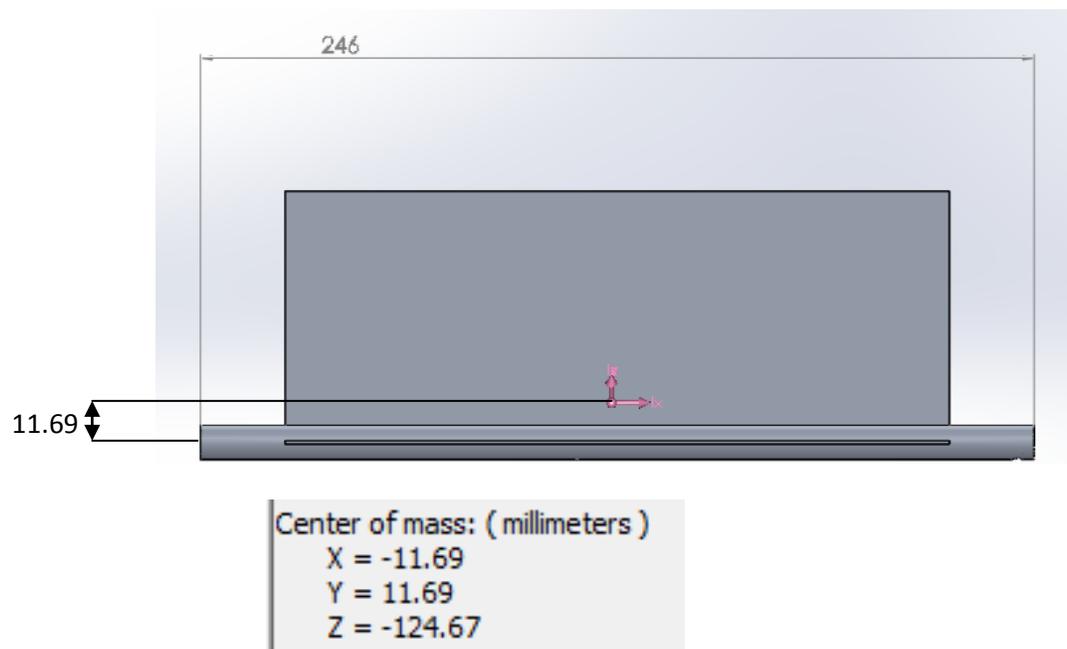


Figura 23. Centro de masa compuerta sistema de rechazo

¹ Realizado en SolidWorks® 2013 versión de prueba de 30 días

Utilizando la ecuación de torque (3):

$$\tau = F * r \quad (3)$$

Donde:

τ = torque (N.m)

F = fuerza (N) = W = Peso de las botellas y el sistema de la compuerta

r = distancia el centro de masa (m)

$$\tau = 3.1654 * 0.01169$$

$$\tau = 0.037 \text{ Nm}$$

Reemplazando en (1):

$$P = 0.037 * \frac{20rev}{min} * \frac{1min}{60seg} * \frac{2\pi rad}{1rev}$$

$$P = 0.0775 \text{ W}$$

3.1.1 SELECCIÓN DEL MOTOR PASO A PASO

El motor paso a paso seleccionado es un motor NEMA 23 de la casa MS TECHNOLOGY (Figura 24) el cual satisface los valores calculados. A continuación se detalla las características de dicho motor (Tabla 1). Para mayor información ver Anexo A.

2 phase 1.8 degree IP68 NEMA 23 (size 57mm) Hybrid Stepper Motor



Technique parameter:	
Item	Specification
Step Angle Accuracy	±5% (full step,no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80°C Max.(rated current,2 phase on)
Ambient Temperature	-10°C~+50°C
Insulation Resistance	100MΩMin.500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute

Figura 24. Motor sistema de rechazo
Fuente: MS technology co.,ltd. hybrid stepper motor catalog

Tabla 1. Especificaciones motor NEMA 23, MS technology

Electrical Specifications:

Series Model	Holding Torque N.m ±10%	Rated Current A/phase	Resistance ohm/phase ±10%	Inductance mH/phase ±20%	Rotor Inertia (g.cm ²)	Motor Weight (kg)	Motor Lenth (mm)	Lead Wire (NO.)
23H246-01IP68	0.64	1.5	1.72	4.36	120	0.5	46	4
23H246-02IP68	0.64	2.0	1.1	2.8	120	0.5	46	4
23H246-03IP68	0.64	3.0	0.43	1.09	120	0.5	46	4
23H255-01IP68	1.0	1.5	2.14	7.92	200	0.7	55	4
23H255-02IP68	1.0	2.0	1.4	5.0	200	0.7	55	4
23H255-03IP68	1.0	3.0	0.54	1.98	200	0.7	55	4
23H262-01IP68	1.28	1.5	1.46	8.4	300	0.85	62	4
23H262-02IP68	1.28	2.0	1.6	5.5	300	0.85	62	4
23H262-03IP68	1.28	3.0	0.62	2.1	300	0.85	62	4
23H280-01IP68	2.0	1.5	3.26	15.2	480	1.15	80	4
23H280-02IP68	2.0	2.0	2.1	10.0	480	1.15	80	4
23H280-03IP68	2.0	3.0	0.82	3.8	480	1.15	80	4

Fuente: ms technology co.,ltd. hybrid stepper motor catalog

3.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORTE Y POTENCIA DEL MOTOR PARA EL TRITURADOR DE CUCHILLAS[20]

Para seleccionar el número de revoluciones por minuto(rpm) se realizará un promedio de las velocidades utilizadas en trituradores existentes en el mercado.

Tabla 2. Número de RPM utilizadas en trituradores existentes

MARCA	MODELO	rpm
Navarini	ml1400	970
Producción Ecuatoriana		500

Pulian	A-300	580
Henglico	jhl-230	600
Asian Machinery USA	VMPC-2660	512
	Promedio:	632

Para determinar la velocidad de corte necesaria para el sistema se debe obtener la velocidad tangencial del filo la cual será la que corte, utilizando (4):

$$V_t = \frac{r n \pi}{30} \quad (4)$$

Donde:

V_t =Velocidad tangencial (m/s)

r =Radio del rodillo (m)

n =Frecuencia de rotación (rpm)

A continuación se utiliza una frecuencia de rotación de 630 rpm por el promedio de las rpm utilizadas en las máquinas existentes en el mercado (ver Tabla 2) y un radio del rodillo de 0.015 m el cual va a ser construido.

$$V_t = \frac{0.015(630)\pi}{30}$$

$$V_t = \frac{29.68}{30}$$

$$V_t = 0.99 \frac{m}{s} = V_c$$

El espesor comúnmente utilizado para la fabricación de los envases de PET es de 2mm, es por eso que la energía necesaria para provocar la fractura y ruptura total

del material, definida como energía de impacto de la prueba Izod NIIE=0.285j requiere una fuerza de 14.89N, según [20].

Utilizando este valor se calcula la fuerza específica de corte (8) y posteriormente la potencia de corte (9) para poder dimensionar el triturador necesario para la trituración del PET.[21]

$$K_s = \frac{F_c}{A_c} \quad (8)$$

Donde:

K_s =Fuerza específica de corte (Pa)

F_c =Fuerza de corte (N)

A_c =Área de corte (m^2)

El valor de la fuerza se lo multiplica por ocho ya que el sistema debe ser capaz de triturar 8 botellas a la vez, siendo el valor de la fuerza (F_c):

$$F_c = 119.12 \text{ N}$$

Para un área de corte de 0.05 m^2 , la fuerza específica de corte resulta:

$$k_s = \frac{119.12}{0.05}$$

$$k_s = 2382.4 \text{ Pa}$$

La potencia necesaria para el maquinado (9) resulta del producto de cada componente de la fuerza del maquinado por la respectiva componente de la velocidad de corte.

$$N_c = K_s \times V_c \quad (9)$$

Donde:

N_c =Potencia de corte (W)

V_c = Velocidad de corte (m/s)

K_s =Fuerza especifica de corte (Pa)

Reemplazando:

$$N_c = 2382.4 * 0.99$$

$$N_c = 2.35 \text{ kW}$$

3.2.1 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL TRITURADOR DE CUCHILLAS

El motor a utilizar en el presente trabajo será un motor AC de dos polos del fabricante WEG (Figura 25) el cual se detalla a continuación (Tabla 3):



Figura 25. Selección motor triturador de cuchillas
 Fuente: Catálogo de motores BT, WEG

Tabla 3. Características motor WEG dos polos

Potencia kW	Carcasa	In (A) 400V	I/In	Cp/Cn	Cm/Cn	Inercia (kgm ²)	Nivel sonoro dB(A)	Peso (kg)	% de plena carga					
									Eficiencia			Factor de potencia		
									50	75	100	50	75	100

Carcasa de aluminio- Alta Eficiencia - IE2- 2 polos

0,12	63	0,38	4,8	300%	290%	0,00012	52	5,7	53	60	61	0,53	0,66	0,75
0,18	63	0,53	4,6	290%	280%	0,00014	52	6	56	62	63	0,54	0,68	0,78
0,25	63	0,71	4,7	320%	290%	0,00016	52	6,7	58	64	65	0,53	0,67	0,78
0,37	71	0,88	5,6	270%	280%	0,00033	56	9	68	71	71	0,66	0,79	0,86
0,55	71	1,25	5,3	270%	270%	0,0004	56	11	70	72	72	0,7	0,82	0,88
0,75	80	1,58	6,8	310%	310%	0,00065	59	12	76	79	79,5	0,73	0,82	0,86
1,1	80	2,32	6,3	320%	310%	0,00082	59	15	79,5	80,5	80,5	0,67	0,79	0,85
1,5	90S/L	3,14	5,9	260%	260%	0,00162	62	17,5	81,5	82	82	0,66	0,78	0,84
2,2	90S/L	4,58	6,6	300%	300%	0,00221	62	21	83	83,6	83,6	0,63	0,76	0,83
3	100L	5,92	7,7	290%	310%	0,00508	67	26	84	85	85	0,68	0,8	0,86
4	112M	7,72	8,5	230%	290%	0,00637	64	33	86	86	86	0,7	0,81	0,87

Fuente: Catálogo de motores BT, WEG

3.2.2 SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL TRITURADOR DE CUCHILLAS

La selección de las chumaceras se lo realizara únicamente con el diámetro del rodillo del triturador (30 mm) en vista que las revoluciones por minuto del motor van a ser bajas y no habrá mayor desgaste.

La chumacera seleccionada será de la marca SKF con designación UCF206 (Figura 26) y sus características se detallan a continuación (Tabla 4):



Figura 26. Selección Chumaceras
Fuente: Catálogo SKF, UCF 200 SERIES

Tabla 4. Características chumacera

Part Number	Shaft Diameter (d)		Dimensions (in.) or (mm)								Bolt Used		Weight Lbs.	
	(in.)	(mm)	a	e	i	g	l	s	z	Bi	n	(in.)		(mm)
UCF 201		12												
UCF 202		15	86	64	15	11	25	12	33.3	31	12.7		M10	
UCF 203		17												
UCF 204		20												
UCF 201-08	1/2											3/8		1.32
UCF 202-09	9/16													
UCF 202-10	5/8													
UCF 203-11	11/16		3 3/8	2 1/2	19/32	7/16	1	15/32	1 5/16	1.2205	0.5000			
UCF 204-12	3/4													
UCF 205		25	95	70	16	13	27	12	35.8	34.1	14.3		M10	
UCF 205-13	13/16													
UCF 205-14	7/8													
UCF 205-15	15/16		3 3/4	2 3/4	5/8	1/2	1 1/16	15/32	1 13/32	1.3425	0.5630	3/8		1.90
UCF 206		30	108	83	18	13	31	12	40.2	38.1	15.9		M10	
UCF 206-17	1 1/16													
UCF 206-18	1 1/8													
UCF 206-19	1 3/16		4 1/4	3 1/4	45/64	1/2	1 7/32	15/32	1 19/32	1.5000	0.6260	3/8		3.52
UCF 207		35	117	92	19	15	34	14	44.4	42.9	17.5		M12	
UCF 207-20	1 1/4													
UCF 207-21	1 5/16											7/16		3.52
UCF 207-22	1 3/8		4 19/32	3 5/8	3/4	19/32	1 11/32	35/64	1 3/4	1.6890	0.6890			
UCF 207-23	1 7/16													
UCF 208		40	130	102	21	15	36	16	51.2	49.2	19		M14	4.18
UCF 208-24	1 1/2		5 1/8	4 1/8	13/16	19/32	1 13/32	5/8	2 1/8	1.9370	0.7480	1/2		
UCF 208-25	1 9/16													
UCF 209		45	137	105	22	16	38	16	52.2	49.2	19		M14	5.28
UCF 209-26	1 5/8													
UCF 209-27	1 11/16		5 13/32	4 1/8	55/64	5/8	1 1/2	5/8	2 1/16	1.9370	0.7480	1/2		
UCF 209-28	1 3/4													
UCF 210		50	143	111	22	16	40	16	54.6	51.6	19		M14	5.72
UCF 210-29	1 13/16													
UCF 210-30	1 7/8													
UCF 210-31	1 15/16		5 5/8	4 3/8	55/64	5/8	1 9/16	5/8	2 5/32	2.0315	0.7480	1/2		
UCF 210-32	2													
UCF 211		55	162	130	25	18	43	19	58.4	55.6	22.2		M16	7.70
UCF 211-32	2													
UCF 211-33	2 1/16													
UCF 211-34	2 1/8		6 3/8	5 1/8	63/64	23/32	1 11/16	3/4	2 5/16	2.1890	0.8740	5/8		
UCF 211-35	2 3/16													

Fuente: Catálogo SKF, UCF 200 SERIES

También se selecciona el rodamiento a utilizar el cual será el SKF 6206, sus características se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones técnicas rodamiento

Dimensiones principales	Capacidades básicas de carga				Factor	Velocidades límites				Números de rodamientos							
	mm		kN			kgf		r.p.m.		tipo	con con	con					
d	D	B	r _{ms} (1)	C _r	C _{or}	C _r	C _{or}	f ₀	grasa tipo abierto ZZ	aceite tipo abierto LLB	LLH	LLU	abierto	con tapas	con sello de contacto	con sello de bajo torque	
20	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	6404	—	—	—
22	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH LLU
	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH LLU
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ	LLB	LLH LLU
25	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	—	—	6705	—	LLF	—
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6805	ZZ	LLB	— LLU
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	— LLU
	47	8	0.3	—	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	16005	—	—	—
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH LLU
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH LLU
28	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 160	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH LLU
	80	21	1.5	—	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000	—	—	6405	—	—	—
	52	12	0.6	0.5	12.5	7.40	1 270	755	14.5	14 000	16 000	10 000	8 400	60/28	ZZ	LLB	LLH LLU
30	58	16	1	0.5	17.9	9.75	1 830	995	13.4	12 000	14 000	9 700	8 100	62/28	ZZ	LLB	LLH LLU
	68	18	1.1	0.5	26.7	14.0	2 730	1 430	12.4	11 000	13 000	8 900	7 400	63/28	ZZ	LLB	LLH LLU
	37	4	0.2	—	1.14	0.950	117	97	15.7	3 300	3 800	—	—	6706	—	LLF	—
30	42	7	0.3	0.3	4.70	3.65	480	370	16.5	15 000	18 000	—	8 800	6806	ZZ	LLB	— LLU
	47	9	0.3	0.3	7.25	5.00	740	510	15.8	14 000	17 000	—	8 400	6906	ZZ	LLB	— LLU
	55	9	0.3	—	11.2	7.35	1 150	750	15.2	13 000	15 000	—	—	16006	—	—	—
	55	12	1	0.5	19.3	9.9	1 950	945	14.8	10 000	12 000	9 200	7 700	6006	ZZ	LLB	LLH LLU
	62	16	1	0.5	19.5	11.3	1 980	1 150	13.8	11 000	13 000	8 800	7 300	6206	ZZ	LLB	LLH LLU
	72	19	1.1	0.5	26.7	15.0	2 720	1 530	13.3	10 000	12 000	7 900	6 600	6306	ZZ	LLB	LLH LLU
90	23	1.5	—	43.5	23.9	4 400	2 440	12.3	8 800	10 000	—	—	6406	—	—	—	

