

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA
TRITURADORA DE BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET

JUAN JOSE GONZALEZ ACEVEDO.

RAFAEL ALBERTO LIZCANO BOHORQUEZ.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2013

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA
TRITURADORA DE BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET

JUAN JOSE GONZALEZ ACEVEDO.

RAFAEL ALBERTO LIZCANO BOHORQUEZ.

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR

ISNARDO GONZALEZ

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA

A dios que cuando lo buscaba el siempre corría hacia mí...

A mis padres quienes siempre me apoyaron en todos los proyectos que emprendí en mi vida y quienes hicieron esto posible...

A mis hermanas Rossy y Marcela, quienes estuvieron siempre que las necesite dándome sus palabras de aliento...

A Mónica Cote quien me demostró que siempre va a estar a mi lado apoyándome y dándome ánimo a su manera, y también me ayudo a no rendirme nunca...

A mi tío Orlando, mi tía torca, mi tío Alfredo, mi tía Damaris, mi tío tico, quienes siempre me apoyaron y se preocuparon por mí...

Al Ingeniero Abel Parada quien con sus enseñanzas contribuyo en mi formación personal y profesional...

RAFAEL ALBERTO LIZCANO BOHORQUEZ

DEDICATORIA

Son muchas las personas que merecen ser nombradas y muchas las palabras para explicarlo, solo puedo decir que les dedico este trabajo de grado y esta meta culminada:

A Dios por estar siempre presente con su apoyo.

A mis padres Carlos y Pilar por su amor y comprensión, por acompañarme en cada momento, darme la fortaleza de continuar y estar presentes para todo.

A mis hermanos porque espero algún día ser un ejemplo a seguir para ellos.

A mi familia, por compartir sus experiencias, conocimientos, y estar dispuestos ayudar en cualquier circunstancia.

A mi primo Jorge Alberto por ser un amigo quien siempre podía motivarme.

A mi linda novia Jessica Muñoz por su amor, su cariño, su constante apoyo, sus palabras motivantes y por estar a mi lado siempre.

A mi abuelo y gran amigo Don Gonzalo (Q.E.P.D) por enseñarme tanto a lo largo de mi vida, y por siempre tenerme las puertas abiertas.

A mis compañeros de universidad quienes se volvieron mis amigos y siempre se podía contar con ellos.

A todos los aquí nombrados y todos los que no están pero que saben que son parte importante en mi vida, les dedico este trabajo de grado.

Juan José González Acevedo.

Agradecimientos

Al señor Lumar Noriega Castro quien hizo esto posible, aportando con su experiencia y teniendo la mejor voluntad para enseñarme tantas cosas que solamente se pueden aprender con la práctica, para llevar a cabo la construcción del equipo.

A mi tío Orlando y a mi tía torca quienes me acogieron en su casa durante la fabricación del equipo, siempre me apoyaron dándome ánimo y aliento en los momentos más duros.

A mi primo Cristian quien me ayudo en la fabricación del equipo, aportando su experiencia y habilidades para los trabajos metalmecánicos.

Al profesor Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico director de esta tesis.

Rafael Alberto Lizcano Bohórquez

Agradecimientos.

Le agradezco a todos los profesores de la escuela de ingeniería mecánica con quienes tuve la oportunidad de relacionarme a lo largo de mi carrera y con quienes se formaron lazos de amistad.

Agradezco a las secretarias de la escuela de ingeniería mecánica quienes durante mi carrera me ayudaron a solucionar todo tipo de problemas en especial a Leidy Sanabria, a quien recurrí en varios semestres en busca de ayuda.

Le agradezco a Néstor Monsalve y a mi tío Carlos Acevedo, por mostrarme siempre su interés y su deseo de apoyar y colaborar en cualquier problema que se presentara.

Le agradezco profundamente al profesor Isnardo González Jaimes, director de este proyecto, por su apoyo y sus grandes aportes.

Juan José González Acevedo

CONTENIDO

INTRODUCCION	24
1. RESIDUOS SOLIDOS.....	27
1.1 QUE SON LOS RESIDUOS SOLIDOS.	27
1.2 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.	27
1.2.1 Residuo aprovechable.	27
1.2.2 Residuo no aprovechable.	27
1.2.3 Residuos orgánicos biodegradables.	27
1.2.4 Residuos peligrosos.....	28
1.2.5 Residuos especiales.	28
1.3 IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A RESIDUOS SOLIDOS.	28
1.3.1 Impacto sobre recurso hídrico en aguas superficiales.	29
1.3.2 Impacto sobre el recurso hídrico aguas subterráneas.	30
1.3.3 Impacto en el suelo.	30
1.4 DISPOSICION FINAL CIUDAD DE BUCARAMANGA COLOMBIA.	30
1.4.1 Relleno sanitario el carrasco.	30
1.4.2 Características de los residuos.	32
1.5 CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS.	32
1.5.1 Reciclaje.	33
1.5.2 Las cuatro Rs.	33
1.6 RECICLAJE DE BOTELLAS TIPO PET.....	34
1.6.1 Que es el PET.....	34
1.6.2 Generalidades de las botellas tipo PET.	35
1.6.3 Propiedades mecánicas de las botellas PET.	36
1.6.4 Propiedades térmicas del PET.....	38
1.6.5 Propiedades químicas del PET.....	38
1.7 RECICLAJE QUIMICO DEL PET.....	40
1.7.1 Proceso de pirolisis.	40

1.7.2	Hidrogenación.....	40
1.7.3	Gasificación.	41
1.7.4	Metanolisis.	41
1.8	RECICLAJE MECANICO.	41
1.8.1	Beneficio social, reciclaje PET.	43
1.8.2	Beneficios ambientales-energéticos, reciclaje del PET.....	43
1.9	CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.....	44
1.9.1	Polietileno tereftalato (N°1 PET).	45
1.9.2	Polietileno de alta densidad (N°2 PEAD).	45
1.9.3	Poli cloruro de vinilo (N°3 PVC).	45
1.9.4	Polietileno de baja densidad (N°4 PEBD)	46
1.9.5	Polipropileno (N°5 PP).	46
1.9.6	Poliestireno (N°6 PS)	47
1.9.7	Otros plásticos.	47
1.10	PRODUCTOS ELABORADOS CON PET RECICLADO.	47
1.10.1	Ladrillos con RPET y cemento.....	47
1.10.2	Fibras con PET reciclado.	49
2.	ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	50
2.1	IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	50
2.2	JUSTIFICACION DEL PROYECTO.	51
2.3	JUSTIFICACION DE LA SOLUCION.	52
2.4	DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD.	53
2.4.1	Requerimientos del Consumidor.....	53
2.4.2	Organización de requerimientos.	53
2.5	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.	55
2.5.1	Alternativa de diseño N° 1.....	55
2.5.2	Alternativa de diseño N°2.....	56
2.5.3	Alternativa de diseño N°3.....	57
2.6	EVALUACION DE ALTERNATIVAS.	58

2.7	ESPECIFICACION DE LA ALTERNATIVA GANADORA.....	59
3.	ANALISIS PROPIEDADES DEL DISEÑO.....	61
3.1	CALCULOS DE POTENCIA.....	61
3.2	CALCULOS DEL TORQUE DE INERCIA.	64
3.3	CALCULO DEL NUMERO DE CUCHILLAS.	66
3.4	SISTEMA TRANSMISION DE POTENCIA.	69
3.4.1	Etapa 1: motor – eje de corte.....	69
3.4.2	Etapa 2: eje corte – eje intermedio.....	72
3.4.3	Etapa 3: eje intermedio – rodillos impulsores.....	75
3.4.4	Selección de cadena.....	78
3.5	SELECCIÓN DEL VOLANTE DE INERCIA.	79
4.	CAPACIDADES Y CONDICIONES DE DISEÑO.....	80
4.1	VOLUMENES DE COMPONENTES.....	80
4.1.1	Cámara de molienda.....	81
4.1.2	Conformado de la cámara de molienda.	81
4.1.3	Volumen.....	82
4.2	TOLVA ENTRADA.	84
4.2.1	Conformado	85
4.2.2	Volumen de la tolva de alimentación.....	86
4.3	CÁLCULO Y DISEÑO DE EJES	87
4.3.1	Eje principal.	88
4.3.2	Ejes rodillos.....	92
4.4	ELEMENTOS DE CORTE. CUCHILLAS.....	96
4.4.1	Acero SAE 5160.....	96
4.5	ANÁLISIS DE COMPONENTES POR SOFTWARE CAD-CAE.....	97
4.5.1	Tamiz.....	97
4.5.2	Tolva.....	103
4.5.3	Porta cuchillas.....	109
4.5.4	Ensamble Rodillos Impulsores.....	113

4.5.5	Eje principal.	120
4.5.6	Cuchillas.	125
4.5.7	Tapa Tamiz.	130
4.5.8	Estructura.....	135
5.	FABRICACION Y MONTAJE	144
5.1	EJE PRINCIPAL.....	144
5.2	CHASIS DE LA MAQUINA.....	147
5.3	CRIBA	149
5.4	TAPA SUPERIOR	152
5.5	TOLVA DE ALIMENTACION.....	154
5.6	RODILLOS IMPULSORES.....	156
5.7	SOPORTE UNIVERSAL PARA EL MOTOR.	157
5.8	INSTALACION DE POLEAS Y COMPONENTES AUXILIARES.....	158
6.	COSTOS, MONTAJE, PRUEBAS Y MANTENIMIENTO.....	161
6.1	COSTOS DEL EQUIPO.....	161
6.2	MONTAJE.....	164
6.2.1	Montaje del motor y alineación de correas.....	164
6.2.2	Montaje de cadena.....	165
6.2.3	Procedimiento para montar y afilar las cuchillas.	167
6.3	PRUEBAS	169
6.4	MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.	175
7.	CONCLUSIONES.....	177
	BIBLIOGRAFIA.....	179
	ANEXOS.....	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las cárcavas y del límite municipal de botadero	31
Figura 2. Ejemplos de envases PET	36
Figura 3. Esquema de reciclaje químico.	40
Figura 4. Esquema de Reciclaje Mecánico.	42
Figura 5. Códigos de identificación de resinas de plásticos.....	44
Figura 6. Ladrillos con RPET.	48
Figura 7. Modelos de Bolsos ecoaid.	49
Figura 8. Envases PET	50
Figura 9. Contaminación por botellas PET	51
Figura 10. Relleno Sanitario el Carrasco.	52
Figura 11. Alternativa diseño n° 1	55
Figura 12. Diseño segunda alternativa.	56
Figura 13. Diseño tercera alternativa.	58
Figura 14. Vista superior diseño final del equipo	69
Figura 15. Vista isométrica diseño final del equipo.	73
Figura 16. Tipos de correas.	74
Figura 17. Vista isométrica del diseño.	75
Figura 18. Montaje de la cadena.....	79
Figura 19. Maquina pica pasto.....	80
Figura 20. Botella PET 2,5 litros	81
Figura 21. Cámara de molienda.....	82
Figura 22. Ensamble cámara de molienda y eje de corte.	84
Figura 23. Tolva de alimentación.	85
Figura 24. Croquis tolva de alimentación.	86
Figura 25. Eje principal	88
Figura 26. Ejes rodillos.	92
Figura 27. Mallado del Tamiz.....	98
Figura 28. Información del modelo.....	99
Figura 29. Desplazamiento resultante del Tamiz.....	100
Figura 30. Valores de esfuerzos sobre la pieza	101
Figura 31. Condiciones críticas, factor de seguridad	102
Figura 32. Mallado Tolva de alimentación.	104
Figura 33. Sistema de cargas y apoyos	105
Figura 34. Valores de esfuerzos sobre la pieza	106
Figura 35. Desplazamientos de la pieza.	107
Figura 36. Condiciones factor de seguridad.	108
Figura 37. Mallado del Porta cuchillas.	109

Figura 38. Simulación del esfuerzo Porta Cuchillas.....	111
Figura 39. Deformación bajo cargas, Porta Cuchillas.....	111
Figura 40. Condiciones del factor de seguridad.....	112
Figura 41. Cargas y apoyos para el ensamble.....	113
Figura 42. Mallado del ensamble.....	116
Figura 43. Simulación de esfuerzos para el ensamble.....	117
Figura 44. Simulación de desplazamientos para el ensamble.....	118
Figura 45. Factor de seguridad para el ensamble.....	119
Figura 46. Cargas sobre el ensamble.....	120
Figura 47. Mallado del ensamble eje principal.....	121
Figura 48. Simulación de esfuerzos para el eje.....	122
Figura 49. Simulación desplazamiento para el eje.....	123
Figura 50. Factor de seguridad para el eje principal.....	124
Figura 51. Cargas en la cuchilla.....	125
Figura 52. Mallado de la cuchilla.....	126
Figura 53. Simulación esfuerzo Cuchilla.....	127
Figura 54. Deformaciones unitarias cuchilla.....	128
Figura 55. Factor de seguridad cuchilla.....	129
Figura 56. Cargas y apoyos tapa tamiz.....	130
Figura 57. Mallado tapa tamiz.....	131
Figura 58. Simulación esfuerzo tapa tamiz.....	132
Figura 59. Simulación desplazamientos tapa tamiz.....	133
Figura 60. Simulación factor de seguridad tapa tamiz.....	134
Figura 61. Estructura de soporte.....	135
Figura 62. Perfil actuando como viga y como columna.....	136
Figura 63. Mallado de perfil actuando como columna.....	137
Figura 64. Simulación del esfuerzo miembro como columna.....	138
Figura 65. Desplazamientos, elemento como columna.....	138
Figura 66. Factor de seguridad elemento actuando como columna.....	139
Figura 67. Mallado del componente como viga.....	140
Figura 68. Simulación de esfuerzo miembro como viga.....	141
Figura 69. Desplazamientos componente como viga.....	142
Figura 70. Simulación factor de seguridad elemento como viga.....	143
Figura 71. Corte de ruedas con oxicorte.....	144
Figura 72. Maquinando el eje con sus soportes para los porta cuchillas.....	145
Figura 73. Eje con sus ruedas y sus guías para soldar lo porta cuchillas.....	146
Figura 74. Eje principal con sus porta cuchillas.....	147
Figura 75. Mesa básica.....	147
Figura 76. Mesa con soportes y con el eje principal.....	148

Figura 77. Chasis del equipo.	148
Figura 78. Corte del tubo para la criba.....	149
Figura 79. Parte inferior de la criba.....	150
Figura 80. Criba con tapas laterales.	150
Figura 81. Fijación de los soportes de la criba.....	151
Figura 82. Criba soportada en el chasis.	152
Figura 83. Criba con la tapa superior.....	153
Figura 84. Tapa superior con sus apoyos.....	153
Figura 85. Base de la tolva asegurada a la tapa superior.	154
Figura 86. Molde lateral de la tolva en papel cartón.	155
Figura 87. Tolva de alimentación.....	155
Figura 88. Rodillos impulsores.....	156
Figura 89. Montaje del rodillo impulsor.	156
Figura 90. Transmisión del movimiento entre los rodillos con tensor.....	157
Figura 91. Soporte universal para el motor.....	158
Figura 92. Equipo vista frontal.	159
Figura 93. Equipo vista isométrica.....	160
Figura 94. Equipo vista posterior	160
Figura 95. Alineación de la polea del motor.....	164
Figura 96. Equipo listo para iniciar operación.	165
Figura 97. Recorrido de la cadena.....	166
Figura 98. Cadena con su tensor.....	166
Figura 99. Retiro de las cuchillas.....	167
Figura 100. Ajuste de las cuchillas.....	168
Figura 101. Botellas vacías y sin tapa.	170
Figura 102. Botellas listas para triturar.	171
Figura 103. Escamas tipo PET.	171
Figura 104. Espacio que generaba perdida de material	172
Figura 105. Mejora para evitar perdida de material.	172
Figura 106. Grupo de botellas hasta 3 litros.	173
Figura 107. Escamas tipo PET.	174
Figura 108. Vista frontal.....	189
Figura 109. Vista posterior.....	189
Figura 110. Vista superior.....	190
Figura 111. Vista Isométrica.	190

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición física de residuos sólidos de Bucaramanga	32
Tabla 2. Propiedades mecánicas del PET	37
Tabla 3. Propiedades térmicas del PET	38
Tabla 4. Propiedades químicas del PET	39
Tabla 5. Propiedades del PET y RPET	42
Tabla 6. Matriz de calidad	54
Tabla 7. Matriz de selección de alternativas	59
Tabla 8. Solución ecuación N° 4	63
Tabla 9. Calculo de inercias para componentes	65
Tabla 10. Relación entre el número de cuchillas y la distancia de los cortes	68
Tabla 11. Datos de entrada al sistema	69
Tabla 12. Datos para poleas primera etapa	70
Tabla 13. Relaciones de potencia y cantidad de correas	71
Tabla 14. Relación de distancia entre centros y longitud de correa	71
Tabla 15. Normalización del tipo de correa	72
Tabla 16. Datos de entrada entre el eje de corte-eje intermedio	73
Tabla 17. Diámetros de las poleas eje corte a intermedio.	74
Tabla 18. Cálculos de longitud de la correa eje corte-intermedio.	74
Tabla 19. Normalización de la correa eje corte-intermedio.	75
Tabla 20. Datos de entrada eje intermedio-rodillo	76
Tabla 21. Determinación de los diámetros de las poleas eje intermedio-rodillo. ...	76
Tabla 22. Longitud de la correa eje intermedio a rodillo.	77
Tabla 23. Normaliza correa eje intermedio a rodillo.	77
Tabla 24. Tipo de correas finales.	77
Tabla 25. Datos del cilindro.	82
Tabla 26. Datos tolva entrada.	86
Tabla 27. Calculo del S_e	88
Tabla 28. Fuerza ejercida por la transmisión de potencia sobre el eje.	89
Tabla 29. Análisis estático del eje principal.	90
Tabla 30. Calculo para el diámetro mínimo del eje principal.	91
Tabla 31. Calculo fuerza en la polea.	93
Tabla 32. Análisis estático para los rodillos.	94
Tabla 33. Calculo del diámetro mínimo para eje de los rodillos.	95
Tabla 34. Composición química del acero SAE 5160.	96
Tabla 35. Características mecánicas del acero SAE 5160.	97
Tabla 36. Información de la Malla para el Tamiz.	98
Tabla 37. Propiedades mecánicas material de construcción.	99

Tabla 38.Datos resultantes del desplazamiento Tamiz.....	101
Tabla 39.Datos resultantes del esfuerzo.....	102
Tabla 40.Datos resultantes del factor de seguridad.....	103
Tabla 41.Información de la malla para la Tolva.	104
Tabla 42.Propiedades mecánicas material de construcción.	105
Tabla 43. Datos resultantes del esfuerzo.....	107
Tabla 44. Datos resultantes del desplazamiento.	108
Tabla 45.Datos resultantes del factor de seguridad.....	109
Tabla 46. Información de la malla	110
Tabla 47. Propiedades del material.	110
Tabla 48. Datos del estudio Desplazamiento.....	112
Tabla 49. Datos del Factor de seguridad.	113
Tabla 50.Propiedades del material aletas.....	114
Tabla 51.Propiedades del material cilindro.	115
Tabla 52. Información del mallado.	116
Tabla 53. Datos estudio de esfuerzos.....	117
Tabla 54. Datos estudio desplazamientos	118
Tabla 55. Datos factor de seguridad	119
Tabla 56. Datos mallado ensamble.....	121
Tabla 57. Datos de la simulación	122
Tabla 58. Datos del desplazamiento	123
Tabla 59. Datos factor de seguridad	124
Tabla 60. Datos del mallado de la Cuchilla	126
Tabla 61. Datos estudio esfuerzos cuchilla.....	127
Tabla 62. Datos deformaciones unitarias cuchilla.....	128
Tabla 63. Datos factor de seguridad cuchilla	129
Tabla 64. Datos mallado tapa tamiz.....	131
Tabla 65. Datos del esfuerzo tapa tamiz.....	132
Tabla 66. Datos del desplazamiento tapa tamiz	133
Tabla 67. Datos del factor de seguridad tapa tamiz	134
Tabla 68. Datos de la malla columna.....	137
Tabla 69. Datos del esfuerzo, miembro como columna	138
Tabla 70. Datos del desplazamiento del elemento como columna	139
Tabla 71. Datos del factor de seguridad columna.....	139
Tabla 72. Datos de la malla elemento como viga.	140
Tabla 73. Datos esfuerzo elemento como viga	141
Tabla 74. Datos desplazamientos para elemento como viga.....	142
Tabla 75. Datos del factor de seguridad miembro como viga.....	143
Tabla 76. Costos chasis.....	161

Tabla 77. Costos sistema de corte.....	162
Tabla 78. Costo transmisión de movimiento.	162
Tabla 79. Costos sistema de alimentación.	163
Tabla 80. Costos totales de fabricación.	163
Tabla 81. Programa de mantenimiento para el equipo	176

LISTA DE ANEXOS.

