



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES
PLÁSTICOS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRONICO**

JAIME ANDRÉS ORTIZ PALACIOS

DIRECTOR: ING. LUIS HIDALGO MSc.

Quito, Mayo 2016

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

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1716488448
APELLIDO Y NOMBRES:	ORTIZ PALACIOS JAIME ANDRÉS
DIRECCIÓN:	LA PAMPA
EMAIL:	jortizpalacios7@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	3490126
TELÉFONO MOVIL:	0984681578

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLÁSTICOS
AUTOR O AUTORES:	JAIME ORITZ
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	26/05/2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. LUIS HIDALGO MSc.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECHATRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>Este proyecto es un diseño y construcción de un prototipo que servirá para la cizalladura de los plásticos pet; su principal objetivo es ayudar con la protección del medio ambiente mejorando el proceso de reciclaje de la materia contaminante que son los plásticos pet, también es un aporte con el fin de optimizar los rendimientos en el proceso de reciclaje.</p> <p>En la presente investigación se podrá encontrar los diferentes elementos que constituyen en este prototipo como ejes de transmisión, selección de rodamientos, engranes, cuchillas de cizalladura, selección</p>

	<p>del motorreductor, estructura soportante y atreves de un software especializado (SolidWorks) se pudo simular las piezas en 3D, comprobando que el prototipo ensamblado en su totalidad cumpla con el objetivo de la investigación. También se puede encontrar la selección de los elementos eléctricos y electrónicos para la automatización de los procesos.</p> <p>Se podrá encontrar los planos de cada elemento diseñado, los planos eléctricos con el controlador lógico programable (PLC) y el ensamble de la trituradora de plástico, indicado en tabla los elementos y las cantidades que se utilizó.</p> <p>El control del prototipo se realizó a través de un controlador lógico programable (plc).</p> <p>Para este proyecto se implementó la metodología mecatrónica, que describe el trabajo en paralelo que es el diseño mecánico, diseño eléctrico, sistemas y diseño de control.</p>
PALABRAS CLAVES:	<p>Pet: Polietileno tereflatato</p> <p>PLC: Controlador lógico programable</p> <p>Metodología: Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica, un estudio o una exposición doctrinal.</p> <p>Mecatrónico: Disciplina que une sinérgicamente la ingeniería mecánica, ingeniería electrónica, ingeniería de control e ingeniería informática.</p>
ABSTRACT:	<p>This project is a design and construction of a prototype that will serve to shear of plastic pet; its main goal is to help protect the environment by improving the recycling process of the polluting material are plastics pet, it is also a contribution in order to optimize yields in the recycling process.</p>

	<p>In the present investigation may find the different elements that constitute this prototype as drive shafts, selection of bearings, gears, blades shearing, selection of the gear motor, supporting structure and dare specialized software (SolidWorks) could simulate the piece's 3D, checking that the prototype assembly fully meets the objective of research. You can also find the selection of electrical and electronic components for the automation of processes.</p> <p>May find drawings of each element designed, electric drawings with the programmable logic controller and assembly of plastic crusher, indicated in table elements and the amounts used.</p> <p>The prototype control was performed using a programmable logic controller (PLC).</p> <p>For this project mechatronics methodology, describing the work in parallel which is the mechanical design, electrical design, control systems and design was implemented.</p>
KEYWORDS	<p>Pet: Polyethylene tereflatato</p> <p>PLC: Programmable Logic Controller</p> <p>Methodology: A set of methods followed in scientific research, study or doctrinal exposition.</p> <p>Mechatronics: Discipline that synergistically combines the mechanical engineering, electronic engineering, control engineering and computer engineering.</p>

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

f: _____

ORTIZ PALACIOS JAIME ANDRÉS

CI: 1716488448

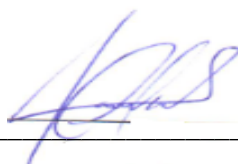
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ORTIZ PALACIOS JAIME ANDRÉS**, CI 1716488448 autor/a del proyecto titulado: **DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLÁSTICOS** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

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

Quito, 30 de mayo del 2016

f: _____



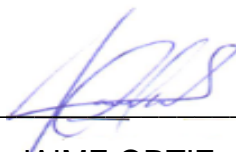
ORTIZ PALACIOS JAIME ANDRÉS

CI: 1716488448

DECLARACIÓN

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

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

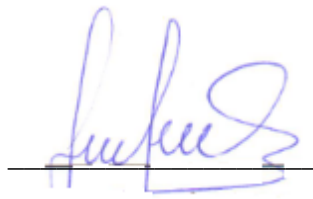


JAIME ORTIZ

C.I. 1716488448

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLASTICOS**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Jaime Ortiz**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Luis Hidalgo Aguilera MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1707721435

DEDICATORIA

Principalmente a mis padres y a mis hermanos, ya que ellos fueron los pilares fundamentales, el apoyo incondicional en toda mi vida, mis mentores y mis amigos.

A mi cuñado y hermano, José Ramón Sanabria Ortiz, por su apoyo y enseñanzas brindadas.

A la familia Martínez, especialmente a mi novia Zully Martínez, que fue mi fortaleza y mi guía para seguir adelante, en los malos y buenos momentos en mi vida.

A mi familia Ortiz Terán y Palacios Del Pozo, que cada uno de ellos aportaron un granito de arena.

Este logro obtenido es gracias a todos ellos y para ellos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud, vida para seguir en la lucha diría y poder culminar una etapa más de mi vida.

A mi director y amigo Ing. Luis Hidalgo MSc, por su paciencia, enseñanza, asesoramientos y apoyo para lograr con éxito el presente trabajo de titulación.

A mis amigos, por el apoyo y las enseñanzas brindadas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. PLÁSTICO PET.....	2
2.1.1. RECICLAJE DEL PET	2
2.1.2. RECICLADO MECÁNICO	2
2.2. MÁQUINAS PARA PROCESAR EL PET.....	2
2.3. EJES DE TRANSMISIÓN.....	3
2.3.1. RESISTENCIA A LA FATIGA (S_n).....	4
2.3.2. RESISTENCIA A LA FATIGA REAL ESTIMADA (S'_n)	5
2.3.3. SISTEMÁTICA DE DISEÑO.....	6
2.4. RODAMIENTO.....	6
2.4.1. SELECCIÓN DE RODAMIENTO	7
2.5. CHUMACERAS.....	8
2.5.1. SELECCIÓN DE CHUMACERAS	8
2.5.2. SISTEMÁTICA DE SELECCIÓN.....	8
2.6. TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	8
2.6.1. ENGRANES	9
2.6.2. ENGRANES RECTOS	9
2.7. COLUMNAS.....	10
2.7.1. PROPIEDADES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA COLUMNA.....	11
2.7.2. RADIO DE GIRO.....	11

2.7.3. FIJACIÓN DE UN EXTREMO Y LONGITUD EFECTIVA.....	12
2.7.4. RELACIÓN DE ESBELTEZ DE TRANSICIÓN O CONSTANTE DE COLUMAN	12
2.7.5. RELACIÓN DE ESBELTEZ.....	13
2.7.6. CARGA CRÍTICA	13
2.7.7. FACTOR DE DISEÑO Y CARGA ADMISIBLE.....	14
2.7.8. SISTEMÁTICA DE DISEÑO.....	15
2.8. VIGAS.....	15
2.8.1. SISTEMÁTICA DE DISEÑO.....	16
2.9. MOTORREDUCTORES.....	16
2.9.1. MOTOR ELÉCTRICO	17
2.9.2. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	17
2.9.3. REDUCTOR DE VELOCIDAD	18
2.10. SENSOR.....	18
2.10.1. SENSOR DE NIVEL	18
2.10.2. SENSOR INFRARROJO	19
2.10.3. INTERRUPTOR DE PROXIMIDAD	20
2.11. SISTEMA DE CONTROL.....	20
2.11.1. SISTEMA.....	21
3. METODOLOGIA	
3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA.....	22
3.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	22
3.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	23
3.3.1. CASA DE CALIDAD	23
3.3.2. MÉTODO DE DIAGRAMA MORFOLÓGICO	24
3.3.3. CRITERIOS PONDERADOS	25

3.4.	DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA.....	26
3.3.2.	SISTEMA MECÁNICO	26
3.3.2.	SISTEMA ELÉCTRICO	31
3.3.3.	SISTEMA DE CONTROL.....	35
4.	DISEÑO	
4.1.	PARAMENTROS DE DISEÑO.....	36
4.1.1	DIMENSIONES	36
4.2.	DISEÑO MECÁNICO.....	37
4.2.1.	EJE MOTRIZ Y CONDUCTIDO	37
4.2.2.	ESTRUCTURA SOPORTE DE LA MÁQUINA	41
4.2.3.	COLUMNA DE LA MESA SOPORETE DEL MOTORREDUCTOR	44
4.2.4.	MESA SOPORTE DE LA CAJA DE CIZALLADURA	49
4.2.5.	COLUMNA SOPORTE DE LA CAJA DE CIZALLADURA.....	52
4.2.6.	CUCHILLAS DE CIZALLADURA	58
4.2.7.	ENGRANE RECTO.....	59
4.3.	DISEÑO ELÉCTRICO.....	61
4.3.1.	SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	62
4.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	65
4.4.1.	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	65
4.4.2.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	65
4.4.3.	DISEÑO DEL PROGRAMA.....	67
4.5.	DISEÑO FINAL DE MÁQUINA.....	68
4.6.	IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....	68
4.6.1.	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO	68

4.6.2. CIRCUITO DE POTENCIA Y MANDO.....	71
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA.....	72
5.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	74
5.2.1. TIEMPO DE CORTE.....	74
5.2.2. TAMAÑO DE HOJUELA DE CORTE.....	75
5.2.3. FUNCIONAMIENTO DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN.....	77
5.3. VENTAJAS DE LA MÁQUINA.....	79
5.4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	80
5.5. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGETICO.....	82
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA 1. FACTOR DE MATERIAL CM.....	5
TABLA 2. FACTOR DE CONFIABILIDAD APROXIMADOS CR.....	5
TABLA 3. FACTOR DE TAMAÑO.....	6
TABLA 4. DURACIÓN PARA LOS RODAMIENTOS.	7
TABLA 5. INTERPRETACIÓN VALORES CASA DE CALIDAD	23
TABLA 6. CASA DE CALIDAD.....	23
TABLA 7. DIAGRAMA MORFOLÓGICO	24
TABLA 8. VALORES DE CRITERIO PONDERADO.....	25
TABLA 9. CRITERIO PONDERADO.....	25
TABLA 10. ENTRADAS Y SALIDAS.....	35
TABLA 11. DIMENSIONES DEL ÁNGULO SELECCIONADO.	44
TABLA 12. DIMENSIONES DEL ÁNGULO SELECCIONADO.	48
TABLA 13. DIMENSIONES DEL ÁNGULO SELECCIONADO.	52
TABLA 14. DIMENSIONES DEL ÁNGULO SELECCIONADO.	57
TABLA 15. PRUEBAS DE CORTE DE BOTELLAS PET	74
TABLA 16. DIMENSIONES DE LAS HOJUELAS DEL PLÁSTICO PET	76
TABLA 17. COMPARATIVAS DE RESULTADOS DE ÁREAS DE LAS HOJUELAS PET EN DIFERENTES MÁQUINAS.....	77
TABLA 18. COMPARACIÓN SISTEMA MANUAL Y SISTEMA AUTOMATIZADO.....	79
TABLA 19. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.	80
TABLA 20. DATOS PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO.....	82
TABLA 21. COSTOS DE CONSUMO ENERGÉTICO.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. RESISTENCIA A LA FATIGA SN EN FUNCIÓN A LA TENSIÓN.	4
FIGURA 2. PAR DE ENGRANES RECTOS.	9
FIGURA 3. ENGRANE RECTO.	10
FIGURA 4. VALORES DE LA CONSTANTE DE FIJACIÓN (K).	12
FIGURA 5. MOTORREDUCTOR.	16
FIGURA 6. MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA (AC).	17
FIGURA 7. REDUCTOR DE VELOCIDAD.	18
FIGURA 8. SENSOR DE NIVEL LM – 01.	19
FIGURA 9. SENSOR INFRARROJO.	20
FIGURA 10. ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA DE CONTROL.	21
FIGURA 11. METODOLOGÍA DEL DISEÑO MECATRÓNICO.	22
FIGURA 12. CAJA REDUCTORA Y JUEGO DE ENGRANES.	26
FIGURA 13. DUCTO DE INGRESO.	27
FIGURA 14. EJE MOTRIZ Y CONDUcido.	28
FIGURA 15. ENGRANE RECTO.	28
FIGURA 16. CUCHILLA DE CIZALLADURA.	29
FIGURA 17. PÓRTICO ESTRUCTURAL.	30
FIGURA 18. CHUMACERA KOYO.	31
FIGURA 19. CONDUCTO DE ALMACENAMIENTO.	31
FIGURA 20. MOTORREDUCTOR BKB.	32
FIGURA 21. FIN DE CARRERA.	33
FIGURA 22. LUCES LED.	33
FIGURA 23. BOTONERA (ON/OFF).	34
FIGURA 24. TABLERO ELÉCTRICO.	34
FIGURA 25. DIMENSIONES BOTELLA PLÁSTICO PET APLANADO (3 LT).	36
FIGURA 26. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE.	38

FIGURA 27. DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE.....	39
FIGURA 28. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	39
FIGURA 29. FACTOR DE SEGURIDAD DEL EJE CON LOS RODAMIENTOS.....	41
FIGURA 30. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA MESA DEL MOTORREDUCTOR.....	42
FIGURA 31. DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE.....	42
FIGURA 32. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	43
FIGURA 33. FACTOR DE SEGURIDAD DEL ÁNGULO SOPORTE DEL MOTORREDUCTOR.....	44
FIGURA 34. COLUMNA DE LA MESA SOPORTE DEL MOTORREDUCTOR.....	45
FIGURA 35. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA MESA SOPORTE DEL MOTORREDUCTOR.....	45
FIGURA 36. DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE.....	46
FIGURA 37. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	46
FIGURA 38. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA COLUMNA SOPORTE DEL MOTORREDUCTOR.....	49
FIGURA 39. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LAS COLUMNAS.....	50
FIGURA 40. DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE.....	50
FIGURA 41. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	51
FIGURA 42. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA MESA SOPORTE DE LA CAJA DE CIZALLADURA.....	52
FIGURA 43. COLUMNA SOPORTE DE A CAJA DE CIZALLADURA.....	53
FIGURA 44. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LAS COLUMNAS.....	54
FIGURA 45. DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE.....	54
FIGURA 46. DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	55
FIGURA 47. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA COLUMNA SOPORTE DE LA CAJA DE CIZALLADURA.....	57

FIGURA 48. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA CUCHILLA DE CIZALLADURA.....	59
FIGURA 49. FACTOR DE DISEÑO DEL ENGRANE RECTO.....	61
FIGURA 50. CONTACTOR SIEMENS 3RT 1026 -1AN20.....	62
FIGURA 51. BREAKER SIEMENS 3VT.	62
FIGURA 52. SENSOR INFRARROJO CNY70.	63
FIGURA 53. INTERRUPTOR FINAL DE CARRERA CON PALANCA.....	64
FIGURA 54. INTER ROCKER SW-104.	64
FIGURA 55. PLC LOGO.....	65
FIGURA 56. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ALGORITMO DE CONTROL.	66
FIGURA 57. PANTALLA DEL SOFTWARE LOGO SOFT COMFORT.	67
FIGURA 58. MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO.....	68
FIGURA 59. CUCHILLAS DE CORTE DE CIZALLADURA.....	69
FIGURA 60. ENGRANE RECTO.....	69
FIGURA 61. EJES DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA CON CUCHILLAS Y SEPARADORES.....	70
FIGURA 62. CAJA DE CIZALLADURA CON SUS ELEMENTOS ENSAMBLADOS.	70
FIGURA 63. MATRIMONIO.....	71
FIGURA 64. CIRCUITO DE POTENCIA Y MANDO.....	71
FIGURA 65. MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO.....	74
FIGURA 66. CUADRO ESTADÍSTICO DEL TIEMPO DE CORTE POR BOTELLA.....	75
FIGURA 67. RESULTADOS DE HOJUELAS DE CADA MUESTRA.....	75
FIGURA 68. CUADRO ESTADÍSTICO DE COMPARACIÓN DE ÁREAS DE HOJUELAS.....	77
FIGURA 69. CONEXIONES DE LOS SENSORES CON EL PLC LOGO.	78

FIGURA 70. TABLERO ELÉCTRICO	78
FIGURA 71. DIAGRAMA DE UTILIDAD VS. COSTO MÁQUINA.....	81

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1. Pruebas de corte de fuerza.....	87
ANEXO 2. PROGRAMACIÓN SOFT COMFORT	94
ANEXO 3. PLANOS DE LA CUCHILLA DE CIZALLADURA	95
ANEXO 4. PLANOS DEL ENGRANE RECTO.....	96
ANEXO 5. PLANOS DEL EJE DE TRANSMISIÓN	97
ANEXO 6. CHAVETA	98
ANEXO 7. PLANOS DEL ÁNGULO SOPORTE DE LA MESA.....	99
ANEXO 8. PLANOS DE LA COLUMNA SOPORTE DE LA ESTRUCTURA	100
ANEXO 9. PLANCHA DE ACERO.....	101
ANEXO 10. ENSAMBLE TRITURADORA DE ENVASES PLÁSTICOS PET	103
ANEXO 11. PLANOS ELÉCTRICOS.....	104

RESUMEN

Este proyecto es un diseño y construcción de un prototipo que servirá para la cizalladura de los plásticos pet; su principal objetivo es ayudar con la protección del medio ambiente mejorando el proceso de reciclaje de este material contaminante, también es un aporte con el fin de optimizar los rendimientos en el proceso de reciclaje.

En la presente investigación se implementó la metodología mecatrónica, realizando el análisis de los diferentes elementos que constituyen en este prototipo como ejes de transmisión, selección de rodamientos, engranes, cuchillas de cizalladura, selección del motorreductor, estructura soportante y a través de un software de tipo CAD, se pudo validar las piezas diseñadas, comprobando que el prototipo ensamblado en su totalidad cumpla con el objetivo de la investigación. También se puede encontrar la selección de los elementos eléctricos y electrónicos para la automatización de los procesos.

Se podrá encontrar los planos de cada elemento diseñado, los planos eléctricos con el controlador lógico programable y el ensamble de la trituradora de plástico, indicado en tabla los elementos y las cantidades que se utilizó.

El control del prototipo se realizó a través de un controlador lógico programable (plc).

ABSTRACT

This project is a design and construction of a prototype that will serve to shear pet plastic; its main goal is to help protect the environment by improving the recycling process of this polluting material, it is also a contribution in order to optimize performance in the recycling process.

In the present investigation was implemented the mechatronic methodology, performing the analysis of different elements that constitute this prototype as drive shafts, selection of bearings, gears, blades shearing, selection of the gear motor, supporting structure and using CAD software, the system behavior could be simulated, checking that the prototype assembly fully meets the objective of the research. It can also be found the selection of electrical and electronic components for the automation of processes.

The drawings of each element designed, electric drawings with the programmable logic controller and assembly of plastic crusher, indicated in table elements and the amounts used can be found.

The prototype control was performed using a programmable logic controller (PLC).

1. INTRODUCCIÓN

Hasta la actualidad se han consumido una gran cantidad de materiales plásticos que han sido utilizados para muchas aplicaciones industriales, como por ejemplo las botellas plásticas pet (politereftalato de etileno), con grandes ventajas y desventajas, entre ellas están: baja densidad, elevada protección y vida útil del producto almacenado como ventajas, y como desventaja más importante es el gran volumen de residuos, provocando daños en el medio ambiente. Por lo que se apegará a la estrategia de las cuatro R (Reciclar, Recuperar, Reducir, Reutilizar), mientras mayor sea el manejo adecuado de residuos, mejor será el aprovechamiento de las materias primas renovables.

El Ecuador es un país consumidor de gran cantidad de líquidos, la mayoría de ellos vienen en envases plásticos y son utilizados generalmente en la industria e incluso en la vida cotidiana; son productos con una larga duración que cumplida su función son desechadas.

La mayoría de los plásticos pet se obtienen de derivados de petróleo, un producto caro y cada vez más escaso, por eso es necesario la recuperación de los desechos por dos razones principales: la contaminación que provoca y el valor económico que representa.

Por este problema el objetivo de esta investigación es diseñar y construir una máquina trituradora automatizada de envases plásticos pet, que permitirá disminuir el daño al ecosistema y elevar los niveles de productividad de hojuelas.

Para llegar al objetivo se investigará diversos tipos de trituradoras que existen en Quito, para comprender el mecanismo de cada una de ellas.

Se diseñará los componentes de la trituradora de plástico.

Se realizará un proceso de control y se realizará pruebas y calibraciones.

La máquina realizará el proceso de trituración y almacenamiento de las hojuelas del plástico pet, la misma que se construirá utilizando elementos y componentes de fabricación estándar que se encuentren en el mercado nacional.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. PLÁSTICO PET

El polietileno tereftalato (PET) es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado. Es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas y es uno de los plásticos convencionales más utilizados por la sociedad. Por las características del plástico PET ha servido mucho para el ámbito industrial.

2.1.1. RECICLAJE DEL PET

Constan varios métodos que se puede reciclar PET, como reciclado mecánico y químico con la finalidad de disminuir el impacto ambiental y el volumen de estos.

2.1.2. RECICLADO MECÁNICO

Es el más utilizado para el procesamiento del PET, comenzando con una limpieza del envase y transformarlos en pequeñas masas denominadas hojuelas que mantienen su estructura.

2.2. MÁQUINAS PARA PROCESAR EL PET

Las máquinas para triturar plástico son muy diversas, pero no sólo por tratarse de variados modelos, tamaños o por tener potencia, sino también en función de cuál sea el objetivo, pues se necesitan diferentes tecnologías para reciclar los diferentes plásticos.

Pese a sus diferencias, puede afirmarse que todas ellas convierten objetos de plástico en material reciclado tras triturarlo y transformarlo finalmente en miles de pedacitos de plástico, listos para un nuevo uso.

En una máquina para reciclar plástico se introducen botellas, envases y otros muchos objetos de dicho material para que se proceda a su triturado y conversión final en la materia prima plástica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que normalmente una máquina recicladora de este tipo trabaja junto

con otras que llevan a cabo funciones de limpieza antes de alimentar a la máquina, por lo que se hace un proceso más complejo.

2.3. EJES DE TRANSMISIÓN

El eje es un elemento mecánico que transmite movimiento rotacional o potencial y su sección generalmente es circular.

La transmisión se realiza a dispositivos mecánicos, ya que los ejes suelen sostener elementos de transmisión de potencia, como engranes, poleas para bandas, catarinas, levas, por lo que pueden estar soportando diferentes cargas en la sección en el eje.

Dependiendo de las cargas pueden producir diferentes esfuerzos, existiendo varias condiciones para poder determinar el diámetro y estas son:

- Ejes que están sometidos a momento flector y de torque se emplea la ecuación 1 (MOTT, 2006).

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

Dónde:

D = Diámetro del eje

N = Factor de diseño

kt= Factor de concentración de esfuerzos

M = Momento Flector

T = Torque

S'n = Resistencia a la fatiga real estimada

Sy = Resistencia de fluencia

- Para ejes que soportan solamente un momento flector, se emplea la ecuación 2 (MOTT, 2006)

$$D = \sqrt{\frac{2.94 \times kt \times V \times N}{S'n}} \quad [2]$$

Dónde:

- $V = \text{Esfuerzo Cortante}$

2.3.1. RESISTENCIA A LA FATIGA (S_n)

“Es el valor del esfuerzo que puede resistir un material durante una cantidad dada de ciclos de cargas.” (MOTT, 2006)

Existen dos maneras de para determinar el valor las cuales son:

- Mediante la ecuación 3.

$$S_n = 0.50 \times S_u \quad [3]$$

Dónde:

S_u = resistencia ultima a la tensión del material que se está utilizando.

- Especificación del proceso de manufactura usado para producir su parte donde podemos obtener mediante la figura 1.