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

3.3 CÁLCULO DE LA BOMBA NECESARIA PARA EL LAVADO DE PET TRITURADO[22]

Para el cálculo de la potencia de la bomba para el sistema de lavado se necesita aplicar la mecánica de fluidos, en la Figura 27 se muestra el funcionamiento del sistema, el cual cumple con la función de enviar agua a través de una tubería mediante una bomba desde un reservorio de agua hacia la tolva de descarga del triturador:

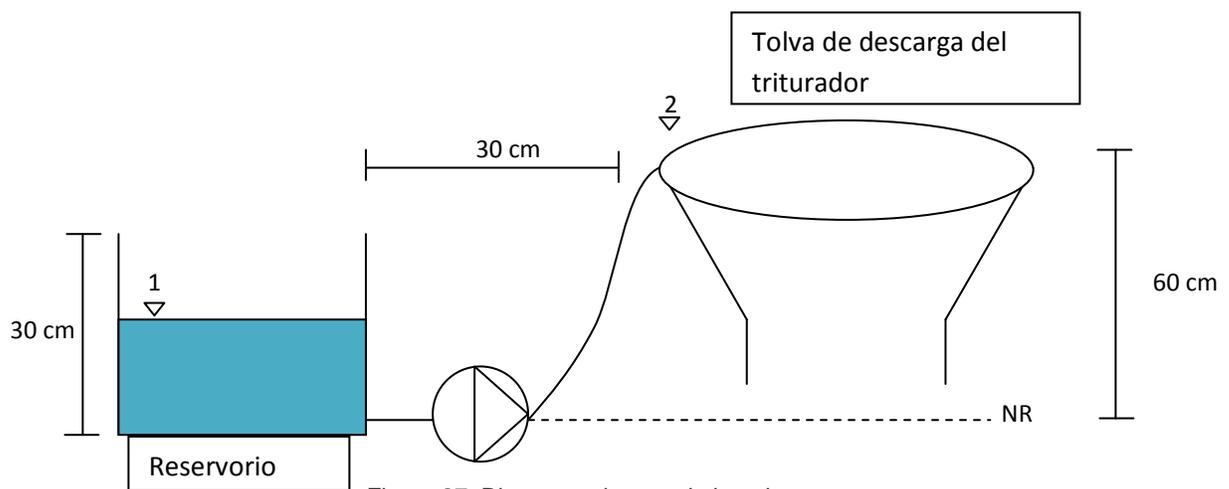


Figura 27. Diagrama sistema de lavado

Para la resolución de este sistema se parte de la ecuación de Bernoulli (10):

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_l = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

P_1 = Presión en el punto 1 (Pa)

γ = Peso específico del agua (N/m^3)

Z_1 = Altura del reservorio (m)

v_1 = Velocidad de descarga reservorio (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

h_a = Altura de bombeo (m)

h_l = Pérdidas (m)

P_2 = Presión en el punto 2 (Pa)

γ = Peso específico del agua (N/m^3)

Z_2 = Altura de salida(m)

v_2 = Velocidad de descarga sistema (m/s)

Considerando que P_1 y P_2 son iguales, se eliminan, y si el nivel de referencia se toma a la salida del reservorio entonces $v_1 = 0$.

Por lo que (10) queda de la siguiente forma:

$$Z_1 + h_a - h_l = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se necesita conocer la perdida por tubería de descarga por lo cual:

$$h_l = f_s \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

Donde:

h_l = Pérdida por tubería de descarga (m)

f_s = Factor de servicio

L = Longitud tubería (m)

v_2 = Velocidad descarga sistema (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

Para calcular la pérdida por tubería de descarga de debe conocer la velocidad de descarga en el sistema para lo cual:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

Donde:

v = Velocidad de descarga del sistema (m/s)

Q = Caudal de agua (m^3/s)

A = Área tubería (m^2)

El área de la tubería es la siguiente:

$$A = \frac{\pi * 0.010^2}{4}$$

$$A = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

El caudal necesario es de:

$$Q = \frac{8 \text{ l}}{h} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q = 2.22 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Entonces reemplazando en (12):

$$V = \frac{2.22 \times 10^{-6}}{7.85 \times 10^{-5}}$$

$$V = 0.028 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

También se debe averiguar el f_s (factor de servicio) para lo cual se requiere obtener el número de Reynolds mediante (13):

$$N_R = \frac{vD}{\nu} \quad (13)$$

Donde:

N_R = Número de Reynolds

v = Velocidad de descarga del sistema (m/s)

D = Diámetro de la tubería (m)

V = Viscosidad cinemática del agua (m^2/s) = $1.02 \times 10^{-6} m^2/s$

$$N_R = \frac{0.028 * 0.010}{1.02 \times 10^{-6}}$$

$$N_R = 277.39$$

Con este valor se revisa el diagrama de Moody el cual dice que si el $N_R \leq 20000$ entonces se considera flujo laminar para lo cual f_s equivale a:

$$f_s = \frac{64}{N_R}$$

$$f_s = 0.231$$

Reemplazando en (11) se obtiene:

$$h_l = 0.231 \left(\frac{0.90}{0.010} \right) \frac{0.028^2}{2 * 9.8}$$

$$h_l = 0.00084 m$$

Y en (10) para obtener h_a :

$$h_a = (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2}{2g} + h_l$$

$$h_a = (0.3) + \frac{0.028^2}{2 * 9.8} + 0.00084$$

$$h_a = 0.300 m$$

Con este valor se calcula la potencia de la bomba en (14):

$$P = h_a * \gamma * Q \quad (14)$$

Donde:

P = Potencia de la bomba (W)

h_a = Altura de bombeo (m)

γ = Peso específico del agua (N/m³) = 9800 N/m³

Q = Caudal (m³/s)

Reemplazando este valor en (14):

$$P = 0.300 * 9800 * 2.22 \times 10^{-6}$$

$$P = 0.006546 \text{ W}$$

3.3.1 SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA EL LAVADO

La bomba seleccionada para este trabajo es de la marca SHURflo (ver Anexo B) la cual es descrita a continuación (Tabla 6 y Figura 28):



Especificaciones Técnicas

Diseño de Bomba	Desplazamiento positivo bomba de diagrama de 3 cámaras
Comprobación de válvula	Funcionamiento en un sentido, previene del fluido inverso
CAM	3,5 grados
Motor	Imán permanente P/N 11-148-01 protección térmica
Voltaje	12 VDC nominal
Interruptor de Presión	Apagado ajustable en rango de 2.07 a 3.45 kg/m ²
Temperatura del líquido	Configurado @2.76 kg/m ² Encendido 1,72 kg/m ² +/- 0.34
Aspiración	77° C (170° F) máximo
Puertos	Auto Aspiración por encima de 3 metros (10 pies) en vertical, máximo. Presión de entrada 2.07 kg/m ² (2.1 Bar 30 PSI)
Material de construcción	1/2" - 14 cable macho paralelo
Peso Neto	Plástico: polipropileno
Ciclo de trabajo	Válvulas: Epm
Aplicaciones típicas	Diaphragma: Santoprene principalmente, Buna (el interruptor)
Aprobaciones	Cierres: acero recubierto de zinc
	1.59 kg (3.5 libras)
	Intermitente (ver el cuadro de incremento de temperatura)
	Agua Potable
	I.A.P.M.O protegido

Figura 28. Especificaciones técnicas bomba SHURflo

Tabla 6. Especificaciones técnicas bomba SHURflo

Especificaciones Eléctricas

Presión (kg/cm ² – PSI)	(L/Min – G/Min)	RPM (min/max)	Corriente (amperios)	Voltaje (voltio)
Abierto	10.2/2.70	1850/1855	3.5	12 VDC
0.69/10	9.3/2.46	1790/1800	4.4	12 VDC
1.38/20	8.2/2.17	1660/1675	5.5	12 VDC
2.07/30	6.9/1.83	1570/1585	6.4	12 VDC
2.76/40	5.8/1.54	1425/1140	7.1	12 VDC

Fuente: Catálogo SHURflo Bomba de agua a presión

3.4 SISTEMA DE TRANSPORTE DE PET TRITURADO Y LAVADO

El sistema de transporte consta de una banda transportadora capaz de llevar el PET triturado y lavado a través del sistema de secado para luego depositar el PET triturado, lavado y secado en un depósito de salida de material.

Para el cálculo del motor de la banda primero se realiza un diagrama del sistema masa-banda (Figura 29):

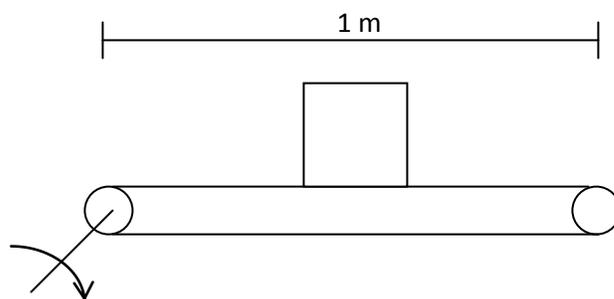


Figura 29. Sistema banda transportadora

A partir de (15):

$$P = F * v \quad (15)$$

Donde:

P = Potencia (W)

F = Fuerza (N)

v = Velocidad (m/s)

Para obtener la velocidad requerida se analiza la Figura 30:

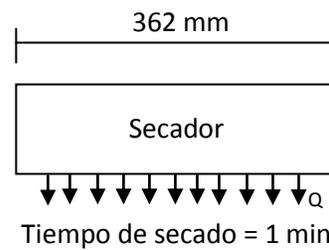


Figura 30. Diagrama de fuerzas de sistema de secado

$$v = \frac{0.362}{60}$$

$$v = 0.0060 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Luego se procede a realizar un diagrama de cuerpo libre (DCL) de la carga (Figura 31):

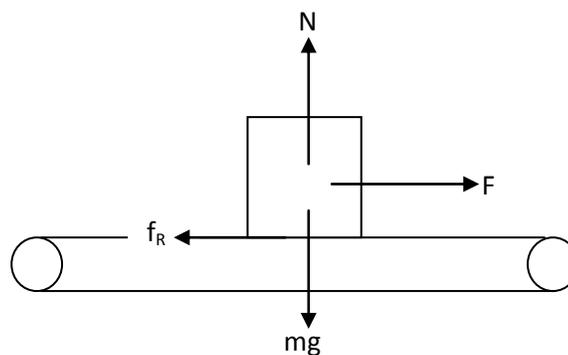


Figura 31. DCL de la carga

Se considera que tiene velocidad constante por lo cual:

$$\sum F_x = 0$$

$$F = f_R = \mu N = \mu mg$$

$$F = 0.57 * 8 * 9.8$$

$$F = 45.26 \text{ N}$$

Reemplazando estos valores en (15) se obtiene:

$$P = 45.26 * 0.0060$$

$$P = 0.2715 \text{ W}$$

También se necesita obtener el valor del torque necesario por lo que:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (16)$$

Donde:

T = Torque del motor (Nm)

P = Fuerza (W)

ω = velocidad angular (rad/s)

Para lo cual se debe obtener la velocidad angular mediante (17):

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (17)$$

Donde:

ω = velocidad angular (rad/s)

v = velocidad lineal (m/s)

r = radio del rodillo (m)

$$\omega = \frac{0.0060}{0.032}$$

$$\omega = 0.18 \frac{rad}{s}$$

Reemplazando estos valores en (16):

$$T = \frac{0.2717}{0.18}$$

$$T = 1.4 Nm$$

3.4.2 SELECCIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

La banda transportadora seleccionada será de marca CONVEYOR TECHNOLOGIES LTDA cuyas características serán descritas en la Figura 32.



Low Profile End Drive Conveyor Type A Series "S" Represents the foundation of Conveyor Technologies' line, and provides outstanding performance.

Low Profile End Drive Conveyor Type A Series "T" Provides increased flexibility for attaching accessories with the same outstanding performance of the Series "S".

Order Width	Belt Width Inches	(mm)
02	2.5"	(63)
03	3.25"	(83)
04	4.5"	(114)
06	6.0"	(152)
07	7.5"	(190)
10	10"	(250)
12	12.0"	(305)
18	18.0	(457)
24	24.0"	(610)

Nominal Conveyor Length	
Feet	(mm)
2'	(610)
3'	(914)
4'	(1219)
5'	(1524)
6'	(1829)
10'	(3048)
Optional lengths available - contact factory	

Figura 32. Selección banda transportadora

Fuente: <http://www.tracepartsonline.net/>.

3.4.2 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA LA BANDA TRANSPORTADORA

El motor a utilizarse será un motor DC de la casa BOSCH el cual se describe a continuación en la Figura 33:

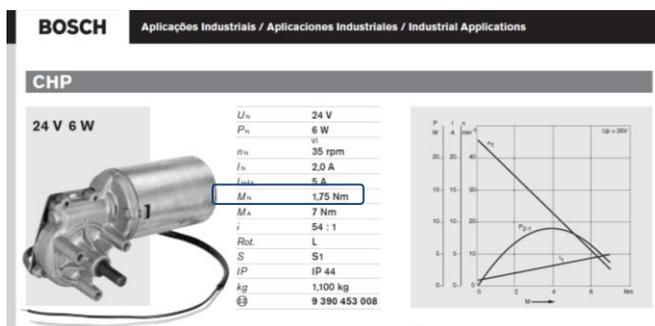


Figura 33. Selección motor banda transportadora
Fuente: Catálogo motores Bosch

3.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La estructura se la realizará en tubería cuadrada de acero A-569 (ver Anexo C) como se indica en la Figura 34 y se calculará la resistencia en una columna y en una viga para demostrar su resistencia:

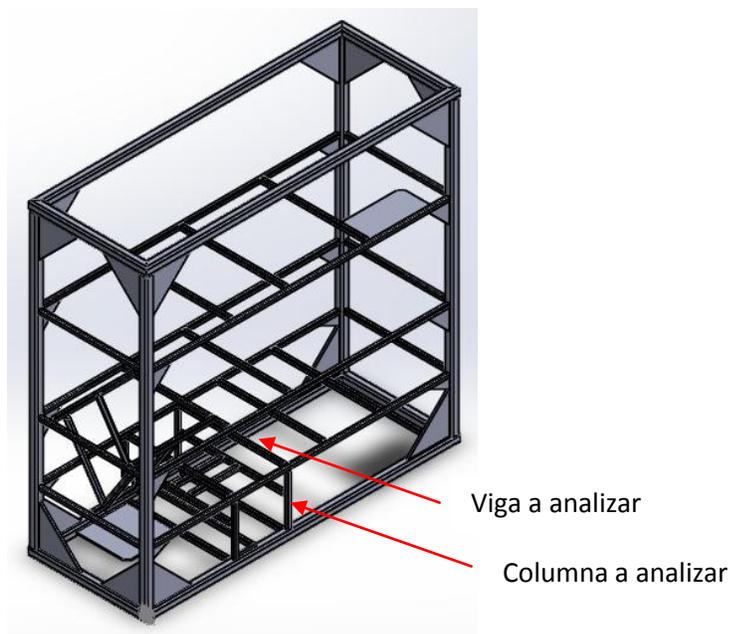


Figura 34. Estructura del sistema mecatrónico de reciclaje de botellas de plástico PET

3.5.1 CÁLCULO EN UNA COLUMNA

En este caso se calcula la columna que hace de soporte al sistema de triturado. La carga soportada entre las cuatro columnas es de aproximadamente de 90.91 kg el cual es el peso aproximado del conjunto compuesto por el prisma del triturador, las cuchillas, el tamiz y la tolva de alimentación , por tanto se necesita aplicar para el cálculo una fuerza de 22.72 kg (220 N) como se muestra en la Figura 35.