Anexo A. Tablas para selección de correas.....	182
Anexo B. Dimensiones del soporte utilizado en eje corte	185
Anexo C. Dimensiones del soporte utilizado en etapa intermedia	186
Anexo D. Dimensiones del soporte del eje rodillos impulsores.....	187
Anexo E. Dimensiones rodamiento utilizado en inversor giro rodillos	188
Anexo F. Fotos del equipo	189
AnexoG.Planos.....	187

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET*

AUTOR: JUAN JOSE GONZALEZ ACEVEDO.

RAFAEL ALBERTO LIZCANO BOHORQUEZ. **

PALABRAS CLAVES: Máquina trituradora de botellas tipo PET, rodillos impulsores.

CONTENIDO:

El presente proyecto profesional de grado tiene como fin diseñar y construir un prototipo de maquina capaz de triturar botellas plásticas tipo PET clasificadas como desechos, incentivando la creación de la cultura del reciclaje para este material.

Se diseñara un equipo con la capacidad de reducir una botella en partículas pequeñas denominadas pellets, generando así la materia prima que se requiere en el proceso de reciclaje mecánico del PET, primero se corta y tritura la botella en escamas y luego si se desea se utiliza una extrusora de este material que se utiliza para la creación de nuevos productos no alimenticios comercializables.

En este proyecto se encontrara información sobre la composición de este material, los distintos tipos de reciclaje, algunos de los productos que se pueden obtener, así como la reseña del consumo y desecho en Colombia y la crisis ambiental que se empieza a reflejar en las diferentes ciudades capitales.

Se especificaran las condiciones de diseño de este equipo, presentándolas de forma clara y entendible desde los cálculos básicos pasando por la fabricación, el montaje, las pruebas de funcionamiento y el mantenimiento del equipo.

Por último se encontrarán los anexos de todos los componentes requeridos para el diseño del equipo con sus respectivos planos.

*Proyecto de grado.

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Isnardo Gonzalez Jaimes.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A P.E.T. BOTTLES GRINDING MACHINE PROTOTYPE.

AUTHORS: JUAN JOSE GONZALEZ ACEVEDO.

RAFAEL ALBERTO LIZCANO BOHORQUEZ. **

KEY WORDS: P.E.T bottles grinding machine. Driving rollers.

CONTENTS:

The primary goal of this project is to design and construct a P.E.T. bottles grinding machine prototype; those bottles have been classified as trash. This attempt tries to motivate the culture of recycling for this material.

A prototype will be design with the ability to reduce a plastic bottle in small particles called "pellets", generating the raw material that is required to start the P.E.T. mechanical recycling process. The first step is to cut and grind the bottle into "pellets" then, an extruding machine is used to create new saleable packaging for non-food products.

Along this project you will found information about this material composition, different kinds of recycling, some of the products you can obtain and also an overview of the consumption and waste of this material in Colombia and the environmental crisis which is beginning to be reflected in capital cities of our country.

The design conditions for this equipment will be specified in this project. They will be presented in a clear and understandable way; from the basic calculations passing through the manufacturing process, the assembly, the functional tests and the maintenance of the equipment.

Finally you will find attached all the components required for the manufacture of the equipment with the corresponding blueprints.

*Graduate work

**Faculty of Physicomechanical Engineering. Mechanical Engineering School. Director: Ing. Jaimes Gonzalez Isnardo.

INTRODUCCION

La contaminación ambiental que genera el hombre a medida que aumenta su poder sobre la naturaleza está destruyendo y reduciendo su propio habitat y el de especies nativas, generando problemas de salud y contaminación de suelos y fuentes hídricas necesarias para sobrevivir.

Se denomina como contaminación el deterioro del ambiente (aire, agua y suelo) debido a sustancias perjudiciales tanto físicas como químicas las cuales no pertenecen a los diferentes ecosistemas y generan daños y desequilibrios en los mismos.

La sobre explotación de recursos naturales y el incremento de la contaminación, amenazan la capacidad regenerativa de los sistemas naturales, este daño ambiental se puede mitigar gracias a que ciertos componentes de los residuos tienen valor económico y rentable utilizado por el reciclaje.

La producción de residuos que es generada por los seres humanos va en aumento día tras día, esto se debe al aumento del número de habitantes y al mal uso que estos le dan a todos sus desechos.

La implementación de programas de manejo de residuos a nivel nacional, departamental, es el comienzo de una solución a esta problemática. La gestión integral de residuos está encaminada a reducir drásticamente el impacto ambiental, haciendo una clasificación de los residuos de acuerdo con: sus características, tamaño, uso, propiedades, aprovechamiento, comercialización y disposición final.

Reciclar implica recolectar materiales desechados y transformarlos en nuevos materiales o productos que pueden ser reutilizados.

En el país y en especial en las grandes ciudades el plástico es reciclado en muy pocas cantidades, según promedios históricos en ciudades como Bogotá cerca de

16.500 toneladas de plástico al mes terminan en el relleno sanitario representando esto una cifra importante para implementar planes de reciclaje de estos materiales

Reciclando 1 kg de plástico se reduce en 1.5 kg las emisiones de co2 al ambiente.

En Colombia se reciclan alrededor de 1.880.000 T/Año de toda clase de residuos siendo alrededor del 13% es decir 244.400 T/año correspondientes a plásticos, esto porque no se cuenta con los equipos necesarios para ampliar este porcentaje.

El PET es un material termoplástico derivado del petróleo el cual tarda más de 500 años en desintegrarse de forma natural y al ser incinerado produce gases tóxicos.

Colombia tiene un consumo anual aproximado de 84.000 T/Año de plástico tipo PET, del cual solo se recicla el 24% es decir 20.160 T/Año, el 76% restante termina en las calles, ríos, playas, campos y en algunos casos a rellenos sanitarios. Debido a estas cifras tan altas se procede al diseño y construcción de un equipo cuyo objetivo es triturar los desechos pasticos tipo PET, facilitando así el implemento de procesos de reciclado mecánico para este material.

Este proyecto es fundamentado en una necesidad ambiental, en la implementación de nuevos planes de manejo de residuos, el conocimiento de procesos, la apertura de mercados, la generación de empleos, el desarrollo de la creatividad y el deseo de fomentar una cultura ciudadana diferente y un cambio general.

El equipo triturador de botellas plásticas cuenta con un proceso de corte de acción mecánica gracias a cuchillas de corte montadas sobre un eje móvil, un sistema de alimentación de las botellas las comprime y deforma permitiendo que entren a la unidad de corte mucho más fácil y a una velocidad constante ideal para el ingreso a la cámara de molienda y es cortada hasta alcanzar un tamaño esperado y controlado por un tamiz de cernido, dando como resultado un producto más fácil

de trasportar que ocupa menos espacio y siendo este el inicio de diversas aplicaciones para la reutilización del PET.

1. RESIDUOS SOLIDOS

1.1 QUE SON LOS RESIDUOS SOLIDOS.

Son los restos de actividades humanas, como los generados en las viviendas, en la limpieza de espacios públicos, en la industria, en la construcción, los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, la chatarra, y los residuos hospitalarios, los cuales son considerados por sus generadores como inútiles o desechables. Este término de residuos sólidos, comprende los desperdicios conformados de forma variada en las zonas urbanas como los generados de forma más simple en zonas rurales.¹

1.2 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

Su clasificación se da dependiendo de su procedencia y de su impacto ambiental.

1.2.1 Residuo aprovechable.

Son materiales que no se descomponen con facilidad y representan un desperdicio para quien lo genera, pero tienen la cualidad de que pueden reutilizarse como materia prima en procesos productivos.

1.2.2 Residuo no aprovechable.

Es todo aquel material que no se descompone de forma natural en corto tiempo, tampoco permite ser reutilizado o reincorporado a un proceso productivo, por lo que debe dar por finalizado su ciclo de vida útil y pasar a un proceso de disposición final.

1.2.3 Residuos orgánicos biodegradables.

Son residuos que se desintegran o degradan con facilidad en el ambiente y pueden transformarse en nuevas materias orgánicas como abonos para reincorporarse en forma benéfica al ambiente.

¹ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA. Análisis ambiental, aspectos de salud y aspectos socioculturales [en línea] <<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/colombia/colombia6.html>> [citado 19 de octubre de 2013]

1.2.4 Residuos peligrosos.

Son todos los residuos que debido a sus características pueden poner en riesgo la salud humana y el medio ambiente, están en esta clasificación todos los elementos con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas. Así mismo como los contenedores que se vieron expuestos a contacto con estos materiales.

1.2.5 Residuos especiales.

Son residuos que por su proceso de fabricación, su gran tamaño, su calidad, su volumen o peso pueden ser considerados como un riesgo y debido a esto deben ser manejados de forma especial, aunque se produce el caso que son manejados conjuntamente con los residuos sólidos municipales.

1.3 IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A RESIDUOS SOLIDOS.

Los residuos sólidos son desperdicios que la humanidad ha generado desde que se creó como sociedad, producidos por sus actividades diarias, a medida que crece la población, en nuevas tecnologías, en ambición se desechan miles de productos y se consumen la misma cantidad generando aún más y más desechos sólidos, líquidos y gaseosos que eventualmente afectan el medio en el que viven y se producirán daños ambientales irreparables.

El mal manejo de los residuos sólidos afecta al hombre y a su medio en formas tales como:

- La destrucción de los recursos naturales
- Deterioro de la salud pública
- Problemática social
- Factores económicos

Estos factores afectan directamente los componentes naturales que todo ser vivo necesita, lo que demuestra que no solo el hombre es el máximo depredador de

especies en el mundo y al mismo tiempo es el directo responsable de la destrucción lenta e irreversible de la tierra.

1.3.1 Impacto sobre recurso hídrico en aguas superficiales.

Es uno de los problemas más graves en el manejo inapropiado de los residuos sólidos al terminar estos en ríos, quebradas y fuentes hídricas cercanas a las ciudades. Este tipo de desperdicios desequilibra el medio ambiente aumentando la carga orgánica, disminuyen el oxígeno disuelto en el agua y aumentan los nutrientes tales como nitrógeno y fósforo, lo que genera la proliferación de algas y generación de procesos de eutrofización. Lo que produce la pérdida de este recurso para el hombre, la destrucción de la fauna acuática y el deterioro en el paisaje.

Haciendo obligatorio una inversión de dinero muy grande para realizar algún proceso de recuperación de esta fuente.

Ejemplos de este tipo de problemas se han conocido en Colombia desde hace mucho tiempo, uno muy claro es la contaminación del río Tunjuelito en la ciudad de Bogotá debido a los lixiviados que producen las basuras en el relleno sanitario Doña Juana y que no son bien tratados, terminan siendo vertidos en la cuenca de este río.

Adicionalmente varias corporaciones autónomas regionales informan de malos manejos de residuos sólidos y lixiviados en las distintas fuentes hídricas del país.

La CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) informa de alrededor de un 3% de las basuras producidas por este departamento dan a parar al río Cauca, y un estimado de aproximadamente 20% termina contaminando la bahía de Buenaventura.²

Por otra parte CORPOMAG (Corporación Autónoma Regional del Magdalena) da cifras más alarmantes indicando que todos los municipios en la ribera del río

² Ibíd.

magdalena disponen sus residuos sólidos en este. Lo que puede entenderse como una problemática nacional debido a la contaminación de las fuentes más importantes, siendo casi imposible la realización de limpieza de estos ríos, ya que todos esos desperdicios terminan vertidos en el océano.³

1.3.2 Impacto sobre el recurso hídrico aguas subterráneas.

Conocidos como acuíferos son contaminados debido a la filtración que hace el suelo con los lixiviados, siendo este el medio por el cual llegan a estas fuentes hídricas.

1.3.3 Impacto en el suelo.

Como todos conocen la forma de manejo de los RSU en las ciudades, se lleva a cabo por medio de camiones recolectores los cuales hacen sus rutas de recolección por las diferentes zonas de la ciudad y tienen como destino final un botadero de basura a cielo abierto, la falta de control de algunas entidades y la ignorancia en el manejo de muchos residuos da como resultado una mezcla de todas las partes que clasifican los residuos terminando en contacto con el suelo, agentes químicos, contaminantes que son de alto riesgo para la salud, estas problemáticas han obligado a las ciudades a crear nuevas montañas las cuales están formadas de desperdicios que han sido compactados y organizados, escondidos bajo una débil capa vegetal haciendo totalmente improductivo el suelo.

1.4 DISPOSICION FINAL CIUDAD DE BUCARAMANGA COLOMBIA.

A continuación se presentara información sobre la ciudad de Bucaramanga y su plan de manejo y control de los residuos sólidos urbanos manejados a diario así como las características del relleno sanitario el CARRASCO.

1.4.1 Relleno sanitario el carrasco.

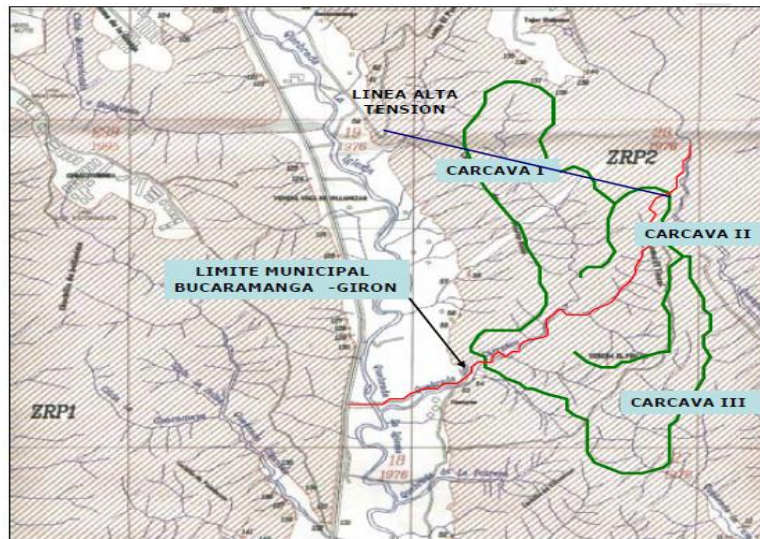
En 1977 empieza a funcionar como botadero a cielo abierto, los vehículos recolectores depositan los residuos en la parte baja de la cañada, conocido actualmente como la CARCAVA II.

³ Ibíd.

En 1985 tras varios años de operación y enfrentándose a grandes problemas como incendios se decide comenzar a rellenar la CARVACA I. En los años posteriores se operó sin control estricto sobre la disposición, la generación de vertimientos líquidos y emisiones gaseosas.⁴

El Carrasco está compuesto por 3 cárcavas, la denominación cárcavas en torno al sitio de disposición final data de la formulación del Plan de Manejo Ambiental que se presentó a consideración de la CDMB entre 1.997 y 1.998 el cual fue aprobado según resolución 0753 del 13 de Agosto de 1.998.⁵

Figura 1. Ubicación de las cárcavas y del límite municipal de botadero



Fuente: EMAB: Disposición final de recursos

El relleno sanitario actualmente recibe las basuras de la ciudad de Bucaramanga, del área metropolitana y de municipios aledaños a esta, recibe diariamente un promedio de 1.000 toneladas de basura.

⁴ EMAB, disposición final. Bucaramanga, [en línea].

<http://evirtual.lasalle.edu.co/info_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf>.[citado 13 octubre de 2013]

⁵ Ibíd. p.4

1.4.2 Características de los residuos.

Debido a la gran cantidad de residuos que son depositados a diario en el botadero, realizar una caracterización puntual no es sencilla, se cuenta con estudios realizados por diferentes entidades de años anteriores, incluyendo el muestreo de los residuos producidos por los municipios y el área metropolitana de la ciudad.

Tabla 1. Composición física de residuos sólidos de Bucaramanga

TIPO DE RESIDUO	% TOTAL
MATERIAL ORGANICO	56.00
PAPEL/CARTON	8.80
PLASTICO	19.40
VIDRIO	4.20
METALES	2.40
TEXTILES	4.60
CUEROS	1.90
RESIDUOS SANITARIOS	2.70

Fuente: Disposición final en Bucaramanga PDF EMAB

Presentando datos de la densidad de estos residuos sueltos de alrededor de 300 kg/m³, con densidades de entre 0,7 Ton/m³ – 0,8 Ton/m³ posteriores al proceso de compactación.⁶

1.5 CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS.

La mejor forma de controlar los residuos sólidos viene desde la fuente de producción, educando a la sociedad y creando una cultura ciudadana distinta frente al medio ambiente, la clasificación es esencial para facilitar la implementación de procesos de recuperación de estos recursos, además de implementar planes de reciclaje y capacitación de las empresas prestadoras de

⁶ Ibíd. p. 23

este servicio para así garantizar que el trabajo realizado por la sociedad sea eficaz en etapas de recuperación de las distintas materias que componen los residuos sólidos.

1.5.1 Reciclaje.

Es el proceso de transformación de materiales utilizados caracterizados como desechos, en recursos valiosos dentro de un proceso productivo.

Muchos significados se pueden encontrar sobre el reciclaje muchos procesos de realización pero lo importante es que es algo benéfico y que con un sencillo esfuerzo puede traer no solo beneficios ambientales sino en gran parte beneficios económicos.

Alrededor de un 90% de la basura doméstica es reciclable, y por esto es importante que se haga un proceso de clasificación de la misma desde los hogares⁷

1.5.2 Las cuatro Rs.

El tratamiento que se le da a los residuos sólidos es lo que marca la diferencia en los procesos ideales de reutilización de los mismos. Existen muchos procesos para controlar y recuperar parte de los desperdicios, pero no todos generan los beneficios esperados o se cometen errores que disminuyen la ganancia esperada en la recuperación y reutilización. Por eso los sistemas globales están regidos por los siguientes patrones de 4 Rs.

- **Reducción:** Reducir la generación de desechos, disminuyendo las cantidades consumidas.
- **Reutilización:** Reutilizar al máximo los objetos y materiales antes de convertirlos en desperdicio

⁷ BIODEGRADABLE. Que es reciclar [en línea].
<http://www.biodegradable.com.mx/que_es_reciclar.html> [citado 13 octubre 2013]

- **Reciclaje:** Separar materiales como cartón, papel, vidrio, PET, latas, etc., para ser procesados y convertirse nuevamente en materia prima
- **Recuperación energética:** Proceso en el cual se procesan mediante una combustión controlada con el fin de producir energía todos los materiales no aceptados en los pasos anteriores por ser incapaces de recuperarse o de reutilizarse.⁸

1.6 RECICLAJE DE BOTELLAS TIPO PET.

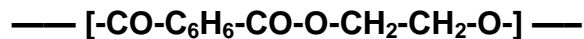
Actualmente en todo el mundo se están utilizando las botellas tipo PET, por sus grandes ventajas para el almacenaje de alimentos, aproximadamente en el mundo se consumen 12 millones de toneladas de PET; solamente se recicla el 20%.