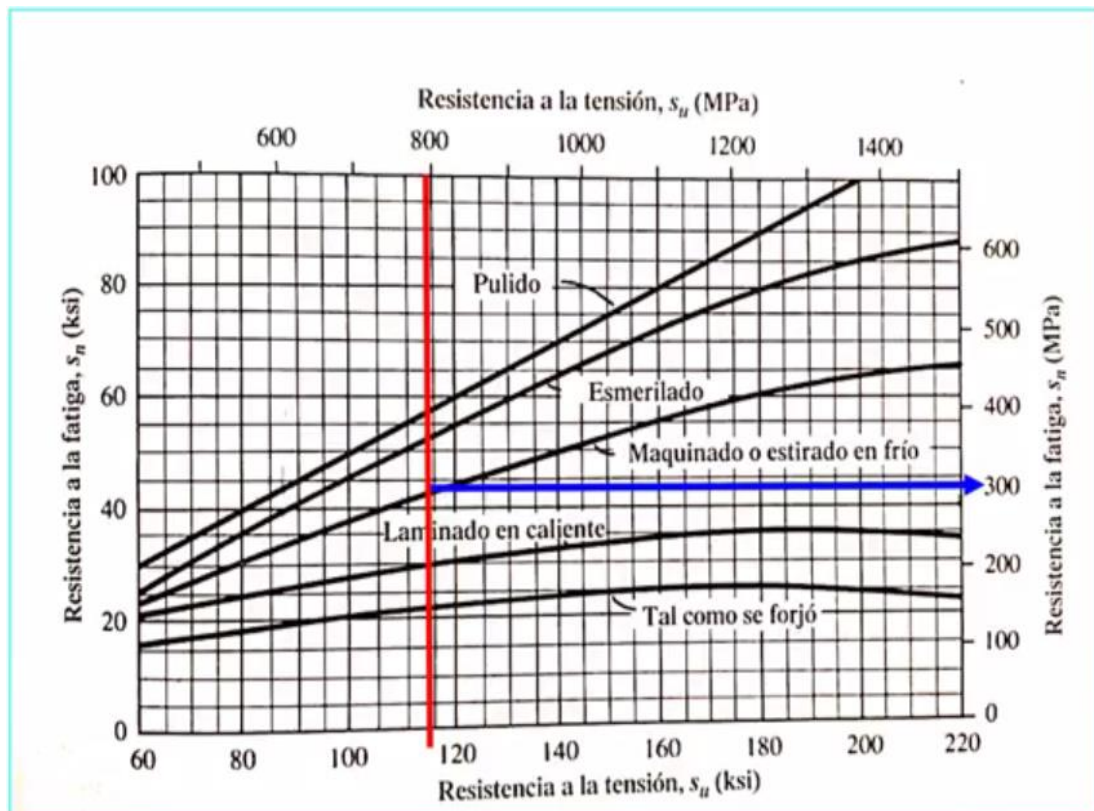


Figura 1. Resistencia a la fatiga S_n en función a la tensión.

Fuente: (MOTT, 2006)

Comparamos los valores calculados por las dos formas y se selecciona el de menor valor.

2.3.2. RESISTENCIA A LA FATIGA REAL ESTIMADA (S'n)

Para apegarnos más a la realidad con la que está trabajando el material se utilizara la ecuación 4 que se ajustara a condiciones más reales para disminuir a la resistencia de la fatiga.

$$S'n = S_n \times C_m \times C_r \times C_{st} \times C_s \quad [4]$$

Dónde:

C_m = Factor de material (Tabla 1)

Tabla 1. Factor de material C_m

Acero		Hierro	
Forjado	1	Colado maleable	0,8
Colado	0,8	Colado gris	0,7
Pulverizado	0,76	Colado dúctil	0,66

Fuente: (MOTT, 2006)

C_r = Factor de confiabilidad (Tabla 2)

Tabla 2. Factor de confiabilidad aproximados C_r .

Confiabilidad deseada	
%	C_r
0,5	1
0,9	0,9
0,99	0,81
0,999	0,75

Fuente: (MOTT, 2006)

C_{st} = Tipo de esfuerzos

- Esfuerzo flexionante = 1
- Tensión axial = 0.80

Cs = Factores de tamaño (Tabla 3)

Tabla 3. Factor de tamaño.

Unidades en SI	
Rango de tamaño	Para D en mm (Cm)
$D \leq 0,30$	1
$7,62 < D \leq 50$	$(D/7,62)^{-0,11}$
$750 < D \leq 250$	$0,859 \times 0,000837D$

Fuente: (MOTT, 2006)

2.3.3. SISTEMÁTICA DE DISEÑO

- Cuando se ha determinado las cargas que se aplican al eje y el tipo de material que se utilizará, se puede realizar el diagrama de cuerpo libre del eje.
- Se puede calcular el torque necesario con la ecuación 15.
- Se identifica los apoyos donde va a estar soportado el eje, y se calcula las reacciones o la fuerza que necesitaran realizar cada soporte.
- Obtenido todos estos datos podemos realizar los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector.
- Ya obtenidos todos los datos de momento flector, esfuerzo cortante y el torque podemos calcular el diámetro mínimo necesario para nuestra maquina con la ecuación 1.

2.4. RODAMIENTO

Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura, que le sirve de apoyo para su desplazamiento, y sus funciones principales son:

- Transfieren el movimiento, es decir, apoyan y guían componentes que giran entre sí

- Transmiten fuerzas

2.4.1. SELECCIÓN DE RODAMIENTO

Para la selección de rodamiento se considera:

- La capacidad de carga, ya sean cargas axiales y radiales que soporta el rodamiento
- La duración de la maquinaria a utilizar, donde se muestra en la tabla 4.
- Duración del diseño, que se calcula con la ecuación 5. (MOTT, 2006).

$$L_d = h \times n(\text{rpm}) \times 60 \frac{\text{min}}{h} \quad [5]$$

Dónde:

L_d = Duración de diseño.

h = Duración de horas de diseño

Tabla 4. Duración para los rodamientos.

Aplicación	Duración de diseño L10, h
Electrodomésticos	1000 - 2000
Motores de aviación	1000 - 4000
Automotores	1500- 5000
Equipo agrícola	3000 - 6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de uso múltiple	8000 - 15000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20000 - 30000
Bombas y compresores	40000 - 60000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100000 - 200000

Fuente: (MOTT, 2006)

Determinada la duración de diseño, se calcula la capacidad de carga dinámica del rodamiento con la ecuación 6. (MOTT, 2006).

$$C = Pd \times \left(\frac{Ld}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}} \quad [6]$$

Dónde:

C = Capacidad de carga dinámica.

Pd = Fuerza de diseño.

k = Tipo de elemento rodante.

- k = 3 (bolas)
- k = 3,3 (rodillos)

2.5. CHUMACERAS

Elemento mecánico de metal que sostiene y gira cualquier eje de maquinaria, sujetadas por tornillos.

2.5.1. SELECCIÓN DE CHUMACERAS

La selección depende de la carga que va a estar sometido y la forma en que se le vaya a utilizar, porque existen chumaceras de piso, chumacera de pared, entre las más conocidas.

2.5.2. SISTEMÁTICA DE SELECCIÓN

1. Se determina el tipo de carga que va a estar sometido.
2. Se determina la velocidad angular que va a girar el eje.
3. Se selecciona el tipo de maquinaria que se encuentra en la tabla 1.
4. Se calcula la capacidad de carga con la ecuación 4.
5. Determinado el valor máximo de la capacidad de carga dinámica, se busca en el catálogo un rodamiento que tenga la misma capacidad de carga o mayor y con el diámetro interno igual al del eje.

2.6. TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Es un conjunto mecánico de engranes y correas que trabajan en sinergia, encargados de transmitir potencia y movimiento, reduciendo a velocidades bajas o viceversa. Existen varios tipos de transmisión como correa, cadena balancín y engranes.

2.6.1. ENGRANES

“Los engranes son ruedas dentadas cilíndricas que se usan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro, con dientes que encajan con precisión en los espacios, como se muestra en la figura 2, los mismos que sirven de empuje para mover respecto del uno hacia el otro, lo cual constituye una fuerza perpendicular al radio del engrane. Con esto se trasmite un par torsional y potencia.” (MOTT, 2006)

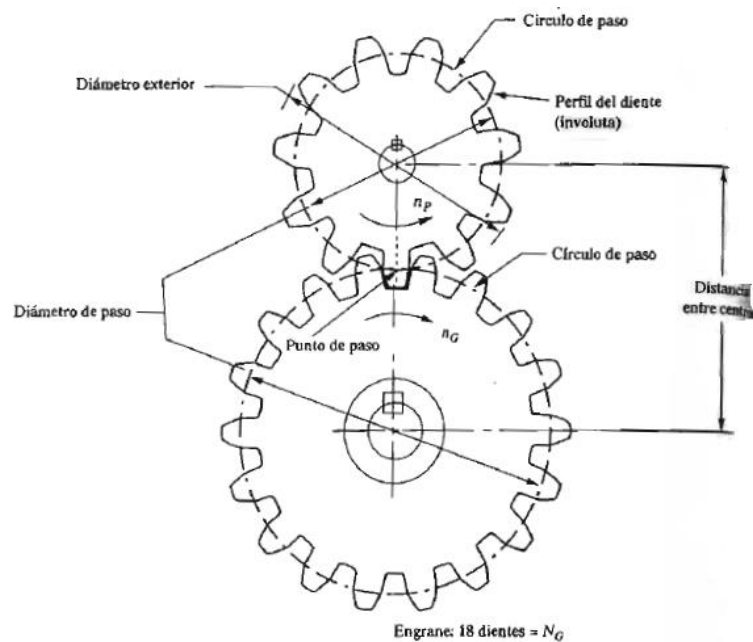


Figura 2. Par de engranes rectos.

Fuente: (MOTT, 2006)

Existen varios tipos de engranes como:

- Rectos
- Helicoidales
- Cónicos
- De tornillo sin fin y corona

2.6.2. ENGRANES RECTOS

“Tiene dientes rectos a la línea del centro del eje con perfil de involuta, que acciona un diente sobre el correspondiente. A medida que gira el engrane sus

dientes ejercen una fuerza sobre el engrane conducido, que es tangencial a los círculos de paso a los dos engranes, la cual ejerce un par torsional en el eje que soporta al engrane. Cuando los dos engranes giran, transmiten potencia proporcional a la torsión, figura 3.” (MOTT, 2006)



Figura 3. Engrane recto.

Fuente: (Martín, 2016)

2.6.2.1. Diseño de engranes rectos

Para el diseño se debe conocer la velocidad de giro y la potencia que se va a utilizar, con esos dos parámetros podemos desarrollar la geometría del engrane recto mediante:

- Numero de dientes.
- Paso diametral.
- Diámetro de paso.
- Forma de los dientes.
- Ancho de la cara.

2.7. COLUMNAS

“La columna es un elemento estructural que soporta cargas axiales de compresión, y tiende a fallar por inestabilidad elástica o pandeo.” (MOTT, 2006). La inestabilidad elástica se produce por las condiciones de la columna, de la forma, las dimensiones de su sección transversal.

Si una columna incrementa su longitud, disminuye la capacidad de soportar carga, en cambio cuando la excentricidad es pequeña y la columna es corta, la flexión lateral puede producir un gran esfuerzo de flexión.

Existen varios métodos para analizar y diseñar columnas, bajo diversas condiciones de carga como:

- La sección transversal de una columna
- El Radio de giro
- La fijación de un extremo
- La longitud efectiva
- Constante de columna
- Relación de esbeltez
- Carca crítica
- Factor de diseño y carga admisible

2.7.1. PROPIEDADES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA COLUMNA

El pandeo de una columna depende de la forma y dimensiones de su sección transversal, como también su longitud y forma de fijación.

2.7.2. RADIO DE GIRO

“Una columna tiende a pandearse respecto al eje para el cual el radio de giro y el momento de inercia son mínimos” (MOTT, 2006). Con la siguiente ecuación 7 podemos obtener el valor del radio de giro.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [7]$$

Dónde:

r = Radio de giro.

A = Área de la sección transversal.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

2.7.3. FIJACIÓN DE UN EXTREMO Y LONGITUD EFECTIVA

El tipo de fijación es muy importante determinar ya que existen varios tipos y cada uno con su constante de fijación (k), como se detalla en la figura 4.

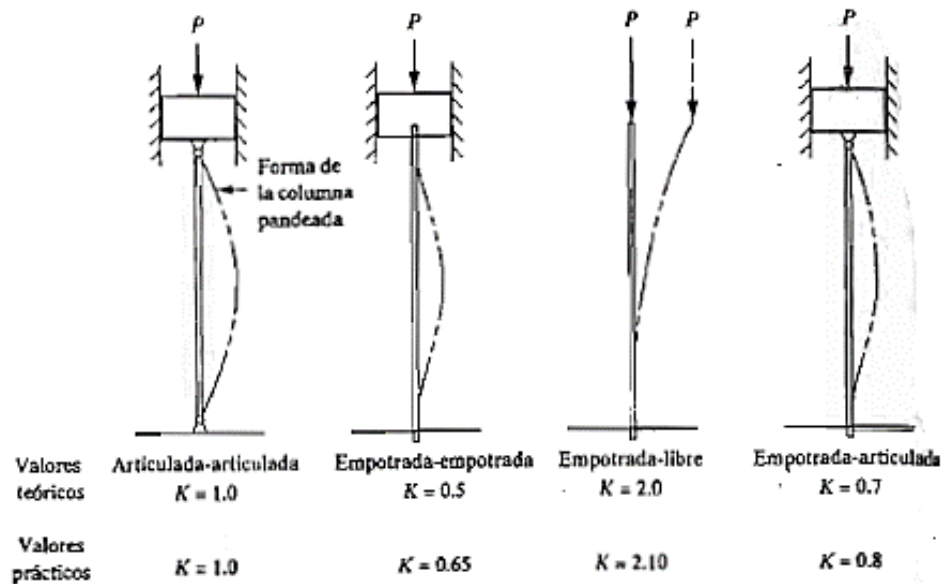


Figura 4. Valores de la constante de fijación (k)

Fuente: (MOTT, 2006).

Este valor es primordial para poder determinar la longitud efectiva, mediante la ecuación 8.

$$L_e = k \times L \quad [8]$$

Dónde:

L_e = Longitud efectiva.

L = Longitud real de la columna.

k = Constante de fijación. Figura x

2.7.4. RELACIÓN DE ESBELTEZ DE TRANSICIÓN O CONSTANTE DE COLUMAN

Dependiendo de la relación de esbeltez, existen tres tipos que son:

- Columnas cortas
- Columnas intermedias

- Columnas largas o esbeltas.

Con la ecuación 9 se determina la relación de esbeltez.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{S_y}} \quad [9]$$

Dónde:

C_c = Constante de columna.

E = Módulo de elasticidad del material.

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

2.7.5. RELACIÓN DE ESBELTEZ

Depende de su radio de giro y la longitud efectiva de la columna, y con la ecuación 10 se puede calcular el valor de la relación de esbeltez.

$$\text{Relación de esbeltez (Re)} = \frac{L_e}{r_{\min}} \quad [10]$$

Dónde:

L_e = longitud efectiva

r_{\min} = radio mínimo

2.7.6. CARGA CRÍTICA

Es el peso máximo que puede soportar la columna, si supera el peso la columna tiende a pandearse. El pandeo es provocado por la presencia de otra carga o peso.

Para el análisis compara los valores de la constante de columna y la relación de esbeltez.

2.7.6.1. Análisis de columna larga, Formula de Euler

Para poder determinar que la columna es larga se compara la relación de esbeltez, el cual tiene que ser mayor que la constante de columna. Por lo que se emplea la ecuación 11 de Euler (MOTT, 2006).

$$P_{cr} = \frac{E \times A \times \pi^2}{\frac{k \times L^2}{r_{min}}} = \frac{E \times I \times \pi^2}{(k \times L)^2} \quad [11]$$

2.7.6.2. Análisis de columna corta, Formula de J.B. Johnson.

Para que se pueda determinar que la columna es corta se compara que la relación de esbeltez tiene que ser menor que la constante de columna, para ello se emplea la ecuación 12 de Johnson (MOTT, 2006).

$$P_{cr} = A \times S_y \times \left[1 - \frac{S_y \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^2}{4 \times \pi^2 \times E} \right] \quad [12]$$

Dónde:

P_{cr} = Carga crítica.

A = Área de la sección transversal.

E = Módulo de elasticidad del material de la columna.

L = Longitud real de la columna.

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

r = Valor mínimo del radio de giro de la sección transversal.

2.7.7. FACTOR DE DISEÑO Y CARGA ADMISIBLE

Para garantizar que la columna no sufra deflexión, se establece un valor de seguridad denominado factor de diseño (N), se escoge dependiendo la aplicación que se le vaya a dar la columna, y son dos:

- Columnas de Máquinas: $N = 3$.
- Columnas Estacionarias: $N = 2$.

Determinado el valor N , se calcula la carga admisible mediante la ecuación 13.

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} \quad [13]$$

Dónde:

P_{cr} = Carga crítica.

Pa = Carga admisible.

N = Factor de diseño.

2.7.8. SISTEMÁTICA DE DISEÑO

1. Se obtiene el valor de la carga crítica mediante la ecuación 13.
2. Se analiza la columna asumiendo que es larga.
3. Utilizando la ecuación 11, se determina el valor de inercia (I).
4. Se selecciona el tipo de material con el que se determinó I, ya sea igual o mayor del calculado.
5. Se relaciona la constante de columna con la relación de esbeltez para determinar el tipo de columna.
6. En el caso que sea una columna corta, se requiere calcular la carga crítica con la ecuación 12.
7. Se compara los valores de carga crítica calculados con las ecuaciones 11 y 13.
8. Se selecciona la columna mediante la I calculada en los catalogo de IPAC.

2.8. VIGAS

“Una viga es un elemento que soporta cargas transversales a su eje. Esas cargas producen momentos de flexión, las cuales a su vez causan el desarrollo de esfuerzo de deflexión. Los esfuerzos de deflexión son esfuerzos normales, estos son, de tensión o de compresión. El esfuerzo cortante máximo en una sección transversal de una viga está en la parte más alejada del eje neutro de la sección.” (MOTT, 2006)

Para el diseño de la viga es necesario definir el módulo de sección S, y el esfuerzo de diseño.

Se utilizará la ecuación 14 del esfuerzo admisible, para determinar la sección requerida.

$$\sigma_D = \frac{M}{S} \quad [14]$$

Dónde:

B y H = Propiedades geométricas del área transversal de la viga. Apéndice 1 (MOTT, 2006).

M = Momento máximo de la viga.

S = Módulo de sección.

σ_D = Esfuerzo de diseño.

El esfuerzo de diseño tiene que ser menor o igual al esfuerzo permisible (σ_a).

$$\sigma_D \leq \sigma_a$$

2.8.1. SISTEMÁTICA DE DISEÑO

Se basa en los parámetros de cálculo referente a los esfuerzos obtenidos y comparamos con lo permisibles de tal manera que se dimensiona la viga en base a los materiales.

2.9. MOTORREDUCTORES

Un motorreductor es la unión de un motor eléctrico con una caja reductora como se muestra en la figura 5.

Como su nombre propio lo indica reduce la velocidad en la salida en una forma segura y eficiente. Por estas especificaciones son muy utilizados en el sector industrial de alto rendimiento.



Figura 5. Motorreductor.

Fuente: (BkB, 2015).

2.9.1. MOTOR ELÉCTRICO

Existen dos tipos de motores que son:

- Motor de corriente continua (DC).
- Motor de corriente alterna (AC).

2.9.1.1. Motor de corriente alterna (AC)

Estos motores son el más empleado en el mercado. Hay dos tipos de motores eléctricos a corriente alterna que son el motor síncrono y el de inducción. Cada uno de estos tipos puede usar corriente monofásica o trifásica.

En aplicaciones industriales, los motores trifásicos son los más comunes, debido a su mayor eficiencia con respecto a los motores monofásicos. El motor síncrono es mucho menos generalizado que el motor a inducción, pero se usa en unas aplicaciones especiales, que requieren de una velocidad absolutamente constante o una corrección del factor de potencia como se muestra en la figura 6.

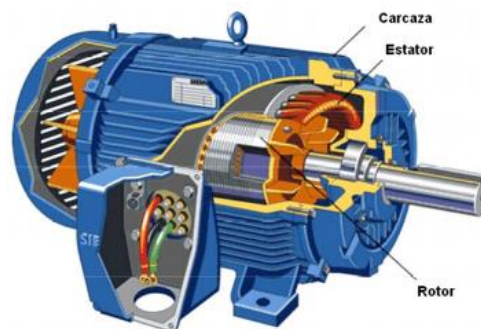


Figura 6. Motor de corriente alterna (AC).

Fuente: (Vandelvira, 2011)

2.9.2. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Se seleccionan según la potencia que se requiere y el torque necesario, y con la ecuación 15 se puede calcular la potencia.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad [15]$$

Dónde:

T = Torque.

P = Potencia.

W = Velocidad angular.

2.9.3. REDUCTOR DE VELOCIDAD

Los reductores de velocidad es un conjunto de elementos mecánicos, que reducen la velocidad y aumenta el torque como se muestra en la figura 7. Se clasifican dependiendo el tipo de engrane, por disposición de los ejes y por sistema de fijación.

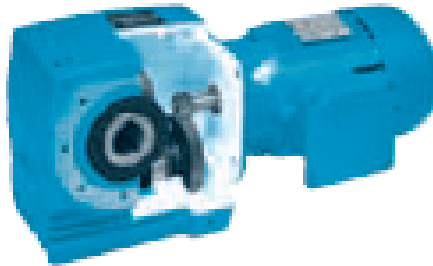


Figura 7. Reductor de velocidad.

Fuente: (BKB, 2015)

2.9.3.1. Selección del reductor de velocidad

Se selecciona en base a la velocidad de salida, y el torque necesario. Determinado los dos parámetros se utiliza la ecuación 14 para el cálculo de la potencia.

2.10. SENSOR

Componente eléctrico que tiene como función medir señales.

2.10.1. SENSOR DE NIVEL

Se encarga de medir el llenado de un recipiente y se clasifican en:

- Capacitivo
- Conductivo

2.10.1.1. Selección de sensor de nivel

Se selecciona dependiendo de la aplicación que se vaya a utilizar, el voltaje de alimentación. En la figura 8 se muestra un sensor de nivel LM – 01.



Figura 8. Sensor de nivel LM – 01.

Fuente: (AG, 2015)

2.10.2. SENSOR INFRARROJO

“Es un dispositivo eléctrico pequeño, son aquellos que detectan la radiación emitida por los materiales calientes y la transforman en una señal eléctrica. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas. Este componente puede tener la apariencia de un LED normal, la diferencia radica en que la luz emitida por él no es visible para el ojo humano, únicamente puede ser percibida por otros dispositivos electrónicos.” (Naranjo Conteras, Montañó García, Tabón Rivera, & Visbal Fernández, 2009)

2.10.2.1. Selección de sensor infrarrojo

Se selecciona dependiendo de la aplicación que se vaya a utilizar como se muestra en la figura 9, el voltaje de alimentación.



Figura 9. Sensor infrarrojo.

Fuente: (VISHAY, 2016)

2.10.3. INTERRUPTOR DE PROXIMIDAD

Es un microswitch que actúa mediante un contacto físico, cerrando la línea de contacto, permitiendo el paso de la corriente, también conocidos como fines de carrera.

2.10.3.1. Selección de sensor de proximidad

La selección del interruptor de proximidad es dependiendo la utilización que se le vaya a dar, ya que existen fines de carrera normalmente abiertos y normalmente cerrados, que trabajan con corrientes altas y bajas.

2.11. SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados ordenar, administrar, dirigir o regular el comportamiento de un sistema.

2.11.1. SISTEMA

Es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo como se indica en la figura 10.

“Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- Sensores: Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema
- Controlador: Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- Actuador: Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.” (Tessinagloba, s.f.)

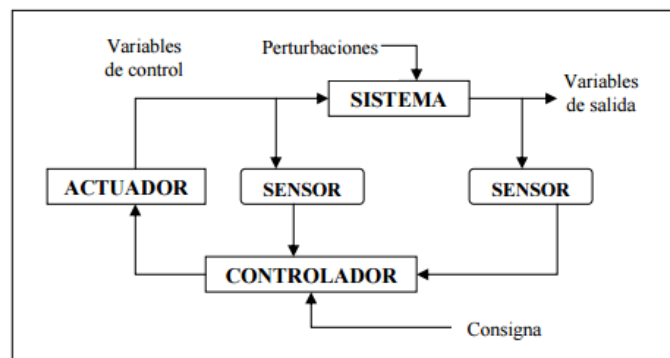


Figura 10. Esquema general de un sistema de control.