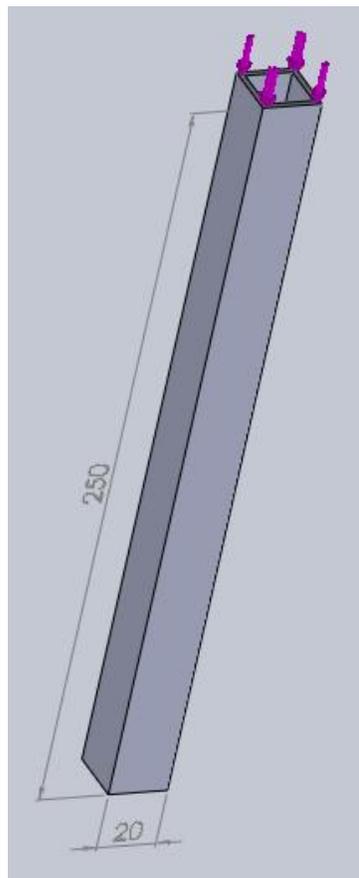


Figura 35. Columna principal de la estructura

Fuente: Software SolidWorks®

Con ayuda del programa SolidWorks® se puede observar en la Figura 36 las propiedades de sección de la columna

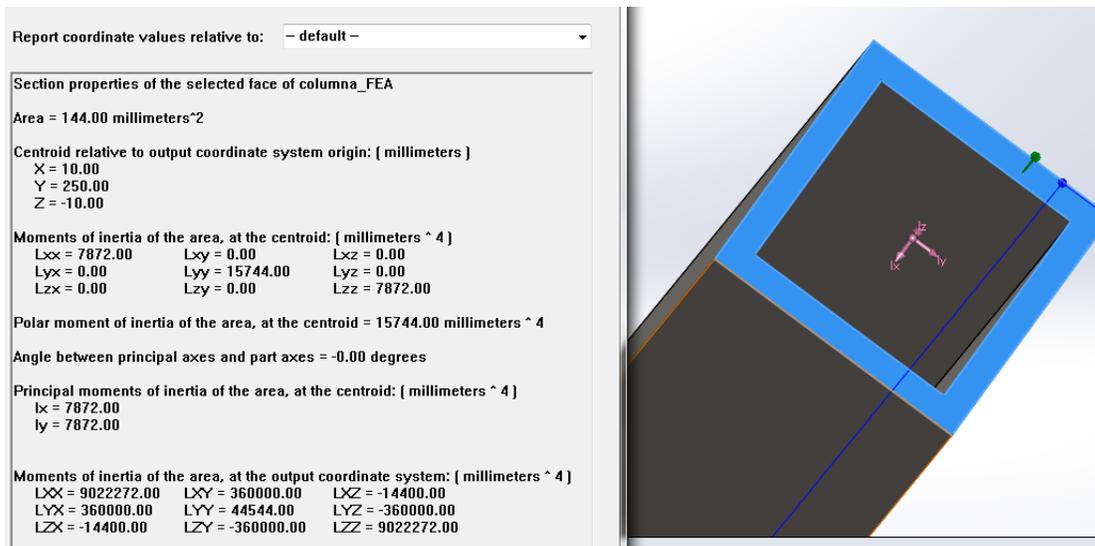


Figura 36. Propiedades Columna

Fuente: Software SolidWorks®

Para el cálculo de la comuna se procede a trabajar en el área crítica, la cual es la que tiene los agujeros. La inercia respecto del eje de aplicación de la carga es: $I=7872 \text{ mm}^4$, y su área $A=144 \text{ mm}^2$.

Así mismo el radio de giro r se obtiene a partir de (18):

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (18)$$

Donde:

I = Inercia respecto del eje de aplicación de la carga (mm^4)

A = Área de la sección transversal.

Remplazando,

$$r = \sqrt{\frac{7872 \text{ mm}^4}{144 \text{ mm}^2}} = 7.4 \text{ mm}$$

Para esta columna se tiene que la longitud es 250 mm, y se considera que esta empotrada en sus extremos, pues en la parte superior y por abajo se está soldada.

La relación de esbeltez es:

L/r , donde L es la longitud de la columna y r el radio de giro.

Para este caso:

$$\frac{L}{r} = \frac{250 \text{ mm}}{7.4 \text{ mm}} = 33$$

La relación muestra que se trata de una columna corta y que se procederá al cálculo usando la teoría de compresión simple.

$$P_{cr} = 220 \text{ N}$$

Ahora el esfuerzo crítico, se calcula utilizando (19):

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad (19)$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica (N)

A = Área de la sección transversal (mm^2)

Reemplazando,

$$\sigma_{cr} = \frac{220 \text{ N}}{144 \text{ mm}^2} = 1.52 \text{ MPa}$$

A continuación se realiza cálculo de la columna usando el método de rigidez planteado por la AISC (American Institute of Steel Construction).

La norma AISC es empleada para el cálculo de estructuras de acero. En general, el esfuerzo crítico, F_{cr} de pandeo local se puede expresar como (20):

$$F_{cr} = f\left(\frac{b}{t}, F_y\right) \quad (20)$$

Donde:

b/t = relación ancho/grueso de los elementos planos que forman la sección transversal del miembro.

F_y = esfuerzo de fluencia del acero.

Consecuentemente, la relación b/t deberá limitarse a valores menores que las estipuladas en las especificaciones AISC-MAISC, 13va Ed.

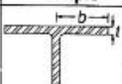
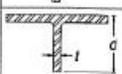
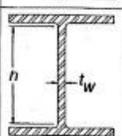
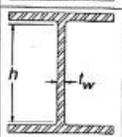
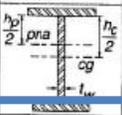
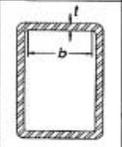
Limiting Width-Thickness Ratios for Compression Elements					
Case	Description of Element	Width Thickness Ratio	Limiting Width-Thickness Ratios		Example
			λ_p (compact)	λ_r (noncompact)	
7	Flexure in flanges of tees	b/t	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$	
8	Uniform compression in stems of tees	d/t	NA	$0.75\sqrt{E/F_y}$	
9	Flexure in webs of doubly symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
10	Uniform compression in webs of doubly symmetric I-shaped sections	h/t_w	NA	$1.49\sqrt{E/F_y}$	
11	Flexure in webs of singly-symmetric I-shaped sections	h_c/t_w	$\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2 \leq \lambda_r$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
12	Uniform compression in flanges of rectangular box and hollow structural sections of uniform thickness subject to bending or compression; flange cover plates and diaphragm plates between lines of	b/t	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$	

Figura 37. Límite ancho-espesor para elementos a compresión
Fuente: AISC-MAISC, 13va Ed.

Como se indica en la Figura 37, y considerando una columna compacta se utiliza (21):

$$\frac{b}{t} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (21)$$

El tubo cuadrado empleado es el ASTM A 569 según el catálogo del fabricante IPAC.

El módulo de Young para el acero especificado $E=210000 \text{ N/mm}^2$, $F_y = 340 \text{ N/mm}^2$, y para la tubería $b=20\text{mm}$, $t=4 \text{ mm}$. Reemplazando en (21):

$$\frac{20}{4} \leq 1.12 \sqrt{\frac{210000}{340}}$$

$$5 \leq 27.83$$

Por tanto la selección del perfil para la columna se justifica satisfactoriamente.

3.5.2 CÁLCULO EN UNA VIGA[23]

El cálculo de una viga para demostrar su resistencia estructural se selecciona al igual que se realizó en la columna, una viga que soporte la carga del sistema de triturado mostrado en la Figura 38.

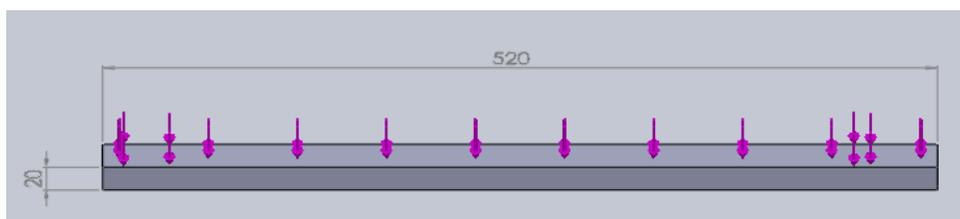


Figura 38. Viga principal de la estructura

Las propiedades de sección se obtiene mediante la utilización del software SolidWorks® las cuales se indican a continuación en la Figura 39,

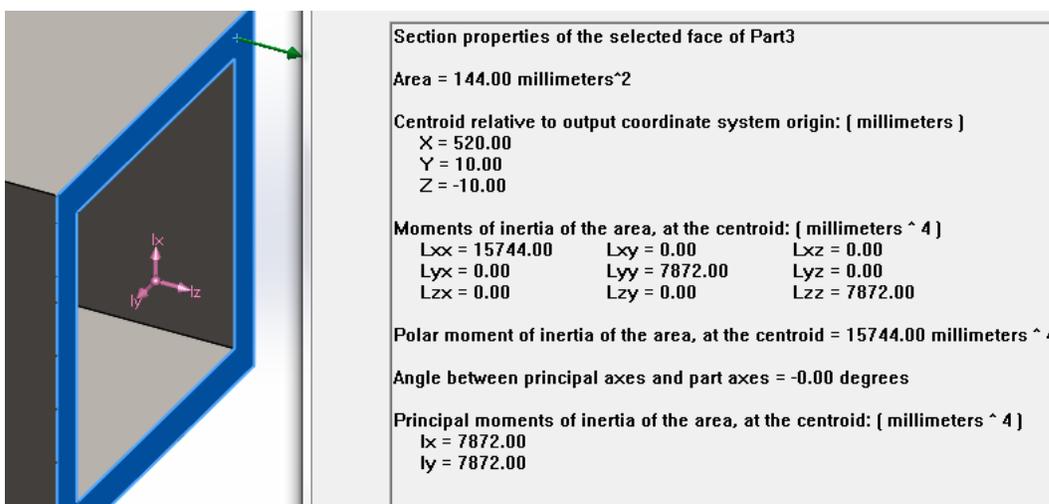


Figura 39. Propiedades Viga

Fuente: Software SolidWorks®

La sección transversal tiene un área de $A=144 \text{ mm}^2$ y su inercia respecto del eje y es $I=7872 \text{ mm}^4$.

Tabla 7. Especificaciones vigas de eje recto hiperestáticas

VIGAS DE EJE RECTO HIPERESTÁTICAS

Tabla de M_{\max} , R y f_{adm}

Tipo de viga y carga actuante	Reacciones de vínculo	Momento flector en x_0 y en empotramientos	Flexión en abscisa x_1
	$R_A = R_B = \frac{ql}{2}$	$M_{\max} = \frac{ql^2}{24}$ $x_0 = 0,5 l$ $M_A = M_B = -\frac{ql^2}{12}$	$f_{\max} = \frac{ql^4}{384 EJ}$ $x_1 = 0,5 l$

Fuente: Singer, F., & Pytel, A. (1999). Resistencia de materiales: Introducción a la mecánica de sólidos. 39.

Debido a que la viga está soldada en sus extremos, se considera como un sistema hiperestático de una viga doblemente empotrada (Tabla 7). La longitud de la viga L es 520 mm y la carga distribuida es 22.72 kg (220 N) por los 520 mm, esto es 0.42 N/mm por considerarse que la carga total está distribuida en 4 partes.

Para calcular la flexión causada por la carga, sin considerar el peso propio del perfil, es según la tabla 7:

$$f = \frac{q \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (22)$$

Donde:

f = flexión (mm)

q = Carga (N)

L = Longitud del perfil (mm)

I = Momento de inercia (mm⁴)

E = Módulo de Elasticidad (N/mm²) = 2x10⁵ N/mm²

Reemplazando,

$$f = \frac{0.43 \times 520^4}{384 \times (2 \times 10^5) \times 7872} = 0.0000036 \text{ mm}$$

Ahora se calcula f_{adm} mediante (23):

$$f_{adm} = \frac{L}{2000} \quad (23)$$

Donde:

f_{adm} = Flexión admisible (mm)

L = longitud viga (mm)

$$f_{adm} = \frac{520}{2000} = 0.26mm$$

Si se compara f con f_{adm} se tiene un diseño rígido.

3.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SECADO

Para la selección del sistema de secado se utilizó un método experimental el cual consiste en:

1. Lavar y pesar PET triturado.
2. Aplicar calor proveniente de un calentador.
3. Medir el tiempo de secado de PET

Al medir el tiempo de secado de 0.5 kg de PET el cual fue de 1 minuto aproximadamente, se determinó que el calentador satisface las necesidades por lo tanto se escogerá un sistema de secado de 150 W, los resultados de la prueba son mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Pruebas de secado

Nro Prueba	Tiempo de secado(segundos)
1	62
2	60
3	64
4	59
5	57
6	60
7	61
8	56
Promedio=	59.875

Se utilizó un calentador comercial de 150 W, por lo tanto la selección se la realizará mediante la Tabla 30.