Al reciclar 1 KG de PET, se evitan emitir 1,5 KG de CO2 al ambiente.⁹

Existen dos tipos de procesos para reciclar el PET, el primero es el reciclaje químico, y el segundo es el reciclaje mecánico, pero antes de hablar sobre estos procesos, se deben aclarar algunas cosas.

1.6.1 Que es el PET.

El polietilenterftalato o politereftalato de etileno, de sigla PET y cuya fórmula podemos escribir como:



Es un polímero lineal termoplástico obtenido por poli condensación del Ácido Tereftálico (C₆H₄(COOH)₂) adicionado con Etilenglicol (CH₂OHCH₂OH).

Las propiedades físicas del PET son muy buenas a comparación de otros materiales, pero sin duda una de las más importantes es que sirve para el almacenamiento de alimentos; es decir puede estar en contacto con estos sin generar ningún daño al ser humano que los consuma, otra ventaja es su

⁸ UNED. La solución al problema de los residuos urbanos [en línea].

<<http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina2.htm>> [citado 13 octubre de 2013]

⁹ CEMPRE. Plásticos [en línea]

<<http://www.cempre.org.co/documentos/ficha%20pl%C3%A1stico.pdf>> [citado 19 octubre de 2013]

transparencia y que posee una muy buena barrera para el CO_2 , no lo afecta demasiado la humedad; es por esta razón que en la industria alimenticia es usado primordialmente para almacenar bebidas carbonadas.

1.6.2 Generalidades de las botellas tipo PET.

El PET (Tereftalato de Polietileno) es un material termoplástico derivado del petróleo, utilizado en la fabricación de envases, fibras, laminas, películas entre otros, inicialmente se utilizaba en la fabricación de fibras para la industria textil, hasta que luego de unos años se abrió camino gracias a sus propiedades para el almacenamiento de bebidas carbonatadas, algunas de sus propiedades son:

- Procesable por soplado, inyección, extrusión. Apto para producir frascos, botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Barrera de los gases.
- N°1 en reciclado.
- Liviano

Las características de este material son la justificación de que hoy en día es uno de los materiales más utilizados en la industria alimenticia, la cual ha invertido mucho dinero en tecnología para la fabricación de envases tipo PET, debido a esto lo único que queda para reducir el impacto ambiental que generan estos residuos es el reciclaje.

Figura 2. Ejemplos de envases PET.



Fuente: <http://4228.mx.all.biz/botellas-de-pet-para-agua-con-sus-tapas-g21406>

1.6.3 Propiedades mecánicas de las botellas PET.

En la fabricación de las botellas PET, sus moléculas se orientan en dos direcciones; longitudinal y paralela al eje del envase, debido a esto es que poseen elevada resistencia mecánica.

Este tipo de envases soportan elevadas presiones, hasta de 6 bares, ello es necesario debido a que en la gran mayoría de estos envases son usados para el almacenamiento de bebidas carbonatadas, gracias a que durante el proceso de hilado de la resina y el sople-moldeado ocurre una alineación de las macromoléculas y le da unas propiedades excelentes para almacenar este tipo de sustancias, pues el envase no se deforma, no explota, no se rompe, es transparente y es ligero.

Una ventaja muy importante es que gracias a sus propiedades físicas permite una gran libertad en el diseño de los recipientes.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del PET

PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIS A LA TRACCION (FLUENCIA / ROTURA)	kg/cm ²	D-638	53455	900 / ..
RES. A LA COMPRESION 1 Y 2% DEF)	kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RES A LA FELXION	kg/cm ²	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	kg/cm ²	D-256	52453	>50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	kg*cm/cm ²	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	%	D-638	53457	37000
DUREZA	kg/cm ²	D-2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO	shore D	D-1894		..
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0.20
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

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

1.6.4 Propiedades térmicas del PET.

Las botellas tipo PET tienen un buen comportamiento en un alto rango de temperaturas, desde -20 °C hasta 110°C, es suficiente para el uso que se le da en la industria alimenticia, existen algunas excepciones a estos rangos de temperatura, el PET cristalizado (opaco) tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 °C; pero en general posee buenas características para soportar temperaturas.

Tabla 3. Propiedades térmicas del PET

PROPIEDADES TERMICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CALOR ESPECIFICO	Kcal/Kg°C	C-351		0.25
TEMP. DE FELXION B/CARGA (18.5 Kg/cm ²)	°C	D-648	53461	75
TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE	°C			
TEMP. DE FUSION	°C			-20 a 110
COEF. DE DILATACION LINEAL DE 23 A 100°C	POR °C	D-696	52752	0.00008
COEF. DE CONDUCCION TERMICA	Kcal/m*h*°C	C-177	52612	0.25

Fuente:

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

1.6.5 Propiedades químicas del PET.

Entre sus propiedades químicas se encuentra que tienen una buena barrera para contener el co₂, es por eso que es el número uno en recipientes para contener

bebidas carbonadas; resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.

Una gran desventaja que tiene el PET es que tarda en degradarse más de 500 años lo que lo convierte en uno de los principales contaminantes del medio ambiente en la actualidad. Esto se puede mitigar con un plan de reciclaje de este producto.

Tabla 4. Propiedades químicas del PET

PROPIEDADES QUIMICAS	OBSERVACIONES
RESISTENCIA A HIDROCARBUROS	BUENA
RESISTENCIA A ACIDOS DEBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A ALCALIS DEBILES A TEMP. AMBIENTE	BUENA
RESISTENCIA A PROD. QUIMICOS DEFINIDOS	CONSULTAR
EFFECTOS DE LOS RAYOS SOLARES	ALGO LE AFECTAN
APROBADO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS	SI
COMPORTAMIENTO A LA COMBUSTION	ARDE CON MEDIA DIFICULTAD
PROPAGACION DE LLAMA	MANTIENE LA LLAMA
COMPORTAMIENTO AL QUEMARLO	GOTEA
COLOR A LA LLAMA	AMARILLO ANARANJADO TIZNADO
OLOR AL QUEMARLO	AROMATICO DULCE

Fuente:

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

1.7 RECICLAJE QUIMICO DEL PET.

Los principales procesos existentes en el reciclaje químico son: Pirolisis, hidrogenación, gasificación, metanolisis; con estos procesos actualmente se ha logrado devolver el PET a su estado original, donde se está logrando separar en sus materias primas, pero dándole un costo económico elevado, lo cual no lo hace rentable aun.

Figura 3. Esquema de reciclaje químico.



FUENTE: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

1.7.1 Proceso de pirolisis.

Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías. En el caso del PET, su pirolisis genera carbón activado.

1.7.2 Hidrogenación.

En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.

1.7.3 Gasificación.

Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

1.7.4 Metanolisis.

Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego re polimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilen tereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonatadas. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET.

1.8 RECICLAJE MECANICO.

Este tipo de reciclaje es el más utilizado para el reciclaje del PET, consiste en varias etapas de separación, limpieza y molido, el único inconveniente que presenta este tipo de reciclaje es que el RPET, que es como se denomina el PET reciclado, no se puede garantizar su esterilización debido a que el material se incinera a una temperatura más baja que la necesaria para garantizar la completa limpieza para almacenar alimentos de consumo humano.

Figura 4. Esquema de Reciclaje Mecánico.



FUENTE: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

Al reciclar el PET, se tiene un nuevo material prácticamente con una propiedades diferentes al producto virgen, esto es debido al proceso mecánico al cual se somete, en la siguiente tabla se pueden observar algunos valores de las propiedades del PET y del RPET.

Tabla 5. Propiedades del PET y RPET

PROPIEDAD	PET VIRGEN	RPET
Módulo de Young [Mpa]	1890	1630
Resistencia a la rotura [Mpa]	47	24
elongación a la rotura [%]	3,2	110
resistencia al impacto [$J \cdot m^{-1}$]	12	20
IV ($dl \cdot g^{-1}$)	0,72 - 0,84	0,46 - 0,76
Temperatura de fusión ($^{\circ}C$)	244 - 254	247 - 253
Peso molecular ($g \cdot mol^{-1}$)	81600	58400

Fuente: Polimer recycling, recycling of PET.

En el proceso de reciclaje mecánico, además de triturar el material, para que este sea un producto reutilizable, se debe someter a un lavado a temperaturas específicas y a diferentes procesos de descontaminación las cuales consisten en clasificación por aire, separación en agua y separación electrostática, luego de estos otros procesos el RPET ya en una materia prima para la elaboración de nuevos productos; eso bajo la salvedad de que no sean para contener alimentos.

Actualmente ENKA de Colombia, es la empresa líder en el reciclaje de PET en el país, procesando más de 11.000 toneladas de botellas por año, generando productos como:¹⁰

- Fibra corta: utilizada para la producción de poliéster o con mezclas de algodón para uso en ropa.
- Filamentos: para tejidos de ropa exterior deportiva, hogar, automóviles.
- Resina PET: resina para producción e envases.

1.8.1 Beneficio social, reciclaje PET.

En Colombia se benefician más de 2800 personas desde la recolección de botellas hasta la fabricación de la fibra.

Los principales trabajadores en este proceso son madres cabezas de hogar, desplazados por la violencia y reinsertados.¹¹

1.8.2 Beneficios ambientales-energéticos, reciclaje del PET.

Se requiere alrededor de un 92% menos energía para todo el proceso comparado con la resina virgen.

Este ahorro energético es equivalente al consumo de una población de alrededor a 100.000 habitantes.

¹⁰ ENKA. El planeta es de todos y nuestro compromiso es con las futuras generaciones [en línea]. <<http://www.enka.com.co/enka/index.php/es/content/view/full/205>> [citado 13 octubre 2013]

¹¹ Ibid. p4.

Reducción de las emisiones de CO2 hasta en un 72% comparado con la producción de resina virgen.¹²

1.9 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

Debido a la gran variedad de familias de productos plásticos existentes, existe una codificación a nivel mundial para facilitar su identificación, aunque por obligación todo producto plástico debe ser claramente identificado en ocasiones se encuentra productos en los cuales el símbolo no es legible.

El símbolo estándar consiste en un triángulo que en su interior tiene un número, esta numeración es la que indica que tipo de plástico se está manipulando.

Existen 7 tipos de resinas plásticas, el PET, el PEAD, PVC, PEBD, PP, PS, y otros, cada uno de ellos con características propias y usos distintos.

Figura 5. Códigos de identificación de resinas de plásticos.



FUENTE: <http://soyplastic.net/wp-content/uploads/2010/07/resin-codes-poster.jpg>

¹² Ibid. p 2.

1.9.1 Polietileno tereftalato (N°1 PET).

Es un tipo de plástico muy resistente, transparente aunque con facilidad adquiere nueva pigmentación, con muchos usos comerciales.

- Fibras textiles
- Envases de bebidas carbonatadas y no carbonatadas
- Bolsas de dormir
- Textiles.

1.9.2 Polietileno de alta densidad (N°2 PEAD).

Este material se caracteriza por tener aplicaciones muy variadas, puede estar rígido o ser muy flexible, se presenta de muchos colores, flota en el agua, al momento de ser quemado arde con una llama de color amarillo generando un olor fuerte a parafina, las bolsas echas con este tipo de plástico son de color lechoso, opacas y suenan al ser manipuladas, entre sus principales aplicaciones se destacan.

- Tanques
- Canastas para gaseosas
- Canastas de supermercado
- Baldes
- Bañeras
- Juguetes
- Conos de señales

1.9.3 Poli cloruro de vinilo (N°3 PVC).

Probablemente uno de los más reconocidos por sus aplicaciones en redes eléctricas, posee varias características importantes, al ser doblado este blanquea su superficie, es más denso que el agua, (se hunde), al quemarse genera vapores ácidos y un humo de color verde e irritante. Algunas aplicaciones son:

- Envases de medicamentos
- Tuberías eléctricas
- Tuberías de agua
- Cuero sintético para muebles y calzado
- Empaque para productos pesados (lubricantes, detergente, aceites)

1.9.4 Polietileno de baja densidad (N°4 PEBD)

Es un material incoloro, flota en el agua, al quemarse arde con una llama azul y genera olor a parafina, estable frente a ácidos, de alta flexibilidad, se encuentra principalmente en:

- Películas para envolver productos
- Bolsas transparentes
- Bolsas de leche
- Laminas adhesivas
- Mangueras de conductos de agua
- Tapas

1.9.5 Polipropileno (N°5 PP).

Este material, posee una alta resistencia al impacto y a la tracción, a su vez es flexible, puede ser rígido y traslucido, es esterilizado desde los 120 a 130 grados centígrados, al quemarse genera una llama de color amarillo, continua ardiendo en ausencia de llama.

Se presenta comúnmente en:

- Garrafas de agua
- Pañales desechables
- Cuerda industrial
- Utensilios domésticos
- Carcasa de baterías
- Piezas moldeadas

1.9.6 Poliestireno (N°6 PS)

Es un material quebradizo, menos denso que el agua, al quemarlo se funde pero no gotea, produce una llama amarilla y un humo negro de olor dulce, poco resistente, se encuentra principalmente en.

- Utensilios desechables
- Envases para jabón
- Cajas de cd
- Empaques térmicos
- Vasos y platos (Icopor)

1.9.7 Otros plásticos.

Materiales que generalmente no son reciclables, está conformado por resinas de diferentes tipos.

1.10 PRODUCTOS ELABORADOS CON PET RECICLADO.

Son varias las opciones que existen para darle uso al material obtenido al reciclar el PET, estas aplicaciones se obtienen después de realizar los pasos pertinentes, reunirlos, clasificarlos y limpiarlos, se logra transformar en fibras poliéster, rellenos térmicos, para alfombras, ropa, combustible alternativo, madera plástica, envases de productos no alimenticios, lamina plana, lamina para termo formado, fleje, monofilamentos y cabos.

Actualmente uno de los usos que se le está dando al RPET es la fabricación de ladrillos ecológicos.

1.10.1 Ladrillos con RPET y cemento.

Consiste en moldear de forma semejante a los ladrillos actuales, pero reemplazando la arena por escamas de PET, agregándole cemento y un aditivo químico en el agua de la mezcla para mejorar la adhesividad de las partículas plásticas con el cemento.

El Procedimiento de Elaboración es el siguiente.

- Se realiza el triturado del PET con un molino diseñado para este propósito.
- Las partículas de PET o escamas, se mezclan con el cemento en una hormigonera (mezcladora) luego se les agrega agua con los químicos necesarios.
- Se realiza la compresión de la mezcla y la postura de los mampuestos
- Se le deja en pista durante un día y luego se los moviliza hasta una pileta de curado con agua donde permanecen 7 días.
- Luego se retiran y se almacenan en pilas a cubierto hasta cumplir 28 días de su elaboración.
- En este punto ya se cuenta con un ladrillo disponible para construcción, teniendo en cuenta que las paredes de la construcción deben ser revocadas con mortero, para evitar el deterioro a la intemperie.¹³

Figura 6. Ladrillos con RPET.



Fuente: http://www.ave.org.ar/nuevos_materiales.pdf

¹³ AVE. Línea de investigación sobre nuevos materiales para construcción [en línea]. <http://www.ave.org.ar/nuevos_materiales.pdf> [citado 13 octubre de 2013]

1.10.2 Fibras con PET reciclado.

Es otra de las aplicaciones que se logra dar al reciclaje del PET, la implementación de fibras textiles. Una empresa para resaltar es la Mexicana ecoaid¹⁴. Quienes fabrican y comercializan bolsas, correas, bolsos y camas para mascotas elaboradas a partir de PET reciclado.

Las bolsas que comercializan son durables, ergonómicas y resistentes con una capacidad de carga de hasta 26 Kg.¹⁵

Figura 7. Modelos de Bolsos ecoaid.



Fuente: Catálogo de productos 2013 ecoaid.

¹⁴ ECOAID. Catálogo de productos [en línea]. <<http://www.ecoaid.com.mx/catalogos-de-productos>> [citado 13 octubre de 2013].

¹⁵ *Ibid.*

2. ANALISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

2.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.

Actualmente en la industria es muy común el uso de envases tipo PET para contener diferentes clases de líquidos, desde gaseosas, maltas, jugos, agua, aceites, derivados del petróleo y hasta sustancias químicas.

El uso de este material ha aumentado significativamente en los últimos años gracias a las propiedades que posee y a las muchas variaciones logradas en su proceso de fabricación como tamaños y formas.

Figura 8. Envases PET



Fuente: <http://lassmy.com/bebidas/>

En la ciudad de Bucaramanga existe un alto grado de contaminación como resultado del manejo inadecuado de las botellas tipo PET, por parte de la población.

Al no existir un proceso de recuperación apropiado terminan siendo depositadas en sitios no convenientes como calles, jardines, alcantarillas, quebradas y ríos aumentando así el daño ambiental.

Esta problemática afecta a todo el mundo pues los envases tipo PET (Tereftalato de Polietileno) son inertes ante los microorganismos encargados de descomponer

los residuos, dando como resultado un proceso de descomposición que puede tardar más de 150 años en completarse.

Figura 9. Contaminación por botellas PET



Fuente: <http://www.tuverde.com/2011/01/argentina-construiran-una-planta-de-reciclado-de-botellas-pet/>

2.2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

Los altos niveles de contaminación ambiental presentes en la ciudad de Bucaramanga especialmente los generados por las botellas tipo PET, que actualmente no son clasificadas ni separadas de los demás tipos de desechos producidos por la sociedad y terminan siendo parte de las toneladas diarias de RSU (residuos sólidos urbanos) producidos que deben enterrarse.

El relleno sanitario EL CARRASCO de la ciudad de Bucaramanga, presenta niveles críticos en su capacidad de almacenamiento y está próximo a terminar su vida útil obligando a la sociedad a adquirir nuevos terrenos para el destino final de los desechos.

La necesidad de un cambio en el proceso de manejo de los RSU (residuos sólidos urbanos) permite plantear soluciones frente a esta problemática ambiental.

La implementación de un proceso que permita la recuperación del material, genere beneficios ambientales, reduciendo costos en fabricación de materia

primas nuevas, permitiendo la reutilización de las existentes, admite plantear esta solución para un proceso de reciclado mecánico de las botellas PET.

Figura 10. Relleno Sanitario el Carrasco.



Fuente: EMAB

2.3 JUSTIFICACION DE LA SOLUCION.

Incorporando a la sociedad en un plan de reciclaje sustentable del producto PET se ayudara a reducir la gran cantidad de desperdicio generado y creando una conciencia adecuada frente a los procesos de reciclaje.

Las personas dedicadas a la recolección de material reciclable pueden mejorar su calidad de vida al recibir un pago por la cantidad de productos tipo PET que puedan reunir en sus labores diarias.

La máquina se fabricara usando materiales y tecnología disponible en la región, con el fin de tener un alto nivel de competitividad con respecto a las maquinas ofrecidas por el mercado, en cuanto a su costo y eficiencia. El mecanismo debe ser práctico tanto en su funcionamiento como en su mantenimiento.

Teniendo en cuenta las necesidades anteriormente mencionadas, se realizó un estudio de selección de las posibles alternativas, por medio del despliegue de la función calidad (QFD). Este estudio se presenta a continuación.