Fuente: (Tessinagloba, s.f.)

3. METODOLOGIA

3.1. METODOLOGÍA MECATRÓNICA

La metodología mecatrónica es la combinación de varios pasos como se muestra en la figura 11, comenzando con las especificaciones del sistema, luego intervienen los diseños de sistema mecánico, eléctrico, control, hardware y software de manera concurrente, utilizando conjuntamente dichos diseños.

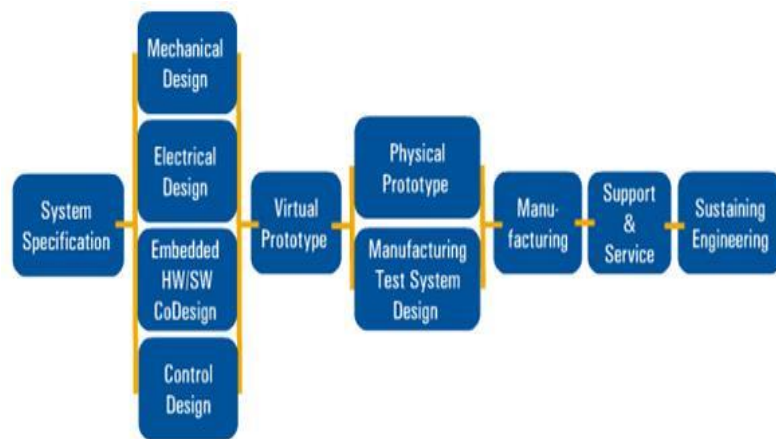


Figura 11. Metodología del Diseño Mecatrónico.

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2016)

3.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

- Sistema de transmisión de potencia de 2 – 2.5 hp.
- Sistema de cizalladura para las botellas plásticos pet, máximo hasta 3 litros.
- Detector de presencia para controlar el encendido (ON).
- Controlador lógico programable (PLC) para el sistema de control de la máquina.
- Sistema de almacenamiento con capacidad hasta 5 litros.
- Sistema de luces indicadoras de encendido, llenado y paro de emergencia.
- Sistema de seguridad si existiera un atascamiento en el proceso.
- El área del tamaño de las hojuelas no mayor a los 2 cm².
- Alimentación del motorreductor a 220 VAC.

3.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Existen varios métodos que ayudan a seleccionar la alternativa más adecuada para el diseño del proyecto, que servirán de guía y facilitará la selección de los elementos de mejor manera, las más conocidas son:

- Casa de calidad.
- Método Diagrama Morfológico.
- Método de criterios ponderados.

3.3.1. CASA DE CALIDAD

En este proceso se interrelaciona y se evalúan las necesidades del cliente y los criterios de diseño ingenieril, y ver cual prevalece. En la tabla 5 se detalla la interpretación de los valores.

Tabla 5. Interpretación valores casa de calidad

Interpretación	Valoración	Estado del indicador
Excelente	5	
Bueno	3	
Malo	1	
Sin relación	0	

En la tabla 6 se detalla las necesidades del cliente vs el criterio ingenieril.

Tabla 6. Casa de calidad

CASA DE CALIDAD REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE VS CRITERIOS DE INGENIERIL								
REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE \ CRITERIOS INGENIERIL	Manufactura	Geometría	Diseño Mecánico	Impacto ambiental	Control	Material	Potencia	VALORES DE OBJETIVO
	Durable	3	0	5	0	0	3	0
Cómodo	3	3	5	0	3	3	0	17
Confiable	3	0	5	3	3	0	0	14
Económico	5	5	5	3	3	3	3	27
Liviano	3	3	3	0	3	0	0	12
Seguro	3	5	5	3	5	5	0	26
Fácil de operar	3	3	5	5	3	3	3	25
VALORES DE OBJETIVO	23	19	33	14	20	17	6	

Los criterios más relevantes para el diseño que son:

- Económico
- Diseño mecánico

3.3.2. MÉTODO DE DIAGRAMA MORFOLÓGICO

Es una técnica de diseño como se muestra en la tabla 7, que guiará al modelo idóneo, donde integramos el sistema mecánico con lo eléctrico y control.

Tabla 7. Diagrama morfológico

Detalle	Opcion 1	Opcion 2	Opcion 3
Material para la estructura			
Motor			
Reductor de velocidad			
Transmisión de potencia			
Cuchillaz de cizalladura			
Fijación de cuchillas de cizalladura con el eje de transmisión			
Control			
Software de control			
Software de modelado			
Software de diseño eléctrico			

3.3.3. CRITERIOS PONDERADOS

Este método se menciona los factores más relevantes para el diseño, asignando valores a cada criterio del diseñador como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de criterio ponderado.

Valor	Interpretación
0	Menos importante
0,5	Aceptable
1	Importante

En la tabla 9 se observa el criterio de ponderación.

Tabla 9. Criterio ponderado.

MÈTODO DE CRITERIOS PONDERADOS												
CRITERIOS	Manufactura	Geometría	Diseño Mecánico	Impacto ambiental	Control	Material	Potencia	Suma parcial	$\Sigma + 1$	Ponderación	%	
Manufactura		1	1	0,5	1	1	0,5	5,0	6,0	0,136	13,6	
Geometría	1		1	0,5	1	1	1	5,5	6,5	0,148	14,8	
Diseño Mecánico	1	1		1	1	1	1	6,0	7,0	0,159	15,9	
Impacto ambiental	0,5	0,5	1		0,5	1	1	4,5	5,5	0,125	12,5	
Control	1	0,5	1	0,5		1	1	5,0	6,0	0,136	13,6	
Material	1	1	1	1	1		1	6,0	7,0	0,159	15,9	
Potencia	0,5	1	1	0,5	1	1		5,0	6,0	0,136	13,6	
								SUMA	37,0	44,0	1	100

Con estos métodos se podrá diseñar y seleccionar los elementos para el presente proyecto tomando en cuenta los requerimientos del cliente y las restricciones.

3.4. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

- Sistema mecánico
- Sistema eléctrico
- Sistema de control

3.3.2. SISTEMA MECÁNICO

Comenzará mediante un modelo en 3D que posteriormente se establecerá un sistema de caja de cizalladura que está formado por: conjunto de cuchillas, separadores, eje motriz, eje conducido, ducto de ingreso de botellas, conducto para el almacenamiento. Basado en los parámetros indicados se establece la potencia necesaria.

El sistema de transmisión de potencia es un conjunto de elementos que tiene la misión de producir el giro del motor hacia sus elementos conducidos como se muestra en la figura 12. La potencia mecánica se define mediante el torque y la velocidad angular, que consta de una caja reductora y un juego de engranes.

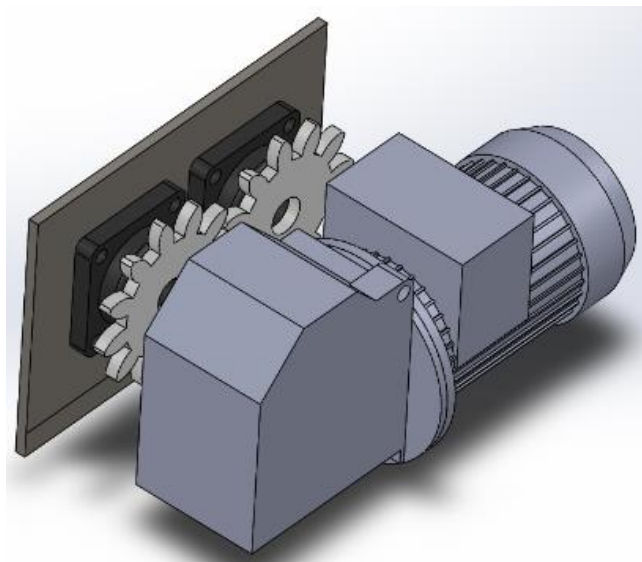


Figura 12. Caja reductora y juego de engranes.

Las cuchillas, engranes y separadores estarán montadas en los ejes, con la finalidad que realice el corte del plástico pet en hojuelas y pase al sistema de almacenamiento.

El sistema de almacenamiento constará del conducto y el recipiente donde caerán las hojuelas.

En los componentes de la maquina se utilizará materiales existentes en el mercado local.

3.3.1.1. Ducto de ingreso de botellas

Para seleccionar la forma que debe tener el ducto (tolva) se tomará en cuenta las dimensiones y la facilidad para depositar las botellas plásticas PET (máximo de 3 litros) evitando tener geometrías que permitan la aglomeración de la botella. Bajo estos parámetros el ducto se diseña en una sección rectangular como se muestra en la figura 13.

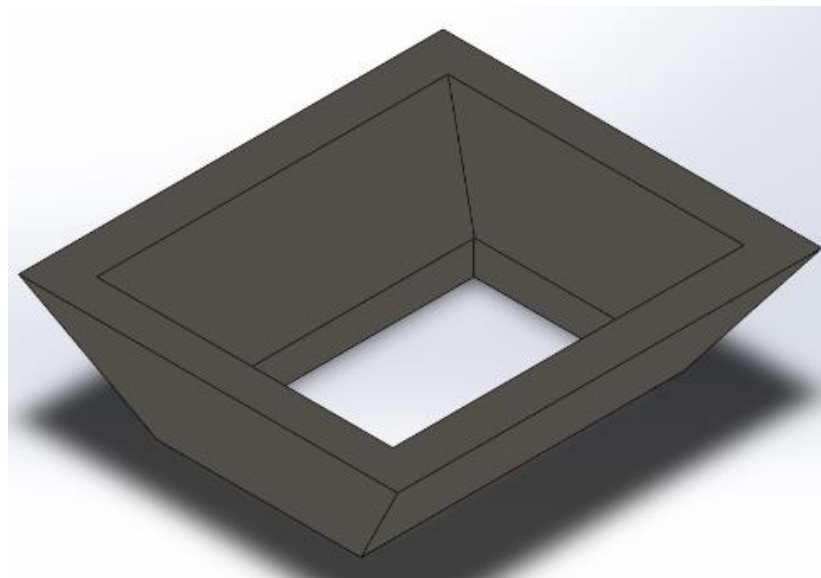


Figura 13. Ducto de ingreso.

3.3.1.2. Eje motriz y conducido

El eje motriz y conducido en este caso será de las mismas características y dimensiones. El eje motriz es el que genera el movimiento transmitiéndole este al eje conducido.

Los ejes se diseñarán tomando en cuenta:

- Las cargas que se aplican sobre los mismos

- El diámetro del eje de la caja reductora para el fácil acoplamiento
- La adaptación de los ejes con las cuchillas para que exista un acoplamiento ideal en el movimiento, figura 14.

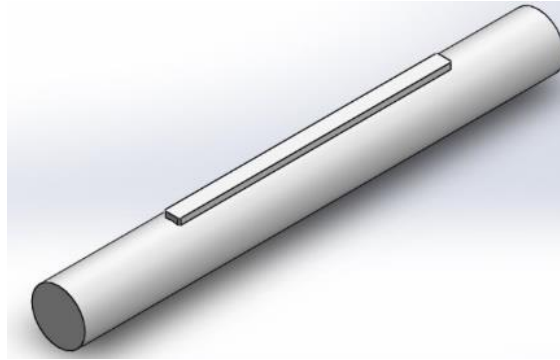


Figura 14. Eje motriz y conducido.

3.3.1.3. Engranés

Habrán dos engranes en el proyecto, encargados de transmitir el movimiento a los ejes como se muestra en la figura 15.

Los engranes se modelarán tomando en cuenta:

- La distancia entre ejes.
- El diámetro del eje.
- La relación de velocidades.
- La potencia a transmitir.

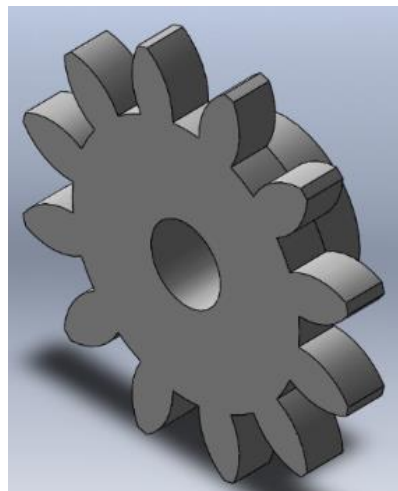


Figura 15. Engrane recto.

3.3.1.4. Cuchillas de cizalladura

Las cuchillas son elementos mecánicos de corte (cizalladura) que permiten la transformación del tamaño de los materiales según los requerimientos.

Las cuchillas se diseñarán tomando en cuenta:

- Las dimensiones respecto a la caja de corte como se indica en la figura 16, para que no exista atascamiento y produzca ruptura de la herramienta,
- Las distancias entre ejes
- Las distancias entre chumaceras y separadores
- Características del material que se utiliza para la cizalladura
- El ángulo de corte necesario según los requerimientos que se necesiten, en este caso no existe un ángulo estándar y se ha recurrido a una base experimental de resultados dando como dato el de 45° como el recomendado como se muestra en la figura 16.

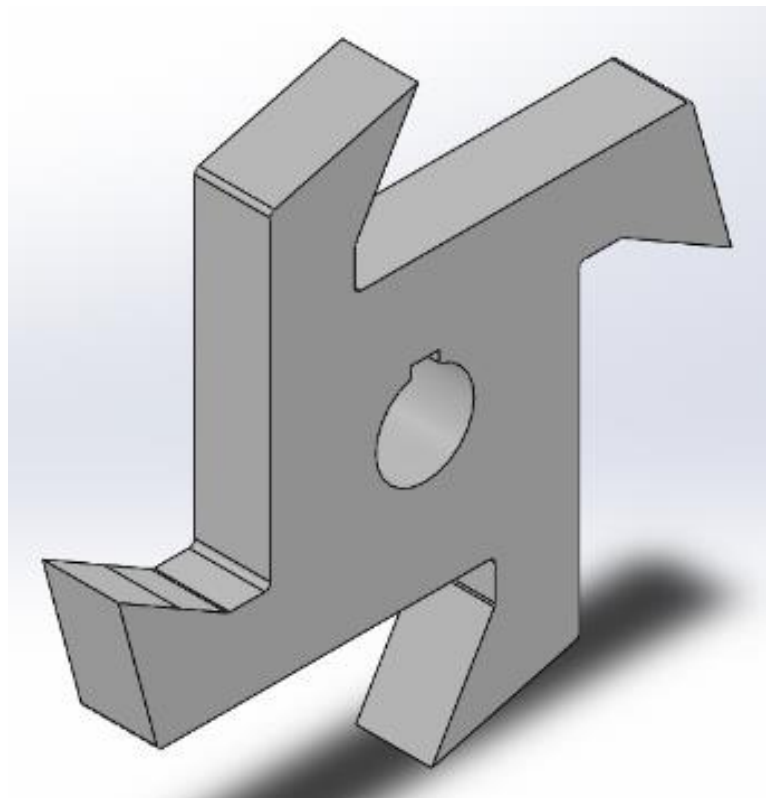


Figura 16. Cuchilla de cizalladura.

3.3.1.5. Estructura soportante

Es un elemento constituido por vigas y columnas (pórtico) como se muestra en la figura 17. Completando la misma unas láminas en paredes y pisos de acero ASTM A36.

Se utiliza este material por ser el más indicado en la industria ya que sus propiedades mecánicas son favorables para soportar esfuerzos axiales como a torsión garantizando el soporte adecuado de la estructura.

La estructura soporte se diseñará tomando en cuenta:

- Las cargas aplicadas.
- La unión del pórtico se la realizará con pernos.
- Se soldarán en los nudos viga columna.
- El tipo de suelda será la que resista la carga.

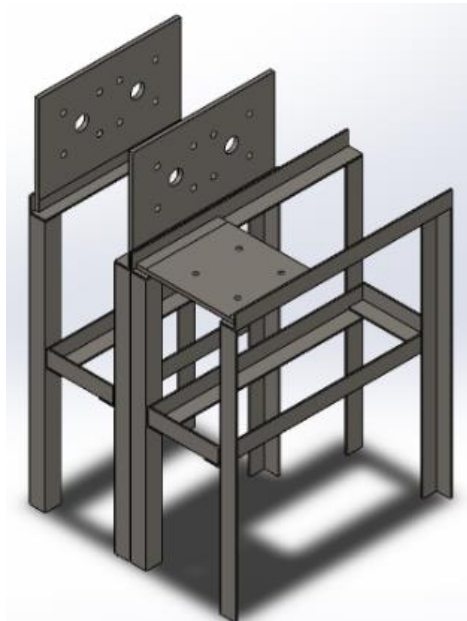


Figura 17. Pórtico estructural.

3.3.1.6. Rodamiento y chumaceras

Serán los soportes de los ejes que estarán montados en las láminas de paredes. Se seleccionará dependiendo de la carga que va a soportar y el diámetro del eje como se muestra en la figura 18.

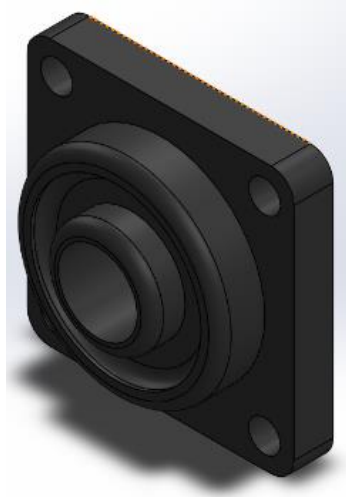


Figura 18. Chumacera KOYO.

Fuente: (KOYO, 2015)

3.3.1.7. Conducto para almacenamiento

Es un canal que conducirá el material después del proceso de cizallamiento al recipiente de almacenamiento como indica la figura 19.

Se modelará el ducto ajustándose a las dimensiones del prototipo.

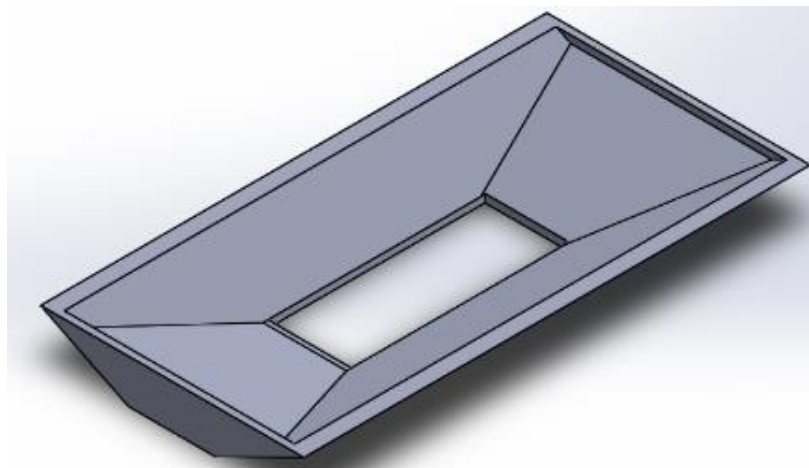


Figura 19. Conducto de almacenamiento.

3.3.2. SISTEMA ELÉCTRICO

Por las necesidades propuestas se necesitan:

- Motorreductor.
- Sensor infrarrojo.

- Sensor de nivel.
- Sensores de contacto.
- Sistema de luces.
- Botonera (ON/OFF).
- Tablero eléctrico.

3.3.2.2. Motorreductor

La principal característica del motorreductor es generar bajas velocidades, para el presente proyecto se estima aproximadamente una salida de 60 rpm para el óptimo trabajo de cizalladura que realizarán las cuchillas con el fin de obtener las hojuelas requeridas. Dicho actuador se seleccionará en base a la potencia requerida como se muestra en la figura 20.

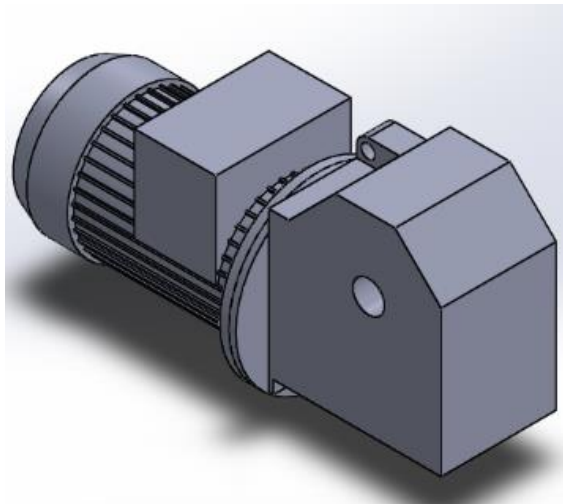


Figura 20. Motorreductor BKB.

3.3.2.3. Sensor infrarrojo

El sensor infrarrojo deberá encender el actuador (motor eléctrico) cuando detecte el paso de la botella que estará ubicada en el ducto de ingreso.

3.3.2.4. Sensor

El sensor tendrá como función detectar el nivel requerido de llenado del recipiente de almacenamiento, que se encuentra ubicada en el área de almacenamiento, y una vez detectada dicho nivel deberá apagar el actuador.

3.3.2.5. Sensores de contacto

Conocidos también como fines de carrera como se muestra en la figura 21, y son dispositivos que sirven como interruptores. Se tomará en cuenta como sistema de seguridad en el proceso, en este caso servirán para detener el actuador cuando exista una separación entre:

- El ducto y la lámina de pared
- La apertura de la puerta en el área de almacenamiento
- La apertura de la puerta en el área donde estará ubicado el motorreductor.



Figura 21. Fin de carrera.

Fuente: (ELECTRÓNICA EMBAJADORES, 2015)

3.3.2.6. Sistema de luces

Para este proyecto se utilizará tres luces led como se muestra en la figura 22. Uno de color verde, indicará que la máquina estará encendida, otro de color rojo, indicará el paro de emergencia, y el ultimo de color azul, indicará cuando el recipiente de almacenamiento este lleno.



Figura 22. Luces Led.

Fuente: (LITORAL, 2016)

3.3.2.7. Botonera (ON/OFF).

Para el encendido y el apagado de la maquina se utilizará dos botones, figura 23. Uno de color verde que tendrá como función encender la máquina, y el otro botón de color rojo que apagará la máquina.



Figura 23. Botonera (ON/OFF).

Fuente: (Promelsa, 2015)

3.3.2.8. Tablero eléctrico.

Para todo el sistema eléctrico la máquina utilizará un tablero eléctrico como se muestra en la figura 24. Es un gabinete que está compuesto de:

- Aparatos de maniobra (Botonera).
- Aparatos de protección (Fusibles).
- Placa electrónica.
- Sistemas de luces.
- Procesador.



Figura 24. Tablero eléctrico.

Fuente: (ENGICONTROL, 2015)

3.3.3. SISTEMA DE CONTROL

La máquina tendrá un sistema de control para mejorar el proceso de reciclado, emitiendo y recepiendo las señales de los elementos eléctricos y electrónicos.

3.3.3.3. Procesador

En base a la aplicación, al número de entradas y salidas se seleccionará un controlador capaz de controlar los siguientes elementos:

- Actuador
- Sensores
- Fines de carrera
- Sistema de luces
- Botonera (ON/OFF)

En la tabla 10, se detalla el número de entradas y salidas que se van a utilizar.

Tabla 10. Entradas y Salidas

ENTRADAS		DETALLE
1		Botón (ON/OFF)
2		Sensor (Ingreso de la botella)
3		Sensor (Llenado del recipiente)
4		Fin de Carrera (Puerta de almacenamiento)
5		Fin de Carrera (Puerta del motorreductor)
6		Botón (Paro de emergencia)

SALIDAS		DETALLE
1		Actuador (motorreductor)
2		Luz indicadora (Encendidos)
3		Luz indicadora (Para de emergencia)
4		Luz indicadora (Llenado)

4. DISEÑO

Una vez determinado la metodología se procede al diseño y selección de cada uno de los elementos que van a intervenir en la máquina.

4.1. PARAMENTROS DE DISEÑO

Los parámetros considerados para el diseño se obtienen en base del plástico PET que son:

- Dimensiones.
- Fuerza mínima de cizalladura. (Anexo 1)

4.1.1 DIMENSIONES

El plástico PET tiene diferentes dimensiones ya que viene en envases pequeños y grandes, y como referencia tomamos las dimensiones del plástico PET grande de 3 litros que se detalla en la figura 25.