Tabla 9. Selección del calefactor

Air Heaters

Finned Heaters

375 Finned Strip Heaters

Heater Part Numbers

Width in. (mm)	Termination	Length in. (mm)	Volts	Power (Watts)	W/in ² (W/cm ²)	Approx. Net Wt. lbs (kg)	Delivery	Part Number
1 1/2 (38)	Parallel	5 1/2 (140)	120	125	14 (2.1)	0.5 (0.23)	RS	SGA1J5JY2
	Parallel	5 1/2 (140)	120	250	28 (4.3)	0.5 (0.23)	RS	SGA1J5JY3
	Parallel	6 (152)	120	150	14 (2.1)	0.5 (0.23)	RS	SGA1J6AY1
	Parallel	6 (152)	240	150	14 (2.1)	0.5 (0.23)	RS	SGA1J6AY2
	Parallel	6 (152)	120	300	28 (4.3)	0.5 (0.23)	RS	SGA1J6AY3
	Parallel	6 (152)	240	300	28 (4.3)	0.5 (0.23)	RS	SGA1J6AY4
	Offset	7 1/2 (191)	120	150	12 (1.8)	0.7 (0.32)	M	SGA1J7JW1
	Offset	7 1/2 (191)	240	150	12 (1.8)	0.7 (0.32)	M	SGA1J7JW2
	Offset	7 1/2 (191)	240	200	15 (2.3)	0.7 (0.32)	M	SGA1J7JW3
	Offset	8 (203)	120	150	10 (1.5)	0.7 (0.32)	RS	SGA1J8AW2
	Offset	8 (203)	240	150	10 (1.5)	0.7 (0.32)	RS	SGA1J8AW3
	Offset	8 (203)	120	175	12 (1.8)	0.7 (0.32)	RS	SGA1J8AW4
	Offset	8 (203)	240	175	12 (1.8)	0.7 (0.32)	M	SGA1J8AW5
	Offset	8 (203)	120	250	17 (2.6)	0.7 (0.32)	RS	SGA1J8AW6

Fuente: Catálogo calefactores WATLOW

3.7 SELECCIÓN DEL SENSOR ÓPTICO

En los sensores ópticos las fotocélulas son los elementos encargados de la detección, principalmente son compuestos por un emisor de luz y una fotocélula de detección, "la detección es efectiva cuando el objeto penetra en el haz de luz y modifica suficientemente la cantidad de luz que llega al receptor para provocar el cambio de estado de la salida." [24] Tienen algunas ventajas respecto a otros tipos de sensores como son:

- Elevada inmunidad a perturbaciones electromecánicas externas.

- Distancias grandes de detección respecto a los sensores inductivos o capacitivos.
- Alta velocidad de respuesta.[25]

El sensor a utilizar será un sensor óptico difuso, ya que las botellas no siempre tienen la misma forma y pueden reflejar la luz de diferente manera, las características de tres sensores comerciales son presentadas en la Tabla 10:

Tabla 10. Análisis comparativo sensores ópticos

	Omron E3Z-B (Figura 40)	Optex KR-Q50 (Figura 41)	Allen-Bradley 9000 ClearSight (Figura 42)
MATERIAL DETECCIÓN	PLÁSTICO	PLÁSTICO/VIDRIO	MATERIALES TRANSPARENTES
DISTANCIA DE CENSADO	0.50 m	0.40 m	1.2 m
PROTECCIÓN	IP67	IP67	IP67
VOLTAJE	12-24 VDC	10-30 VDC	10-40 VDC
FUENTE DE LUZ	LED ROJO	LED ROJO	LED ROJO



Figura 40. Sensor Fotoeléctrico OMRON (ver Anexo D)
Fuente: http://www.omron-ap.co.in/product_info/E3Z-B/index.asp.



Figura 41. Sensor Fotoeléctrico OTEX (ver Anexo E)
Fuente: <http://www.optex-fa.com/product/kseries/index.html>.



Figura 42. Sensor Fotoeléctrico Allen-Bradley
Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/>.

3.8 DISEÑO DEL TAMIZ

El tamiz será realizado en material aluminio y tendrá perforaciones de 5mm de diámetro para que el material que pase por el tamiz tenga un área máxima de 5mm este valor se escogió como parámetro de diseño inicial como se muestra en la Figura 43.

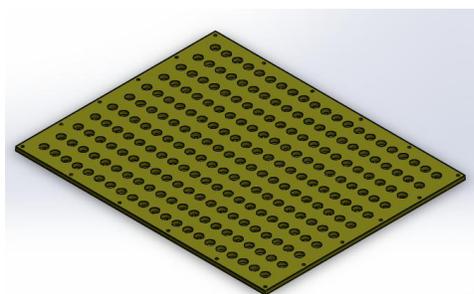


Figura 43. Diseño Tamiz

3.9 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA COMPLETO

El circuito del sistema consta de dos componentes: el circuito de potencia (Figura 44) y el circuito de control (Figura 45) los cuales logran el correcto funcionamiento de todas las funciones de la máquina de reciclaje de PET.

a) Circuito de Potencia

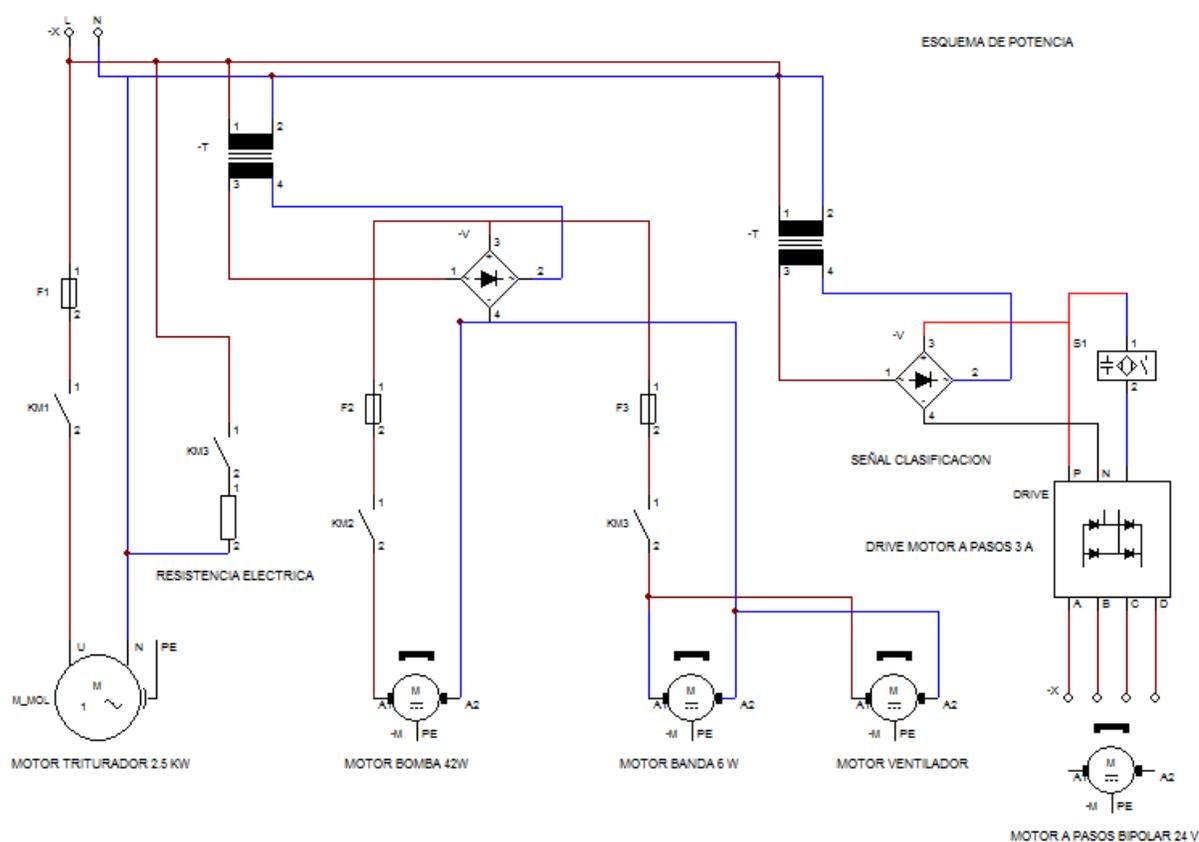


Figura 44. Diseño sistema eléctrico de potencia

b) Circuito de control

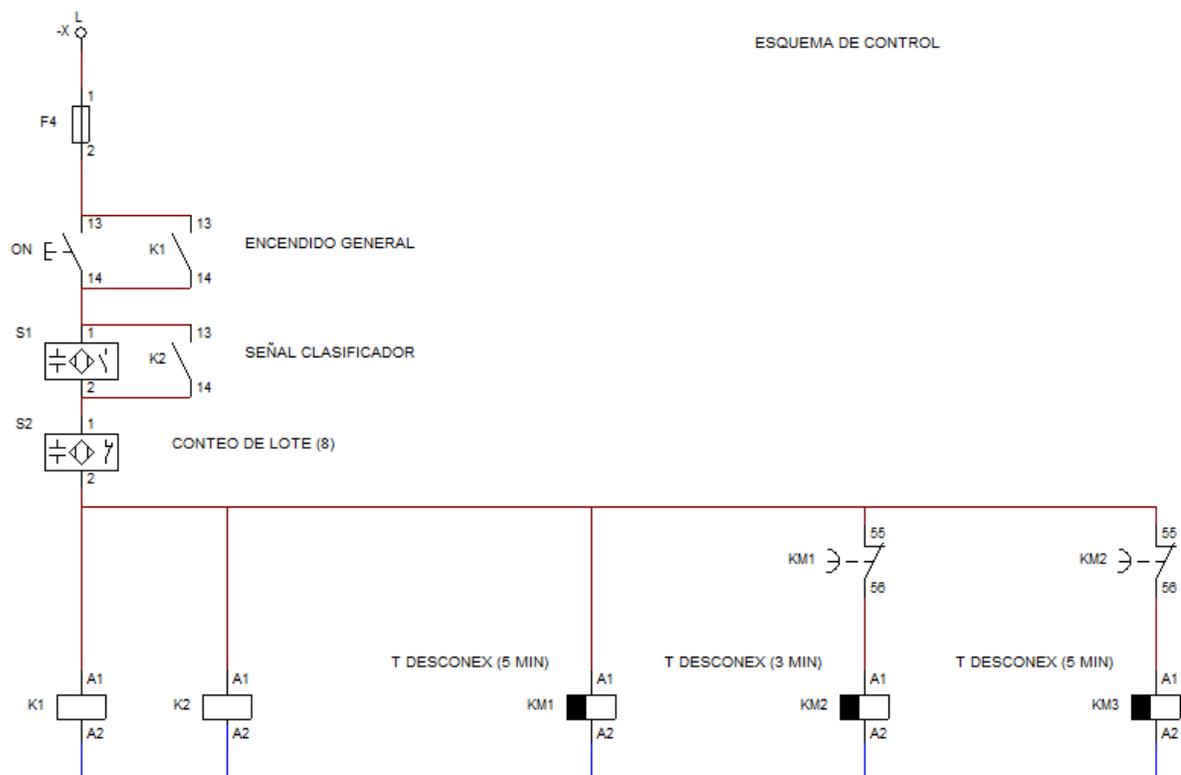


Figura 45. Diseño sistema eléctrico de control

3.10 DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

En la Figura 46 se puede observar el diagrama de flujo que describe el proceso completo el cual debe realizar el sistema para un correcto funcionamiento y para cumplir con el objetivo de reciclar PET.

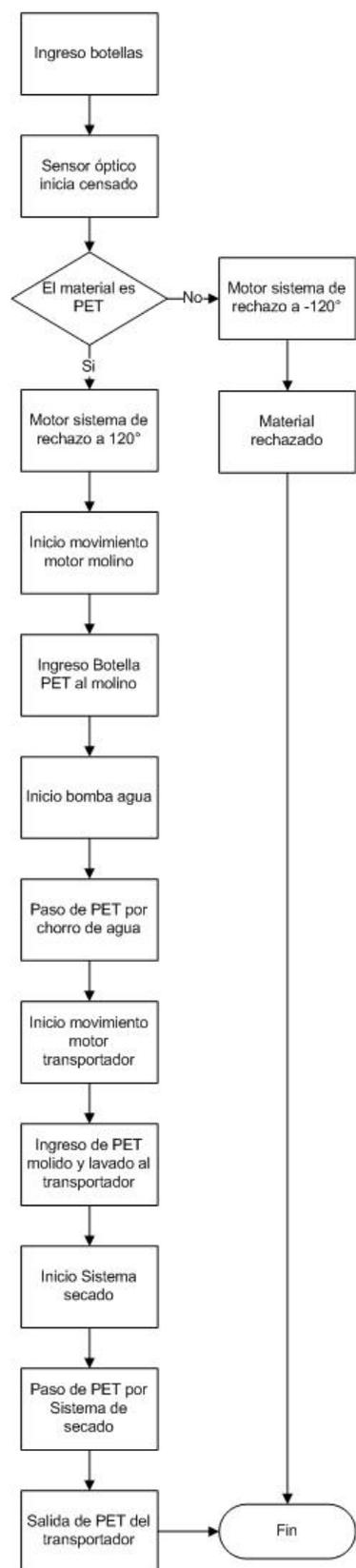


Figura 46. Diagrama de flujo del sistema

3.11 DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema mecatrónico de reciclaje de botellas plásticas PET de hasta 500 ml fue diseñado mediante la utilización del software SolidWorks® 2013 como se puede apreciar en las Figuras 47 y 48.

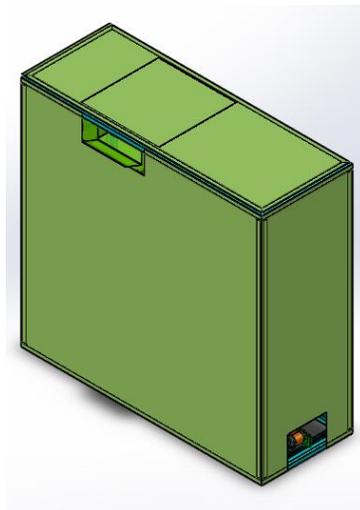


Figura 47. Diseño completo máquina

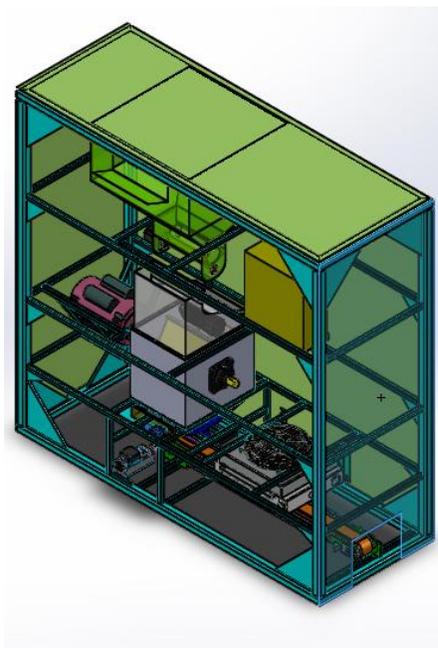


Figura 48. Diseño interno máquina

El sistema de rechazo fue diseñado como se muestra en las Figuras 49 y 50

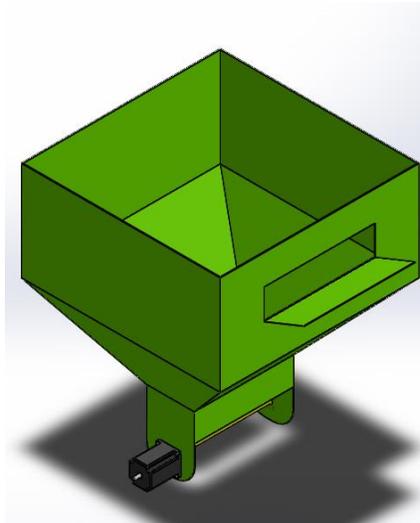


Figura 49. Diseño sistema de rechazo.