2.4 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD.

2.4.1 Requerimientos del Consumidor.

A continuación se establecen las demandas básicas de los interesados en el desarrollo del producto:

- Segura en operación.
- Eficiente.
- Que sus componentes se consigan en cualquier ciudad.
- Fácil mantenimiento.
- Bajo consumo de energía.
- Accesible en caso de bloqueo por material.
- Para trabajo pesado.
- Que no genere desechos, y si los genera que los almacene.
- Que tenga manual de mantenimiento y de funcionamiento.
- Bajo costo de afilado de cuchillas.
- Fácil manejo de comandos.
- Comandos con nombres visibles.
- Que sea ergonómica y compacta.
- Que tenga buen aspecto.

2.4.2 Organización de requerimientos.

Los requerimientos son:

- Bajo consumo de energía.
- Ergonómica.
- Funcional.
- De fácil mantenimiento.
- Segura en operación.
- Bajo costo de fabricación.
- Parada de emergencia.
- Protección de los componentes eléctricos.

Tabla 6. Matriz de calidad

Cuadro 1. Matriz de calidad

	BAJO CONSUMO DE ENERGIA	ERGONOMIA	FUNCIONALIDAD	DE FACIL MANTENIMIENTO	SEGURIDAD DE OPERACION	BAJO COSTO DE FABRICACION	PARADA DE EMERGENCIA	PROTECCION DE LOS COMPONENTES ELECTRICOS
SEGURIDAD EN OPERACION	0	2	1	1	3	3	3	1
	0	30	15	15	45	45	45	15
EFICIENCIA EN LA MAQUINA	3	0	0	0	0	1	0	1
	42	0	0	0	0	14	0	14
QUE SUS COMPONENTES SE CONSIGNAN EN CUALQUIER CIUDAD	0	0	2	3	0	3	0	0
	0	0	26	39	0	39	0	0
FACIL MANTENIMIENTO	1	1	2	3	0	1	0	0
	12	12	24	36	0	12	0	0
BAJO CONSUMO DE ENERGIA	3	0	0	0	0	1	0	0
	33	0	0	0	0	11	0	0
QUE SEA ACCESIBLE EN CASO DE BLOQUEO POR MATERIAL	0	2	1	1	1	0	1	0
	0	20	10	10	10	0	10	0
PARA TRABAJO PESADO	1	0	2	0	0	1	0	0
	9	0	18	0	0	9	0	0
NO GENERE DESECHOS O LOS ALMACENE (SI LOS GENERA) QUE TENGA MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y BAJOS COSTO DE AFILADO DE CUCHILLAS	0	2	0	1	0	1	0	0
	0	16	0	8	0	8	0	0
FUNCIONAMIENTO Y BAJOS COSTO DE AFILADO DE CUCHILLAS	0	0	1	3	0	0	0	0
	0	0	7	21	0	0	0	0
BAJO COSTO DE AFILADO DE CUCHILLAS	1	0	0	2	0	2	0	0
	6	0	0	12	0	12	0	0
FACIL MANEJO DE COMANDOS	1	3	3	1	3	1	2	0
	5	15	15	5	15	5	10	0
COMANDOS CON NOMBRE VISIBLES	0	2	1	0	3	1	2	0
	0	8	4	0	12	4	8	0
ERGONOMIA DE LA MAQUINA	0	3	0	0	2	2	0	0
	0	9	0	0	6	6	0	0
BUEN ASPECTO	0	2	0	0	0	1	0	0
	0	4	0	0	0	2	0	0
ESPACIO REDUCIDO DONDE OPERE	2	1	1	1	0	1	0	0
	2	1	1	1	0	1	0	0
TOTAL	109	115	120	147	88	168	73	29

Fuente: Los autores

2.5 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.

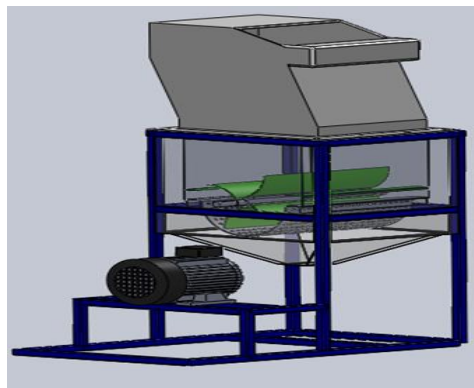
2.5.1 Alternativa de diseño N° 1.

Es una estructura en tubo cuadrado para que tenga mayor rigidez, estabilidad y una mayor facilidad de trabajo sobre los perfiles, posee una tolva de alimentación de gran altura con respecto a las cuchillas de corte, para así, evitar la posibilidad de amputación del operario. Además tiene una cámara de molienda en donde se encuentra el material que va a ser procesado; cuenta con 3 cuchillas de corte móviles, las cuales por medio de soporte están unidas al eje y 2 cuchillas de corte fijas para ayudar al proceso de trituración.

También posee un tamiz o criba, con perforaciones al tamaño deseado del corte de las escamas PET; una tolva de descarga con orificio de salida pequeño, ideal para recoger el material triturado por medio de un recipiente.

La potencia para mover las cuchillas la brinda un motor eléctrico que da la potencia necesaria transmitida por correas (no especificado en dibujo) que permiten un fácil montaje y desmontaje del sistema.

Figura 11. Alternativa diseño n° 1



Fuente: Los Autores

Desventajas.

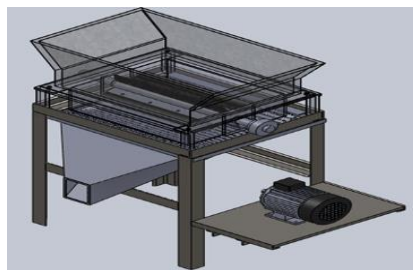
- A pesar de la distancia y el tamaño de la tolva de alimentación, es posible llegar directamente a las cuchillas de corte.
- Algunas piezas son de difícil fabricación, lo cual hace que el costo de manufactura se eleve.
- Puede ocurrir que al momento de operación, el material a cortar (botellas tipo PET) no sean agarradas por el eje de corte y éstas queden moviéndose a lo largo de la cámara de molienda y la tolva de alimentación.

2.5.2 Alternativa de diseño N°2.

Cuenta con una estructura en hierro angular, una tolva de alimentación, una cámara de molienda, un eje porta cuchillas con 3 cuchillas móviles, un tamiz con perforaciones al tamaño deseado de las escamas PET, una tolva de descarga con ubicación lateral, un motor eléctrico con la capacidad necesaria para impulsar el eje de corte.

Este es un equipo de fácil acceso a cada uno de sus componentes, donde la recolección del material triturado se hace por el frente de la estructura. El sistema de transmisión de potencia se hace por medio de correas permitiendo así, un fácil montaje y desmontaje.

Figura 12. Diseño segunda alternativa.



Fuente: los autores

Desventajas.

- Acceso directo a la cámara de molienda, alto riesgo de amputación para el operario.
- Difícil capacidad de corte por parte de las cuchillas pues según el montaje pueden rechazar el material antes de cortarlo.
- No es estética.

2.5.3 Alternativa de diseño N°3.

Su estructura es en tubo cuadrado, dándole una apariencia apropiada, una tolva de alimentación con un diseño especial para mejorar la seguridad del operario. Cuenta con un sistema de agarre de botellas dentro de la cámara que facilita el corte de las mismas; este sistema está constituido por dos ejes con matrices inversas de elementos estructurales los cuales garantizan el agarre del material, alimentando directamente las cuchillas de corte, que están unidas al eje por medio de bases estructurales.

Se cuenta con un tamiz o criba de corte para garantizar el tamaño de las escamas, una tolva de descarga con salida reducida para poder acomodar fácilmente un recipiente. El motor eléctrico proporciona la potencia y velocidades necesarias para el movimiento de las cuchillas, el cual es conectado por un sistema de correas (no especificados en el dibujo) y los ejes de agarre de las botellas se acoplan entre sí por un sistema de engranajes (no especificados en dibujo), alimentados por sistemas de correas unidos al eje de corte.

Figura 13. Diseño tercera alternativa.



Fuente: los autores

Desventajas.

- Requiere de mayor precisión en su instalación para garantizar alta funcionalidad.
- Mayores costos de fabricación.
- Mayor tiempo de mantenimiento.

2.6 EVALUACION DE ALTERNATIVAS.

Para tomar la decisión final se aplica una ponderación para evaluar el comportamiento de cada una de las alternativas y se llega a una conclusión, la cual será la alternativa que mejor nos cumple con los requisitos de nuestros consumidores.

Tabla 7. Matriz de selección de alternativas

SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA				
	PORCENTAJE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
BAJO COSTO DE FABRICACION	26	3	4	4,5
		0,78	1,04	1,17
DE FACIL MANTENIMIENTO	22	4	5	4,5
		0,88	1,1	0,99
FUNCIONALIDAD	18	3,5	3	5
		0,63	0,54	0,9
ERGONOMICA	17	4	3	4
		0,68	0,51	0,68
CONSUMO DE ENERGIA	17	4	4	4
		0,68	0,68	0,68
TOTAL	100	3,65	3,87	4,42

Fuente: Los autores

2.7 ESPECIFICACION DE LA ALTERNATIVA GANADORA.

Luego de esta evaluación, se procede a la selección de la alternativa más viable, dando como resultado la alternativa de diseño Nº 3 con un total de 4.42 puntos, siendo en su sistema y forma el más apropiado para la fabricación.

Este equipo se construirá en ángulo estructural, donde las características del material serán dadas por el análisis de diseño utilizando programas para este fin, lo cual garantiza una buena estabilidad.

El habitáculo de corte y la tolva de alimentación se fijaran al soporte estructural mediante tornillos y bisagras para facilitar su limpieza y alguna reparación rápida.

El sistema de corte será con 4 cuchillas fijadas al eje mediante sujeción con tornillos lo cual hace fácil su desmontaje para poder afilarlas después de un largo tiempo.

También a su vez tendrá otras cuchillas fijas en el habitáculo de trituración, este habitáculo tendrá estas cuchillas que están en el eje girando a una muy alta

velocidad lo cual implica una sujeción sin posibilidad de errores y una lámina calibre 16.

El equipo estará fijo durante su funcionamiento, pero contará con unas ruedas con seguridad para su fácil desplazamiento, esto se logrará ya que el equipo tendrá unas dimensiones aproximadas de 0.7 m de ancho, 0.9 m de alto y 0.7 m de profundidad.

Este equipo será operado solamente por una persona donde se asegura su bienestar y se garantiza que no existirán accidentes si sigue las instrucciones del manual de funcionamiento.

Esta alternativa cuenta con características que la hacen ideal para su construcción gracias a que garantizará la capacidad de corte y la funcionalidad de la máquina; además de presentarse estéticamente llamativa, contará con un diseño especial que permitirá que el material a procesar (botellas PET) sea triturado por las cuchillas de corte; otra característica que presentará es que el operario podrá alimentar el equipo ya que el sistema rotor, agarra y pasa a la cámara de molienda donde las cuchillas cortan hasta el tamaño especificado por el tamiz. El sistema de transmisión garantiza la potencia necesaria para el proceso.

3. ANALISIS PROPIEDADES DEL DISEÑO.

3.1 CALCULOS DE POTENCIA

Según la literatura se encuentran algunas teorías que sobresalen con respecto a otras¹⁶ en cuanto al proceso unitario reducción de tamaño; la eficiencia de estas teorías se puede aumentar adicionando un sistema de alimentación constante a la unidad de corte, como en este caso la utilización de rodillos impulsores, diseñados para permitir un flujo de material constante y proporcional a la velocidad del sistema de corte.

Las teorías se refieren a cuanta energía se necesitaría para generar una reducción de tamaño en un material, de un tamaño inicial X a un tamaño final dx , está en función exponencial de x .

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{C}{x^n} \quad \text{Ecuacion 1.}$$

Donde x es el tamaño o diámetro de la partícula en mm, n y C con constantes que dependen del tipo de material, su tamaño y el tipo de máquina.

Rittinger¹⁷ propuso una ley que enuncia que el trabajo de trituración es proporcional a la nueva superficie creada; donde X_1 es el diámetro medio de la alimentación y X_2 es el diámetro medio del producto.

$$E = K_r \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right) \quad \text{Ecuacion 2.}$$

Donde E es el trabajo necesario para reducir una unidad de masa de alimentación desde X_1 hasta X_2 , y K_r es una constante. Se ha demostrado que esta ley tiene cierta validez para la molienda de polvos finos.

¹⁶ GEANKOPLIS, Chistie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias.3 ed. México: Prentice hall, 1998. p. 928-935

¹⁷ Ibid, p. 930

Kick¹⁸ supuso que la energía requerida para reducir el tamaño del material es directamente proporcional a la relación de reducción de tamaño, llegando a la siguiente ecuación, donde K_k es una constante.

$$E = C * Ln \frac{X_1}{X_2} = K_k * Log \frac{X_1}{X_2} \quad \text{Ecuacion 3.}$$

Bond¹⁹ correlaciona valores experimentales e indican que el trabajo requerido cuando se usa una alimentación de tamaño considerable, es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie/volumen del producto. Llegando así a la siguiente ecuación.

$$P = \frac{13.33 * Q * E_i}{n} \left(\frac{1}{\sqrt{D_p}} - \frac{1}{\sqrt{D_f}} \right) \quad \text{Ecuacion 4.}$$

Donde el valor de 13.33 [$\mu m^{\frac{1}{2}}$] es una constante que determino Bond para el proceso de trituración, E_i es el índice de trabajo de Bond, P se da en [HP], Q es la velocidad de alimentación en [ton/min], D_f es el tamaño de alimentación en micras y D_p es el tamaño del producto en micras, y n es un valor de eficiencia mecánica la cual se asumirá es de 85%. Perry y Green²⁰ y Bond²¹ han publicado valores típicos de E_i pero ningún valor que se pueda asociar a la trituración de PET, por lo que se asume un valor recomendado de Bond para trituración de minerales, el cual se considera más duro que las botellas a triturar, cuyo valor es 35 [KW*h/ton].

Con un diámetro inicial de las botellas de aproximadamente 5 pulgadas, se determina una relación de reducción de tamaño la cual da alrededor de 13 veces.

La criba tendrá agujeros de 3/8 de pulgada, solo el material del mismo diámetro o menor, puede salir por ella; este es un tamaño ideal para este tipo de producto.

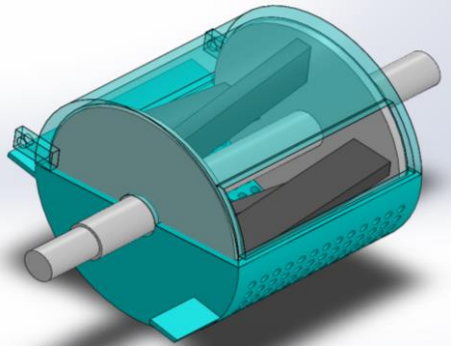
¹⁸ Ibid, p. 931

¹⁹ Bond, F. C. Trans. AIME 193, 484 (1952)

²⁰ Ibid, p. 485

²¹ Perry, R H. y Green D. Perry's Chemical Engineer's 5 edicion. 1973

Tabla 8. Solución ecuación N° 4

	
$P = \frac{13.33 * Q * E_i}{n} \left(\frac{1}{\sqrt{D_p}} - \frac{1}{\sqrt{D_f}} \right)$	
Para un caudal Q = 0,5 Ton/h P=Potencia necesaria para la reducción de tamaño	
n=0,85	$E_i = 35 \text{ [KW*h/ton]}$.
$D_p = \frac{3}{8} \text{ inch} * \left(\frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ inch}} \right) * \left(\frac{1 \mu\text{m}}{0,001 \text{ mm}} \right) = 9525 \mu\text{m}$	D_p=Tamaño de alimentacion
$D_f = 5 \text{ inch} * \left(\frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ inch}} \right) * \left(\frac{1 \mu\text{m}}{0,001 \text{ mm}} \right) = 127000 \mu\text{m}$	D_f=Tamaño del producto
$P = \frac{13.33 * 0,5[\text{ton/h}] * 35[\text{KW} * \text{h/ton}]}{0,85} \left(\frac{1}{\sqrt{9525}} - \frac{1}{\sqrt{127000}} \right)$	
$P = 1,97 \text{ KW} * \left(\frac{1,34 \text{ HP}}{1 \text{ KW}} \right) = 2,64 \text{ HP}$	

Fuente: Los autores

Como se ve realizando este procedimiento calculo en base a las teorías de procesos unitarios de reducción de tamaño, la potencia necesaria para realizar la operación es de 3 HP, que se tomara como dato base para continuar con los análisis de la máquina.

3.2 CALCULOS DEL TORQUE DE INERCIA.

La mayoría de empresas que fabrican molinos trituradores de botellas manejan una velocidad de rotación en el eje de corte de entre 800 y 900 [rpm], por tal motivo se asumirá una velocidad de 875 [rpm].

$$T = I * \alpha \quad \text{Ecuacion 5.}$$

Cada componente genera una inercia que hay que vencer a la hora de iniciar el trabajo de la máquina, debido a esto se hallan tres torques diferentes, uno para vencer la inercia del volante, otro para vencer la inercia del porta-cuchillas y otro para vencer la inercia de los 2 rodillos impulsores, se halla primero la inercia de cada uno de ellos teniendo en cuenta unas geometrías que fueron recomendadas por expertos; y otras diseñadas por las necesidades del equipo (ver tabla 9).

Teniendo las rpm del eje donde van ubicadas las cuchillas de corte definidas, se procede a hallar la aceleración angular.

$$W_f = W_o + \alpha(t - t_o) \quad \text{Ecuacion 6.}$$

Se le da un tiempo de 1 segundo al motor eléctrico para que alcance su velocidad constante con este dato se procede a la solución de la ecuación anterior.

- Resolviendo la ecuación 6.

$$875 \text{ RPM} * \left(\frac{2 * \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right) * \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 0 + \alpha(1\text{s})$$

$$\alpha = 91,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Esta es la aceleración angular del eje donde van soportadas las cuchillas y el volante de inercia.

Tabla 9. Calculo de inercias para componentes

Transladando las inercias de los rodillos , transmision hasta el eje del porta cuchillas con la ecuacion de Steiner		
COMPONENTE	PESO [Kg]	RADIO [m]
VOLANTE	15	0.175
PORTA CUCHILLAS	20	0.13
RODILLOS	2,5	0.027
TRANSMISION	1	0.01905
I=Momento de inercia		d= la distancia entre ejes
M= peso		R= radio
Distancia entre los rodillos= 0,099 [m]		
Distancia entre el rodillo y la transmision = 0,35 [m]		
Distancia entre la transmision y el porta cuchillas = 0,46 [m]		
$I = \frac{1}{2} * M * R^2 + M * d^2$		
$I_{r1} = \frac{1}{2} * 2,5 * 0,027^2 = 9,1e^{-4} [kg * m^2]$		
$I_{r2} = I_{r1} + M * d1 - 2^2 + I_{r2}$		
$I_{r2} = 9,1e^{-4} + 2,5 * 0,099^2 + 9,1e^{-4} = 0,026 [kg * m^2]$		
$I_{Trans} = I_{r2} + M * d2 - trans^2 + I_{trans}$		
$I_{trans1} = \frac{1}{2} * 1 * 0,019^2 = 1,8e^{-4} [kg * m^2]$		
$I_{Trans} = 0,026 + 5 * 0,35^2 + 1,8e^{-4} = 0,63 [kg * m^2]$		
$I_{porta\ cuchillas} = I_{volante} + I_{porta\ cuchillas} + I_{Trans} + M$		
$I_{volante} = \frac{1}{2} * 15 * 0,175^2 = 0,23 [kg * m^2]$		
$I_{porta\ cuchillas\ solo} = \frac{1}{2} * 20 * 0,13^2 = 0,169 [kg * m^2]$		
$I_{porta\ cuchillas} = I_{volante} + I_{porta\ cuchillas} + I_{Trans} + M$		
$I_{porta\ cuchillas} = 0,23 + 0,169 + 0,63 + 6 * 0,46^2 = 2,2 [kg * m^2]$		

Fuente: Los autores

- Resolviendo la ecuación 5.

$$T = 2,2[kg * m^2] * 91,6[\frac{rad}{s^2}]$$

$$T_{inercia} = 201,5 [J] * \left(\frac{1Kw * h}{3600000 J}\right) * \left(\frac{1.34 Hp}{1 Kw}\right) * \left(\frac{3600 s}{1 h}\right) = 0,27 HP$$

Este es el valor para vencer la inercia en un segundo que es el tiempo aproximado de aceleración del motor.

$$T_{total} = T_{reduccion de tamaño} + T_{inercia} \quad \text{Ecuacion 7.}$$

$$T_{total} = 2,64 + 0,27 = 2,91 [HP]$$

Con este valor se confirma la potencia del motor a instalar en la máquina, será uno de 3 HP.