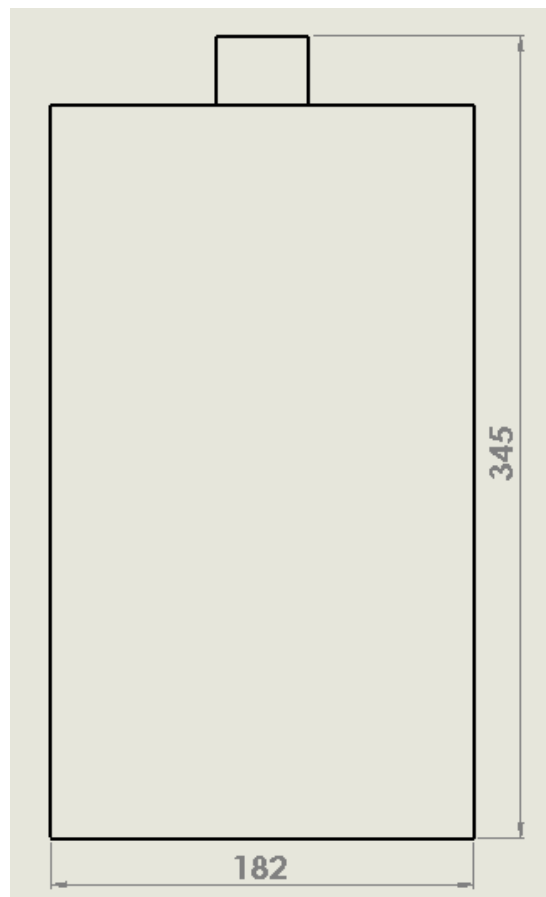


Figura 25. Dimensiones botella plástico PET aplanado (3 Lt).

4.2. DISEÑO MECÁNICO

4.2.1. EJE MOTRIZ Y CONDUCIDO

El objetivo de los ejes es recibir el movimiento mediante la caja reductora y transmitir a las cuchillas de cizalladura.

Los ejes van hacer contruidos en acero Boholer V320, el acero es ideal para fabricar estos tipos de elementos. El peso que va a soportar los ejes es de 719.36 lbf, dato obtenido pesando a cada pieza colocadas en el eje, que son:

- Cuchillas de cizalladura
- Engranés
- Anillos de retención
- Chumaceras
- Separadores.

4.2.1.1. Diámetro de los ejes motriz y conducido

Los ejes deben soportar diferentes cargas como: de corte, flexión y torsión, ya que en su longitud soportan los diferentes elementos mencionados anteriormente.

Es muy importante determinar el torque que necesitan las cuchillas de cizalladura, y utilizando la ecuación 16.

$$T_c = F \times d \quad [16]$$

Dónde:

T_c = Torque necesario de las cuchillas de cizalladura

F = Fuerza de corte (anexo 1)

d = Radio de la cuchilla de cizalladura. (2,73 in)

$$T_c = 2.661,6 \text{ ln. in}$$

4.2.1.2. Potencia requerida

Para realizar el cálculo de la potencia se considera:

- Velocidad de salida = 60 [rpm].
- Torque necesario de las cuchillas

Ya con estos se utiliza la ecuación 2.15 y despejando la potencia no da como resultado:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad [15]$$

$$P = 2,5 \text{ hp}$$

4.2.1.3. Reacciones en los soportes de los ejes

Es necesario determinar las reacciones que van a necesitar los apoyos de los ejes, y se hace un diagrama de cuerpo libre para ver en donde se encuentran y a que distancia están como se muestra en la figura 26.

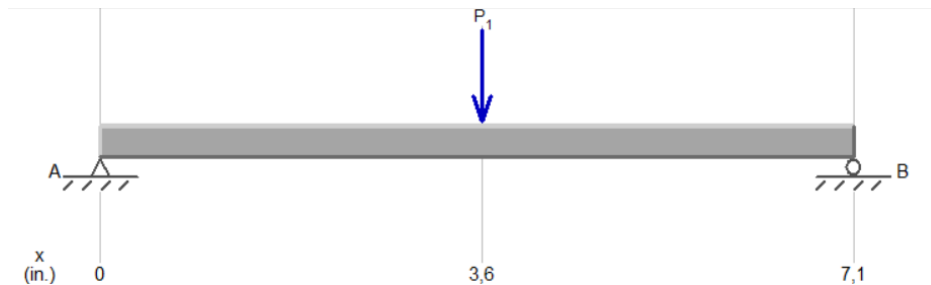


Figura 26. Diagrama de cuerpo libre.

Dónde:

P1 = Peso

Determinadas las distancias y los apoyos de nuestro eje, se determinará las reacciones que van a realizar A y B mediante la sumatoria de fuerzas en el eje Y, que se muestran en la ecuación 17 y la sumatoria de momentos como se muestra en la ecuación 18.

$$\sum F_y = 0 \quad [17]$$

$$RA + RB = 719,36 \text{ lb.}$$

$$\sum MA = 0 \quad [18]$$

$$-(719,36 \text{ lb} \times 3,55 \text{ in}) + (RB \times 7,10 \text{ in}) = 0$$

$$RB = \frac{719,36 \text{ lb} \times 3,55 \text{ in}}{7,10 \text{ in}}$$

$$RB = 359,75 \text{ lb}$$

Remplazamos el valor en la ecuación 18.

$$RA = 356,61 \text{ lb}$$

Donde:

$\sum Fy$ = Sumatoria de Fuerzas en el eje Y

$\sum MA$ = Sumatoria de momentos respecto A

RB = Reacción del apoyo en B

RA = Reacción del apoyo en A

Ya con los valores se realizan los diagramas del esfuerzo cortante (V) figura 27 y de momento flector (M) figura 28.

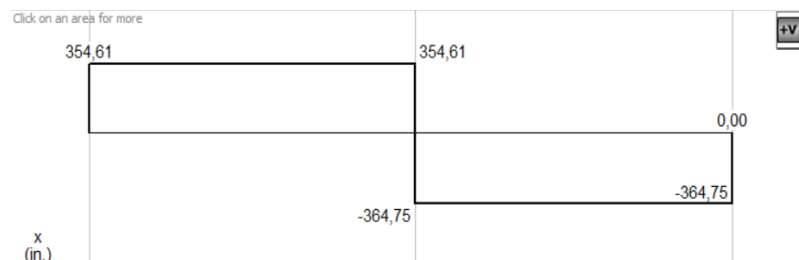


Figura 27. Diagrama de esfuerzo cortante.

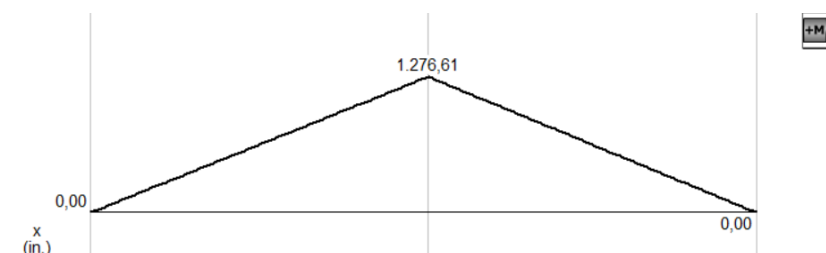


Figura 28. Diagrama de momento flector.

Como vemos en las figuras los resultados del esfuerzo cortante y del momento flector que son:

$$V_{\max} = 354,61 \text{ lb}$$

$$M = 1.276,61 \text{ ln. in}$$

Obtenido todos los valores se calcula el diámetro mínimo requerido con la ecuación 1 con un factor de seguridad de 5:

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left[\frac{kt \times M}{S \cdot n} \right]^2 + \frac{3}{4} \times \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [1]$$

$$D = 1,12 \text{ in}$$

4.2.1.4. Selección de rodamiento

Para seleccionar el rodamiento que necesitamos primero hay que calcular la duración de diseño con la ecuación 5.

$$L_d = h \times n(\text{rpm}) \times 60 \frac{\text{min}}{h} \quad [5]$$

$$L_d = 20.000 \text{ h}$$

$$20.000 \text{ h} \left(\frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \cancel{\text{h}}} \mid \frac{500 \text{ rev}}{1 \cancel{\text{min}}} \right)$$

$$L_d = 720 \times 10^6 \text{ rev}$$

Obtenido el valor la duración de diseño, se utiliza la ecuación 6 para ver con que carga de diseño va a trabajar.

$$C = P_d \times \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad [6]$$

$$C = 3.222,74 \text{ lb.}$$

Se selecciona en el catálogo de rodamientos NSK, la carga más aproximada de la que se calculó y por facilidad de acople con el eje del motorreductor se obtiene un rodamiento de diámetro interno:

$$D = 1,38 \text{ in.}$$

Por esta selección el diámetro final del eje será igual al diámetro del rodamiento seleccionado.

4.2.1.5. Simulación y verificación del factor de seguridad del eje con los rodamientos

El factor de seguridad simulado en el software tiene que superar al valor de diseño, como se observa en la figura 29 el factor de seguridad mínimo es de 5,4 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

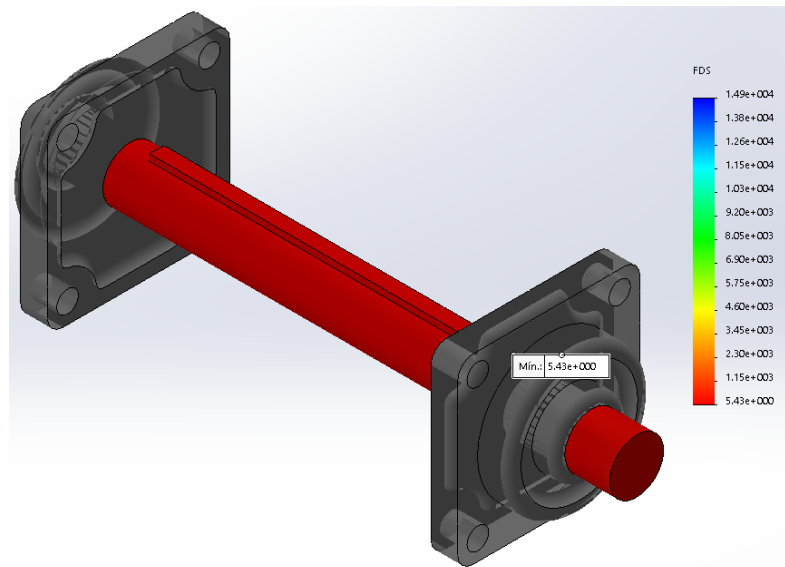


Figura 29. Factor de seguridad del eje con los rodamientos.

4.2.2. ESTRUCTURA SOPORTE DE LA MÁQUINA

El objetivo de la estructura es soportar las diferentes cargas y elementos que intervienen en el prototipo. La estructura está compuesta por columnas de la mesa soporte del motorreductor, columnas soporte de la caja cuchillas, mesa soporte de las cuchillas, mesa soporte del motorreductor

4.2.2.1. Ángulo soporte del motorreductor

Es un ángulo donde va montado el motorreductor que tiene que soportar un peso de 76,1 lbf y el tipo de material es de acero estructural ASTM A36.

Para el diseño de mesa se determina:

- Las fuerzas que van actuar en ellas.
- Las distancias donde se encuentran los apoyos.

Esto se realiza mediante un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 31.

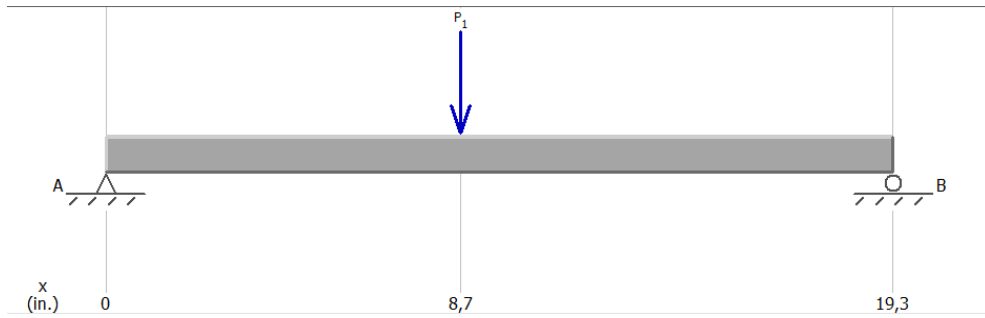


Figura 30. Diagrama de cuerpo libre de la mesa del motorreductor.

Identificado los apoyos, los pesos y distancias se calcula las reacciones en los apoyos con la ecuación 17 y la ecuación 18, dando como resultado:

$$\sum F_y = 0 \quad [17]$$

$$\sum M_A = 0 \quad [18]$$

$$R_A = 41,80 \text{ lbf.}$$

$$R_B = 34,30 \text{ lbf.}$$

Con estos valores se realiza los diagramas del esfuerzo cortante (V) figura 32 y de momento flector (M) figura 33.



Figura 31. Diagrama de esfuerzo cortante.

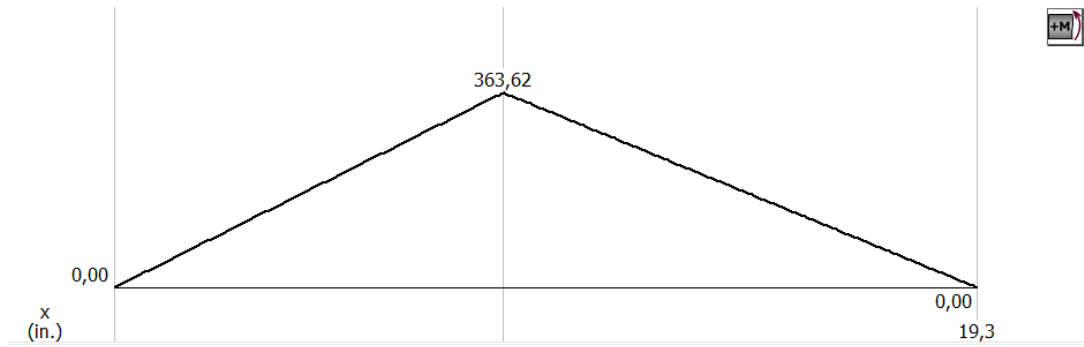


Figura 32. Diagrama de momento flector.

Como se muestra en las figuras, los resultados del esfuerzo cortante y del momento flector que son:

$$V_{\max} = 41,80 \text{ lb}$$

$$M = 363,2 \text{ ln. in}$$

Con esos valores se calcula la sección, despejando de la ecuación 14 y aplicando la condición de los esfuerzos mencionados en el capítulo 2.

$$\sigma D = \frac{M}{S} \quad [14]$$

$$\sigma D \leq \sigma_a$$

$$S \geq 10,1 \times 10^{-3} \text{ in}^3$$

Se selecciona la sección que va a tener la mesa, en este caso de forma rectangular.

Obtenido el módulo de sección y la base de la mesa que es de 0.39 in, se calcula la altura necesaria despejando de la siguiente ecuación 19.

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2 \quad [19]$$

Dónde:

h = Altura de la mesa

b = Base de la mesa

$$h = 0,39 \text{ in}$$

Determinado las dimensiones de la sección, se selecciona un ángulo aproximado en el catálogo de IPAC, con las siguientes dimensiones:

Tabla 11. Dimensiones del ángulo seleccionado.

Dimensiones		
H	B	e
in	in	in
1,58	1,58	0,16

Fuente: (IPAC, 2015)

El ángulo seleccionado se utilizará en toda la estructura porque cumple los parámetros de diseño requerido.

4.2.2.2. Simulación y verificación del factor de seguridad del ángulo soporte del motorreductor

Como se observa en la figura 33 el factor de seguridad mínimo es de 5,5 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

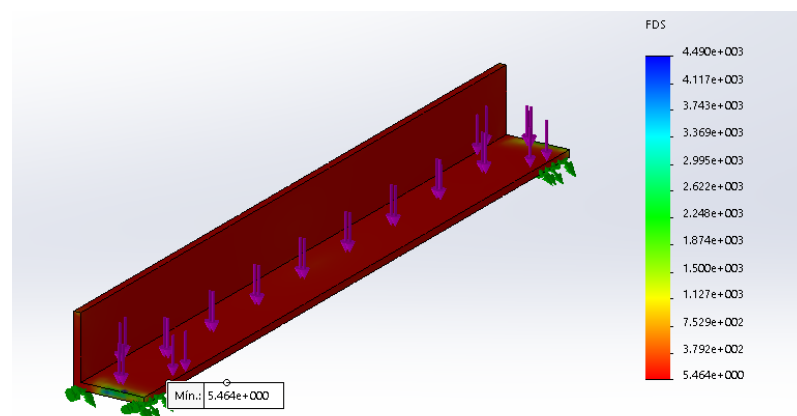


Figura 33. Factor de seguridad del ángulo soporte del motorreductor.

4.2.3. COLUMNA DE LA MESA SOPORTE DEL MOTORREDUCTOR

El objetivo de la columna de la mesa soporte es sostener el motorreductor que pesa 76.1 lbf.

Es un ángulo acero estructural ASTM A36 como se muestra en la figura 34, este tipo de material es muy recomendado para fabricar este tipo de elementos por sus propiedades mecánicas para aguantar grandes cargas.

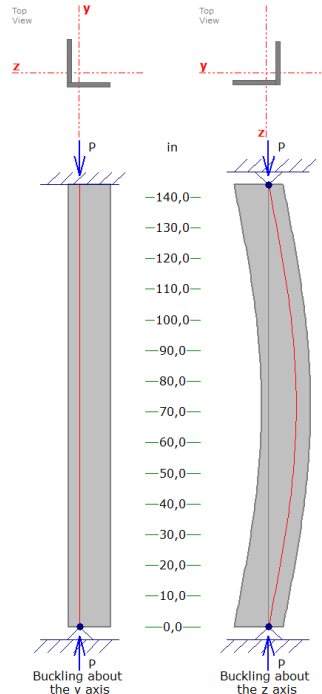


Figura 34. Columna de la mesa soporte del motorreductor.

Para el diseño de las columnas se determina:

- Las fuerzas que van actuar en ellas
- Las distancias donde se encuentran las columnas.

Se realizar mediante un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 35.

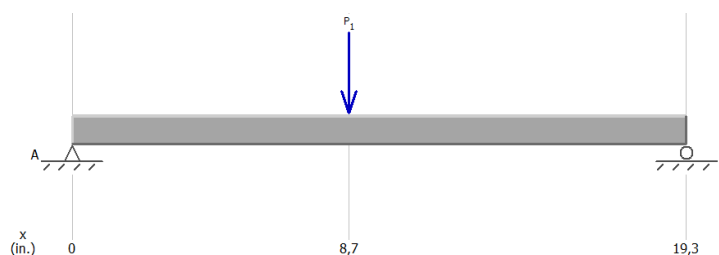


Figura 35. Diagrama de cuerpo libre de la mesa soporte del motorreductor.

Donde:

P1= peso

Identificado los apoyos, los pesos y distancias se calcula las reacciones en los apoyos con la ecuación 17 y la ecuación 18

$$\sum Fy = 0 \quad [17]$$

$$\sum MA = 0 \quad [18]$$

$$RA = 20,90 \text{ lbf.}$$

$$RB = 17,15 \text{ lbf.}$$

Determinado los valores se realiza los diagramas del esfuerzo cortante (V) figura 36 y de momento flector (M) figura 37.

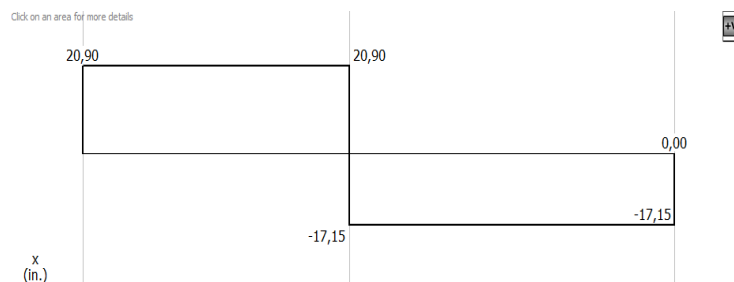


Figura 36. Diagrama de esfuerzo cortante.

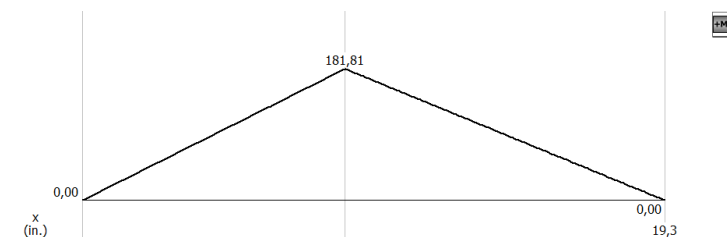


Figura 37. Diagrama de momento flector.

Como resultado de esfuerzo cortante y de momento flector son:

$$V_{\max} = 20,90 \text{ lb}$$

$$M = 181,81 \text{ ln. in}$$

Una vez determinado el esfuerzo cortante y el momento flector se determina la longitud efectiva con la ecuación 8, con su longitud real de 11.35 in.

$$Le = k \times L \quad [8]$$

$$Le = 24 \text{ in}$$

Se obtiene la constante de columna con la ecuación 9.

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{Sy}} \quad [9]$$

$$Cc = 128,25$$

Para el cálculo del peso crítico mediante la ecuación 20, y se asume que la columna es larga.

$$P_{cri} = N \times RA \quad [20]$$

Dónde:

N = Factor de seguridad

El factor de seguridad con el que se va a trabajar es de 3.

$$P_{cria} = 62,85 \text{ lbf.}$$

Despejando de la ecuación 11 se calcula la inercia.

$$P_{cr} = \frac{E \times A \times \pi^2}{\frac{k \times L^2}{r_{min}}} = \frac{E \times I \times \pi^2}{(k \times L)^2} \quad [11]$$

$$I = 1,31 \times 10^{-4} \text{ in}^4$$

Se divide para dos la inercia y se obtiene el radio de giro.

$$r_{min} = 3,28 \times 10^{-5} \text{ in}^4$$

Se calcula la relación de esbeltez con la ecuación 10 para poder comparar y determinar si la columna es larga.

$$\text{Relación de esbeltez (Re)} = \frac{Le}{r_{min}} \quad [10]$$

$$Re = 75.668,29$$

Se compara el resultado de la constante de columna y la relación de esbeltez, para ver si cumple la condición. Como no cumple la condición, nos indica que es una columna larga, por lo que se determina el área requerida despejando de la ecuación 7.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [7]$$

$$A = 0,12 \times 10^6 \text{ in}^2$$

Se comparan los dos pesos críticos calculados con la ecuación 12 y la ecuación la ecuación 20.

$$P_{cr} = A \times S_y \times \left[1 - \frac{S_y \times \left(\frac{k \times L}{r}\right)^2}{4 \times \pi^2 \times E} \right] \quad [12]$$

$$P_{cri} = 7,62 \times 10^{16} \text{ lbf}$$

$$P_{cri} = N \times RA \quad [20]$$

$$P_{cria} = 62,85 \text{ lbf.}$$

La condición que debe de cumplir es:

$$P_{cri} > P_{cria}$$

Si cumple la condición se selecciona un ángulo con las siguientes dimensiones y manteniendo la estética del prototipo:

Tabla 12. Dimensiones del ángulo seleccionado.

Dimensiones		
H	B	e
in	in	in
1,58	1,58	0,16

Fuente: (IPAC, 2015)

4.2.3.1. Simulación y verificación del factor de seguridad de la columna soporte del motorreductor

Como se observa en la figura 38 el factor de seguridad mínimo es de 58 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

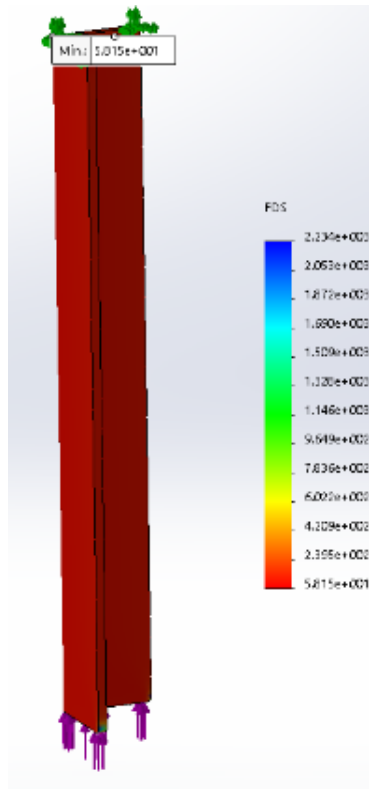


Figura 38. Factor de seguridad de la columna soporte del motorreductor.