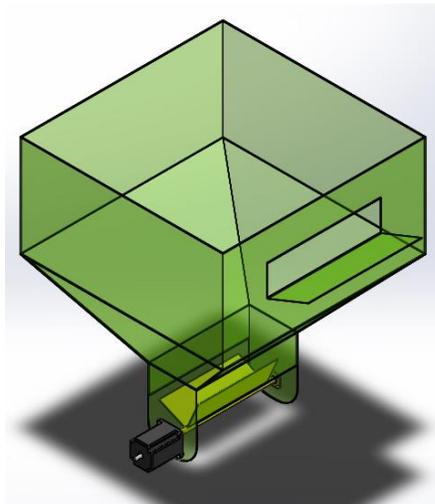


Figura 50. Diseño interno sistema de rechazo

La paleta que permite la selección se muestra en la Figura 51, la cual se va a realizar un análisis mediante el software SolidWorks® para comprobar su resistencia.

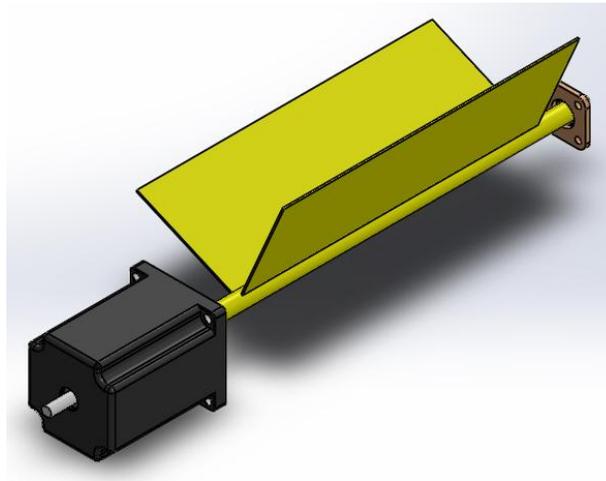


Figura 51. Paleta de selección

ANÁLISIS SOLIDWORKS®

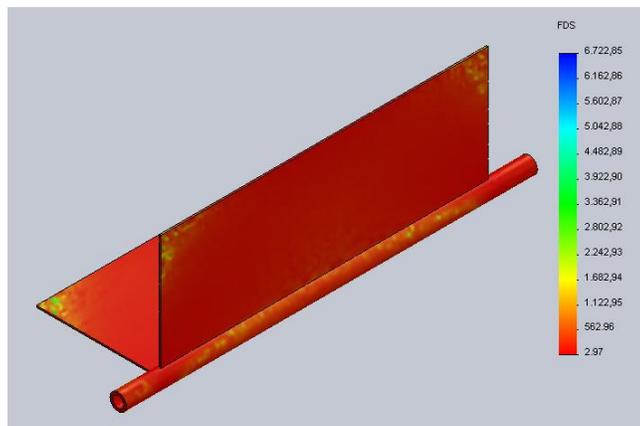


Figura 52. Análisis del factor de seguridad para la paleta de selección

Como se puede observar en la Figura 52 se obtiene un factor de seguridad de 2.97 a 400 N (40.82 kgf) por lo cual no se debe sobrepasar este valor ya que se podría dañar permanentemente a la pieza. La fuerza aproximada que va a soportar la pieza diseñada para el presente proyecto será de 10 N por lo cual se comprueba la resistencia de la pieza.

La chumacera observada en la Figura 51 será de la marca SKF con designación UCF202 y sus características se detallan a continuación (Tabla 11):

Tabla 11. Propiedades chumaceras SKF

Part Number	Shaft Diameter (d)		Dimensions (in) or (mm)									Bolt Used		Weight Lbs.
	(in.)	(mm)	a	e	i	g	l	s	z	Bl	n	(in.)	(mm)	
UCF 202		15	86	64	15	11	25	12	33.3	31	12.7		M10	
UCF 204		20												
UCF 201-08	1/2											3/8		1.32
UCF 202-09	9/16													
UCF 202-10	5/8													
UCF 203-11	11/16		3 3/8	2 1/2	19/32	7/16	1	15/32	1 5/16	1.2205	0.5000			
UCF 204-12	3/4													
UCF 205		25	95	70	16	13	27	12	35.8	34.1	14.3		M10	
UCF 205-13	13/16											3/8		1.90
UCF 205-14	7/8													
UCF 205-15	15/16		3 3/4	2 3/4	5/8	1/2	1 1/16	15/32	1 13/32	1.3425	0.5630			
UCF 205-16	1													
UCF 206		30	108	83	18	13	31	12	40.2	38.1	15.9		M10	
UCF 206-17	1 1/16											3/8		3.52
UCF 206-18	1 1/8													
UCF 206-19	1 3/16		4 1/4	3 1/4	45/64	1/2	1 7/32	15/32	1 19/32	1.5000	0.6260			
UCF 206-20	1 1/4													
UCF 207		35	117	92	19	15	34	14	44.4	42.9	17.5		M12	
UCF 207-20	1 1/4											7/16		3.52
UCF 207-21	1 5/16													
UCF 207-22	1 3/8		4 19/32	3 5/8	3/4	19/32	1 11/32	35/64	1 3/4	1.6890	0.6890			
UCF 207-23	1 7/16													
UCF 208		40	130	102	21	15	36	16	51.2	49.2	19		M14	
UCF 208-24	1 1/2		5 1/8	4 1/64	13/16	19/32	1 13/32	5/8	2 1/64	1.9370	0.7480	1/2		4.18
UCF 208-25	1 9/16													
UCF 209		45	137	105	22	16	38	16	52.2	49.2	19		M14	
UCF 209-26	1 5/8											1/2		5.28
UCF 209-27	1 11/16		5 13/32	4 1/8	55/64	5/8	1 1/2	5/8	2 1/16	1.9370	0.7480			
UCF 209-28	1 3/4													
UCF 210		50	143	111	22	16	40	16	54.6	51.6	19		M14	
UCF 210-29	1 13/16											1/2		5.72
UCF 210-30	1 7/8													
UCF 210-31	1 15/16		5 5/8	4 3/8	55/64	5/8	1 9/16	5/8	2 5/32	2.0315	0.7480			
UCF 210-32	2													
UCF 211		55	162	130	25	18	43	19	58.4	55.6	22.2		M16	
UCF 211-32	2											5/8		7.70
UCF 211-33	2 1/16		6 3/8	5 1/8	63/64	23/32	1 11/16	3/4	2 5/16	2.1890	0.8740			
UCF 211-34	2 1/8													
UCF 211-35	2 3/16													

Fuente: Catalogo SKF, UCF Series

El sistema de triturado se diseñó como se muestra en las Figuras 53 y 54.

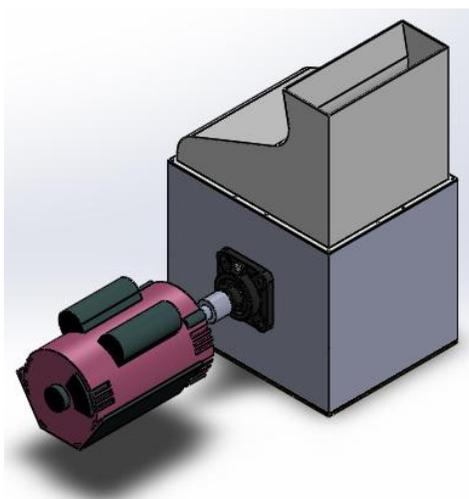


Figura 53. Diseño sistema de reducción de tamaño

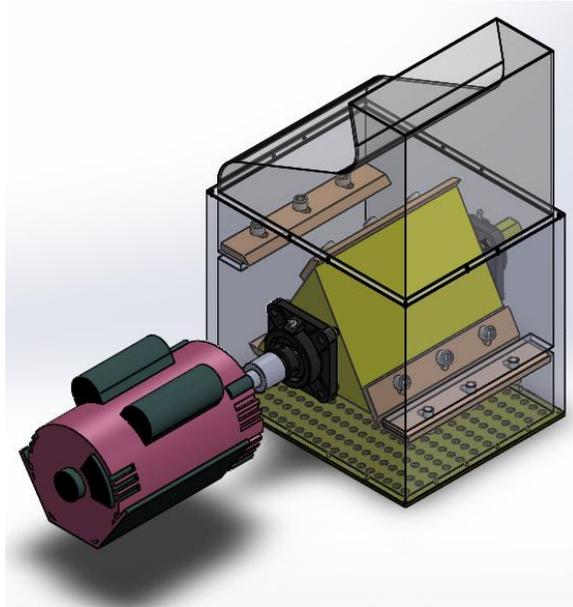


Figura 54. Diseño interno sistema de reducción de tamaño

Se realizará un análisis de las cuchillas y del prisma para comprobar su resistencia.

ANÁLISIS SOLIDWORKS®

La cuchilla a analizar (Figura 55) será construida en acero AISI 1020.

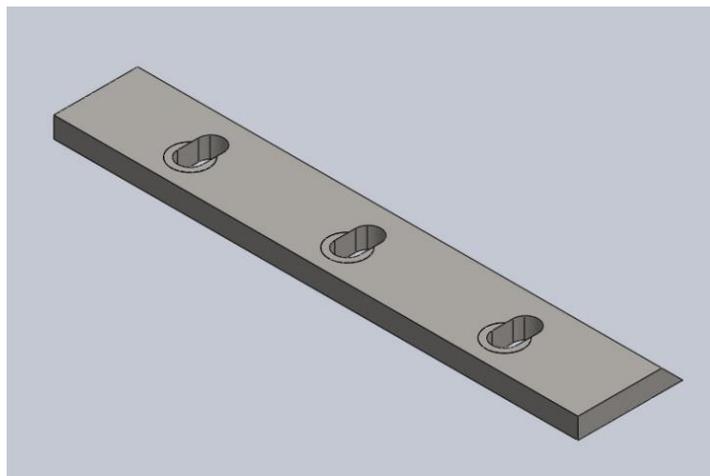


Figura 55. Cuchilla de corte

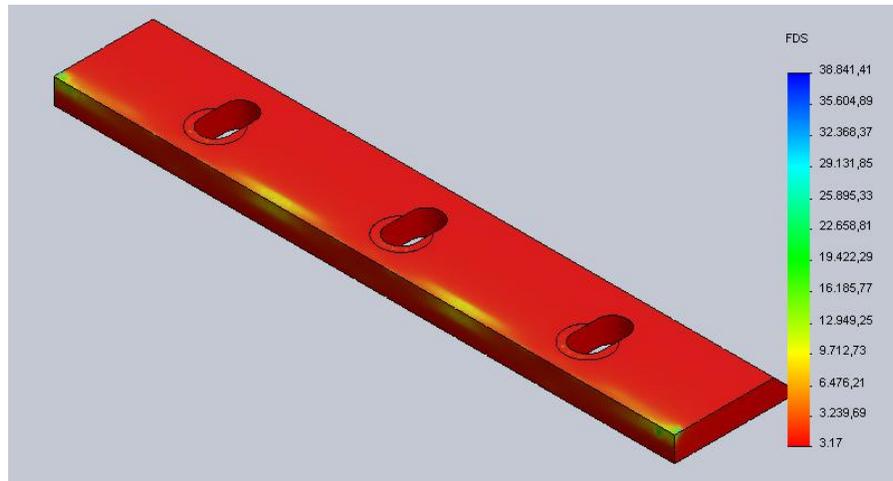


Figura 56. Análisis del factor de seguridad para la cuchilla de corte

Como se puede observar en la Figura 56 se obtiene un factor de seguridad de 3.17 a 5500 N (561.22 kgf) por lo cual no se debe sobrepasar este valor ya que se podría dañar permanentemente a la pieza. La fuerza aproximada que va a soportar la pieza diseñada para el presente proyecto será de 120 N por lo cual se comprueba la resistencia de la pieza.

El prisma a analizar (Figura 57) será construida en acero AISI 1020.

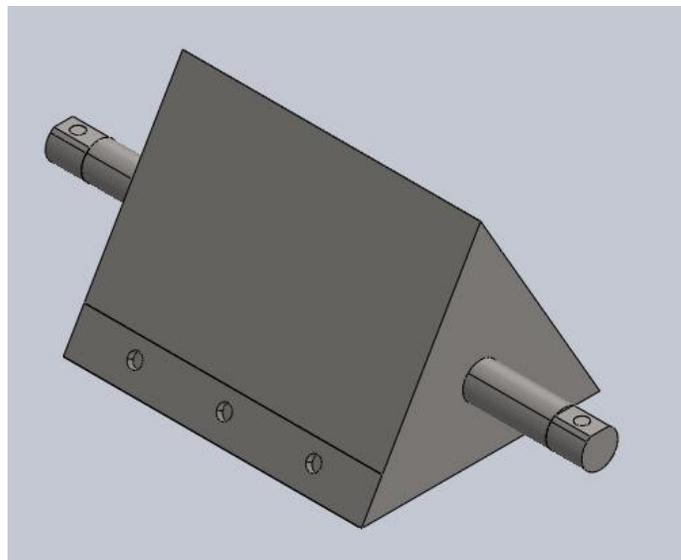


Figura 57. Prisma de corte

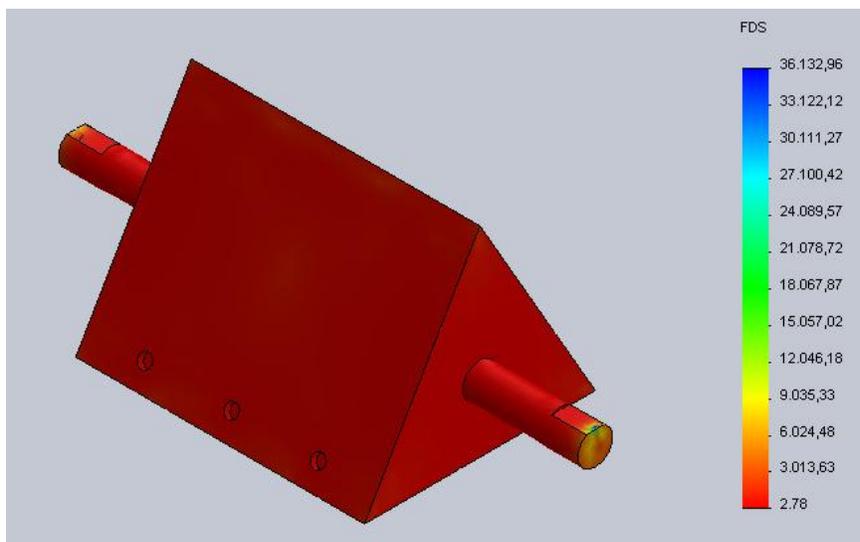


Figura 58. Análisis del factor de seguridad para el prisma de corte

Como se puede observar en la Figura 58 se obtiene un factor de seguridad de 2.78 a 700 N (71.43 kgf) por lo cual no se debe sobrepasar este valor ya que se podría dañar permanentemente a la pieza. La fuerza aproximada que va a soportar la pieza diseñada para el presente proyecto será de 120 N por lo cual se comprueba la resistencia de la pieza.