3.3 CALCULO DEL NUMERO DE CUCHILLAS.

El proceso de triturado se da posterior al paso del material por el sistema de rodillos impulsores, los cuales proveen un caudal constante de material y tiene una separación menor al diámetro de la zona más rígida de la botella (pico) con el fin de quebrar esta parte y ayudar al proceso de corte.

Al conocer el perímetro de los rodillos impulsores, se puede saber cuál es la velocidad de ingreso del material a triturar en la cámara de corte de las botellas.

$$P = 2 * \pi * r \quad \text{Ecuacion 8.}$$

Siendo P el perímetro de los rodillos,

R es el radio de los rodillos que sería de 2 cm

- Resolviendo la ecuación 8.

$$P = 2 * \pi * 2 = 12.56 \text{ cm}$$

Lo que significa que por cada revolución de los rodillos impulsores, ingresan alrededor de 12.56 cm de las botellas PET.

- Relación de revoluciones entre los rodillos impulsores y el eje del porta-cuchillas.

$$\text{relacion de velocidad} = \left(\frac{\text{velocidad eje porta - cuchillas}}{\text{velocidad eje rodillos impulsores}} \right) = \left(\frac{875 \text{ rpm}}{66 \text{ rpm}} \right) = 13.25$$

Con esta relación de velocidad se concluye que por cada vuelta del eje de rodillos impulsores el eje porta cuchillas gira 13.25 veces e ingresan a dicha cámara 15.56 cm del material a triturar, en la tabla 10 se muestra la relación de corte vs el número de cuchillas.

La cámara de molienda debe tener 2 cuchillas fijas, una considerada de ataque y otra que realizara los cortes secundarios, y un número de cuchillas móviles encargadas de completar el proceso.

Tabla 10. Relación entre el número de cuchillas y la distancia de los cortes

# CUCHILLAS	FORMULA	DISTANCIA ENTRE CORTE [mm]
1	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	9,479245283
2	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	4,739622642
3	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	3,159748428
4	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	2,369811321
5	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	1,895849057
6	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	1,579874214
7	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	1,354177898
8	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	1,18490566
9	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	1,053249476
10	Distancia entre cortes=ingreso de material/(#de vueltas*# cuchillas)	0,947924528

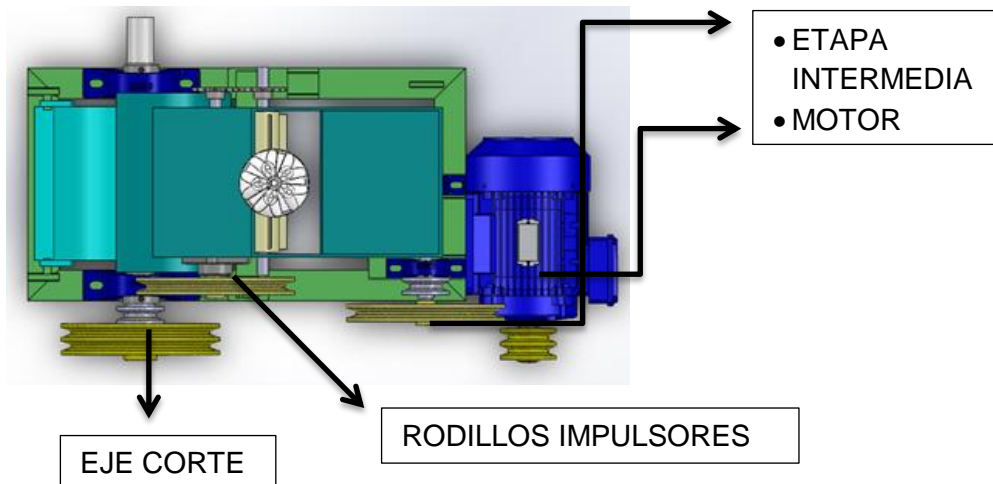
Fuente: Los autores

Se seleccionaron 4 cuchillas para la maquina ya que de esta manera se realizaran cortes cada 2.36 mm aproximadamente entre las cuchillas móviles y la cuchilla de ataque, Con esta selección se aumenta la eficiencia del equipo gracias a su mayor capacidad de trituración.

3.4 SISTEMA TRANSMISION DE POTENCIA.

3.4.1 Etapa 1: motor – eje de corte.

Figura 14. Vista superior diseño final del equipo



Fuente: los autores.

Tabla 11. Datos de entrada al sistema

POTENCIA MOTOR	3 HP
VELOCIDAD MOTOR	1750 RPM
VELOCIDAD EJE CORTE	875 RPM
DIAMETRO POLEA EN EL EJE	7 [pul]

Fuente: Los autores.

- Se inicia con el proceso de selección de correas y poleas para el sistema, bajo las condiciones conocidas:

- Se identifica el factor de servicio, gracias a la tabla del catalogo²² (Anexo A TR-01), donde se cruza para un servicio normal, y un motor electrico de torque normal, junto con un tipo de maquina similar, dando como resultado, un factor de servicio (Fs= 1,3).

- Se calcula la Relacion de transmision (N).

$$N = \frac{RPM_1}{RPM_2} = \frac{1750}{875} = 2$$

- Calcula la Potencia de diseño (HP_DIS).

$$HP_{DIS} = HP_{MOTOR} * FS = 3 * 1,3 = 3,9$$

- Se identifica el tipo de correa que pueda ser utilizada en esta etapa de la transmisión, con ayuda de las tablas 6 y 7 (anexo A TR-02).
- Se busca el tipo de correa cruzando la potencia de diseño y la velocidad de rotación del motor (HP_{DIS} Vs RPM_1) dando como referencia un tipo **A-AX**.
- Se determinan los diámetros de las poleas conducida y conductora, por medio de la tabla 7 (anexo A TR-03).

Tabla 12. Datos para poleas primera etapa.

D_1 [pul]	7	$D_2 = D_1 * N$	
D_2 [pul]	3,5		
DATOS NORMALIZADOS DE POLEAS			
D_1 [pul]	D_2 TEORICO	D_2 NORMALIZADO	N
3,45	7	7,25	2,10145

Fuente: Los autores

²² CATALOGO MARTIN, Non stock drive selection. USA: Martin, 2011. 430 p

Se normalizan los diámetros de las poleas por medio de la tabla 9 (anexo A TR-04).

Se busca en las tablas del tipo de correa²³ y se cruzan la velocidad del motor y el diámetro interno de la polea conducida, identificando la potencia que es capaz de transmitir la correa.

Tabla 13. Relaciones de potencia y cantidad de correas

HP_CORREA =	2.04	Se hace la comparación entre la potencia de cada correa y la potencia de diseño para conocer el número de correas requeridas por el sistema.
$\#C = HP_{DIS}/HP_{CORR}$		
# CORREAS =	1.91	

Fuente: Los autores

Por medio de fórmulas se calcula la distancia entre centros ideal para el sistema, si y con este dato se determina la longitud necesaria de la correa.

Tabla 14. Relación de distancia entre centros y longitud de correa

DISTANCIA ENTRE CENTROS:		$C = \frac{D + 3 * d}{2}$	
LONGITUD DE LA CORREA:		$L = 2 * C + 1,57(D + d) + \left(\frac{(D - d)^2}{4 * C}\right)$	
D=	7.25	C =	12.425
d=	3.45	C =	26.77
		SE APLICA LA FORMULA SI NO SE CONOCE LA DISTANCIA ENTRE CENTROS.	
L =	70.47385	LONGITUD DE LA CORREA EN PULGADAS	
L =	1790.036	LONGITUD DE LA CORREA EN MILIMETROS	

Fuente: Los autores

La distancia entre centros “C” es un dato conocido de la longitud y el montaje de la máquina.

²³ Ibid.

Se normaliza la longitud efectiva de la correa utilizando la tabla 10 (anexo A TR-05).

Tabla 15. Normalización del tipo de correa.

NUMERO CORREA	LONGITUD EFECTIVA [pul]	FACTOR CORRECCION
A-68	70,1	1

Fuente: Los autores

Se debe corregir la distancia entre centros en función de la longitud efectiva de la correa para lo cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$8 * C^2 - 4 * C * L + (D - d)^2 + 6,28 * C * (D + d) = 0$$

Dónde: D=7 [pul] y d= 3,2 [pul] diámetros internos de las poleas.

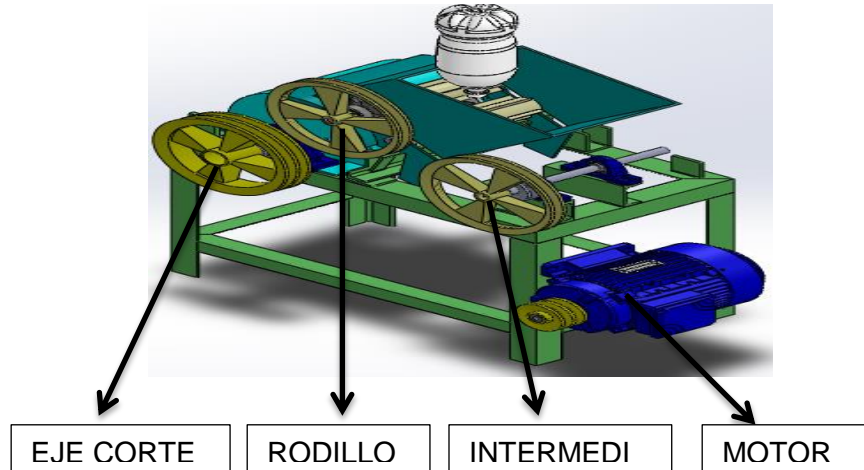
Dando como resultado C=26,97 [pul]. Valor muy cercano al del montaje y que fácilmente puede ajustarse con un simple cambio en la posición del motor, gracias al soporte universal que tiene la máquina.

3.4.2 Etapa 2: eje corte – eje intermedio.

El proceso para las siguientes etapas de la transmisión de la maquina son iguales al proceso realizado para la etapa inicial, con la salvedad de algunas diferencias en cuanto a la velocidad de los ejes, la potencia en cada uno.

Se presentara la selección de estas correas en función de los mismos pasos.

Figura 15. Vista isométrica diseño final del equipo.



Fuente: Los autores.

Tabla 16. Datos de entrada entre el eje de corte-eje intermedio

CONDICIONES	
POTENCIA	3 HP
VELOCIDAD _1	875 RPM
VELOCIDAD_2	262,5 RPM
DIAMETRO _2	10 [pul]

Fuente: Los autores.

Relación de transmisión.

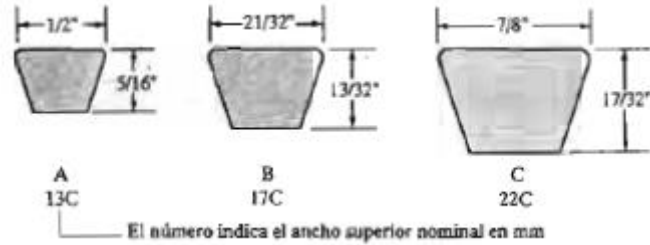
$$N = \frac{RPM_1}{RPM_2} = \frac{875}{262,5} = 3,33$$

Potencia diseño.

$$HP_{DIS} = HP_{motor} * FS = 3 * 1,3 = 3,9$$

Tipo de correa: **A**

Figura 16. Tipos de correas.



Fuente: MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson, 2006.p.271.

Se determinan los diámetros de las poleas.

Tabla 17. Diámetros de las poleas eje corte a intermedio.

D_2 [pul] =	10			
D_1 [pul] =	3			
DATOS NORMALIZADOS DE LAS POLEAS				
D_1 [pul]	D_2 teorico	D_2 normalizado	N	
3.25	10	10.85	3.3385	

Fuente: Los autores

Calcular la longitud de la correa.

Tabla 18. Cálculos de longitud de la correa eje corte-intermedio.

LONGITUD DE LA CORREA:		$L = 2 * C + 1,57(D + d) + \left(\frac{(D - d)^2}{4 * C}\right)$		
D=	10.85	C =	15.725	Se aplica la formula si no se conoce la distancia entre centros.
d=	3.25	C =	18.165	
L =	59.261935	LONGITUD DE LA CORREA EN PULGADAS		
L =	1505.2532	LONGITUD DE LA CORREA EN MILIMETROS		

Fuente: Los autores

La distancia entre centros $C = 18,165$ es un dato conocido del montaje.

Se normaliza la longitud de la correa.

Tabla 19. Normalización de la correa eje corte-intermedio.

NUMERO CORREA	LONGITUD EFECTIVA [pul]	FACTOR CORRECCION
A-60	62,1	0,98

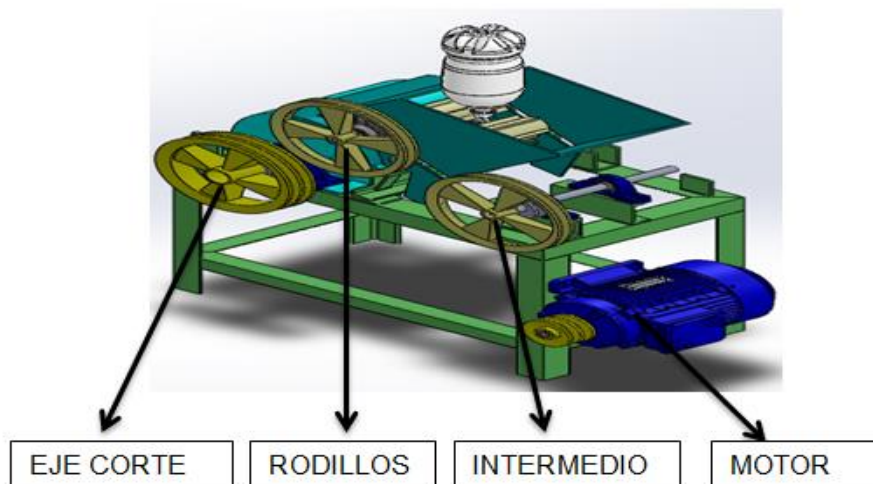
Fuente: Los autores.

De esta forma se tiene el tipo de correa correcta para la segunda etapa de la transmisión de potencia en la máquina.

3.4.3 Etapa 3: eje intermedio – rodillos impulsores.

Es esta la última etapa de la transmisión de potencia en la máquina, la encargada de alimentar los rodillos impulsores del material hacia la cámara de molienda donde el material es reducido de tamaño para facilitar su manejo y la segunda fase del proceso de reutilización.

Figura 17. Vista isométrica del diseño.



Fuente: Los autores.

El proceso es el mismo que el de las etapas anteriores.

Tabla 20. Datos de entrada eje intermedio-rodillo

CONDICIONES	
POTENCIA	1 HP
VELOCIDAD _1	262,5 RPM
VELOCIDAD_2	66 RPM
DIAMETRO _2	10 [pul]

Fuente: Los autores

Relación de transmisión.

$$N = \frac{RPM_1}{RPM_2} = \frac{262,5}{66} = 3,977$$

Potencia diseño.

$$HP_{DIS} = HP_{motor} * FS = 1 * 1,3 = 1,3$$

Tipo de correa: **A**

Se determinan los diámetros de las poleas.

Tabla 21. Determinación de los diámetros de las poleas eje intermedio-rodillo.

D_2 [pul] =	10			
D_1 [pul] =	2.51			
DATOS NORMALIZADOS DE LAS POLEAS				
D_1 [pul]	D_2 teorico	D_2 normalizado	N	
3.25	10	10.85	3.3385	

Fuente: Los autores

Calcular la longitud de la correa.

Tabla 22. Longitud de la correa eje intermedio a rodillo.

LONGITUD DE LA CORREA:			$L = 2 * C + 1,57(D + d) + \left(\frac{(D - d)^2}{4 * C}\right)$		
D=	10,85		C =	15,725	SE APLICA LA FORMULA SI NO SE CONOCE LA DISTANCIA ENTRE CENTROS.
d=	3,25		C =	13,811	
L =		50,804543	<i>LONGITUD DE LA CORREA EN PULGADAS</i>		
L =		1290,4354	<i>LONGITUD DE LA CORREA EN MILIMETROS</i>		

Fuente: Los autores

La distancia entre centros $C = 13,811$ es un dato conocido del montaje.

Se normaliza la longitud de la correa.

Tabla 23. Normaliza correa eje intermedio a rodillo.

NUMERO CORREA	LONGITUD EFECTIVA [pul]	FACTOR CORRECCION
A-51	53,1	0,94

Fuente: Los autores

Con este análisis de la última etapa, se definen las correas y la cantidad que se requiere para el funcionamiento de la máquina.

Tabla 24. Tipo de correas finales.

ETAPA	CORREA	CANTIDAD
MOTOR –EJE CORTE	A-68	2

EJE CORTE- NEUTRO	A-60	1
NEUTRO – RODILLOS	A-51	1

Fuente: Los autores.

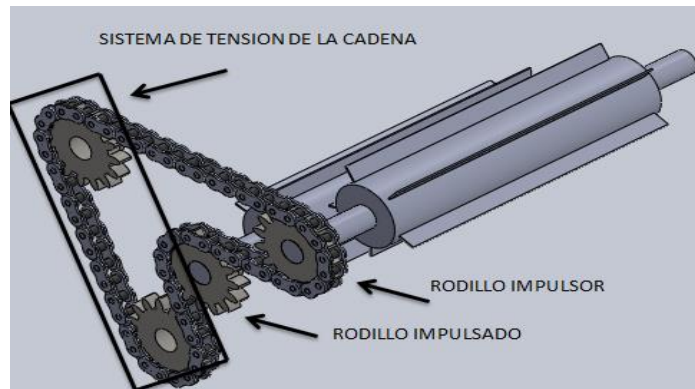
3.4.4 Selección de cadena.

La cadena se utiliza para la transmisión de movimiento del rodillo impulsor al rodillo impulsado, los cuales son los que introducen las botellas a la cámara de corte. Se utiliza cadena pues el rodillo impulsor es impulsado por medio de una correa tipo A que viene de la etapa intermedia de la transmisión, lo cual implica que esta correa debe ser tensada, por lo consiguiente no se puede utilizar engranajes, y tampoco correa entre los rodillos.

Al utilizar cadena se puede variar la separación entre los rodillos dependiendo del tipo de botellas a triturar, ya sean de tamaño grande, mediano o pequeño. Para que el movimiento en los rodillos sea en la misma dirección se procede a realizar un montaje con dos piñones más aparte de los que llevan cada rodillo, además el sistema debe llevar un tensor el cual será un resorte.