4.2.4. MESA SOPORTE DE LA CAJA DE CIZALLADURA

Es un ángulo donde va montado las dos láminas de paredes de acero estructural ASTM A36, que dichas paredes sostienen a los ejes de transmisión de potencia y a los elementos que soportan, mencionados anteriormente, con un peso de 31.13 lbf.

Para el diseño de la mesa se determina:

- Las fuerzas que van actuar en ellas y
- Las distancias donde se encuentran los apoyos.

Se puede realizar mediante un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 39.

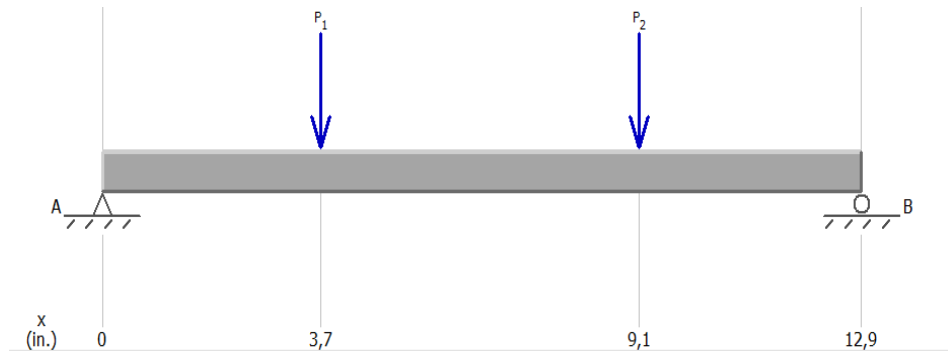


Figura 39. Diagrama de cuerpo libre de las columnas.

P1 y P2 trabajan con el mismo peso de 31.13 libras fuerza (lbf).

Identificado los apoyos, los pesos y distancias calculamos las reacciones en los apoyos con la ecuación 17 y la ecuación 18, dando como resultado:

$$\sum F_y = 0 \quad [17]$$

$$\sum M_A = 0 \quad [18]$$

$$R_A = 31,27 \text{ lbf.}$$

$$R_B = 30,96 \text{ lbf.}$$

Con estos valores se realizan los diagramas del esfuerzo cortante (V) figura 40 y de momento flector (M) figura 41.

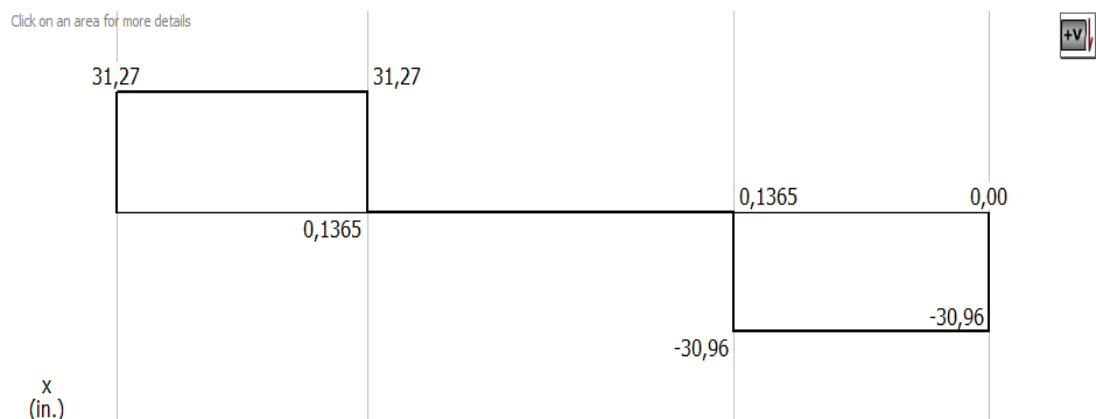


Figura 40. Diagrama de esfuerzo cortante.

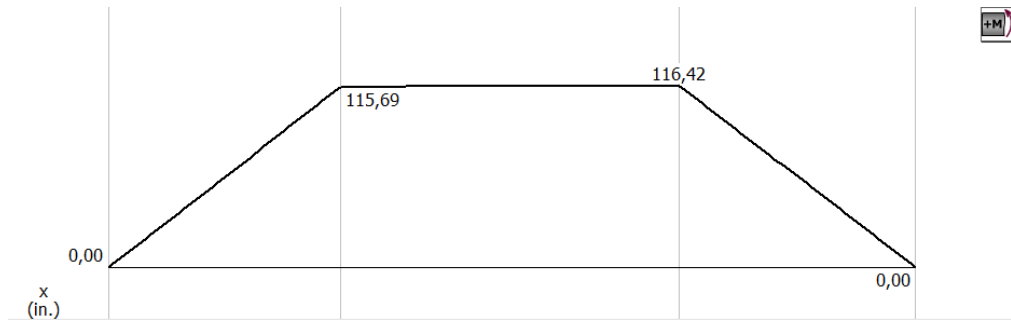


Figura 41. Diagrama de momento flector.

Como resultados el esfuerzo cortante y el momento flector que son:

$$V_{\max} = 31,27 \text{ lb}$$

$$M = 116,42 \text{ ln. in}$$

Determinado el momento flector podemos determinar el módulo de sección despejando de la ecuación 14 y aplicando la condición de esfuerzos como se mencionó en el capítulo 2.

$$\sigma D = \frac{M}{S} \quad [14]$$

$$\sigma D \leq \sigma_a$$

$$S \geq 3,23 \times 10^{-3} \text{ in}^3$$

Se selecciona el tipo de sección que va a tener la mesa, la cual es de forma rectangular.

Como se tiene el módulo de sección y la base de la mesa que es de 0.39 in, se calcular la altura necesaria despejando de la siguiente ecuación 21.

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2 \quad [21]$$

Dónde:

h = Altura de la mesa

b = Base de la mesa

$$h = 0,22 \text{ in}$$

Obtenido todos los valores se selecciona un ángulo aproximado del catálogo de IPAC, y para dar una forma estética de todo el prototipo se seleccionará un ángulo de las siguientes dimensiones:

Tabla 13. Dimensiones del ángulo seleccionado.

Dimensiones		
H	B	e
in	in	in
1,58	1,58	0,16

Fuente: (IPAC, 2015)

4.2.4.1. Simulación y verificación del factor de seguridad del ángulo de la mesa soporte de la caja de cizalladura

Como se observa en la figura 42 el factor de seguridad mínimo es de 4,3 el cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

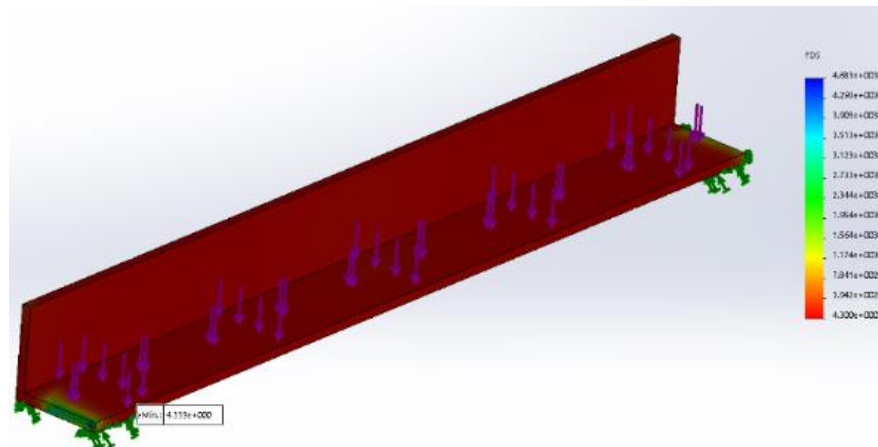


Figura 42. Factor de seguridad de la mesa soporte de la caja de cizalladura.

4.2.5. COLUMNA SOPORTE DE LA CAJA DE CIZALLADURA

El objetivo de las columnas es soportar la caja de chuchillas, ya que tendrá varios pesos por los diferentes elementos que son: los ejes de transmisión,

las cuchillas de cizalladura, separadores de las cuchillas, anillos de retención, rodamientos y las paredes laminadas como se muestra en la figura 43.

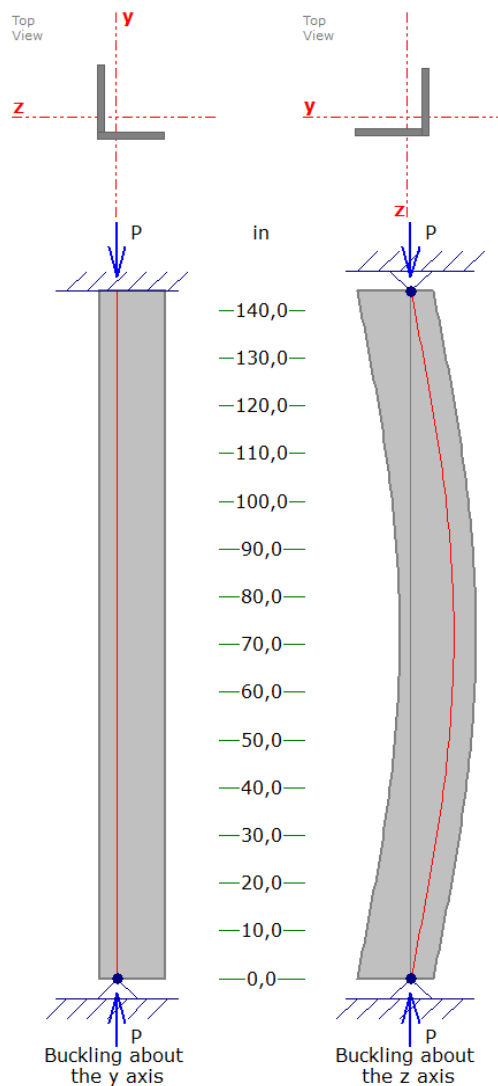


Figura 43. Columna soporte de a caja de cizalladura.

El tipo de material que se va a utilizar para las columnas de acero estructural ASTM A36.

Para el diseño de las columnas se determina:

- Las fuerzas que van actuar en ellas
- Las distancias donde se encuentran las columnas.

Se puede realizar mediante un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura 44.

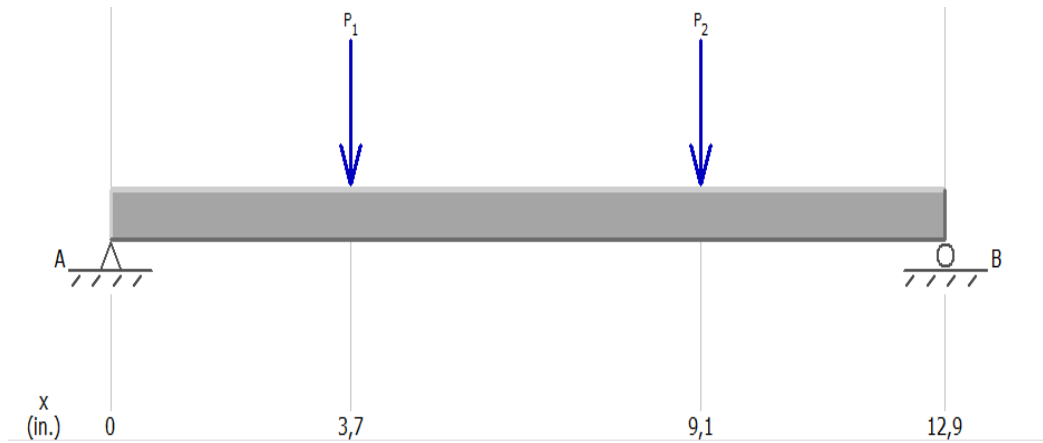


Figura 44. Diagrama de cuerpo libre de las columnas.

P1 y P2 trabajan con el mismo peso de 31.13 libras fuerza (lbf).

Identificados los apoyos, los pesos y distancias se calcula las reacciones en los apoyos con la ecuación 17 y la ecuación 18, dando como resultado:

$$\sum F_y = 0 \quad [17]$$

$$\sum M_A = 0 \quad [18]$$

$$R_A = 31,27 \text{ lbf.}$$

$$R_B = 30,96 \text{ lbf.}$$

Determinados los valores de las reacciones, se realiza los diagramas del esfuerzo cortante (V) figura 45 y de momento flector (M) figura 46.

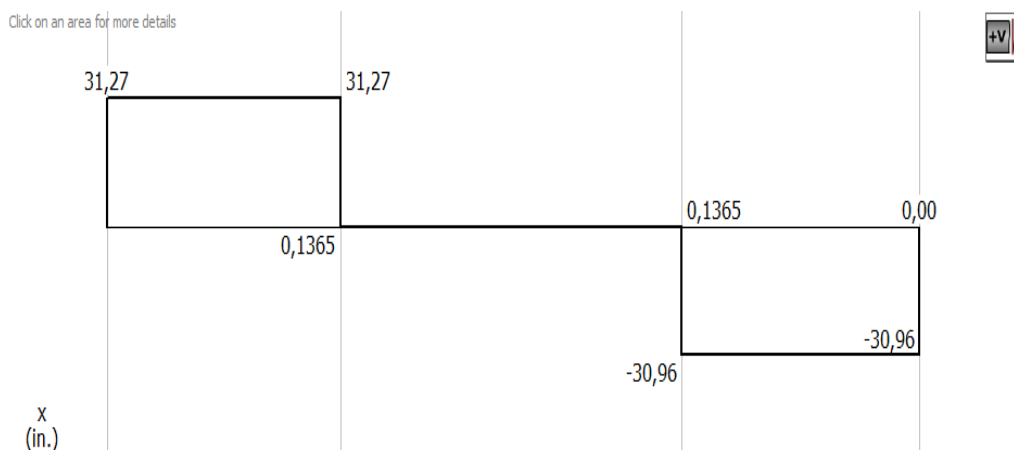


Figura 45. Diagrama de esfuerzo cortante.

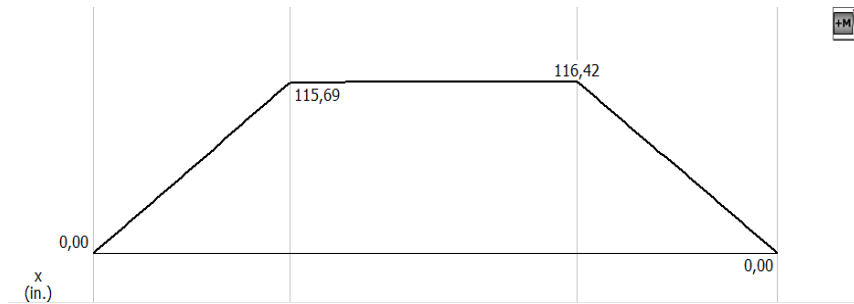


Figura 46. Diagrama de momento flector.

Como resultado del esfuerzo cortante y del momento flector son:

$$V_{\max} = 31,27 \text{ lb}$$

$$M = 116,42 \text{ ln. in}$$

Determinado el esfuerzo cortante y momento flector, se calcula la longitud efectiva con la ecuación 8 y la longitud real es de 11.82 in.

$$L_e = k \times L \quad [8]$$

$$L_e = 25 \text{ in}$$

Luego se determina la constante de columna con la ecuación 2.9, y el peso crítico con la ecuación.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{s_y}} \quad [9]$$

$$C_c = 128,25$$

Se asume que es una columna larga, se calcula el peso crítico con la siguiente ecuación 20:

$$P_{\text{cri}} = N \times R_A \quad [20]$$

$$P_{\text{cri}} = 93,81 \text{ lbf.}$$

Se despeja de la ecuación 11 la inercia.

$$P_{\text{cr}} = \frac{E \times A \times \pi^2}{\frac{k \times L^2}{r_{\min}}} = \frac{E \times I \times \pi^2}{(k \times L)^2} \quad [11]$$

$$I = 1,90 \times 10^{-4} \text{in}^4$$

Se divide para dos la inercia y se obtiene el radio de giro.

$$r_{\min} = 9,5 \times 10^{-5} \text{in}^4$$

Se calcula la relación de esbeltez con la ecuación 10 para poder comparar y determinar si nuestra columna es larga.

$$\text{Relación de esbeltez (Re)} = \frac{L_e}{r_{\min}} \quad [10]$$

$$Re = 25.8631,58$$

Se compara el resultado de la constante de columna y la relación de esbeltez por lo que no cumple la condición, lo que indica que es una columna corta.

Se compara el resultado de la constante de columna y la relación de esbeltez, para ver si cumple la condición.

Como no cumple la condición, nos indica que es una columna larga, por lo que se determina el área requerida despejando de la ecuación 7

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [7]$$

$$A = 0,021 \times 10^6 \text{ in}^2$$

Se comparan los dos pesos críticos calculados con la ecuación 12 y la ecuación la ecuación 20.

$$P_{cr} = A \times S_y \times \left[1 - \frac{S_y \times \left(\frac{k \times L}{r} \right)^2}{4 \times \pi^2 \times E} \right] \quad [12]$$

$$P_{cri} = 1,53 \times 10^{16} \text{ lbf}$$

$$P_{cri} = N \times RA \quad [20]$$

$$P_{cria} = 93,81 \text{ lbf.}$$

La condición que debe de cumplir es:

$$P_{cri} > P_{cria}$$

Si cumple la condición se selecciona un ángulo con las siguientes dimensiones y manteniendo la estética del prototipo:

Tabla 14. Dimensiones del ángulo seleccionado.

Dimensiones		
H	B	e
in	in	in
1,58	1,58	0,16

Fuente: (IPAC, 2015)

4.2.5.1. Simulación y verificación del factor de seguridad de la columna soporte de la mesa de cizalladura.

Como se observa en la figura 47 el factor de seguridad mínimo es de 43 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

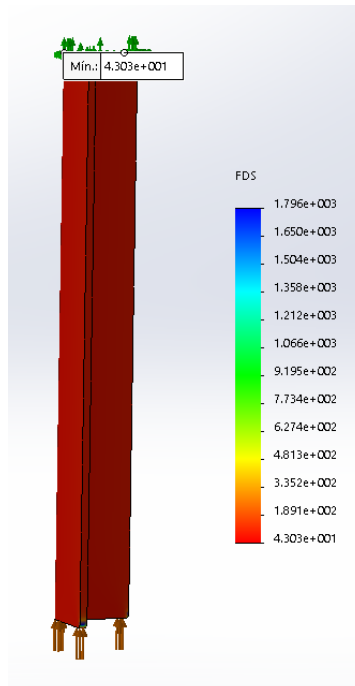


Figura 47. Factor de seguridad de la columna soporte de la caja de cizalladura.

4.2.6. CUCHILLAS DE CIZALLADURA

El objetivo de las cuchillas de cizalladura es realizar el corte a la botella en pequeñas hojuelas la caja de chuchillas, y la fuerza necesaria de corte que va a necesitar es de 3200 Newton (anexo 1).

El tipo de material y recomendado para este tipo de procesos es de acero AISI D2.

Para el diseño de la cuchilla se determina:

- El momento flector
- El tipo de sección

El momento flector se obtiene mediante la ecuación 22, que se detalla a continuación:

$$M = F \times d \quad [22]$$

Donde:

M = Momento flector

F = Fuerza aplicada

d = distancia del centro del diámetro hasta la punta de corte de la cuchilla (4.17 in).

$$M = 2.999,73 \text{ lb. in}$$

Obtenido el momento flector, se determina la sección mínima, aplicando la condición de esfuerzos mencionados en el capítulo 2 y despejando de la ecuación 14,

$$\sigma_D = \frac{M}{S} \quad [14]$$

$$\sigma_D \leq \sigma_a$$

$$S \geq 0,05 \text{ in}$$

Con el módulo de sección, la base de la cuchilla de cizalladura que es de 1.1 in, se calcula la altura necesaria despejando de la ecuación 21, ya que es de una sección rectangular.

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2 \quad [21]$$

$$h = 0,52 \text{ in}$$

4.2.6.1. Simulación y verificación del factor de seguridad de las cuchillas de cizalladura.

Como se observa en la figura 48 se puede observar que el factor de seguridad mínimo es de 3.5 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

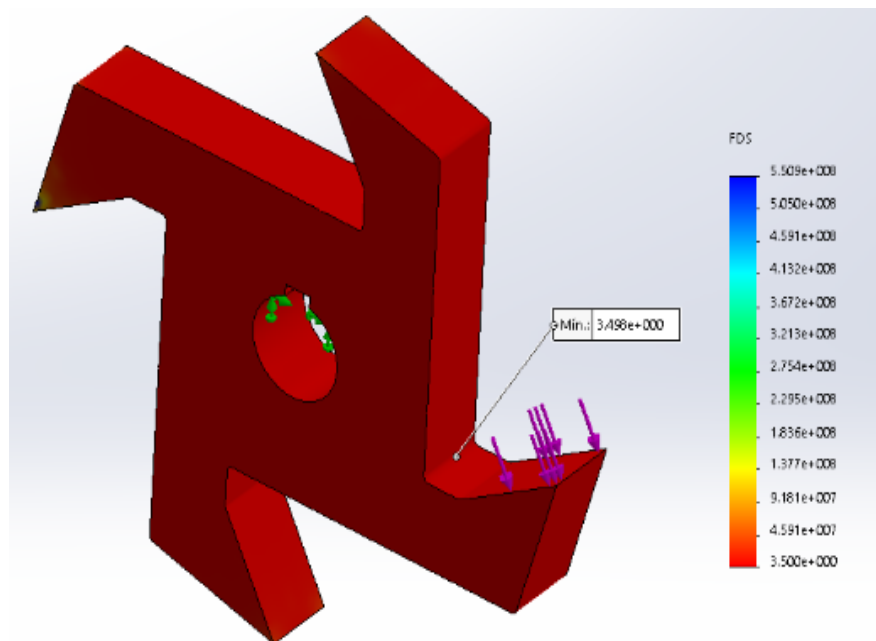


Figura 48. Factor de seguridad de la cuchilla de cizalladura.

4.2.7. ENGRANE RECTO

El objetivo del engrane es transmitir el movimiento a las chuchillas de cizalladura.

Para el diseño de la cuchilla se determina:

- La fuerza que se aplica en el diente del engrane (anexo x)
- El momento flector
- El tipo de sección del diente

El momento flector se obtiene mediante la ecuación 22.

$$M = F \times d \quad [22]$$

Donde d mide 2.80 in, este valor se obtiene midiendo desde el centro del diámetro hasta la punta del diente.

$$M = 2.014,21 \text{ lb.in}$$

Obtenido el momento flector se determinar la sección mínima, aplicando la condición de esfuerzos mencionados en el capítulo 2 y despejando de la ecuación 14.

$$\sigma D = \frac{M}{S} \quad [14]$$

$$\sigma D \leq \sigma_a$$

$$S \geq 0,067 \text{ in}$$

Con este módulo de sección, y la base del engrane recto que es de 0,70 in, se calcular la altura necesaria despejando de la ecuación 21, ya que es una sección rectangular.

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2 \quad [21]$$

$$h = 0,76 \text{ in}$$

4.2.7.1. Simulación y verificación del factor de seguridad del engrane recto.

Como se observa en la figura 49 se puede observar que el factor de seguridad mínimo es de 9.2 la cual garantiza el funcionamiento de este elemento, ya que se utilizó un factor de seguridad de 3 en el diseño.