El acople utilizado para unir el motor con el eje del rodillo será de la marca Renold GF11NTS (Figura 59), sus características se detallan a continuación (Tabla 12):

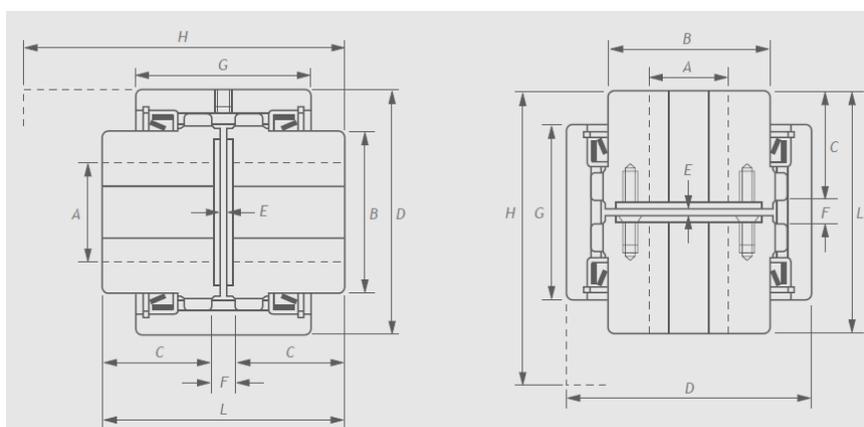


Figura 59. Acople Renold serie NTS
Fuente: Catálogo Renold

Tabla 12. Propiedades de acoples Renold serie NTS

Tamaño de acoplamiento	Potencia /100rpm kW	Par nominal Nm	Velocidad máx.** rpm	Interior A		Dimensiones										Desplaz. máx. mm	Oscilación final mm
				Máx.* mm	Min. mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	H mm	L mm	Masa kg			
GF10NTS #	7	668	10000	24	10	36	43	67	3	9	70	126	95	1,8	0,18	1,5	
GF11NTS #	10	955	10000	30	12	46	43	79	3	9	70	126	95	2,7	0,18	1,5	
GF12NTS #	16	1528	10000	40	12	58	44	92	3	9	73	130	97	3,6	0,18	1,5	
GF15NTS #	20	1910	10000	40	13	65	49	98	3	9	76	139	107	4,5	0,20	1,5	
GF20NTS #	37	3562	10000	55	18	82	56	121	3	11	92	162	123	7,7	0,20	1,5	
GF25NTS #	64	6112	10000	70	18	107	59	146	6	18	105	186	136	13	0,23	1,5	
GF30NTS #	100	9550	8500	80	30	127	67	171	6	18	114	204	152	20	0,33	3	
GF35NTS #	163	15570	7250	100	38	154	70	200	6	18	121	213	158	30	0,36	3	
GF40NTS #	233	22250	6400	115	60	178	86	229	6	18	140	248	190	42	0,38	3	
GF45NTS #	342	32660	5700	125	72	203	89	260	6	18	146	258	196	58	0,41	3	
GF50NTS #	428	40870	5200	145	85	225	99	283	6	18	152	273	216	74	0,43	3	
GF60NTS #	867	82800	4500	165	85	263	114	324	6	18	184	321	246	120	0,46	3	
GF65NTS #	1090	104223	4200	180	85	285	114	349	6	18	184	321	246	130	0,48	3	
GF70NTS #	1255	120000	3900	190	85	304	124	375	6	18	191	337	266	175	0,48	3	

Fuente: Catálogo Renold

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DEMOSTRATIVO

4.1 INTRODUCCIÓN

Para poder comprobar el correcto funcionamiento del método de reciclaje aplicado en el presente trabajo de titulación se construirá un prototipo a escala el cual será capaz de demostrar si la forma de reciclar el PET es satisfactoria para obtener PET triturado, lavado y secado, el prototipo permitirá simular las diferentes etapas como son el sistema de rechazo, triturado, lavado y el secado.

4.2 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

1. En primera instancia se realiza un modelo en el software SolidWorks® como se muestra en la Figura 60.

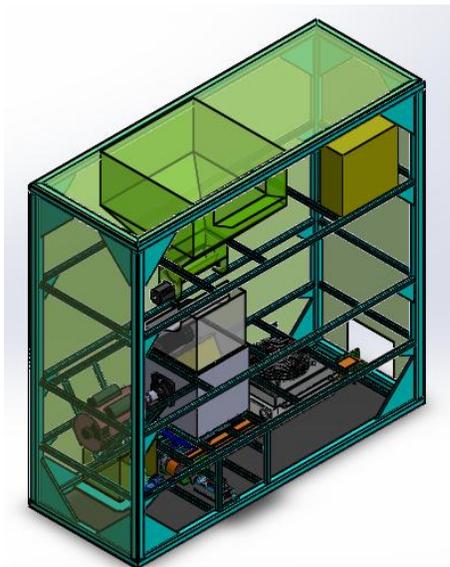


Figura 60. Esquema del sistema mecatrónico de reciclaje de botellas de plástico PET

2. Se empezó por construir la bancada por lo que se debió cortar los perfiles de acuerdo al diseño como se muestra en la Figura 61.



Figura 61. Cortes de los perfiles

3. Una vez cortado los perfiles se realizó la soldadura con electrodo de los perfiles de acuerdo con el diseño como se muestra en la Figura 62.



Figura 62. Soldadura de los perfiles

4. Luego de armar la bancada se realizó el eje donde van las cuchillas del triturador y se adaptó a las chumaceras como se muestra en la Figura 63



Figura 63. Construcción del eje del triturador

5. Después de realizar el eje se realizó las paredes del triturador y las perforaciones para ajustar las cuchillas (Figura 64).



Figura 64. Construcción paredes del triturador

6. Como se puede observar en la Figura 65 se realizó las cuchillas de corte en acero para posteriormente someterlas al proceso de templado y rectificado para poder obtener el filo deseado para triturar el plástico



Figura 65. Construcción de las cuchillas.

7. Una vez realizadas las cuchillas se procedió a adaptar el motor del triturador como se muestra en la Figura 66.



Figura 66. Adaptación del motor triturador

8. Finalmente se realizó el montaje de la banda transportadora, el ventilador, la bomba de agua para luego adaptar la parte electrónica (Figura 67).



Figura 67. Montaje banda transportadora, ventilador y bomba de agua

4.3 CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

El circuito controlador se realizará con el microcontrolador AVR incluido en el módulo Arduino® mega (Figura 68) el cual será el encargado de controlar todos los procesos para un correcto funcionamiento del prototipo (para especificaciones detalladas de Arduino® mega ver Anexo F)

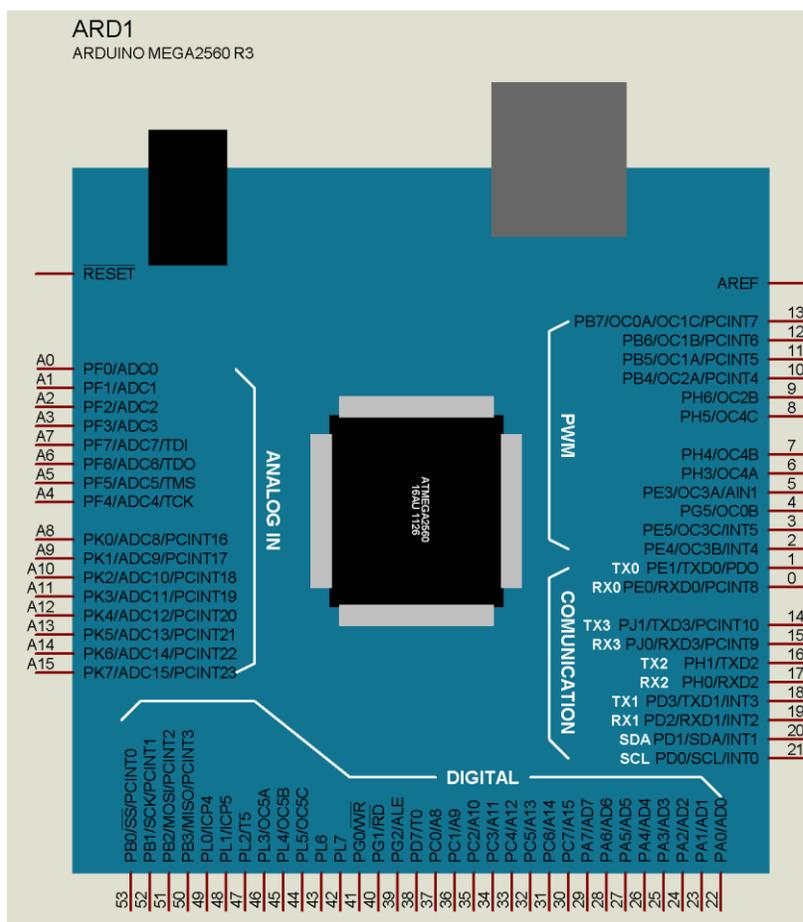


Figura 68. Esquema Arduino® Mega

Fuente: Proteus 8

Se conectan directamente al microcontrolador los elementos que consuman una corriente de máximo 200 mA como se muestra en la Figura 69:

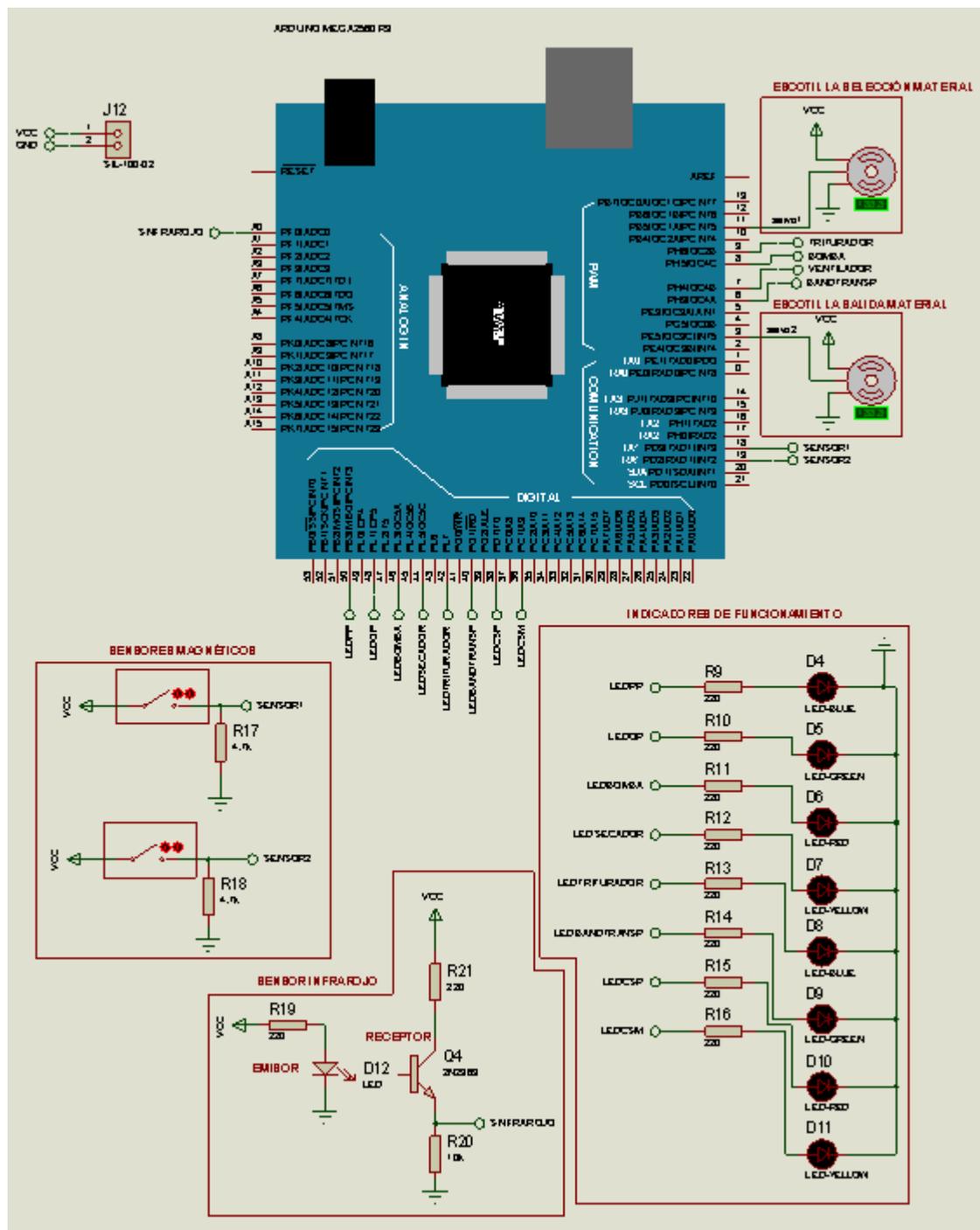


Figura 69. Circuito baja potencia para el prototipo demostrativo

Se debe realizar un circuito de potencia para los elementos que requieran de una corriente superior a 200 mA como se muestra en la Figura 70:

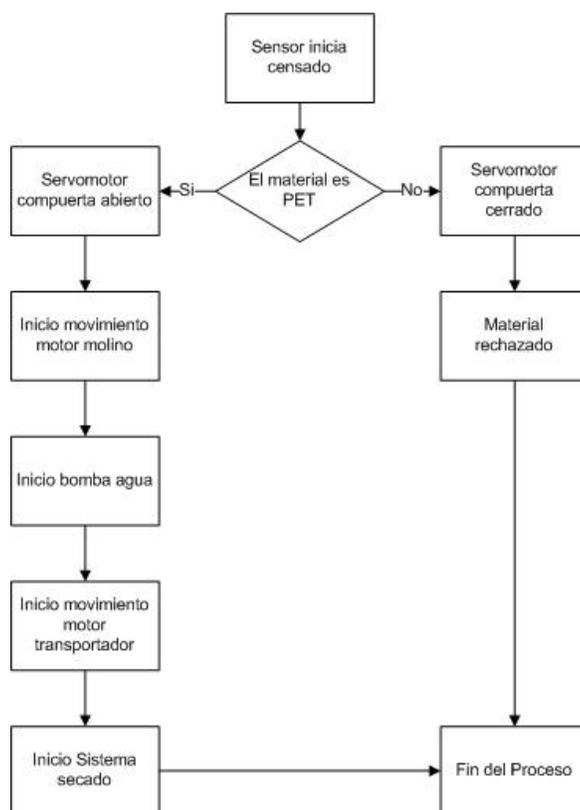


Figura 71. Diagrama de flujo del programa del prototipo demostrativo

4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Una vez culminada la fase de fabricación, ensamblaje y programación del prototipo se realizó las pruebas respectivas de funcionamiento.

Estas pruebas constaron de 4 etapas:

1. Se probó el sistema de rechazo con 20 botellas de las cuales 15 serán de tipo PET y 5 serán diferente de PET, con el fin de comprobar si las botellas de tipo diferente de PET son rechazadas y las de tipo PET son enviadas a la siguiente etapa.
2. Se midió si el sistema de lavado funciona de manera correcta mediante la utilización de una balanza, primero se obtendrá el peso de una probeta antes del proceso de lavado para luego pasar la probeta por dicho sistema y así obtener su

peso una vez lavado, observando la diferencia de peso para comprobar si el sistema cumple su objetivo.

3. Una vez obtenido el peso de la probeta después del sistema de lavado se hizo pasar la misma probeta por el sistema de secado para luego pesarla nuevamente y así saber si vuelve a su peso original demostrando que el sistema de secado funciona correctamente.
4. Se probó el sistema de reducción de tamaño introduciendo al triturador 15 botellas para observar si es capaz de reducir el tamaño del plástico para que pueda pasar a la siguiente etapa.