La cadena que se utilizara será de paso 428, esta es una cadena muy común pues una de sus aplicaciones es para motocicletas de hasta 125 c.c. se utilizara también porque el sistema de montaje de los piñones llevan unas camisas soldadas a ellos, este es el otro factor que ayudo a la selección de este tipo de cadena pues las utilizadas en las bicicletas hacen más complejo el proceso de soldar las camisas a los piñones por su espesor.

Figura 18. Montaje de la cadena.



Fuente: Los autores.

3.5 SELECCIÓN DEL VOLANTE DE INERCIA.

Según recomendaciones de expertos a el equipo se le instalara un volante de inercia con el fin de almacenar una cierta cantidad de energía en el proceso del corte del material esto es debido a que el tipo de máquina que se construirá es una maquina cortante lo cual generara sobre esfuerzos del motor cada vez que esta realice el corte.

La mayoría de equipos de corte utilizan un volante de inercia para no esforzar tanto el motor, esto logra un buen funcionamiento de la máquina, la utilización de esta pieza implica un tamaño de motor un poco más grande pues en el momento del arranque se debe vencer la inercia de este volante, pero una vez vencida el funcionamiento del motor no es tan forzado pues se tiene una energía guardada.

Se espera una vez construida la maquina realizar las pruebas del equipo sin el volante para ver los picos de amperios que se dan, y luego con el volante para observar si estos picos reducen un poco el esfuerzo del motor.

En la figura 19, se observa una maquina pica pasto la cual tiene un volante de inercia que a su vez sirve de soporte para las cuchillas, esto es con el objetivo de no sobre esforzar el motor.

Figura 19. Maquina pica pasto.



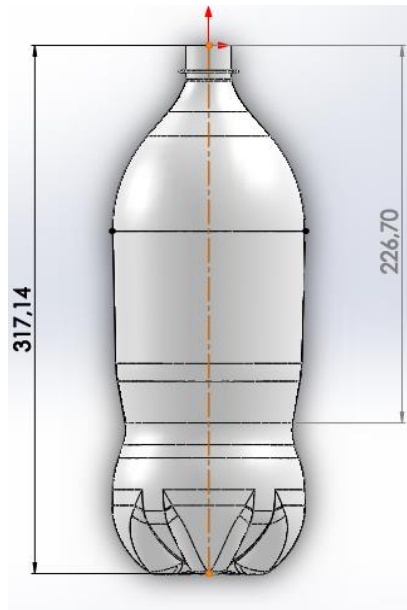
Fuente: Los autores.

4. CAPACIDADES Y CONDICIONES DE DISEÑO

4.1 VOLUMENES DE COMPONENTES.

El sistema se analiza para las botellas PET de 2.5 litros como operación critica debido a su tamaño, los componentes son diseñados en función de la altura de la botella.

Figura 20. Botella PET 2,5 litros



Fuente: Los autores

4.1.1 Cámara de molienda.

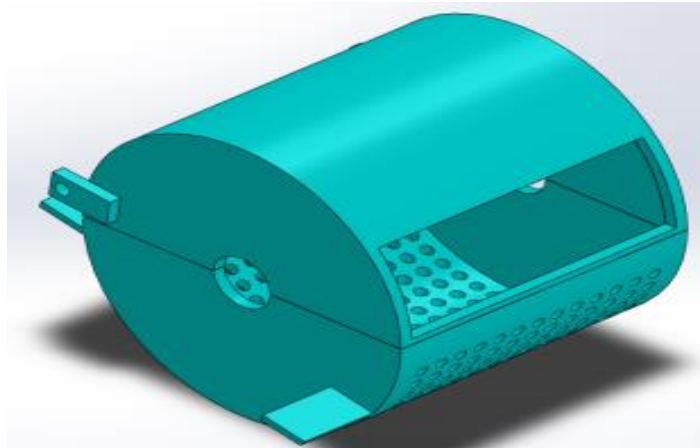
La cámara de molienda es donde ocurre la operación unitaria de reducción de tamaño para las botellas plásticas, en su interior el eje de corte realiza su trabajo pasando repetidamente el material sobre la criba hasta lograr la reducción en escamas de PET, ver figura 20.

Esta cámara se diseña en función del tamaño del eje de corte, y la capacidad de la máquina, además con la resistencia suficiente para soportar impactos producidos por el proceso de trituración.

4.1.2 Conformado de la cámara de molienda.

Esta cámara está formada por dos partes, superior e inferior, las cuales se complementan para formar un solo compartimiento del eje de corte.

Figura 21. Cámara de molienda.



Fuente: Los autores

Su forma y dimensiones (planos anexo) brindan un sistema compacto, y con buena capacidad de procesamiento.

4.1.3 Volumen de la cámara de molienda.

Al tratarse de una forma geométrica común, un cilindro, fácilmente se puede conocer su volumen, se define la altura de la cámara de molienda teniendo en cuenta que al comprimir una botella el ancho que esta ocupa es aproximadamente de 18 [cm] se decidió darle un espacio de 23,2 [cm] para que la botella pueda ingresar sin ninguna obstrucción, teniendo esto en cuenta una alternativa de diseño era que la cámara de molienda tuviera la altura igual a el diámetro, pero como el eje quita espacio, entonces el diámetro es un poco mas grande.

Tabla 25. Datos del cilindro.

FIGURA DE BASE	DIAMETRO	ALTURA
CIRCULO	26 [cm]	23,2 [cm]

Fuente: Los autores.

Se calcula el área de la base.

Como es un círculo se tiene que el área es:

$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = \pi * \left(\frac{26}{2}\right)^2 = 530,92 [cm^2]$$

Conociendo el área, se calcula el volumen de la cámara de molienda.

$$V = A * ALTURA$$

La altura de esta pieza se toma menor al tamaño de la botella de 2,5 litros, se requiere mayor fuerza para realizar un corte longitudinal de todo el elemento, se toma un valor de 23 cm que abarcaría la botella sin los extremos su parte más rígida, esperando que esta no ingrese completa en la cámara de molienda generando mayores cargas al sistema.

$$V = 530,92 [cm^2] * 23,2 [cm] = 12317.344 [cm^3] = 0,0123 [m^3]$$

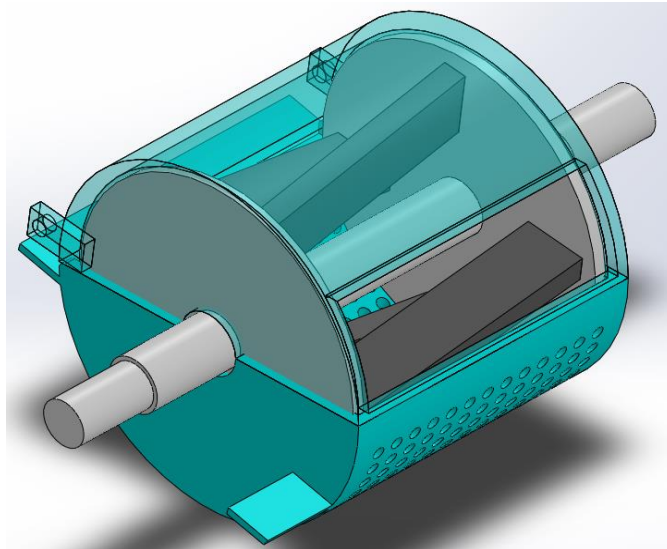
Considerando que $1L = 1000 [cm^3]$ el volumen de este componente expresado en litros sería:

$$V = 12317.344 [cm^3] * \frac{1L}{1000 [cm^3]} = 12.3173 [L]$$

Esta capacidad es la que poseen las dos piezas cuando están montadas sin el resto de los elementos de la máquina, como el eje de corte y el porta cuchillas.

A continuación se muestra un esquema general de este montaje.

Figura 22. Ensamble cámara de molienda y eje de corte.



Fuente: Los autores

Como se aprecia, la cámara de molienda se forma por 3 elementos.

- Criba o parte inferior
- Parte superior o tapa
- Eje de corte con sus componentes.

Todos los detalles y medidas se presentan en los planos (REFERENCIA).

4.2 TOLVA ENTRADA.

Esta pieza alberga el sistema impulsor hacia la cámara de molienda, permitiendo un sistema constante a velocidad específica para realizar una buena operación, ver figura 22.

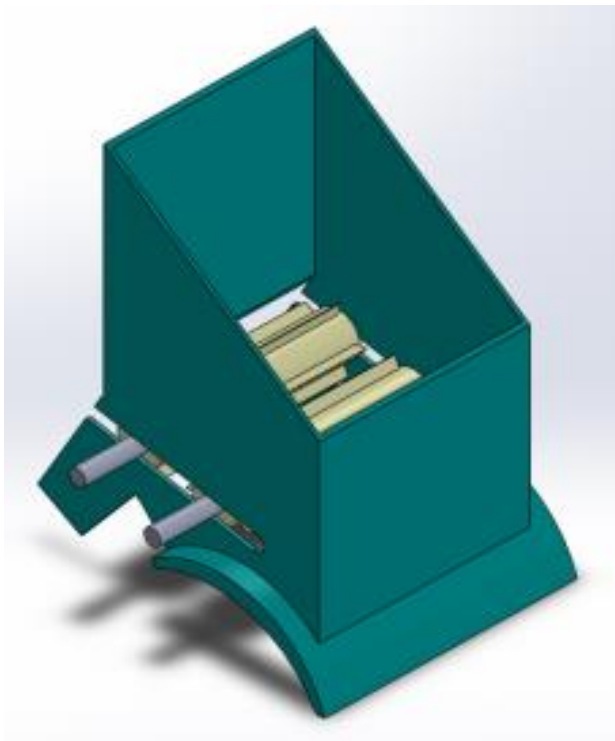
Gracias a su geometría tiene la capacidad de contener algunas botellas antes que estas sean introducidas al proceso de corte, su capacidad está dada por su forma y dimensiones, se diseñó pensando en que la altura de esta tolva debería tener la altura de la botella tipo PET para que esta no se salga y el ancho

automáticamente se define por el ancho de la cámara de molienda restándole a estos un espacio mínimo para su agarre con la pieza mencionada anteriormente..

4.2.1 Conformado de la tolva de alimentación.

Esta pieza debe ser capaz de dirigir el material hacia los rodillos de alimentación, por lo que debe ser lisa en su interior y no presentar obstáculos para la operación.

Figura 23. Tolva de alimentación.



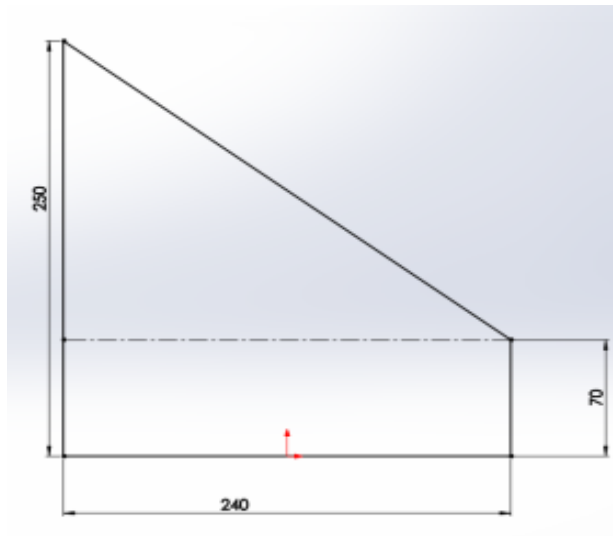
Fuente: Los autores.

Esta pieza se ajusta sobre la tapa superior de la cámara de molienda, permitiendo una versatilidad en el equipo.

4.2.2 Volumen de la tolva de alimentación.

Debido a la forma de esta pieza, su volumen está dado por su altura, su ancho, y la geometría de formación.

Figura 24. Croquis tolva de alimentación.



Fuente: Los autores

Está formada por una figura rectangular y una triangular y un ancho de 235 [mm].

Con esta pieza se desea contener material antes de los rodillos impulsores, debido a sus dimensiones se garantiza que la botella plástica no entrara acostada al eje de corte. Dadas las medidas de las figuras geométricas que la conforman se determina el volumen de esta pieza.

Tabla 26. Datos tolva entrada.

FIGURA	BASE [mm]	ALTURA [mm]
RECTANGULO	240	70
TRIANGULO	240	180

Fuente: Los autores

Área rectángulo.

$$A_1 = 240 [mm] * 70[mm] = 16800 [mm^2]$$

Área triángulo.

$$A_2 = \frac{1}{2} * 240[mm] * 180[mm] = 21600 [mm^2]$$

Se calcula el área total, para poder determinar el volumen de la pieza.

$$A_{TOTAL} = A_1 + A_2 = 38400 [mm^2]$$

$$A_{TOTAL} = 38400[mm^2] * \frac{1[cm^2]}{100[mm^2]} = 384 [cm^2]$$

Con una profundidad de 235 [mm] se calcula el volumen

$$V_{Tolva} = A_{TOTAL} * 23,5 [cm] = 9024[cm^3]$$

Considerando que $1L = 1000 [cm^3]$ el volumen de este componente expresado en litros sería:

$$V = 9024 [cm^3] * \frac{1L}{1000 [cm^3]} = 9,024 [L]$$

Estas piezas de la máquina son las que principalmente deben manejar el volumen del material a triturar, y son estas las limitantes en el dimensionamiento del equipo, debido a su capacidad de material.

4.3 CÁLCULO Y DISEÑO DE EJES

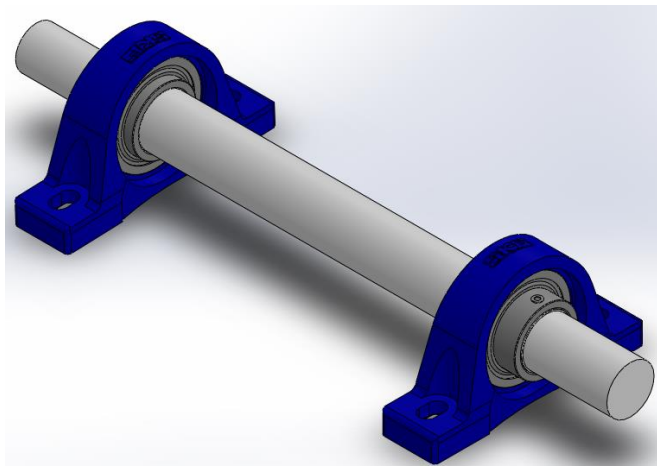
A continuación se presenta el cálculo para los ejes que conforman la máquina, y estimar sus dimensiones.

4.3.1 Eje principal.

Existen varios autores y varias teorías para el diseño de ejes, para este capítulo se utilizó como guía el libro Diseño de elementos de máquinas²⁴.

Para calcular la resistencia a la fatiga real del eje se utiliza como guía el libro de Robert Norton²⁵, debido a que en este libro maneja más constantes que en el de elementos de máquinas; estos valores de constantes se toman del libro.

Figura 25. Eje principal



Fuente: Los autores

Tabla 27. Calculo del S_e.

Calculo del S _e
$S_e = 0.5 * C_{load} * C_{size} * C_{confiabilidad} * C_{sup} * s_{ut}$
Estos valores se toman de tablas del libro de Norton
$S_e = 0.5 * 0,58 * 0,82 * 0,897 * 0,87 * 70000$
$S_e = 13.000 [psi]$

Fuente: Los autores.

²⁴ MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson, 2006. p. 530-564.

²⁵ NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: Prentice hall, 1999. p. 373-459

Para la determinación del diámetro mínimo del eje se debe definir cómo se va a realizar la transmisión de potencia, para esto se pensó en realizarla por medio de poleas, lo cual implica unas fuerzas que se ejercen en el eje en donde va ubicada la polea.

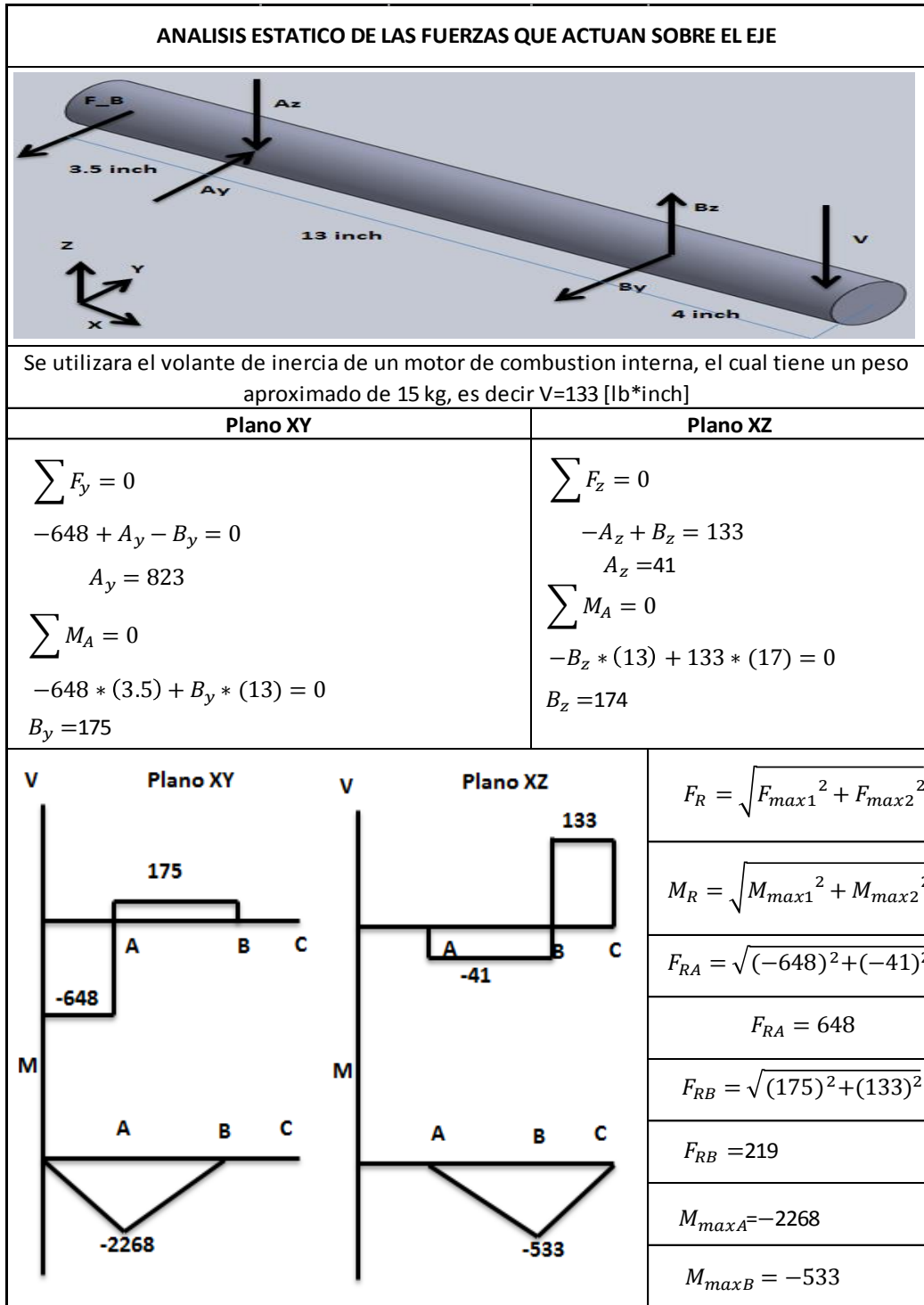
Tabla 28. Fuerza ejercida por la transmisión de potencia sobre el eje.