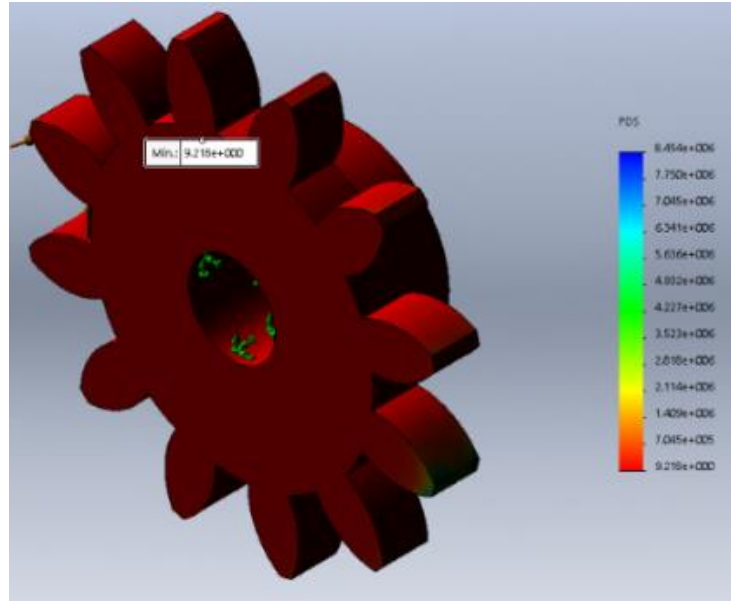


Figura 49. Factor de diseño del engrane recto

4.3. DISEÑO ELÉCTRICO

En base a los requerimientos y equipos que se van a utilizar se debería seleccionar un controlador lógico programable (PLC), ya que trabajan con una salida a 24 - 220 V, con estos parámetros se seleccionan a los elementos eléctricos y electrónicos.

En cambio, para la selección de las protecciones del motorreductor, se basó en las características del mismo, con las siguientes características (BKB, 2015):

Potencia: 2,6 HP

Voltaje: 220 VAC

Corriente nominal: 8,7 A

Con la siguiente operación se puede calcular cuál es la corriente protección, y determinado el valor se puede seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos.

$$IF = 2 \times 8,7 \text{ A}$$

$$IF = 17,4 \text{ A}$$

4.3.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

4.3.1.1. Contactares

Se seleccionó un contactor siemens 3RT 1026 -1AN20, como se muestran en la figura 50, con las siguientes características:

- Tensión de control: 230 VAC
- Corriente de trabajo máx: 24 A



Figura 50. Contactor siemens 3RT 1026 -1AN20.

Fuente: (SIEMENS, 2015)

Las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 3.

4.3.1.2. Breaker de circuito de control

Se seleccionó un breaker siemens 3VT1 como se muestra en la figura 5, con las siguientes características:

- Voltaje: 250 VAC
- Corriente de trabajo max: 160 A



Figura 51. Breaker siemens 3VT.

Fuente: (SIEMENS, 2015)

4.3.1.3. Sensor infrarrojo

Se seleccionó un sensor infrarrojo CNY70 como se muestra en la figura 52, que tiene las siguientes características:

- 50 mA
- 5 V



Figura 52. Sensor infrarrojo CNY70.

Fuente: (VISHAY, 2016)

4.3.1.4. Sensor de nivel

También se seleccionó un sensor infrarrojo CNY70, ya que este se puede controlar el rango de medición de censado lo cual sirve como un sensor de nivel.

4.3.1.5. Fines de carrera

Se seleccionó microswitches MK interruptor final de carrera con palanca como se muestra en la figura 53, con las siguientes características.

- Voltaje = 125 VAC
- Corriente nominal = 3A



Figura 53. Interruptor final de carrera con palanca.

Fuente: (ELECTRÓNICA EMBAJADORES, 2015)

4.3.1.6. Luces indicadoras

Se seleccionó 3 luces led, para cumplir con los requerimientos mencionados anteriormente.

4.3.1.7. Pulsadores

Se utilizó un Inter rocker sw-104 4p on-off contiene dos pulsadores que trabajan a 250V como se muestra en la figura 54, para las necesidades mencionadas en el anterior capítulo.



Figura 54. Inter rocker sw-104.

Fuente: (CHERRY, 2016)

4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.4.1. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Se seleccionó un plc LOGO 230RC siemens como se muestra en la figura 55, ya que es sumamente rápido y sencillo de manejar, la cual cumplen los requerimientos necesarios a gran cabalidad que se mencionan a continuación

- Alimentación de 115 - 240 V
- 8 entradas digitales
- 4 relés de 10 A de salida
- 2 entradas analógicas
- Display



Figura 55. Plc LOGO.

Fuente: (SIEMENS, 2015)

4.4.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL

El flujograma como se detalla en la figura 56 se observa el proceso de control del sistema, empezando con la verificación de dos condiciones, la primera, verifica la señal del I1 (botonera en estado ON) y la segunda, verifica las señales de I3 (sensor de llenado), no supere el nivel de llenado, I4 (Fin de carrera de la puerta de almacenamiento) y I5 (Fin de carrera de la puerta del

motorreductor), se encuentren en contacto con las puertas y los fines de carrera. Una vez cumplida las dos condiciones, pasa por un temporizador, de 2 segundos, transcurrido el tiempo pasa a la última condición, del I2 (sensor infrarrojo), que debe censar la señal de paso de botella, cumplida la dicha condición activara a Q1 (Motorreductor).

Es importante recalcar que se colocó un temporizador por motivos de seguridad, porque pueden existir perturbaciones en las primeras condiciones dadas, así demorará el tiempo de activación del Q1.

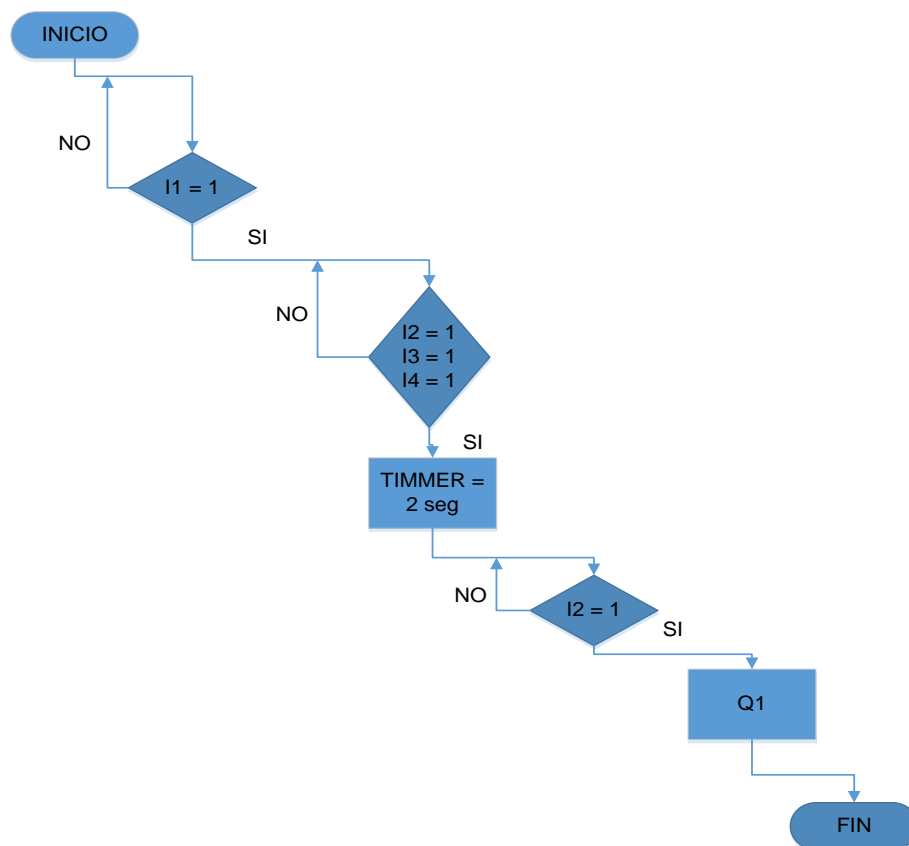


Figura 56. Diagrama de flujo para el algoritmo de control.

En el anexo 7 se puede ver la programación realizada en el software LOGO Soft Comfort.

4.4.2.1. Descripción del proceso automático

El proceso de control inicia con el sensor infrarrojo, cuando este detecte el ingreso de la botella a la caja de cizalladura, para que cambie el estado del relé, activando al motorreductor.

Cuando las hojuelas del plástico PET llenen el recipiente de almacenamiento, el relé del motorreductor cambia de estado para que desactive y no opere hasta que el recipiente sea vaciado nuevamente, las puertas de almacenamiento y de control estén cerradas para que el relé misionado cambie de posición activando nuevamente al motorreductor.

Como medida de seguridad, mencionado anteriormente, para que opere la máquina se necesita estar cerradas todas las puertas que existan en la máquina, si fuera necesario o por error la apertura de alguna de ellas o las dos a la vez el relé cambia de posición desactivando al motorreductor para salvaguardar a la persona que esté operando la máquina.

4.4.3. DISEÑO DEL PROGRAMA

El PLC tiene su propio software, denominado LOGO Soft Comfort, como se observa en la figura 57, que permite crear, compilar, ejecutar, modificar, simular y cargar al plc desde un computador, también puede programar y ejecutar desde el mismo plc, mediante las botoneras y ver por el display del plc.

En el anexo 7 se encuentra la programación desarrollada.

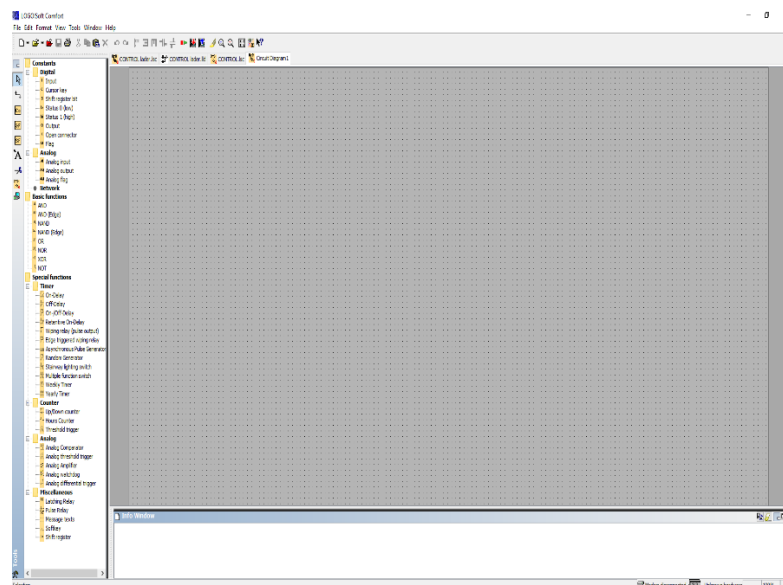


Figura 57. Pantalla del software LOGO Soft Comfort.

Fuente: (SIEMENS, 2015)

4.5. DISEÑO FINAL DE MÁQUINA

Terminado el diseño de cada componente mecánico, se realizó el ensamblaje de la máquina, utilizando el software SolidWorks, como se muestra en la figura 58.

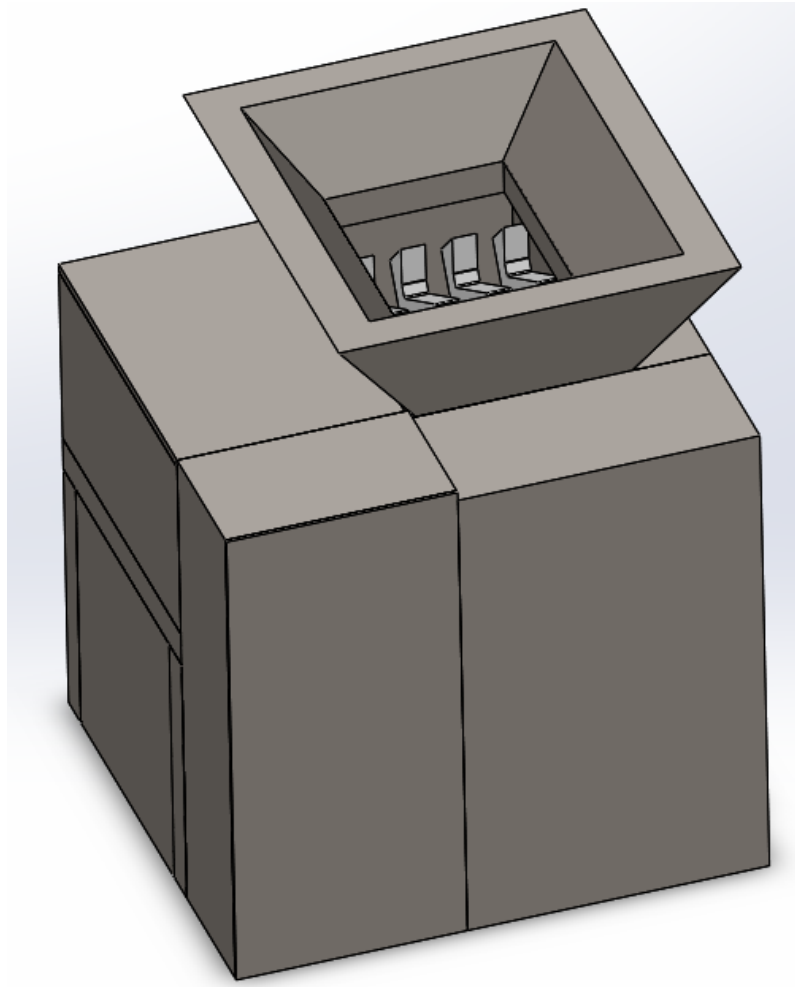


Figura 58. Máquina trituradora de plástico.

4.6. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

Se detallará como fueron realizadas cada elemento de la máquina, especificando las características de cada uno de ellas.

4.6.1. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Se maquinó 8 cuchillas de cizalladura como se muestra en la figura 59, del material, dimensiones establecidas y con el ángulo de inclinación de 45°.



Figura 59. Cuchillas de corte de cizalladura.

Se adquirió el engrane recto como se muestra en la figura 60 con las especificaciones diseñadas y con el material establecido.



Figura 60. Engrane recto.

Se adquirió el eje de las dimensiones calculadas y con el material establecido, donde se procedió a fresar la chaveta en los dos ejes a la medidas y dimensiones respectivas para que se acoplen las cuchillas y los separadores, como se muestra en la figura 61.

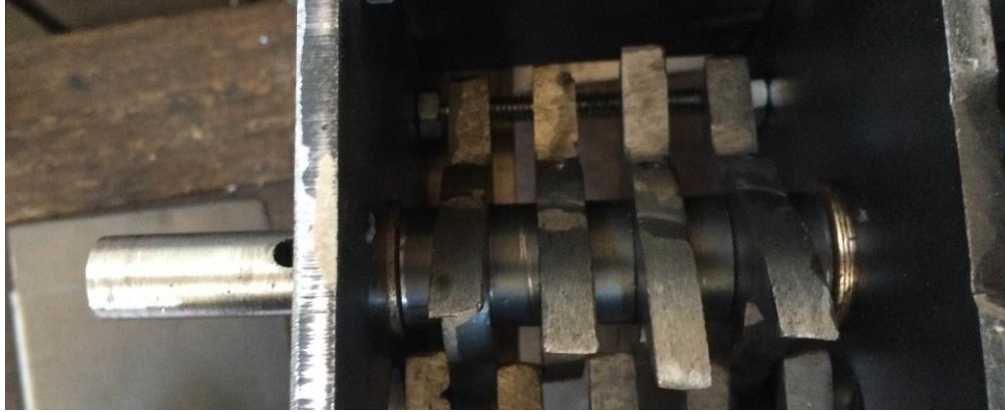


Figura 61. Ejes de transmisión de potencia con cuchillas y separadores.

Una vez ensambladas las cuchillas de cizalladura con los ejes de transmisión se acopló a la caja de cizalladura como se muestra en la figura 62, de esta manera la caja de cizalladura quedó lista para poder ensamblarse con los rodamientos, engranes y al motorreductor.

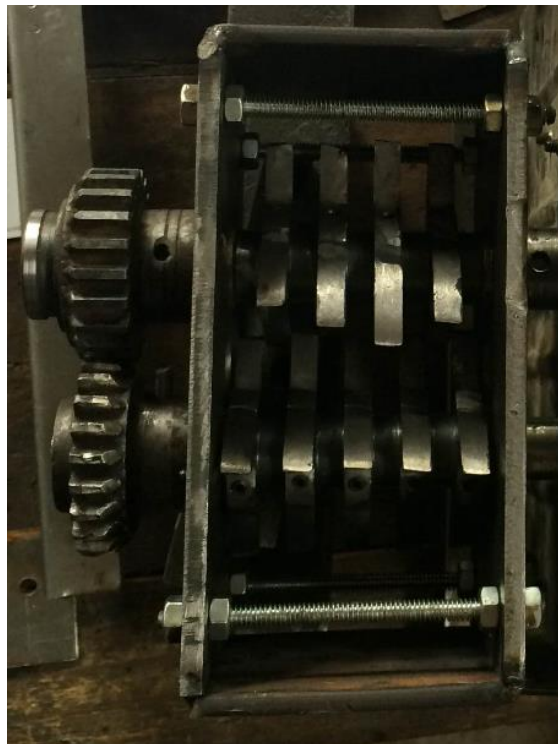


Figura 62. Caja de cizalladura con sus elementos ensamblados.

Para acoplar el eje del motor con el eje de transmisión de potencia se adaptó un matrimonio y se soldó de un extremo de las caras y al otro se sujetó con un prisionero como se muestra en la figura 63.



Figura 63. Matrimonio.

4.6.2. CIRCUITO DE POTENCIA Y MANDO

Se implementó un circuito de potencia como se muestra en la figura 64 para el accionamiento y paro de motorreductor, cuando se enciende la luz verde al accionar el botón ON, y exista un paro de emergencia se enciende la luz roja. En el anexo 17 se muestran los planos eléctricos con el plc.

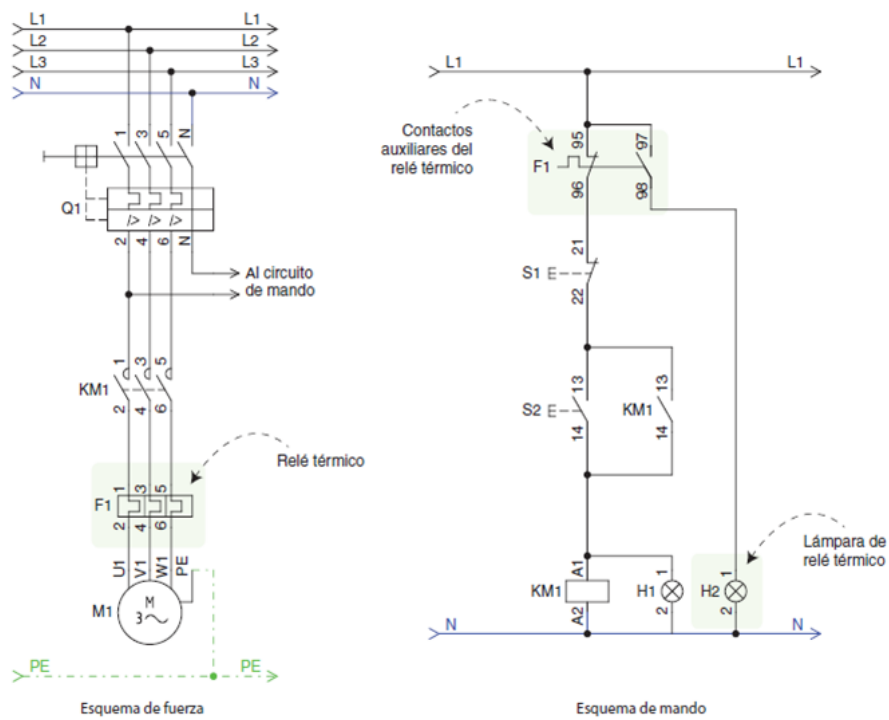


Figura 64. Circuito de potencia y mando.

Fuente: (Ibáñez, 2016)

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas mediante tres tipos que son:

- Determinar el tiempo de trituración que se demora en una botella de 500 ml.
- Determinar el tamaño de la hojuela para comparar con las que se obtienen en otras máquinas.
- Validar el funcionamiento de control y programación.

5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA

El sistema posee las siguientes características principales:

- Caja de cizalladura.
 - Capacidad hasta 500 ml
 - Acero estructural ASTM A-36
 - Dimensiones:
 - Ancho = 4 in
 - Longitud = 5 in
 - Altura = 4.5 in
- Cuchillas de cizalladura.
 - Acero Cementado
 - Espesor = 7.1 in
 - Angulo de corte = 45°
- Eje de transmisión de potencia.
 - Diámetro = 1.4 in
 - Acero Bohler V320
 - Longitud = 15 in
- Engrane recto
 - Número de dientes = 12
 - Módulo 12
- Matrimonio
 - Acero Estructural A-36
 - Diámetro = 1.4 in

- Longitud = 0.9 in
- Tolva de ingreso
 - Capacidad máxima hasta 500 ml.
 - Latón
- Tolva de almacenamiento
 - Capacidad máxima hasta 500 ml.
 - Latón
- Columna de la estructura soporte
 - Acero estructural A-36
 - Dimensiones:
 - Longitud = 25.2 in
 - Alto = 1.6 in
 - Espesor = 0.2 in
- Ángulo soporte de la mesa de la caja de cizalladura
 - Acero estructural A-36
 - Dimensiones:
 - Longitud = 15 in
 - Alto = 1.6 in
 - Espesor = 0.2 in
- Voltaje 110 VAC
- Motor BKB:
 - Tipo: Trifásico
 - Potencia: 2.5 Hp
- Reductor BKB:
 - Velocidad de salida = 57 rpm
- Plc logo siemens
- Tablero eléctrico
- Sistema de luces.
- Botonera (ON/OFF)

En la figura 65 se puede observar la máquina trituradora de plástico construida con las dimensiones y características mencionadas anteriormente.



Figura 65. Máquina trituradora de plástico.

5.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.2.1. TIEMPO DE CORTE

Para determinar el tiempo de corte de la botella se realizaron 10 mediciones. En la tabla 15 detallan los tiempos en que se demoraron en realizar el corte a 10 botellas de 500 ml.

Tabla 15. Pruebas de corte de botellas PET

Botella (#)	Botella (ml)	Tiempo de corte (seg)
1	500	15
2	500	13
3	500	17
4	500	14
5	500	16
6	500	13
7	500	15
8	500	14
9	500	14
10	500	15
Promedio	500	14,6

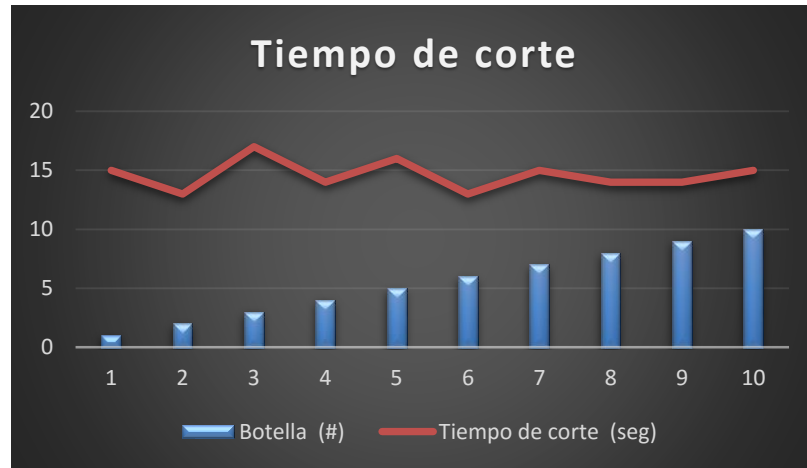


Figura 66. Cuadro estadístico del tiempo de corte por botella.

Se puede observar en la figura 66 que no es constante los tiempos de corte que dependen del tipo de plástico de las botellas. Sin embargo, se ha podido obtener el tiempo promedio de producción de 14.6 segundos, el mismo que acelerara el sistema de producción.

5.2.2. TAMAÑO DE HOJUELA DE CORTE

Para determinar las dimensiones de las hojuelas se realizaron 10 mediciones como se muestra en la tabla 16 detalla las dimensiones de las hojuelas.

En la figura 67 se observan cómo quedan las hojuelas después del proceso de corte.



Figura 67. Resultados de hojuelas de cada muestra.