Etapas 1:

Como se puede observar en la Tabla 13 se registran los resultados de las pruebas del sistema de rechazo.

Tabla 13. Pruebas sistema de rechazo

Nro de probeta	Muestra #1		Muestra #2		Muestra#3	
	Tipo	Rechazo	Tipo	Rechazo	Tipo	Rechazo
1	PET	No	PET	No	PET	No
2	PET	No	NO PET	Si	PET	No
3	PET	No	PET	No	PET	No
4	NO PET	Si	PET	No	PET	No
5	PET	No	NO PET	Si	PET	No
6	PET	No	PET	No	NO PET	Si
7	PET	No	PET	No	NO PET	Si
8	NO PET	Si	NO PET	Si	PET	No
9	NO PET	Si	PET	No	NO PET	Si
10	PET	No	PET	No	PET	No
11	PET	No	PET	No	PET	No
12	PET	No	PET	No	NO PET	Si
13	PET	No	NO PET	Si	PET	No
14	PET	No	PET	No	PET	No
15	NO PET	Si	PET	No	NO PET	Si
16	PET	No	PET	No	PET	No
17	PET	No	NO PET	Si	PET	No
18	PET	No	PET	No	PET	No
19	NO PET	Si	PET	No	PET	No
20	PET	No	PET	No	PET	No

Se puede concluir que el sistema de rechazo sirve en un 100% de las pruebas realizadas tanto para material PET como material diferente de PET observando que el método aplicado es correcto.

Etapa 2:

Como se puede analizar en la Tabla 14 se registran los resultados de las pruebas del sistema de lavado.

Tabla 14. Pruebas sistema de lavado

Nro de probeta	Peso probeta antes del lavado (g)	Peso probeta después del lavado (g)
1	5.11	8.02
2	5.06	8.05
3	5.04	7.92
4	5.01	7.98
5	5.06	8.01
6	5.05	8.02
7	5.07	8.01
8	4.98	7.94
9	5.05	8.06
10	5.03	8.12
11	5.02	8.01
12	5.05	7.97
13	4.99	7.99
14	5.01	8.01
15	5.02	8.04
	Promedio	8.01

El promedio del peso de las probetas después del sistema de lavado nos indica que existe un aumento de peso de más o menos 3 gramos por probeta, el resultado de estas pruebas señalan que existe inyección de agua por parte de la bomba y esta cantidad de agua es suficiente para remover el líquido sobrante en el material PET.

Etapa 3:

Como se observa en la Tabla 15 se registran los resultados de las pruebas del sistema secado.

Tabla 15. Pruebas sistema de secado

Nro de probeta	Peso probeta lavada(g)	Peso probeta después del secado (g)
1	8.02	7.35
2	8.05	7.27
3	7.92	7.23
4	7.98	7.17
5	8.01	7.27
6	8.02	7.25
7	8.01	7.14
8	7.94	7.16
9	8.06	7.35
10	8.12	7.29
11	8.01	7.18
12	7.97	7.09
13	7.99	7.34
14	8.01	7.25
15	8.04	7.21
	Promedio	7.24

El promedio del peso de las probetas después del sistema de secado nos indican que solo se alcanza a reducir con el sistema de secado aproximadamente 0.7 gramos, con lo que la probeta no se considera seca, estas pruebas determinan que el sistema de secado empleado en el prototipo no es el más idóneo ya que el porcentaje de secado es de un 25% aproximadamente, esto resulta ya que sólo se aplica aire mediante un ventilador y el material no sale seco.

Etapa 4:

Esta prueba consiste en ejecutar el proceso triturado en varias botellas para observar si es capaz de reducir el tamaño de las botellas con el motor de 1/4 de hp utilizado en el prototipo a escala realizado.

Tabla 16. Pruebas del sistema de trituración de botellas enteras

Nro de botella	Triturado
1	NO
2	NO
3	NO
4	NO
5	NO
6	NO
7	NO
8	NO
9	NO
10	NO
11	NO
12	NO
13	NO
14	NO
15	NO

Como se puede observar en la tabla 16 el sistema de triturado no es capaz de romper las botellas enteras ya que la potencia del motor utilizado es muy pequeña. Por lo cual se procede a probar el triturador con las mismas 15 botellas pero sin el pico y la base (la parte más dura de las botellas).

Tabla 17. Pruebas del sistema de trituración de botellas sin pico ni base

Nro de botella	Triturado
1	NO
2	SI
3	NO
4	NO
5	SI
6	NO
7	SI
8	NO
9	NO
10	NO
11	NO
12	SI

13	NO
14	NO
15	SI

Las pruebas señaladas en la tabla 17 muestran que sólo algunas botellas son reducidas su tamaño por lo que se procede a hacer pruebas realizando un corte longitudinal para que deje de tener una forma cilíndrica y que pierda un poco la dureza el material.

Tabla 18. Pruebas del sistema de trituración de botellas con corte longitudinal

Nro de botella	Triturado
1	SI
2	SI
3	SI
4	SI
5	SI
6	SI
7	SI
8	SI
9	SI
10	SI
11	SI
12	SI
13	SI
14	SI
15	SI

Como se puede observar en la tabla 18 el sistema de triturado logra reducir el tamaño de las botellas una vez realizadas las adaptaciones.

CONCLUSIONES

- El sistema de rechazo para el prototipo demostrativo es satisfactorio y cumple con su función ya que se acondicionó las señales de los sensores para poder simular el proceso de selección del material, este proceso da la pauta para saber que el sistema de rechazo diseñado será satisfactorio si se utilizan los sensores correctos descritos en el presente trabajo.
- Las pruebas de lavado permitieron observar que el método de inyección de agua aplicada al prototipo es satisfactorio con fines demostrativos.
- La propuesta de usar un sistema de ventilación aplicada al prototipo para remover el exceso de agua presentó serios inconvenientes debido a que resulta difícil desprender el agua adherida a los pedazos de PET solo con ventilación.
- El sistema de triturado a escala construido es capaz de cumplir con el objetivo de reducir el tamaño de las botellas una vez realizada las adaptaciones descritas, de este resultado se puede esperar que con el motor de 3.4 hp propuesto en la máquina industrial será apto para triturar las botellas enteras de hasta 500 ml sin inconvenientes.

RECOMENDACIONES

- En la actualidad se disponen en el mercado de sensores para detección directa de fenómenos físicos o materiales, tal es el caso de los detectores PET que vienen calibrados de fábrica y forman parte esencial en estos procesos. Por lo antes expuesto, el uso de estos sensores es recomendable para este tipo de proyectos.
- Con la evaluación del prototipo construido se demostró que el sistema de lavado es útil en la remoción del material sobrante en el envase, mas no en la asepsia del mismo. Por tanto, se recomienda que exista un lavado posterior al descrito en este proyecto, que sirva para darle un adecuado nivel de limpieza dependiendo del proceso en que vaya a ser usado.
- Se recomienda que el sistema de secado sea considerado como la suma de un ventilador más un generador de calor como se propuso en el diseño, pues se requiere inyectar aire caliente hacia el material para evaporar el agua adherida.
- Es recomendable que este diseño sea considerado para el reciclaje de otros polímeros de abundancia en el mercado como el poliestireno y el PVC que presentan propiedades similares, sin embargo, se deberán tomar en cuenta consideraciones como velocidades de rotación y desgaste de cuchillas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] (2008). Guía para la Gestión Integral de los residuos sólidos. Recuperado 27 de Julio, 2014, de http://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral_de_RSU.pdf.
- [2] (2012). Programa 'PNGIDS' Ecuador | Ministerio del Ambiente. Recuperado el 5 de Noviembre, 2013, de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
- [3] (2013). Caracterización de Los Residuos - Emaseo. Recuperado el 5 de Noviembre, 2013, de http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf.
- [4] Guía para la Gestión Integral de los residuos sólidos. Recuperado 27 de Julio, 2014, de http://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral_de_RSU.pdf.
- [5] Miller, G. T., Cador, A. C., & Sarmiento, M. A. M. (2007, Enero 2). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*. Thomson.
- [6] Lund, H. F. (1996). *Manual McGraw-Hill de reciclaje*. McGraw-Hill.
- [7] (2010). El Reciclaje. Recuperado el 5 de Noviembre, 2013, de <http://elreciclaje.org/>.
- [8] Fuentes, M., & Silva, J. (2009). Diseño de un sistema de residuos sólidos inorgánicos (plástico y vidrio) para el gobierno municipal del Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago. *Trabajo de Grado. Licenciatura en Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador*.

- [9] (2010). Tipos de plásticos que pueden ser reciclados. - Artículo.org. Recuperado el 5 de Noviembre, 2013, de http://www.articulo.org/articulo/26091/tipos_de_plasticos_que_pueden_ser_reciclados.html.
- [10] Real, M., & Real, M. Proyecto de fin de carrera Magali Real.pdf - UPCommons. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6729/1/Proyecto%20de%20fin%20de%20carrera%20Magali%20Real.pdf>.
- [11] Solano Albuja, X. (2011). proyecto de reciclaje de plastico en el dmq. - Repositorio ESPE Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5228/1/T-ESPE-033187.pdf>.
- [12] (2006). Reciclado mecánico - Escuela de Ingenierías Industriales - Universidad de Valladolid. Recuperado el 27 de Julio, 2014, de http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm.
- [13] Diccionario de la lengua española | Real Academia Española. Recuperado el 5 de Noviembre, 2013, de <http://rae.es/recursos/diccionarios/drae>.
- [14] Riba, C. (2002). Diseño concurrente. *Barcelona, Ediciones UPC*.
- [15] (2012). Sensores de color CRT, Sensores de luminiscencia. Interempresas. Recuperado el 29 de Enero, 2014, de http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/2022/Triptico-KRT_CRT_LRT_es.pdf.

- [16] (2006). MOTORES PASO A PASO. Recuperado el 3 de Abril, 2014, de <http://www.docentes.unal.edu.co/hfvelascop/docs/CLASES/DIGITALES2/LABORATORIO/Motor%20Paso%20a%20Paso.pdf>.
- [17] (2011). Cilindros hidráulicos - DirectIndustry. Recuperado el 28 de julio, 2014, de http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/cilindro-hidraulico-61005-_10.html.
- [18] (2013). Reciclado de Materiales: Perspectivas, Tecnologías y Oportunidades. Recuperado el 29 de enero, 2014, de http://www.bizkaia21.net/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio_Sostenible/dokumentuak/20100902123356112_Informe_Reciclaje.pdf.
- [19] (2009). Árbol de Pertinencias y Análisis Morfológico. Recuperado el 27 de Julio, 2014, de http://guajiros.udea.edu.co/fnsp/cvsp/politicaspUBLICAS/futures_group_arbol_pertinencias.pdf.
- [20] Luna, R., Moreno, E., y Ledesma, R. (2009). DISEÑO DE MÁQUINA RECICLADORA DE PET. Congreso Nacional de Tecnología Industrial CONATI 2009. Universidad Tecnológica Metropolitana.
- [21] (2013). E02 Fuerza De Corte y Potencia De Mecanizado - Ingeniería Mecánica - Universidad de Santiago de Chile. Recuperado el 30 de Enero, 2014, de http://www.dimecusach.cl/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=128&Itemid=132.
- [22] Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. Pearson Educacion.

- [23] Singer, F., & Pytel, A. (1999). Resistencia de materiales: Introducción a la mecánica de sólidos. 39.
- [24] (2008). Sensores y Actuadores. Recuperado el 30 de Enero, 2014, de <http://isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema7.pdf>.
- [25] Balcells, J., Romeral, J. L., & Martínez, J. L. R. (1997). *Autómatas programables*. Marcombo

ANEXOS

Anexo A: Especificaciones motor nema 23 MS TECHNOLOGY modelo 23H246-01IP68

Anexo B: Características bomba SHURflo

Anexo C: Especificaciones perfiles Ipac

Anexo D: Especificaciones sensor Omron E3Z-B

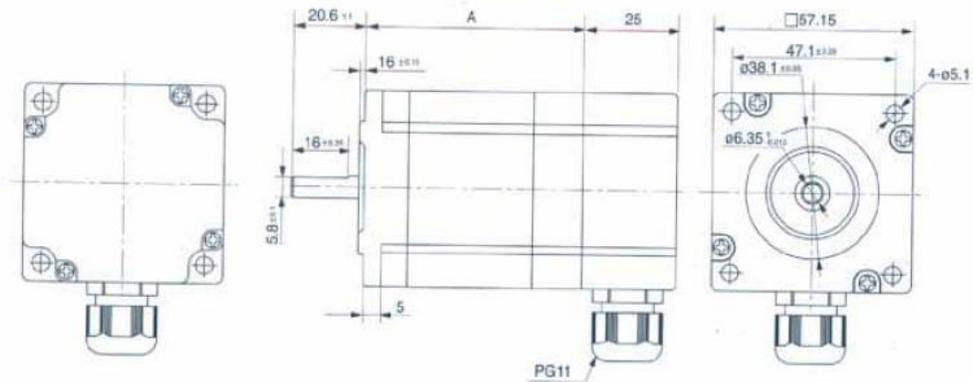
Anexo E: Especificaciones sensor Optex KR-Q50

Anexo F: Especificaciones Arduino® Mega

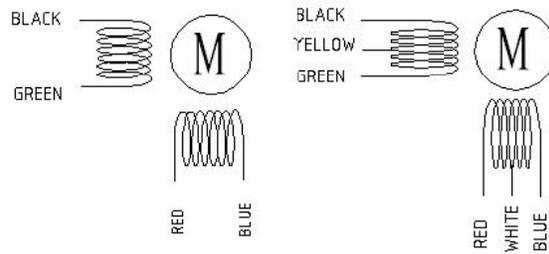
Anexo G: Programación prototipo

Anexo A: Especificaciones motor nema 23 MS TECHNOLOGY modelo 23H246-01IP68

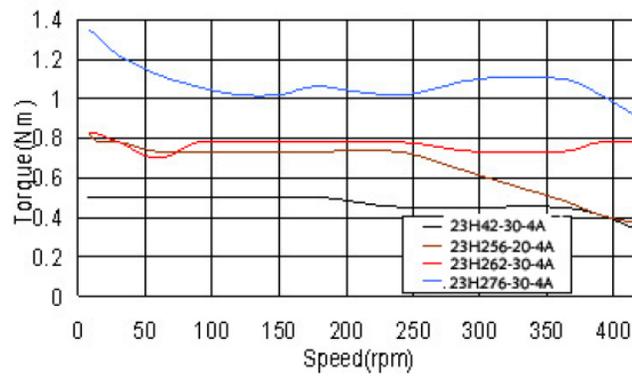
Dimensions:



Wiring Diagram:



Pull out torque curve:



Fuente: MS TECHNOLOGY CO.,LTD. Hybrid Stepper Motor Catalog

Anexo B: Características bomba SHURflo

SHURflo

Bomba de agua a presión

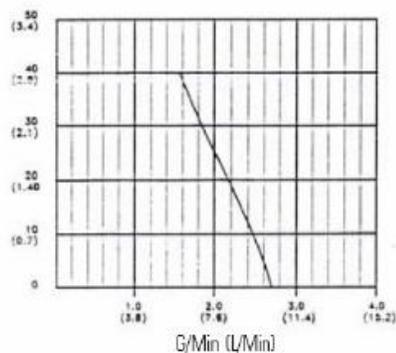


Las altas prestaciones de la serie 2088 de Shurflo son posibles gracias al éxito en el desarrollo del bombeo eléctrico a lo largo de 20 años, con la patente de la bomba de cabeza de tres cámaras, su duro motor y sus resistentes cojinetes. La serie 2088 cuenta con la gama completa de bombas Shurflo de larga vida, gran confianza y libres de problemas.