$T=(63000*P)/N$	$T=216$ [lb*inch]	Material del eje sera un acero ductil 1020 cuyo $s_{ut}=70.000$ [psi] y $S_y=45.000$ [psi] aproximadamente
N=velocidad giro del eje en RPM	P= Potencia motor	
Ecuacion fuerza flexionante sobre el eje cuando la transmision se hace por poleas		
<p>Diagrama que muestra un eje con dos poleas, A y B, que transmite potencia. Se muestran las fuerzas de tensión en las correas, los torques netos sobre cada polea y la fuerza flexionante resultante sobre el eje. Las fórmulas para los torques son $T_A = (F_1 - F_2) \cdot (D_A/2)$ y $T_B = (F_1 - F_2) \cdot (D_B/2)$. La fuerza flexionante es $F_B = F_1 + F_2$.</p>		$F_B = 1.5 \cdot \frac{T}{D}$
		$F_B=648$ [lb*inch]
		T= Torque del motor
		D=Diámetro del eje=1 inch
		F_B = Fuerza flexionante sobre el eje

Fuente: los autores.


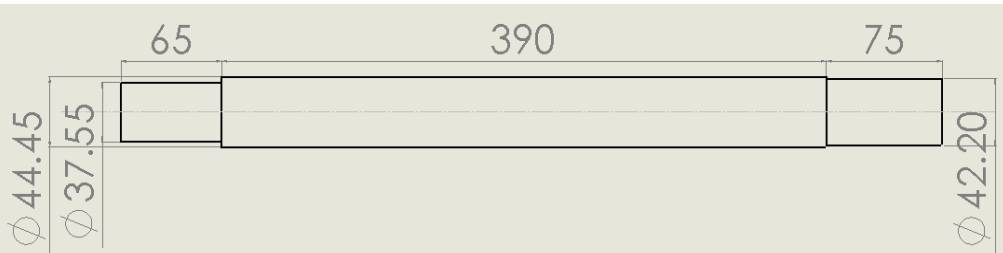
Con estos valores se procede a realizar el análisis estático con las respectivas fuerzas que actúan sobre el eje.

Tabla 29. Análisis estático del eje principal.



Fuente: Los autores.

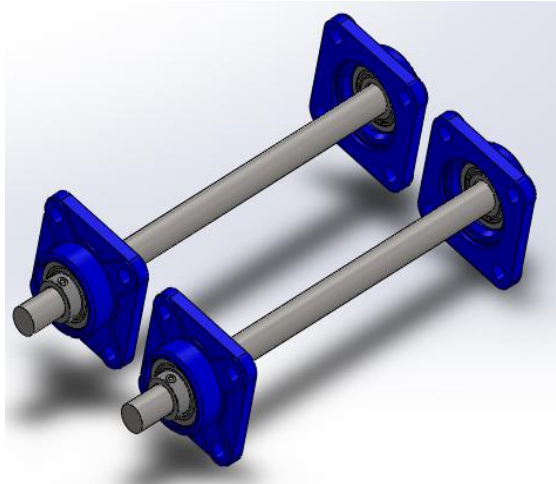
Tabla 30. Calculo para el diámetro mínimo del eje principal.

FORMULA GENERAL PARA EL DISEÑO DE EJES CUANDO ACTUA SOLAMENTE UNA FUERZA CORTANTE.	
$D = \sqrt{\frac{2.94 * K_t * V * N}{S_e}}$	D=diámetro mínimo K_t=cte por el tipo de acero, =1.6 N=factor de seguridad =2
$D_{POLEA} = \sqrt{\frac{2.94 * 1,6 * 648 * 2}{13000}} = 0,68 \text{ [INCH]}$	
$D_{VOLANTE} = \sqrt{\frac{2.94 * 1,6 * 133 * 2}{13000}} = 0,35 \text{ [INCH]}$	
FORMULA GENERAL PARA EL DISEÑO DE EJES CUANDO HAY UN MOMENTO SOBRE EL EJE , PARA LA PARTE DE CORTE DEL EJE, SE ANALIZA EN LOS DOS PUNTOS CRITICOS, EN A Y EN B.	
$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3}$	
$D_{\min A} = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{1,5 * 2268}{13000} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{649}{45000} \right)^2} \right]^{1/3} = 1,74 \text{ [inch]}$	
$D_{\min B} = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{1,5 * 533}{13000} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{219}{45000} \right)^2} \right]^{1/3} = 1,07 \text{ [inch]}$	
Con estos resultados el diseño inicial del eje seria en un eje de 1 3/4 inch, pues se utiliza en diámetro que se consigue en el mercado mayor al valor dado.	
	
Queriendo reducir el proceso de maquinado, se presenta a continuacion el plano del eje principal de la maquina, donde los diámetros se aumentan para facilitar el montaje, sin sacrificar la resistencia del material,(distancias en mm)	
	

Fuente: los autores.

4.3.2 Ejes rodillos.

Figura 26. Ejes rodillos.



Fuente: Los autores

Para el diseño de estos ejes se parte de asumir que la máxima fuerza necesaria que necesitan estos rodillos para comprimir y empujar las botellas hacia la cámara de corte es de aproximadamente 0,05 hp, esto es un valor tan pequeño debido a que son muy fáciles de comprimir, la distancia entre los dos rodillos será del ancho del pico de las botellas y estas deberán introducirse sin la tapa.

Se procede a utilizar las mismas ecuaciones y teorías utilizadas en el cálculo del eje principal, el coeficiente de resistencia a la fatiga, se asume el mismo hallado en el cálculo anterior, ya que es el mismo material, acero dúctil 1020 con un $S_{ut} = 70000$ [psi] y un $S_y = 45000$ [psi].

La velocidad aproximada para los ejes de los rodillos impulsores será de 66 [rpm], según la relación de poleas definidas en el capítulo anterior.

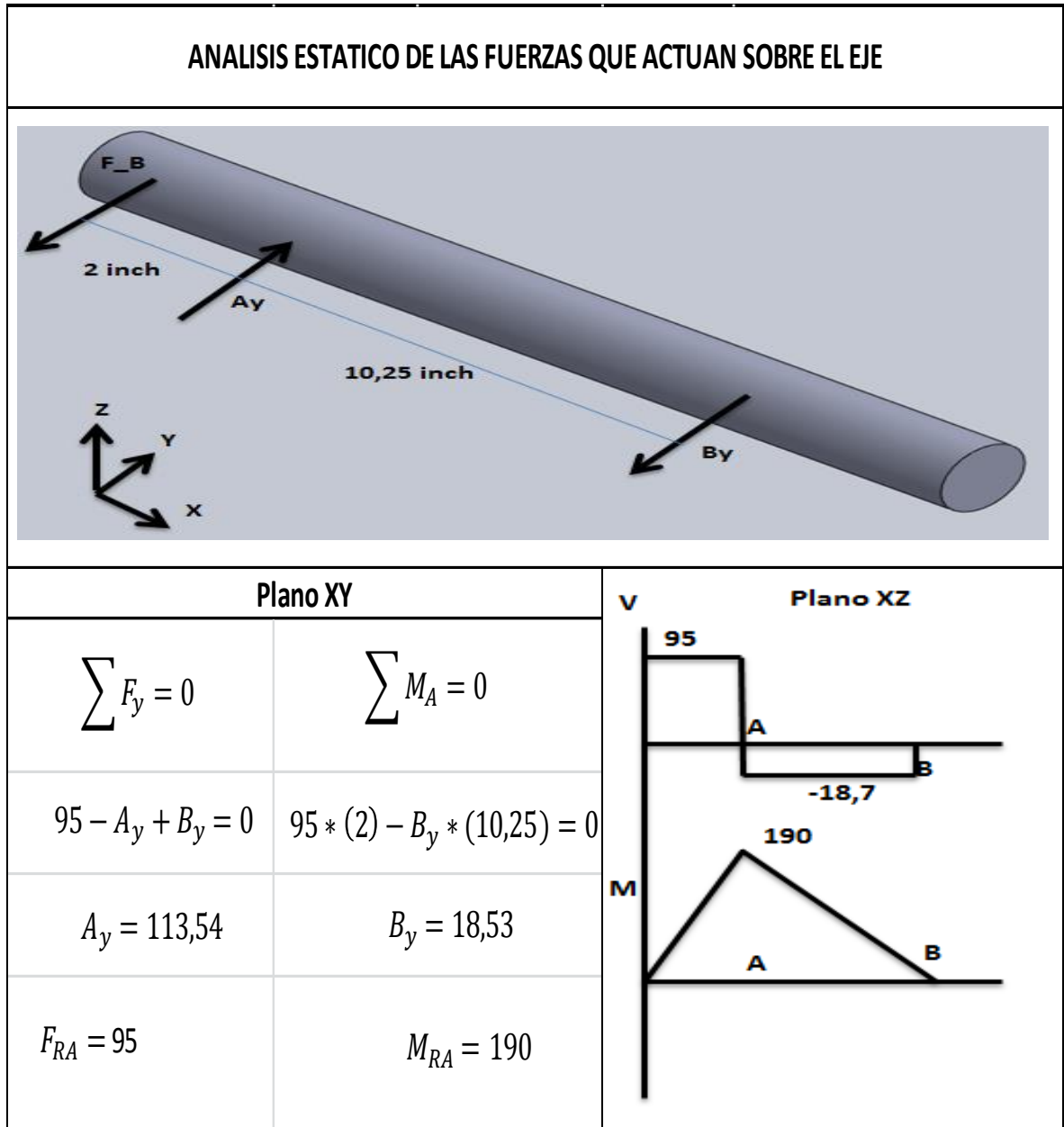
Tabla 31. Calculo fuerza en la polea.

$T=(63000*P)/N$		T=48 [lb*inch]	Material del eje sera un acero ductil 1020 cuyo $s_{ut}=70.000$ [psi] y $S_y=45.000$ [psi] aproximadamente
P= Potencia motor	P=0,05 HP		
N=velocidad RPM	N=66 RPM		
Ecuacion fuerza flexionante sobre el eje cuando la transmision se hace por poleas			
<p>Diagrama de un eje con dos poleas, A y B, conectadas por una correa. Se muestran las fuerzas de tensión F_1 y F_2 en la correa, las fuerzas flexionantes F_B y T_B en los ejes, y los torques netos T_A y T_B. Se indica la rotación de cada eje.</p> <p>Par torsional neto sobre A: $T_A = (F_1 - F_2) (D_A/2)$</p> <p>Par torsional neto sobre B: $T_B = (F_1 - F_2) (D_B/2)$</p> <p>$F_B = F_1 + F_2$</p> <p>$F_B =$ Fuerza flexionante sobre el eje</p>			$F_B = 1.5 * \frac{T}{D}$
			F_B= 95 [lb*inch]
			T= Torque del motor
			D=Diametro del eje=3/4 inch
			F_B= Fuerza flexionante sobre el eje

Fuente: Los autores.

Se realiza el análisis estático con las fuerzas que actúan sobre uno de los rodillos impulsores, se utiliza el rodillo más largo, siendo este el más crítico por estar sujeto a la acción de más fuerzas, el valor resultante en el diámetro será el utilizado para la construcción del par de rodillos impulsores.

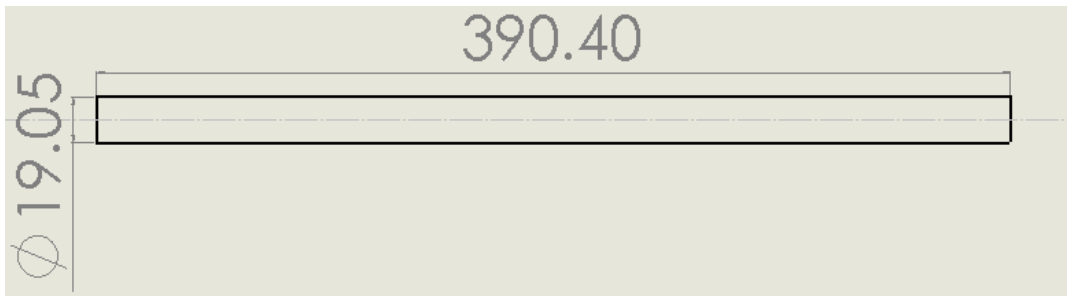
Tabla 32. Análisis estático para los rodillos.



Fuente: Los autores.

A continuación se presenta el cálculo del diámetro mínimo necesario para el eje de los rodillos impulsores.

Tabla 33. Calculo del diámetro mínimo para eje de los rodillos.

FORMULA GENERAL PARA EL DISEÑO DE EJES CUANDO SOLAMENTE SOBRE ELLA ACTUA UNA FUERZA, PARA DONDE VA UBICADA LA POLEA Y PARA EL VOLANTE DE INERCIA	
$D = \sqrt{\frac{2.94 * K_t * V * N}{S_e}}$	D=diámetro minimo
	K _t =cte por el tipo de cuñero, =1.6
	N=factor de seguridad =2
$D_{POLEA} = \sqrt{\frac{2.94 * 1,6 * 648 * 2}{13000}} = 0,68 [INCH]$	
$D_{VOLANTE} = \sqrt{\frac{2.94 * 1,6 * 133 * 2}{13000}} = 0,35 [INCH]$	
FORMULA GENERAL PARA EL DISEÑO DE EJES , PARA LA PARTE DE CORTE DEL EJE, SE ANALIZA EN LOS DOS PUNTOS CRITICOS, EN A Y EN B.	
$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3}$	
$D_{minA} = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{190}{13000} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{95}{45000} \right)^2} \right]^{1/3} = 0,66 [inch]$	
Con estos resultados el diseño inicial del eje seria en un eje de 3/4 inch, pues se utiliza en diametro que se consigue en el mercado mayor al valor dado.	
Para reducir los costos de fabricación no se le realizara ningún maquinado al eje, esto se puede hacer pues el no soportara ningún esfuerzo axial, y sus componentes estarán asegurados con prisioneros. Se presenta a continuación el plano final del eje principal de la máquina. (distancias en mm)	
 <p>The drawing shows a shaft with a diameter of 19.05 mm and a length of 390.40 mm. The shaft is represented by a horizontal line with a vertical dimension line on the left indicating the diameter and a horizontal dimension line above indicating the length.</p>	

Fuente: Los autores.

Con estos resultados, se asigna para la transmisión y los rodillos un diámetro de $\frac{3}{4}$ [pul], medida estándar.

4.4 ELEMENTOS DE CORTE. CUCHILLAS

En el capítulo anterior, se realiza el análisis del sistema para poder determinar el número de cuchillas necesarias para una operación óptima del equipo, llegando a la conclusión de utilizar 4 cuchillas móviles, pero para garantizar la operación eficiente del equipo y una capacidad de triturado mejor, estas deben trabajar con un par de cuchillas fijas, ubicadas a la entrada y la salida de la cámara de molienda respectivamente, llamadas cuchillas de ataque, encargadas de formar un sistema de corte tipo cizalla al paso de las móviles.

4.4.1 Acero SAE 5160

El acero SAE 5160, se utiliza en la fabricación de piezas muy solicitadas que requieren una dureza y tenacidad elevadas, especialmente en la industria automotriz. Ballestas y muelles helicoidales para automóviles y ferrocarriles. Piezas de responsabilidad que requieren una calidad especial, como arboles de transmisión, barras de torsión, grandes engranajes trabajando sin choque, engranajes en general, rotores de turbinas, bielas, placas de presión para prensas de extrusión, cinceles, tajaderas, cuchillas para corte en frío de metales, cuchillas para desbaste de madera, troqueles, piezas sometidas al desgaste etc.²⁶

Tabla 34. Composición química del acero SAE 5160.

C	Mn	P. máx.	S. máx.	Si	Cr
.56/.64	.75/1.00	.035	.040	.15/.30	.70/.90

Fuente: Catalogo Técnico compañía general de aceros.

²⁶ COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. Catalogo técnico. [en línea] <http://www.cga.com.co/index.php?option=com_frontpage&Itemid=36> [citado 13 de octubre de 2013].

Este acero se caracteriza por su gran templabilidad, tenacidad, resistencia a la fatiga y a la tracción, en razón de sus altos contenidos de Carbono, Manganeso y Cromo.

Tabla 35. Características mecánicas del acero SAE 5160.

Estado del Material	Resis. a la Traccion Kg/mm²	Limite Elastico Kg/mm²	Alargamiento %	Reduccion Area %	Dureza Brinell
Recocido	73	28	17	30	255
Laminado en Caliente	97	54	18	45	300
Temple a 850°C Aceite Revenido a 550°C	117	104	12	47	425

Fuente: Catalogo técnico compañía general de aceros.

Para esta máquina se crean 6 cuchillas con este material y se les da un tratamiento térmico llevándolas a 850°C y posteriormente se enfrían en aceite, para garantizar su resistencia en operación y el filo (ver diseño y dimensiones en anexos).

4.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES POR SOFTWARE CAD-CAE.

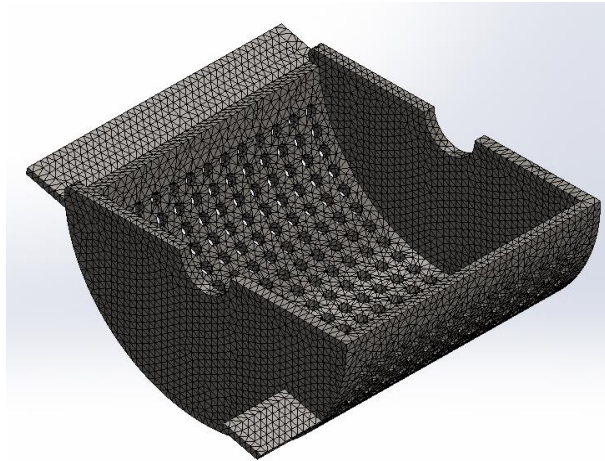
En esta sección se analizan los diseños de diferentes piezas pertenecientes a la máquina, por medio de un análisis de simulación realizado con el software Solid Works, donde las piezas serán sometidas a cargas y a esfuerzos imitando la realidad con el fin de predecir su comportamiento y funcionalidad.

4.5.1 Tamiz.

Este elemento es el encargado de alojar el eje de corte y de permitir la salida del material convertido en escamas de PET durante el proceso de reducción unitaria al que son sometidas las botellas plásticas.

Debe tener la capacidad de soportar impactos y poseer un claro esquema de perforaciones el tamaño de grano deseado.

Figura 27. Mallado del Tamiz.



Fuente: SOLIDWORKS.

Para realizar este análisis, se procede primero a realizar el mallado de la pieza para poder conocer datos unitarios de cada punto que la conforma.

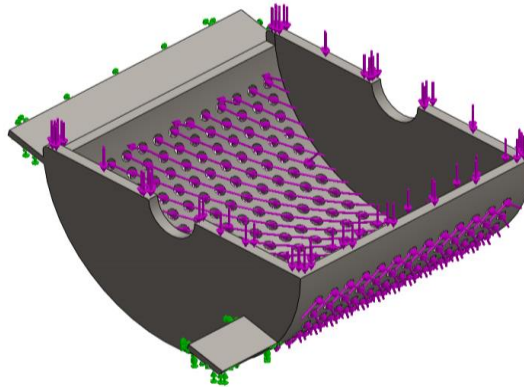
Tabla 36. Información de la Malla para el Tamiz.

Número total de nodos	113910
Número total de elementos	62987
Cociente máximo de aspecto	18.227
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.2
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:31
Nombre de computadora:	USUARIO-PC

Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress.

Realizado esto se procede a definir las cargas y el material del modelo.