Tabla 16. Dimensiones de las hojuelas del plástico pet

Botella	Botella	Tiempo de corte	Hojuela	
(#)	(ml)	(seg)	Largo (cm)	Ancho (cm)
1	500	15	3,7	0,8
2	500	13	3,3	0,8
3	500	17	3	1,3
4	500	14	2,2	1
5	500	16	2	0,8
6	500	13	1,5	1,3
7	500	15	2,6	0,9
8	500	14	3,5	1,3
9	500	14	4	1
10	500	15	3	1
Promedio	500	14,6	2,88	1,02

Otras máquinas de trituradora de plástico PET dan como resultados:

- Hojuelas
 - 1.2 cm de ancho y largo. (MARIANO, 2016)
 - 1.5 cm de ancho y largo (Ingeniería Ecológica, 2016)

Tabla 17. Comparativas de resultados de áreas de las hojuelas pet en diferentes máquinas

Promedio de hojuelas pet		
Áreas (cm ²)		
Prototipo	Máquina 1	Máquina 2
1,80	1,44	2,25

Como se muestra en la figura 68 se puede apreciar que existe una variación mínima de áreas de producción de hojuelas al comparar la máquina de diseño de la investigación con otras que se encuentran en producción.

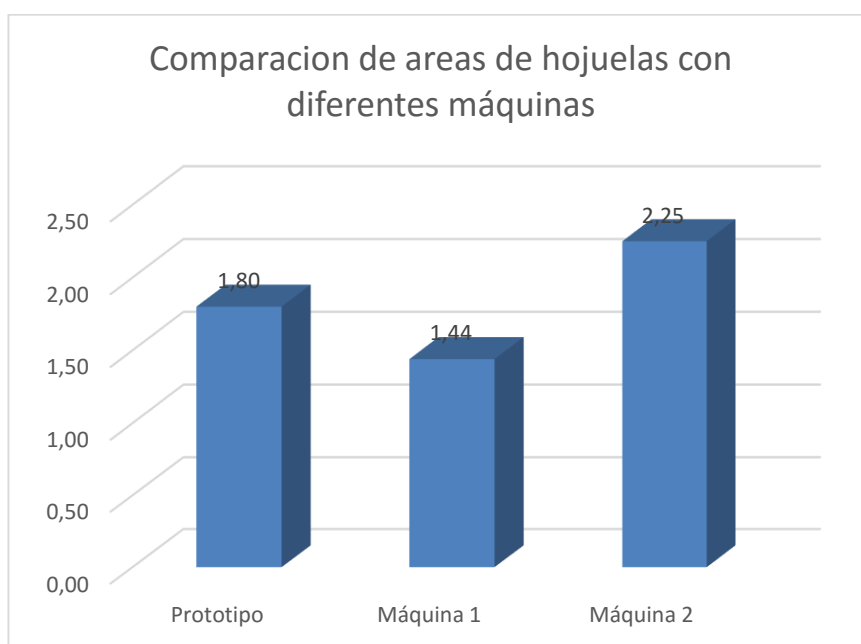


Figura 68. Cuadro estadístico de comparación de áreas de hojuelas.

5.2.3. FUNCIONAMIENTO DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN

Para el sistema de control se realizó el funcionamiento en la máquina con el controlador lógico programable (PLC) y sus elementos seleccionados como se muestra en la figura 69 y figura 70, la cual garantizó un correcto funcionamiento, del actuador eléctrico, los fines de carrera, el sensor de llenado, el sensor infrarrojo, los switch ON/OFF y el de paro de emergencia.

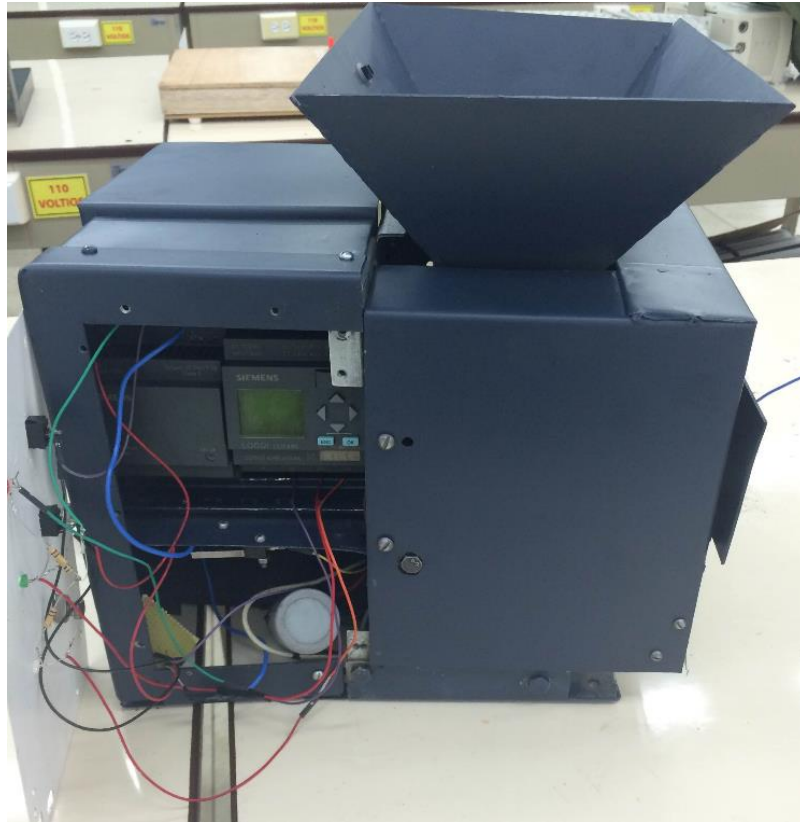


Figura 69. Conexiones de los sensores con el plc logo.



Figura 70. Tablero eléctrico

5.3. VENTAJAS DE LA MÁQUINA

La máquina trituradora automatizada para envases plásticos pet propuesta en este trabajo producirá un mejoramiento en procesos repercutiendo en los costos. Se presenta la tabla 18 entre sistema manual vs el sistema automático.

Tabla 18. Comparación sistema manual y sistema automatizado.

Sistema manual	Sistema automatizado	Ventajas
Para la cizalladura del pet se realiza con un molino de condiciones caceras, aplicación de una fuerza por el brazo.	El sistema es capaz de realizar el cizallamiento a través de una manera automática.	El tiempo se reduce en un 40% y la mano de obra en un 30%
El operario debe permanecer durante todo el proceso de cizalladura.	El operario abastece a la máquina sin necesidad de permanecer todo el tiempo del proceso.	Se reduce la mano de obra a un 50%
Existe otro operador para el vaciado del recipiente de almacenamiento de las hojuelas	Se necesita de un solo operario para el vaciado del recipiente	Se reduce la mano de obra en un 50%
El operador es el iniciador y el finalizador del proceso.	El sistema es capaz activar y desactivar al actuador.	Se reduce el tiempo de producción a un 50%
NO tiene un sistema de seguridad	El sistema tiene un sistema de seguridad si existiera alguna mala manipulación de la máquina.	Garantiza la seguridad del operario y de la máquina.

Como se puede apreciar en la tabla 18 se disminuye el tiempo de operación en un 60% que el sistema el sistema manual.

El sistema necesitará lapsos de tiempo para la inspección de operación de la máquina en el vaciado del recipiente o si existiera alguna falla, incrementando un 80% de producción.

El sistema de seguridad que brinda la máquina, garantiza confianza y mejora al proceso de cizalladura, protegiendo principalmente al operario y a la máquina.

5.4. ANÁLISIS DE COSTOS

Se presenta el análisis de costos en la tabla 19, la cual detalla los rubros del proyecto.

Tabla 19. Costo de implementación del sistema.

COSTO FINAL DE LA MÁQUINA			
Materiales	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
		\$	\$
Motorreductor	1	681	681,0
Sensor infrarrojo CNY70	2	1,8	3,6
Fines de carrera	2	1	2,0
PLC Logo 230RC siemens	1	185	185,0
Breaker 3 polos	1	55	55,0
Contactador	1	40	40,0
Relé térmico	1	50	50,0
Pulsadores	2	2,5	5,0
Luces indicadoras	3	0,15	0,5
Eje de transmisión	2	200	400,0
Matrimonio	1	30	30,0
cuchillas de cizalladura	8	70	560,0
Chumacera	2	30	60,0
Fuete de alimentación	1	53,6	53,6
Engrane	2	65	130,0
Estructura Soporte	1	200	200,0
Varios	1	80	80,0
Mano de obra	1	800	800,0
		Subtotal	3335,7
		IVA 12 %	400,3
		TOTAL	3735,9

Con el monto total del proyecto, comparamos el salario de un operario que trabaja 8 horas completas y con un salario de \$700, para comprender mejor

el beneficio a largo plazo del proyecto. El cual reducirá 4 horas aproximadamente el trabajo del operador, haciendo un ahorro de \$350 al mes. Con la siguiente operación podemos determinar cuánto tiempo podemos recuperar la inversión

$$\frac{\text{Inversión total}}{\text{Utilidad mensual}} = \frac{\$ 3.735,90}{\$ 350} = 11 \text{ meses}$$

Realizamos un diagrama de comparación como se muestra en la figura 71, donde establece que el tiempo de recuperación de la inversión de la máquina, sería en 11 meses.

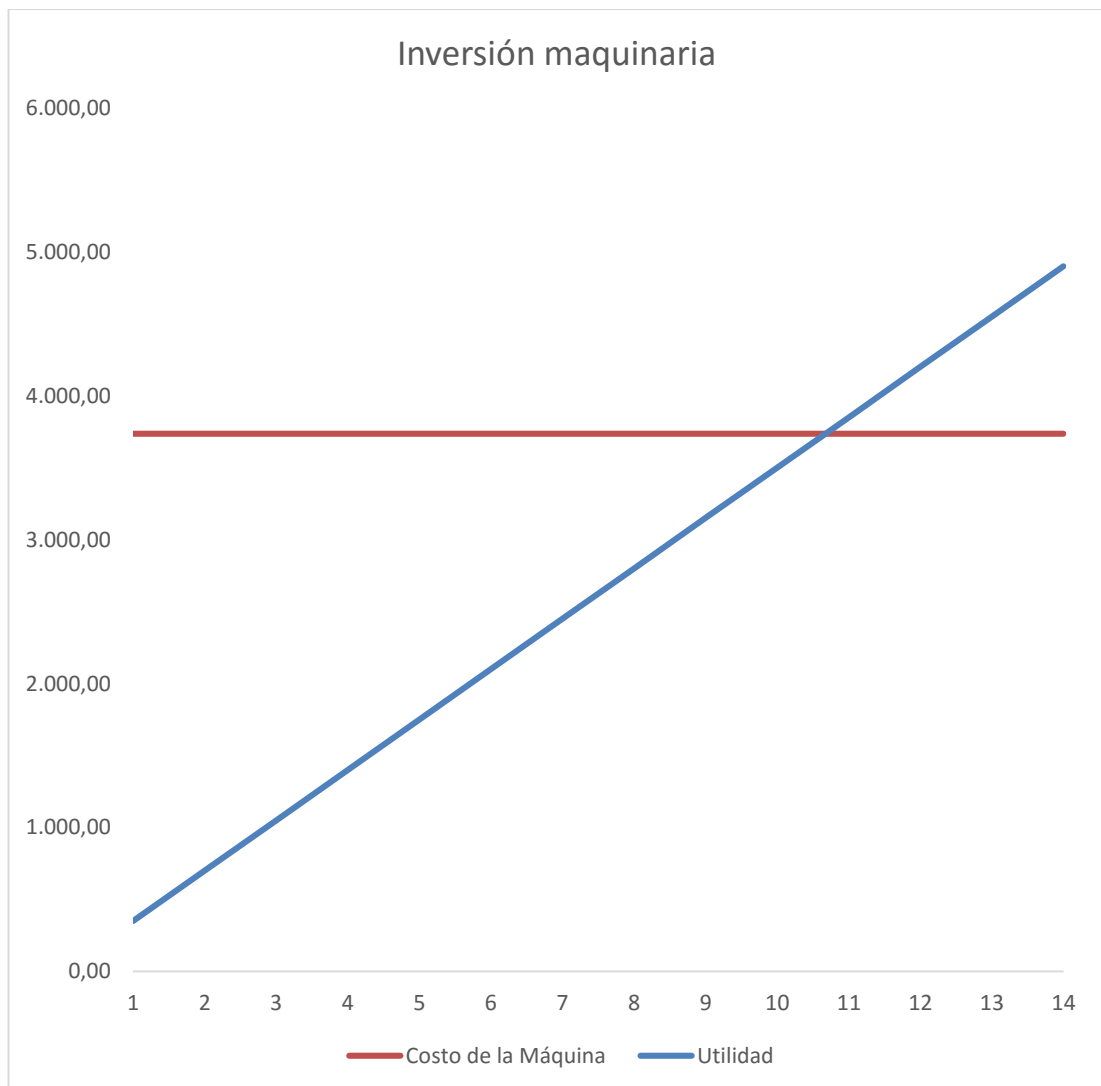


Figura 71. Diagrama de utilidad Vs. Costo máquina

5.5. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGETICO

Para realizar el análisis del consumo energético en la cuida de Quito se ha procedido a obtener el valor de kwh en Quito que es de \$0.081, dato obtenido del comprobante de pago de la luz eléctrica.

El consumo de la maquina se calculó en base a la siguiente operación:

$$\text{Consumo Energético} = \frac{\text{Potencia (watts)} \times \text{Horas al día} \times \text{uso al mes}}{1000}$$

En la tabla 20 se describe los datos para el análisis.

Tabla 20. Datos para el análisis energético.

	Potencia	Horas de uso al día	Días de uso al mes
hp	watts	h	días
2,5	1865	8	22

$$\text{Consumo Energético} = 328,24 \text{ kwh}$$

Obtenido el valor de consumo energético de la máquina se procede al cálculo de costos como se observa en la tabla 21.

Tabla 21. Costos de consumo energético.

Consumo mensual	Costo kwh en Quito	Consumo energético
kwh	\$	\$
328,24	0,081	26,59

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de cada elemento con su factor de seguridad que garantiza un correcto funcionamiento en la máquina, siempre y cuando sean empleados para los parámetros a los que fueron diseñados.
- En la prueba de dimensiones de las hojuelas se concluyó que las áreas obtenidas del prototipo, están dentro de los parámetros de producción de hojuelas.
- El tiempo promedio que se demora el prototipo en cizallar el plástico pet con las cuchillas diseñadas es de 14,6 segundos, mejorando la producción de las hojuelas.
- Se determinó que la producción en un lapso de 24 horas da como resultado una cantidad de 5.918 botellas.
- El prototipo de acuerdo a los resultados obtenidos, daría una producción anual de 19 toneladas de hojuelas de plástico pet.
- Se concluyó que el prototipo puede ser llevado a la industria para el mejoramiento de la producción en una empresa de alto rendimiento.
- La inversión realizada de la máquina se puede recuperar en un periodo de 11 meses, tiempo desde el cual se podrá comenzar a obtener réditos económicos.
- Para el consumo de producción se tomó como base de costo el establecido en la ciudad de Quito, dando como resultado de \$ 26,59 sin tomar los recargos y el IVA.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de señaléticas para la prevención de riesgos físicos.
- Realizar un mantenimiento adecuado a todos los elementos de la máquina para garantizar su vida útil.
- Todas las conexiones deberán cumplir los estándares establecidos en el diseño.
- Se debe realizar procesos previos como la limpieza y corte de los picos del plástico pet.
- Se debe utilizar la máquina para el uso específico de diseño para garantizar la vida útil de la misma y obtener los resultados de rendimientos obtenidos.
- Se recomienda que se complemente los procesos de corte de picos de las botellas.
- Se recomienda una máquina antecesora de limpieza.
- Se recomienda un sistema de empaquetamiento automático de las hojuelas.

BIBLIOGRAFÍA

- AG, I. G. (2015). Sensor de nivel LM01 . Manual de instrucciones y lista de piezas de recambio , 9.
- Badiola. (2004). Diseño de maquinas 1.
- Bolton, W. (2010). MECATRÓNICA, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. México: Alfaomega.
- CHERRY. (8 de Febrero de 2016). Obtenido de <http://cherryswitches.com/product/rocker-lr/>
- ELECTRÓNICA EMBAJADORES. (13 de Abril de 2015). Obtenido de <http://www.electronicaembajadores.com/Productos/Detalle/-1/IT41P05/final-de-carrera-peque-o-con-palanca>
- ENGICONTROL. (16 de OCTUBRE de 2015). PROYECTOS ENGICONTROL. Obtenido de <http://www.engicontrol.com.co/PhotoAlbumsPro/tableros/#/11>
- Hibbeler, R. C. (2011). Mecánica de materiales. México: PEARSON.
- Ibáñez, G. (25 de Abril de 2016). Funcionamiento de un motor mediante pulsadores, marcha-paro. Obtenido de <https://automatismoidustrial.com/funcionamiento-de-un-motor-mediante-pulsadores-marcha-paro/>
- Ingeniería Ecológica. (15 de mayo de 2016). PLANTAS DE FABRICACION DE HOJUELAS PPET. Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/207943175/PLANTA-DE-FABRICACION-DE-HOJUELAS-PET>
- Instruments, N. (2016).
- IPAC. (2015). Tubo redondo mecánico .
- KOLK, R., & SHETTY, D. (1997). mechatronics: system design .
- LITORAL, U. N. (13 de Abril de 2016). Tecnología. Obtenido de http://www.unl.edu.ar/noticias/news/view/por_qu%C3%A9_el_nobel_de_f%C3%ADsica_fue_para_las_luces_led#.V1EJwb7nN9Y
- MARIANO. (15 de mayo de 2016). Tecnología de los plásticos. Obtenido de

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/12/produccion-de-escamas-de-pet.html>

- Martín. (2016). Engranés en existencia .
- MOTT, R. (2006). DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS . México: PEARSON.
- Naranjo Conteras, K. T., Montaña García, J. J., Tabón Rivera, M., & Visbal Fernández, D. E. (2009). Sensores Infrarrojos.
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2016). <http://www.mecatronicaecuador.com/educacion/>.
- NSK. (2015). Soporte de rodamientos .
- Promelsa. (15 de Abril de 2015). CAJA PULSADORA CON 2 PULSADORES ARRANQUE - PARADA NA/NC. Obtenido de http://www.promelsa.com.pe/producto.asp?id_producto=31303039313638202020&comefrom=L&saldos=
- Renobable, M. d. (23 de Mayo de 2016). CENTRO SUR . Obtenido de <http://www.centrosur.com.ec/?q=calcular-consumo>
- SIEMENS. (2015). Módulo lógico LOGO. 2.
- Tesinagloba. (s.f.). Recuperado el Lunes de Marzo de 2016, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>
- Vandelvira, A. D. (2011). Motores de corriente alteran.
- VISHAY. (2016). CNY70. Reflective Optical Sensor with Transistor Output.

7. ANEXOS

ANEXO 1

Pruebas de corte de fuerza



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – OCT.06.15

Quito, 2 de octubre de 2015

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Ing. Luis Hidalgo M.Sc.

ORDEN DE TRABAJO N° 0004141

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de plástico, pertenecientes al señor Jaime Ortiz Palacios para el proyecto final de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLÁSTICOS PET". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Una (1) muestras de envase plástico para ensayo de compresión y ensayo de corte.

2. ENSAYO DE COMPRESIÓN A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 1 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 1. Resultados de la resistencia a la compresión de la muestra de envase plástico.

Muestra	Carga máxima registrada	
	lbf	.N
M-1	525	2.334



LAEV-EPN
Orden de N° 0004141



3. ENSAYO DE CORTE A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de corte realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 2. Resultados de la resistencia al corte de la muestra de envase plástico.

Muestra	Carga máxima registrada	
	lbf	N
M-1	702	3.123

En el anexo se presenta fotografías de las muestras a ser ensayadas.



ANEXO



Fotografía 1. Montaje del envase plástico en la máquina universal de ensayos para ensayo de compresión.



Fotografía 2. Montaje del envase plástico en la máquina universal de ensayos para ensayo de corte.



ANEXO 3

Planos de la cuchilla de cizalladura

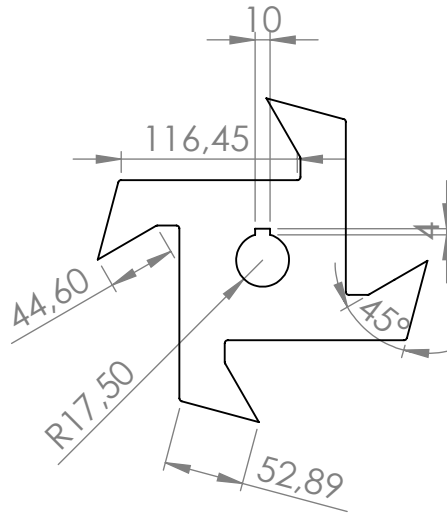
A

B

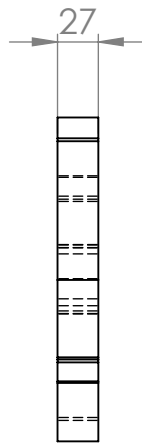
C

D

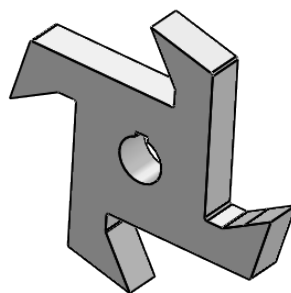
E



VISTA LATERAL DERECHA



VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO [Kg]: 3.62	MATERIAL: ACERO CEMENTADO		
				Fecha		CHUCHILLA DE CIZALLADURA	ESCALA: 1:2	
				Dibujado	17/5/2016		JAIME ORTIZ	
				Revisado				
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO Nº: PLANO 3	HOJA: A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

ANEXO 4
Planos del engrane Recto

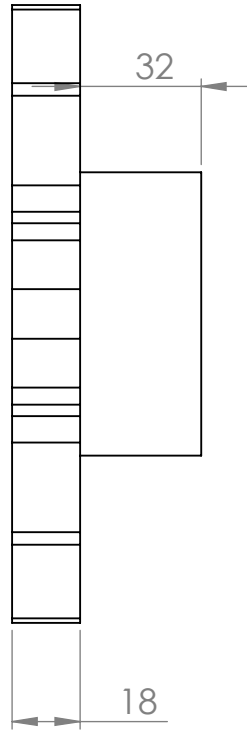
1

2

3

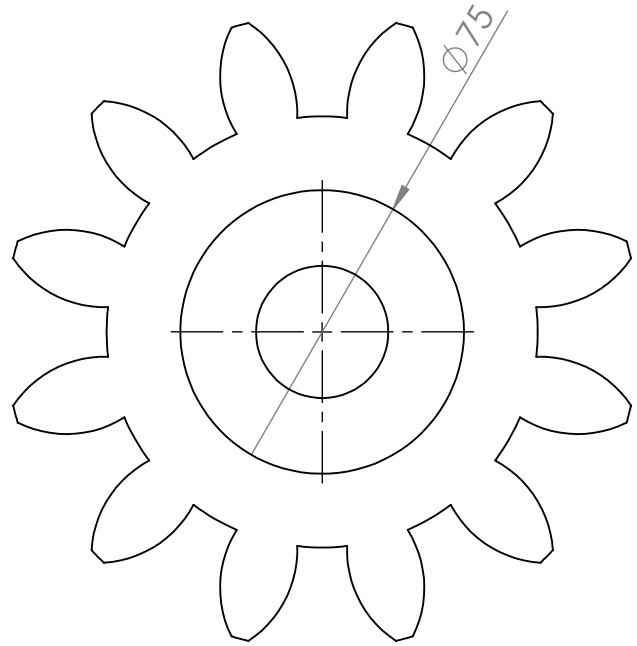
4

A



VISTA LATERAL DERECHO

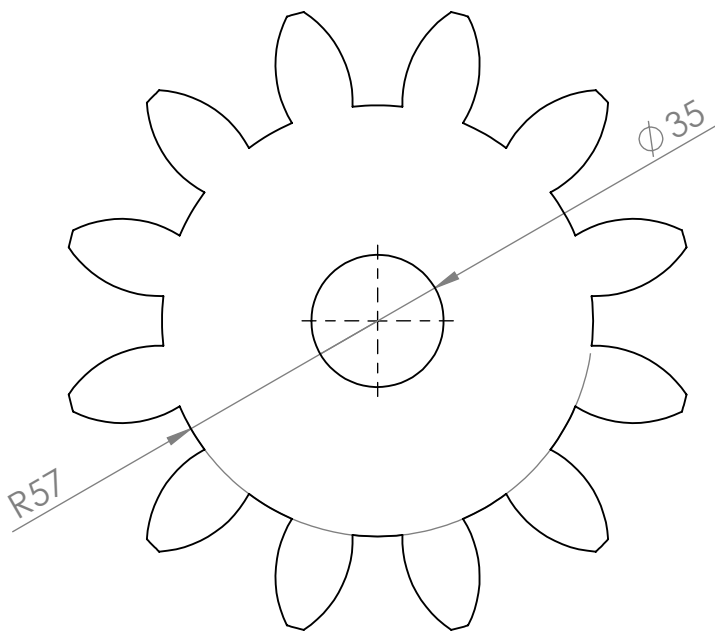
B



VISTA POSTERIOR

C

D



VISTA FRONTAL

E



VISTA ISOMÉTRICO

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO [Kg]: 0.89	MATERIAL: ACERO AISI 1020	
				Fecha	Nombre	ENGRANE RECTO	ESCALA: 1:2
				Dibujado 17/5/2016	JAIME ORTIZ		
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO Nº: PLANO 5	HOJA: A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