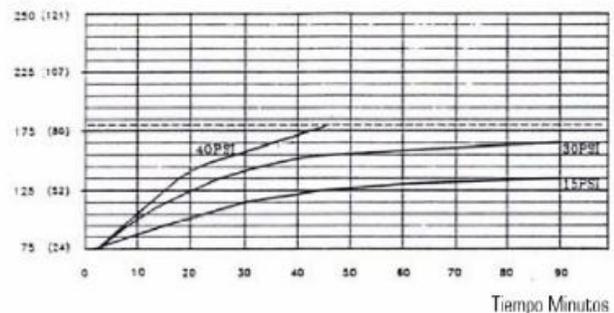
Características

- Ideal para aplicaciones con un alto volumen de transferencia de agua.
- Diseñado para trabajos duros en aplicaciones de riego por aspersión.
- Funcionamiento silencioso
- Auto cebado a 3,6 metros.
- Puede funcionar en seco sin riesgo alguno
- Disponible en una gran gama de resistentes materiales químicos.
- Disponible en 12, 24 y 36 DC y motores de 115 ó 230 voltios AC. La serie 2088 es la ideal para aplicaciones de alto fluido con bajo consumo.
- La serie 2088 en cualquier posición, son compactas, y están disponibles en varios voltajes y con cabezas de varios materiales.
- Válvulas testadas a 13.8 kg/m² (200 PSI)
- Con presostato ajustable
- Disponibilidad de recambios: piezas fácilmente reemplazables
- Aprobadas por las normativas: UL, CSA, NSF, FDA y IAPMO

Presión PSI (BAR)



Temperatura ° F (°C)



Fuente: Catalogo JHROerden, bomba SHURflo

Anexo C: Especificaciones Perfiles Ipac

Tubo Estructural

Aplicaciones: Estructuras, cerramientos, invernaderos, galpones, carrocerías, etc.

Producto	Largo Normal (m)	Recubrimiento	Dimensiones (plg)	Espesores Normal (mm)	Calidad del Acero
Tubo estructural Cuadrado	6	Negro – Galvanizado	20 mm a 100 mm	1.5 a 4	JIS G 3132 SPHT-1 ASTMA 569
Tubo estructural Rectangular	6	Negro – Galvanizado	(20 x 40) mm a (50 x 150) mm	1.5 a 4	JIS G 3132 SPHT-1 ASTMA 569
Tubo estructural Redondo	6	Negro – Galvanizado	3/4 a 3	1.5 a 3	JIS G 3132 SPHT-1 ASTMA 569
Tubo estructural para postes	6	Galvanizado	1/2 a 3	1.5 a 3	JIS G 3132 SPHT-1 ASTMA 569



Fuente: Catálogo disensa Ecuador

Anexo D: Especificaciones sensor Omron E3Z-B

Specifications

■ Ratings/Characteristics

Item	Sensing method	Retroreflective (without MSR function)			
	NPN output	E3Z-B61	E3Z-B66	E3Z-B62	E3Z-B67
	PNP output	E3Z-B81	E3Z-B86	E3Z-B82	E3Z-B87
Sensing distance	500 mm (80 mm) using E39-R1S (See Note.)		2 m (100 mm) using E39-R1S (See Note.)		
Standard sensing target	500-ml (65-mm dia.) transparent round PET bottles				
Hysteresis	Approx. 3%				
Light source (wave length)	Red LED (680 nm)				
Power supply voltage	12 to 24 VDC \pm 10% including 10% (p-p) max. ripple				
Current consumption	30 mA max.				
Control output	Load power supply voltage: 26.4 VDC max. Load current: 100 mA max. (Residual voltage: 1 V max.) Open-collector output (NPN or PNP depending on model) L-ON/D-ON switch-selectable				
Circuit protection	Protection from reversed power supply connection, output short-circuit, and mutual interference protection				
Response time	Operation or reset: 1 ms max.				
Sensitivity adjustment	One-turn potentiometer				
Ambient illumination (receiver side)	Incandescent lamp: 3,000 lux max. Sunlight: 10,000 lux max.				
Ambient temperature	Operating: -25°C to 55°C (-13°F to 131°F) Storage: -40°C to 70°C (-40°F to 158°F) with no icing or condensation				
Ambient humidity	Operating: 35% to 85%; storage: 35% to 95% (with no condensation)				
Insulation resistance	20 M Ω min. at 500 VDC				
Dielectric strength	1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min				
Vibration resistance	10 to 55 Hz, 1.5-mm double amplitude or 300 m/s ² for 2 hours each in X, Y, and Z directions				
Shock resistance	500 m/s ² 3 times each in X, Y, and Z directions				
Degree of protection	IP67 (IEC60529)				
Connection method	Prewired cable (length: 2 m, 5 m, or 500 mm)	M8 connector	Prewired cable (length: 2 m, 5 m or 500 mm)	M8 connector	
Indicator	Operation indicator (orange); stability indicator (green)				
Weight (as packed)	Approx. 65 g (2.29 oz.)	Approx. 20 g (0.71 oz.)	Approx. 65 g (2.29 oz.)	Approx. 20 g (0.71 oz.)	
Material	Case	PBT (polybutylene terephthalate)			
	Lens	Methacrylate resin			
Accessories	Instruction manual (Reflector and mounting bracket are sold separately.)				

Fuente: Datasheet Omron

Anexo E: Especificaciones sensor Optex KR-Q50

Especificaciones

Modelo		Barrera	Retro-reflectivo con filtro de polarización	Difuso reflectivo	Convergente	Detección de vidrio			
Tipo de cable	NPN	KT-700N	KR-250N	KD-40N	KD-L09N	KR-Q50NW	KR-Q150NW	KR-Q300NW	
	PNP	KT-700P	KR-250P	KD-40P	KD-L09P	KR-Q50PW	KR-Q150PW	KR-Q300PW	
Tipo de conector	NPN	KT-700CN	KR-250CN	KD-40CN	KD-L09CN	KR-Q50CNW	KR-Q150CNW	KR-Q300CNW	
	PNP	KT-700CP	KR-250CP	KD-40CP	KD-L09CP	KR-Q50CPW	KR-Q150CPW	KR-Q300CPW	
Rango de detección		7 m	2,5 m	40 cm	1 - 9 cm	50 cm	1,5 m	3 m	
Fuente de luz		Red							
Objeto de detección min		φ 7mm	—	φ 40mm	—	φ 2.5mm (alambre de acero)			
Tiempo de respuesta		1msec Max	0,7msec Max						
Histéresis		NIL		20% Max	10% Max	NIL			
Ajuste de sensibilidad		No disponible		Potenciómetro de 1 vuelta					
Indicador		Indicador sencillo							
Salida de control		NPN or PNP colector abierto , 100mA Max / 30V DC							
Entrada de prueba		Disponible		No disponible					
Modo de operación		Light ON / Dark ON seleccionable							
Capacidad de aislamiento		Min. 20 M Ohm / DC500V							
Voltaje		10 to 30 V DC Incluye 10% de pico a pico							
Consumo de potencia		35mA Max	30mA Max						
Conformidad		JIS, UL, CE, VDE							
Temp.ambiente / humedad		-25 to +55°C / 35 to 85%RH							
Iluminación ambiental		Luz solar:20,000 lux max, lámpara incandescente: 4,000 lux max.							
Resistencia a la vibración		10 50 55 Hz amplitud 1.5mm, X-Y-Z por 2 horas							
Grado de protección		IEC 144 IP67, VDE Nivel 3							
Material de la cubierta		ABS (Caja), PC (Lente), SUS304 (Cubierta)							
Peso		25g (20g para emisor de tipo barrera)					25g		

Fuente: Datasheet Sensor

Anexo F: Especificaciones Arduino® Mega

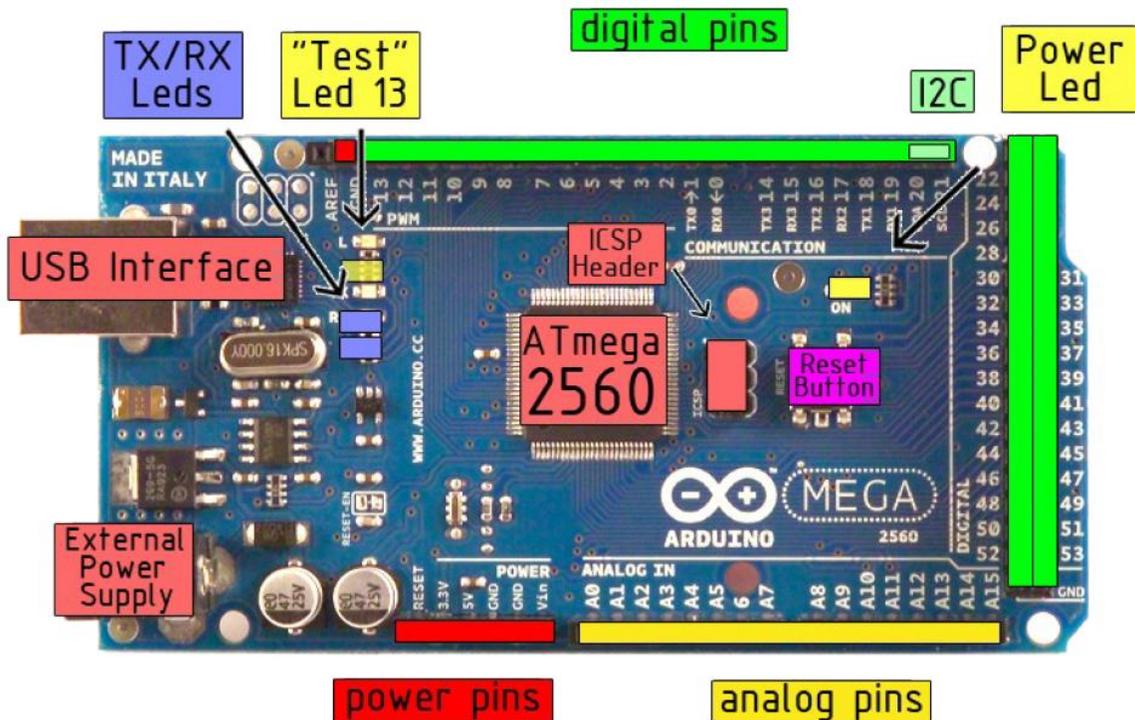
Technical Specification



EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

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



Fuente: Datasheet Arduino® Mega

Anexo G: Programación prototipo

```
#include<Servo.h>
Servo servo1;
Servo servo2;
int posicion1=0;
int posicion2=0;
const int sensor1=18;
const int sensor2=19;
int sinfrarojo=A0;
int valsinfrojo=0;
volatile long lastInt;
int ventilador = 7;//naranja
int bandtransp = 6;//
int bomba = 8;//morado
int triturador = 9;//verde
int aux=0;
int ledpp=50;
int ledop=48;
int ledbomba=46;
int ledsecador=44;
int ledtriturador=42;
int ledbandtransp=40;
int ledcsp=38;
int ledcsm=36;
////////////////////////////////////
//FUNCION SENSORES ELECTROMAGNETICOS
void csensoresE()
{
  aux=1;
  delay(200);
}
////////////////////////////////////
//INTERRUPCIONES
void int5()
{
  if((millis()-lastInt)>200)
  {
    csensoresE();
    lastInt=millis();
  }
}
void int4()
{
  if((millis()-lastInt)>200)
```

```

{
  csensoresE();
  lastInt=millis();
}
}
////////////////////////////////////
//CONFIGURACION DE INTERRUPCIONES, SERVO Y PUERTOS DE SALIDA
void setup()
{
  //INTERRUPCIONES
  attachInterrupt(5,int5,RISING); // pin 18
  attachInterrupt(4,int4,RISING); // pin 19
  //SERVOS
  servo1.attach(11);//CONTROL DEL SERVO1 EN EL PIN 30
  servo2.attach(3);//CONTROL DEL SERVO1 EN EL PIN 34
  //SALIDAS DIGITALES
  pinMode(ventilador,OUTPUT);
  pinMode(bandtransp,OUTPUT);
  pinMode(bomba,OUTPUT);
  pinMode(triturador,OUTPUT);

}
////////////////////////////////////
void loop()
{
  posicion1=160;
  servo1.write(posicion1);
  digitalWrite(ventilador,HIGH);
  digitalWrite(bandtransp,HIGH);
  digitalWrite(bomba,HIGH);
  digitalWrite(triturador,LOW);
  delay(200);
  if(aux==1)
  {
    posicion1=90;//7
    servo1.write(posicion1);
    digitalWrite(ledop,HIGH);
    digitalWrite(ledcsp,HIGH);
    delay(5000);
    digitalWrite(ledop,LOW);
    digitalWrite(ledcsp,LOW);
    aux=0;
  }
  else
  {
    posicion2=50;
    servo2.write(posicion2);

```

```
digitalWrite(ledpp,HIGH);
delay(60);//70
valsinfrarojo = analogRead(sinfrarojo);
if(valsinfrarojo<200)
{
  posicion1=160;
  servo1.write(posicion1);
  delay(5);
  digitalWrite(triturador,HIGH);
  digitalWrite(ledtriturador,HIGH);
  digitalWrite(bomba,LOW);
  digitalWrite(ledbomba,HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(bomba,HIGH);
  digitalWrite(ledbomba,LOW);
  delay(1000);
  posicion2=160;
  servo2.write(posicion2);
  delay(5);
  digitalWrite(ledcsm,HIGH);
  digitalWrite(bomba,LOW);
  digitalWrite(ledbomba,HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(bomba,HIGH);
  digitalWrite(ledbomba,LOW);
  digitalWrite(triturador,LOW);
  digitalWrite(ledtriturador,LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(bomba,LOW);
```

```
digitalWrite(ledbomba,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(bomba,HIGH);
digitalWrite(ledbomba,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(bomba,LOW);
digitalWrite(ledbomba,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(bomba,HIGH);
digitalWrite(ledbomba,LOW);
digitalWrite(ventilador,LOW);
digitalWrite(ledsecador,HIGH);
delay(10000);
digitalWrite(ventilador,LOW);
digitalWrite(bandtransp,LOW);
digitalWrite(ledbandtransp,HIGH);
delay(10000);
digitalWrite(bandtransp,HIGH);
digitalWrite(ledbandtransp,LOW);
digitalWrite(ventilador,HIGH);
digitalWrite(ledsecador,LOW);
posicion2=50;
servo2.write(posicion2);
delay(5);
digitalWrite(ledcsm,LOW);
}
digitalWrite(ledpp,LOW);
}
}
```

PLANOS MECÁNICOS

**SISTEMA MECATRÓNICO DE RECICLAJE DE BOTELLAS
PLÁSTICAS PET DE HASTA 500 ml.**