ANEXO 5

Planos del eje de transmisión

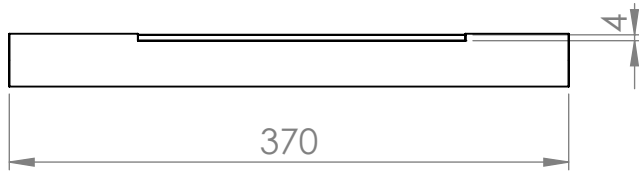
1

2

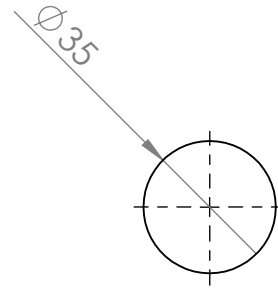
3

4

A



VISTA LATERAL DERECHO



VISTA FRONTAL

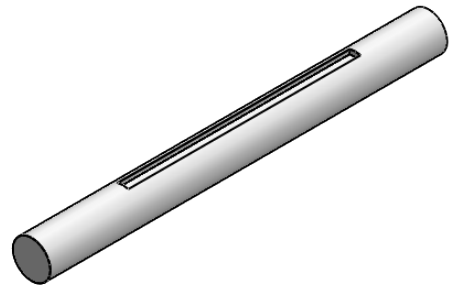
B

C



VISTA SUPERIOR

D



VISTA ISOMETRICA

E

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO [Kg]: 2.79	MATERIAL: ACERO BOHLER V320		
						EJE	ESCALA: 1:5	
				Fecha	Nombre			
				Dibujado	17/5/2016		JAIMÉ ORTIZ	
				Revisado				
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA: UTE		DIBUJO Nº: PLANO 4	HOJA: A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

ANEXO 6

Chaveta

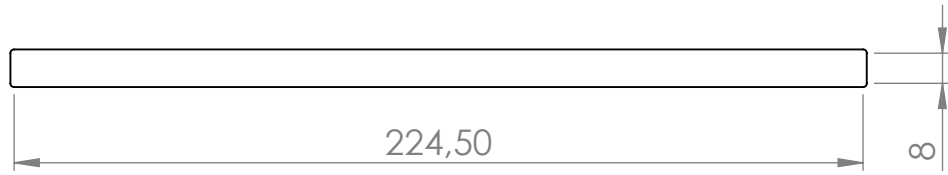
1

2

3

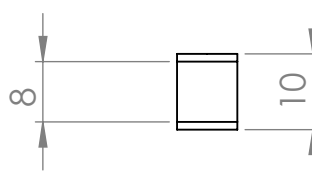
4

A



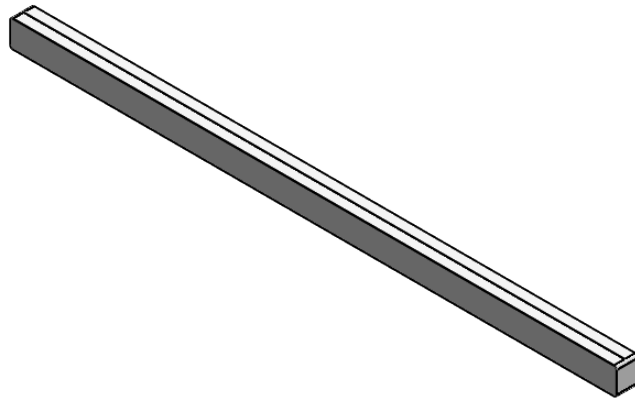
VISTA LATERAL DERECHA

B



VISTA FRONTAL


C



VISTA ISOMÉTRICA

D

E

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1	0.4	ACERO BOHLER V320	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	17/5/2016	JAIME ORTIZ	1:2
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
				UTE		PLANO 2	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

ANEXO 7

Planos del ángulo soporte de la mesa

1

2

3

4

A

B

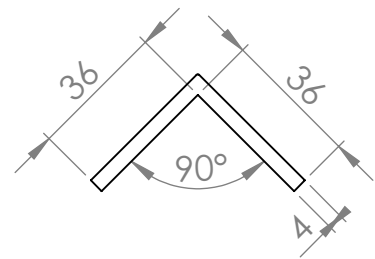
C

D

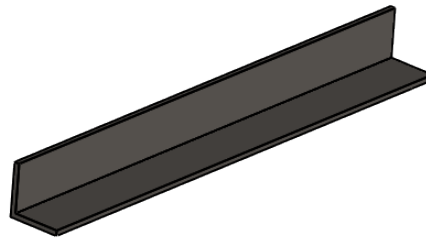
E



VISTA LATERAL DERECHO



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1	0.33	ACERO ASTM A36	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	17/5/2016	JAIME ORTIZ	1:5
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
				UTE		PLANO 1	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

ANEXO 8

Planos de la columna de soporte de la estructura

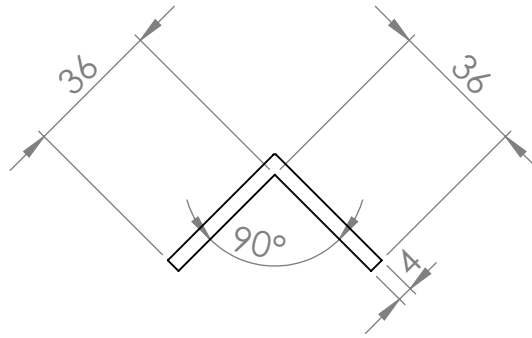
1

2

3

4

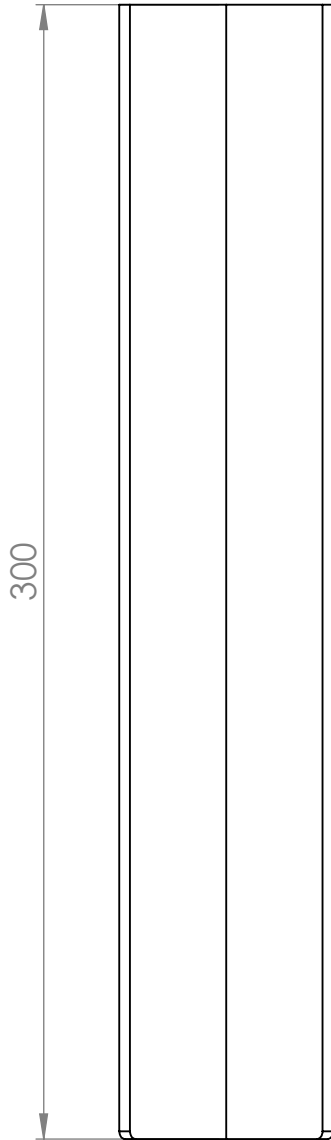
A



VISTA SUPERIOR

B

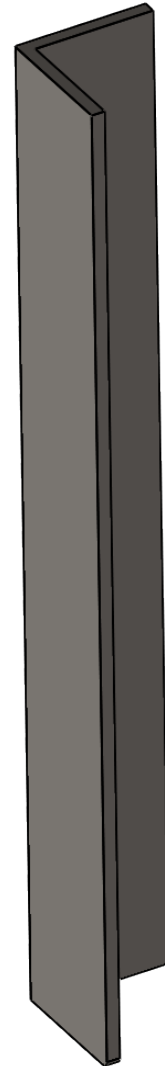
C




VISTA LATERAL DERECHO

D

E



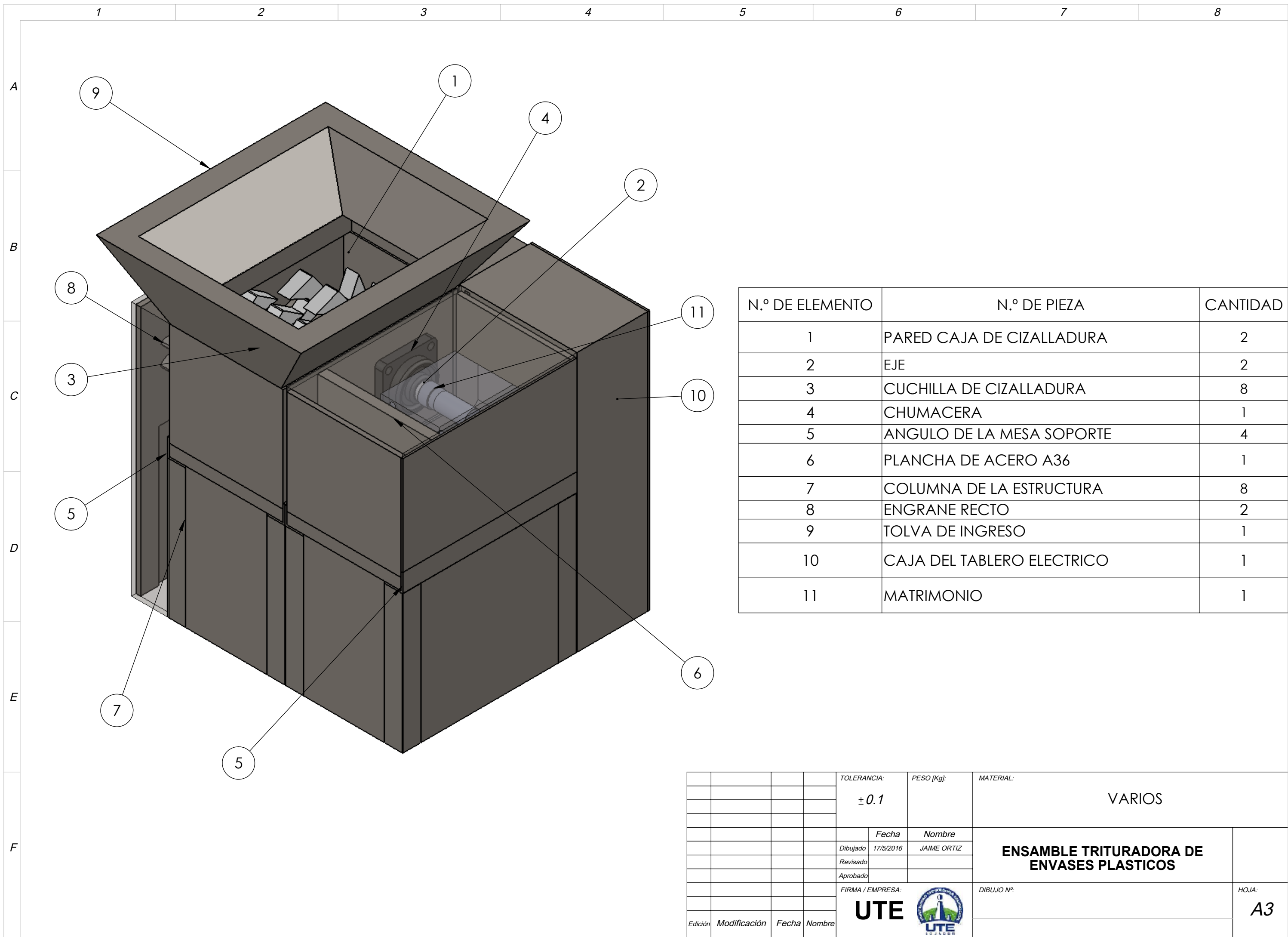
VISTA ISOMÉTRICA

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1	0.64	ACERO ASTM A36	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	17/5/2016	JAIME ORTIZ	1:2
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	HOJA:
				UTE		PLANO 7	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				


ANEXO 9
Plancha de acero

ANEXO 10

ENSAMBLE TRITURADORA DE ENVASES PLASTICOS PET



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	PARED CAJA DE CIZALLADURA	2
2	EJE	2
3	CUCHILLA DE CIZALLADURA	8
4	CHUMACERA	1
5	ANGULO DE LA MESA SOPORTE	4
6	PLANCHA DE ACERO A36	1
7	COLUMNA DE LA ESTRUCTURA	8
8	ENGRANE RECTO	2
9	TOLVA DE INGRESO	1
10	CAJA DEL TABLERO ELECTRICO	1
11	MATRIMONIO	1

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1		VARIOS	
				Fecha	Nombre	ENSAMBLE TRITURADORA DE ENVASES PLASTICOS	
				Dibujado 17/5/2016	JAIME ORTIZ		
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				UTE 			A3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

ANEXO 11
Planos eléctricos

1

2

3

4

5

6

7

8

A

B

C

D

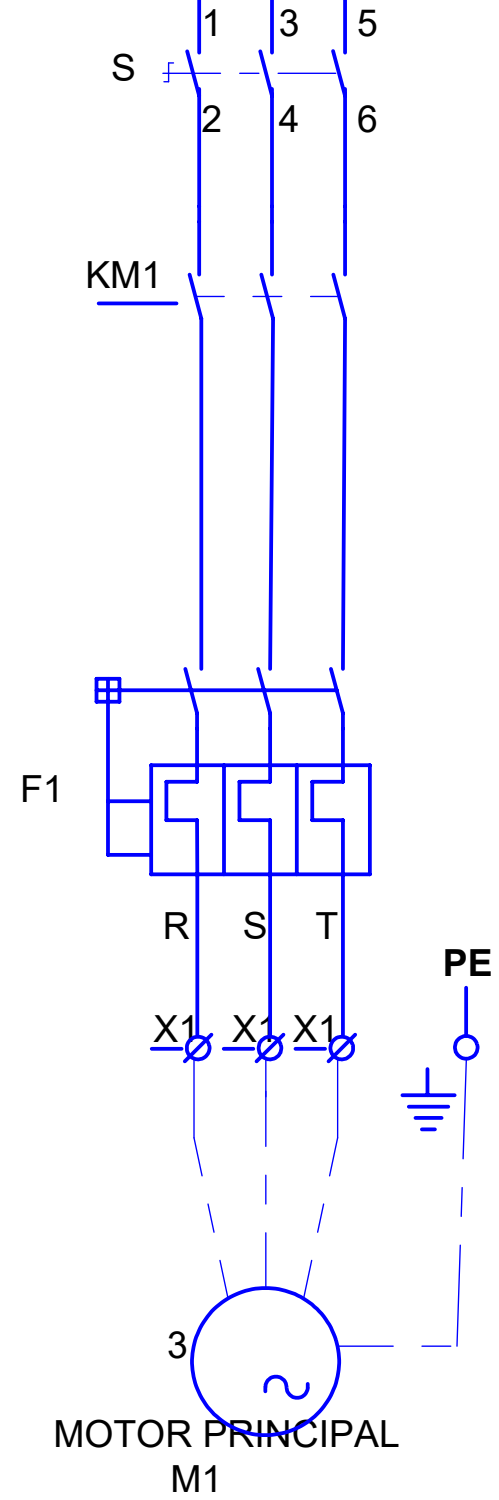
E


F

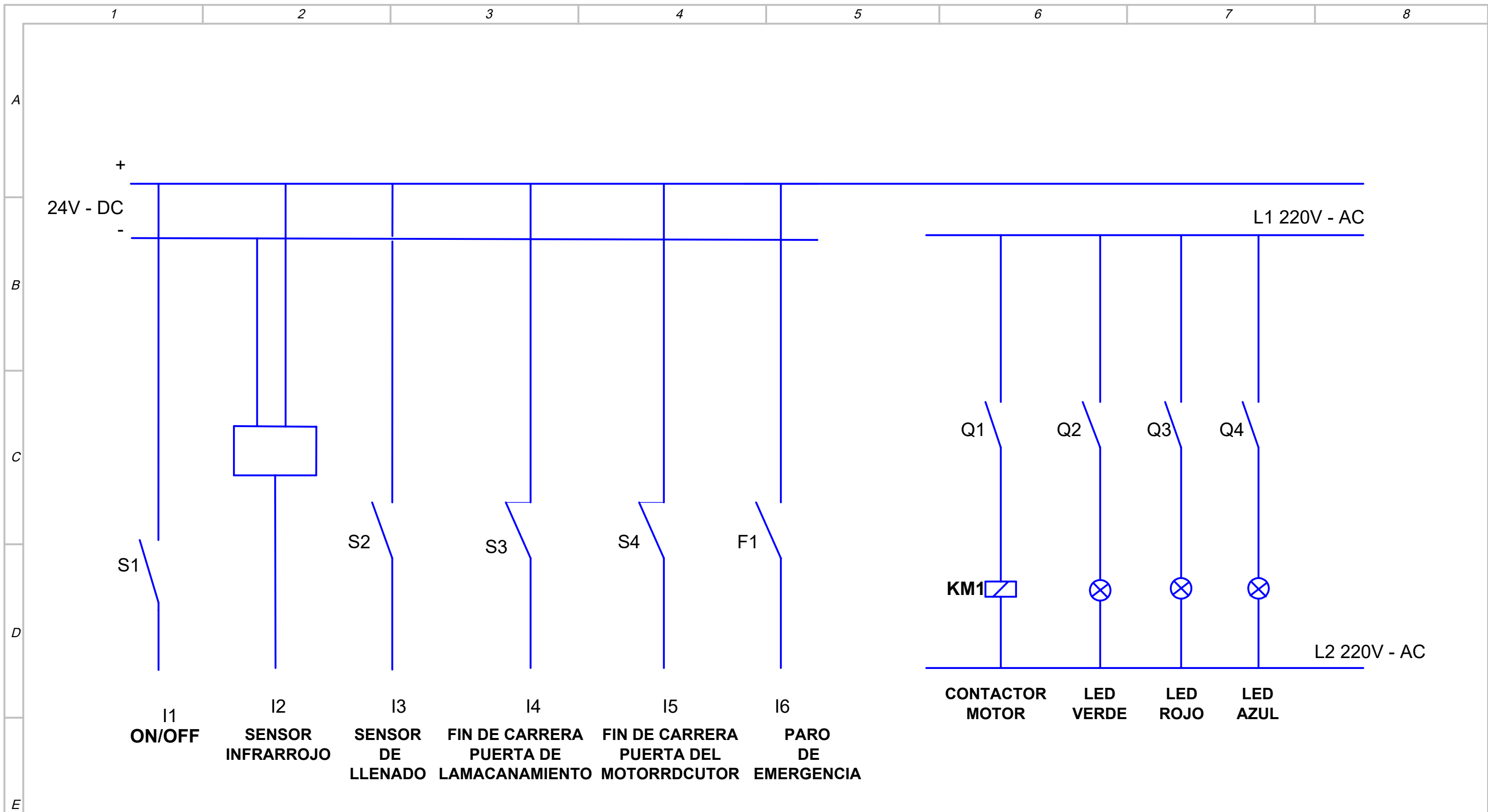
R(L1)

S(L2)

T(L3)





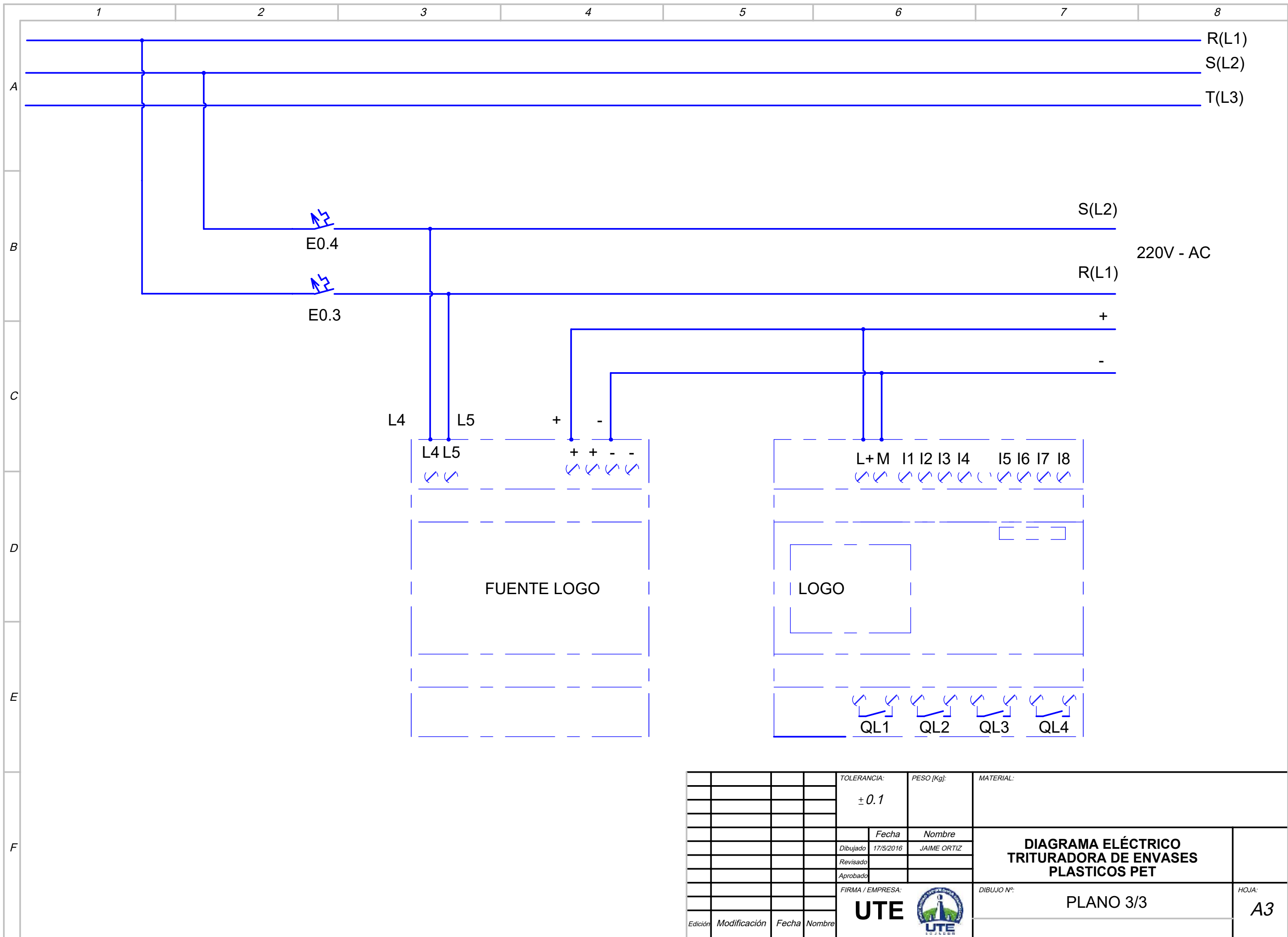
				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	DIAGRAMA ELÉCTRICO TRITURADORA DE ENVASES PLASTICOS PET	
			Dibujado	17/5/2016	JAIME ORTIZ		
			Revisado				
			Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	PLANO 1/3
				UTE			HOJA: A3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				




I1 ON/OFF
 I2 SENSOR INFRARROJO
 I3 SENSOR DE LLENADO
 I4 FIN DE CARRERA PUERTA DE LAMACANAMIENTO
 I5 FIN DE CARRERA PUERTA DEL MOTORRDCUTOR
 I6 PARO DE EMERGENCIA

Q1 CONTACTOR MOTOR
 Q2 LED VERDE
 Q3 LED ROJO
 Q4 LED AZUL

				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1			
				Fecha	Nombre	DIAGRAMA ELÉCTRICO TRITURADORA DE ENVASES PLASTICOS PET	
				Dibujado 17/5/2016	JAIME ORTIZ		
				Revisado			
				Aprobado		DIBUJO Nº: PLANO 2/3 HOJA: A3	
				FIRMA / EMPRESA:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:		
				± 0.1				
				Fecha	Nombre	DIAGRAMA ELÉCTRICO TRITURADORA DE ENVASES PLASTICOS PET		
				Dibujado 17/5/2016	JAIME ORTIZ			
				Revisado				
				Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:	PLANO 3/3	HOJA:
				UTE				A3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					