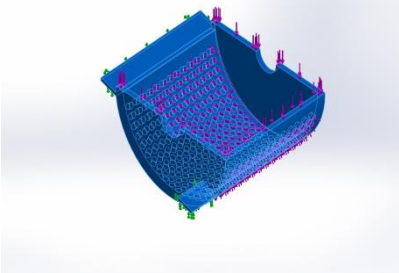
Figura 28. Información del modelo.



Fuente: SOLIDWORKS.

El modelo es sometido a las cargas del montaje, los puntos de apoyo y las fuerzas a las que se ve sometido en operación, definiendo esto se pueden realizar los análisis deseados.

Tabla 37. Propiedades mecánicas material de construcción.

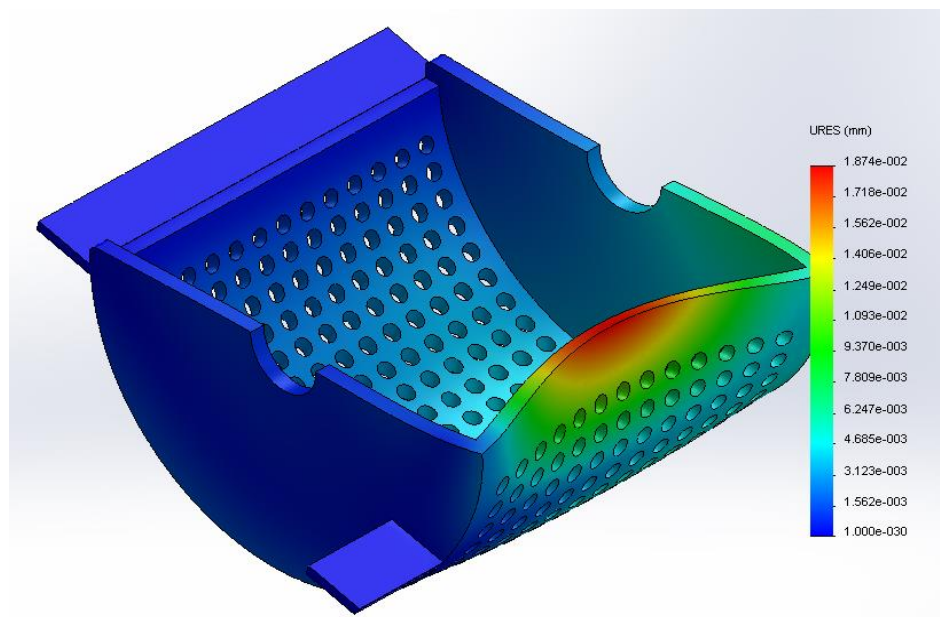
REFERENCIA DE MODELO	PROPIEDADES	
	Nombre:	ASTM A36 Acero
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
	Límite elástico:	2.5e+008 N/m²
	Límite de tracción:	4e+008 N/m²
	Módulo elástico:	2e+011 N/m²
	Coeficiente de Poisson:	0.26
	Densidad:	7850 kg/m³

Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress.

Para este modelo se definen cargas en las líneas de apoyo, debido a que por diseño sostienen el resto de componentes del sistema, en cada agujero del tamiz, se define un valor de fuerza que debe soportar cada uno, este valor es en función de la fuerza necesaria para provocar fractura del material a procesar (PET), se define un valor de carga de 70 N en los bordes de apoyo y un valor de 1000 N en cada agujero, esta fuerza se considera mucho mayor a la estimada de 15 N para generar fractura del material con el fin de considerar que el equipo puede ser víctima de alguna mala operación y terminar en su interior algún elemento más rígido que el PET.

Se realiza un análisis para ver cuánto y en qué puntos se deforma más la pieza, esto mide el desplazamiento de cada punto por acción de las cargas.

Figura 29. Desplazamiento resultante del Tamiz.



Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress-Desplazamientos-Deformation

Tabla 38. Datos resultantes del desplazamiento Tamiz

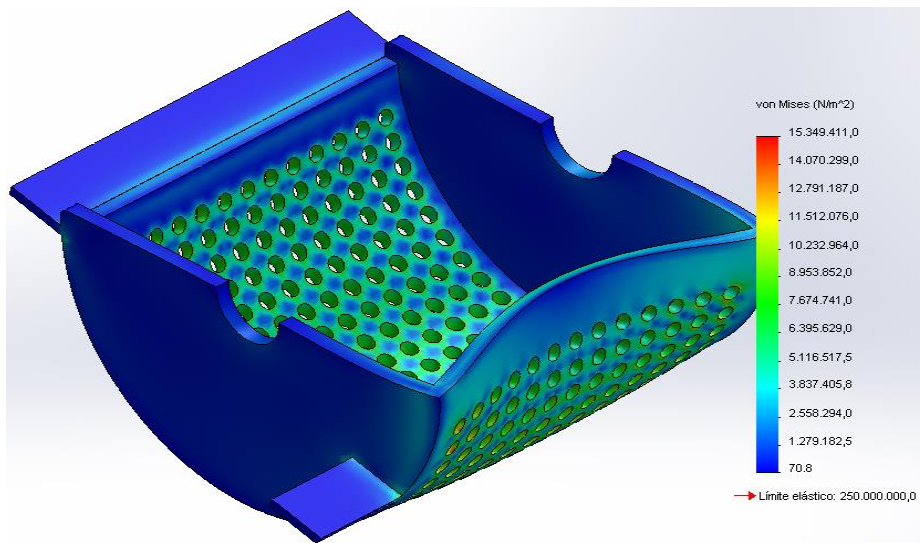
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 6768	0.0187405 mm Nodo: 64060

Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress-Desplazamientos-Deformation

Gracias a los resultados obtenidos se observa que el desplazamiento máximo al que se ve sometida esta pieza es de 0.0187 mm, un valor muy pequeño y aceptable.

A continuación se muestra el resultado obtenido por el software para el análisis de esfuerzos de la pieza.

Figura 30. Valores de esfuerzos sobre la pieza



Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress-Tensiones-Stress

La escala que se muestra indica el valor del esfuerzo en [N/m²] que soporta la pieza y se observa que es mucho menor que el admisible por el material.

Tabla 39. Datos resultantes del esfuerzo

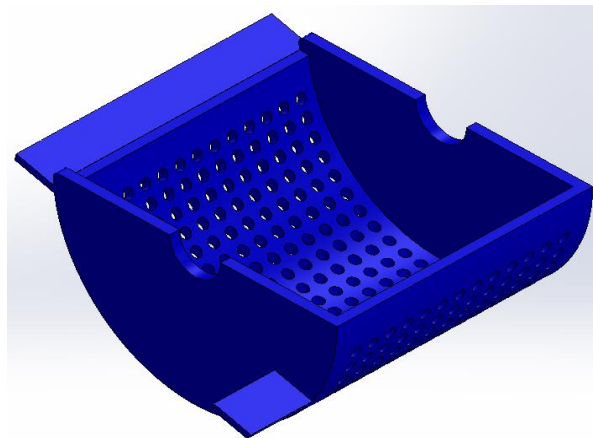
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	70.8397 N/m ² Nodo: 32125	1.53494e+007 N/m ² Nodo: 5245

Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress-Tensiones-Stress

Por este análisis se puede apreciar que por esfuerzos bajo las cargas sometidas de la pieza, el diseño es apropiado y resistente a las exigencias del equipo.

A continuación en el último análisis se busca el factor de seguridad mínimo al que se puede someter esta pieza, y las probabilidades de falla.

Figura 31. Condiciones críticas, factor de seguridad



Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress-Factor de seguridad-Factor of Safety

Lo que este análisis representa es las zonas críticas del diseño bajo un factor de seguridad alto, en este caso los puntos críticos no se muestran en la imagen, pero se encuentran justo en la unión del cuerpo con los puntos de apoyo.

Tabla 40. Datos resultantes del factor de seguridad.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	16.2873 Nodo: 5245	3.52909e+006 Nodo: 32125

Fuente: TAMIZ-Estudio_de_SimulationXpress-Factor de seguridad-Factor of Safety

Por medio de estos análisis se llega a la conclusión que esta es una pieza resistente y funcional para el equipo, permitiendo soportar las cargas a las que está sometida sin presentar cambios en su estructura ni posibilidad de daños bajo las cargas que se presentan en la maquina durante la operación.

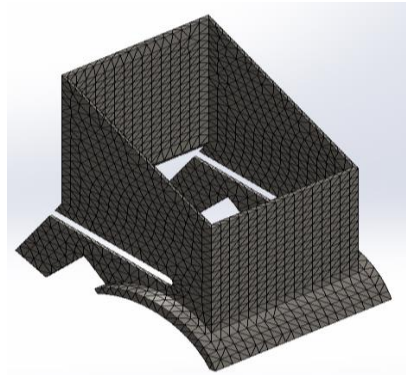
4.5.2 Tolva.

Esta pieza alberga en su interior el sistema de alimentación del equipo, soportando los rodillos impulsores y dando un apoyo apropiado para todo el sistema.

Debe ser capaz de soportar algunas cargas ejercidas por el material en espera y por la fuerza necesaria para alimentar las botellas.

Se procede a realizar los mismos análisis que el elemento anterior.

Figura 32. Mallado Tolva de alimentación.



Fuente: SOLIDWORKS

Se realiza el mallado sobre la pieza para poder analizar el comportamiento de todos los nodos que la conforman bajo las cargas estimadas que debe soportar en el montaje y durante la operación de la máquina.

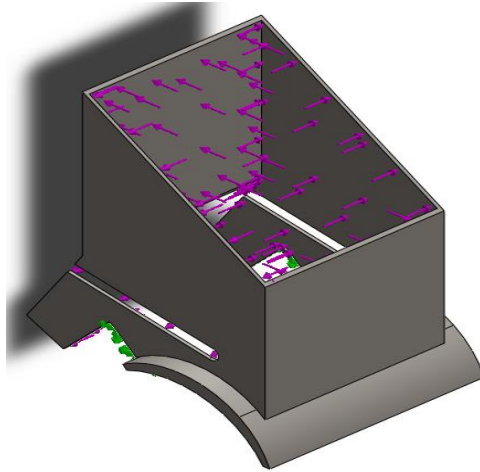
Tabla 41. Información de la malla para la Tolva.

Número total de nodos	15959
Número total de elementos	7672
Cociente máximo de aspecto	9.6187
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	38.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:07

Fuente: SOLIDWORKS SimulationXpress

Se definen las cargas y apoyos que tiene esta pieza.

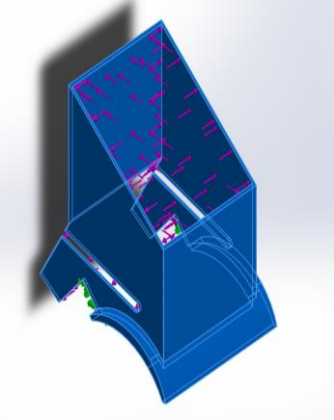
Figura 33. Sistema de cargas y apoyos



Fuente: SOLIDWORKS

Teniendo estos datos, se toma el modelo para realizarlos análisis necesarios.

Tabla 42. Propiedades mecánicas material de construcción.

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
	Límite elástico:	2.5e+008 N/m²
	Límite de tracción:	4e+008 N/m²

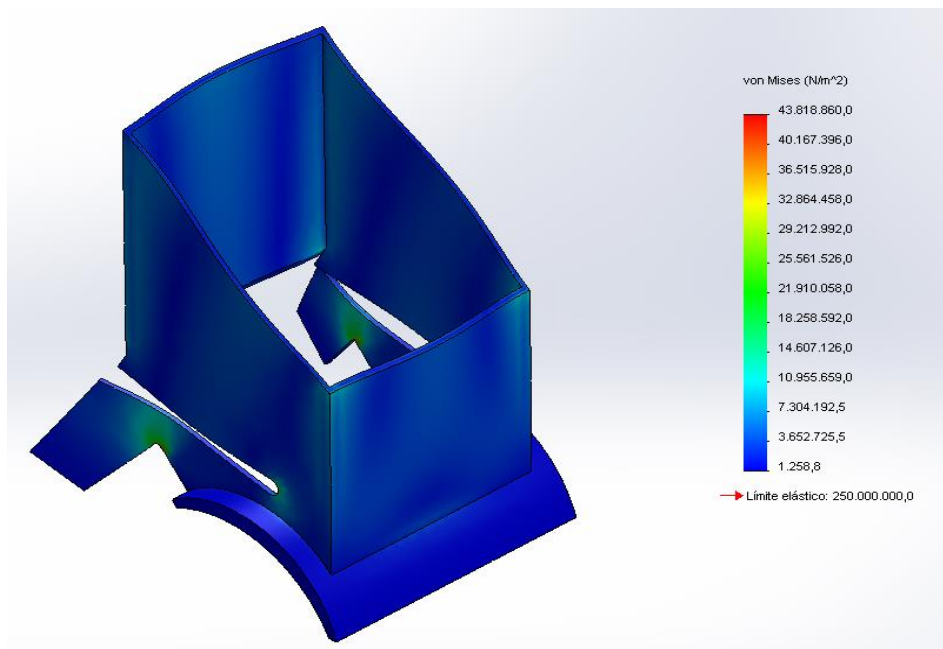
Fuente: SOLIDWORKS SimulationXpress

Para este elemento, se definen cargas en el apoyo y se estima una fuerza actuando sobre las paredes ideando una presión echa por el material acumulado, esperando su paso por el sistema impulsor.

Considerando, un valor de carga de 500 N en su estructura, valor que se toma superior al real, con la intención de estimar el funcionamiento de esta pieza bajo condiciones críticas de carga y esfuerzos

A continuación se procede a realizar los análisis pertinentes a este componente, en donde se podrá estudiar la capacidad y resistencia de esta pieza al estar sometida a las cargas del sistema.

Figura 34. Valores de esfuerzos sobre la pieza



Fuente: SOLIDWORKS Study Stress

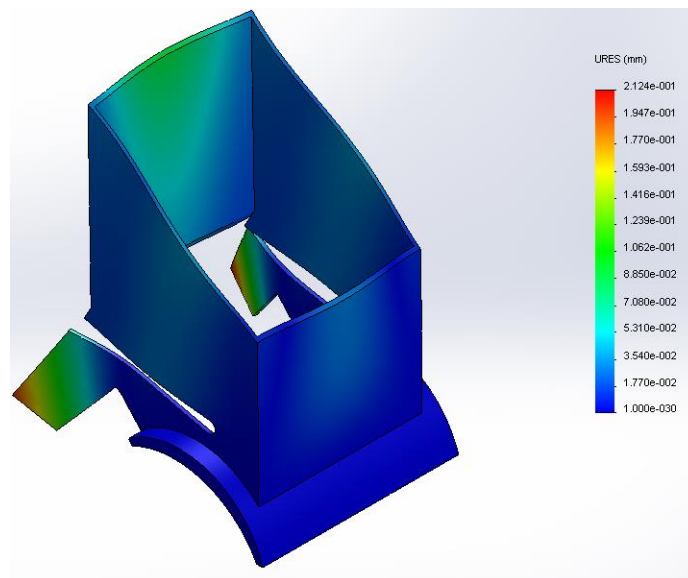
Tabla 43. Datos resultantes del esfuerzo.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	1258.84 N/m ² Nodo: 2529	4.38189e+007 N/m ² Nodo: 11133

Fuente: SOLIDWORKS Study Stress

Como puede apreciarse por el modelo, se resaltan algunos puntos críticos que representan la sección más débil y propensa a fallas de la pieza, según el análisis bajo las condiciones de carga estimadas, el componente tiene un buen comportamiento y resiste, sin embargo se entiende por donde fallaría la pieza.

Figura 35. Desplazamientos de la pieza.



Fuente: SOLIDWORKS Study Displacement

Tabla 44. Datos resultantes del desplazamiento.

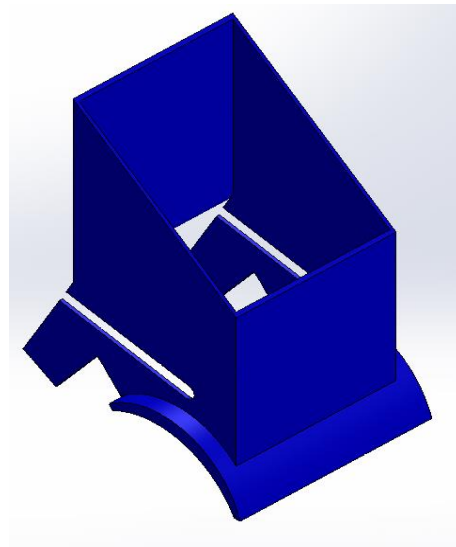
Nombre	Tipo	Min.	Max
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 25	0.212392 mm Nodo: 225

Fuente: SOLIDWORKS Study Displacement

Por los datos que presenta el análisis, vemos que el máximo desplazamiento que se presenta en un nodo de este elemento tiene un valor mayor que el determinado para la pieza anterior, y la imagen nos confirma el punto de referencia, sin embargo es un desplazamiento aceptable en el sistema para las condiciones dadas.

A continuación se presenta los resultados del análisis del factor de seguridad al que está sometida la pieza.

Figura 36. Condiciones factor de seguridad.



Fuente: SOLIDWORKS Study Factor of Safety

Tabla 45. Datos resultantes del factor de seguridad.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx	5.70531 Nodo: 11133	198596 Nodo: 2529

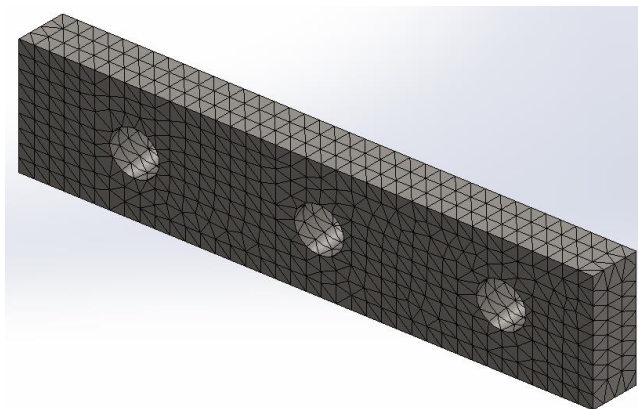
Fuente: SOLIDWORKS Study Factor of Safety

Gracias a estos datos, se predice el comportamiento de este componente y como se entiende su estructura es rígida y soporta bien el sistema sin presentar daños ni deformaciones críticas.

4.5.3 Porta cuchillas.

Este elemento se encuentra en el eje de corte, y es el encargado de soportar las cuchillas, esta pieza radica su importancia en la función del sistema, protegiendo el equipo y es encargada de darle rigidez al eje de corte, este elemento no se puede desmontar y se diseña con un alto tiempo de vida útil.

Figura 37. Mallado del Porta cuchillas.



Fuente: PORTACUCHILLAS-SimulationXpress

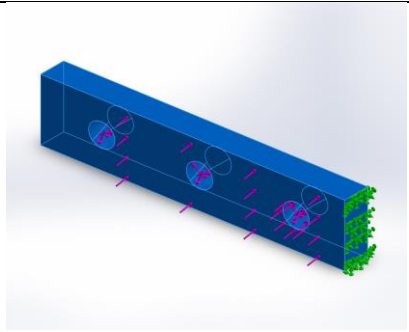
Tabla 46. Información de la malla

Tipo de malla	Malla solida
Número total de nodos	12029
Número total de elementos	7398
Tamaño de elementos	5.7806 mm
Tolerancia	0.28903 mm
Tiempo para completar la malla	00:00:03

Fuente: PORTA CUCHILLAS-Simulation Xpress

Esta pieza es analizada para identificar su capacidad bajo las cargas del sistema, esto brinda información sobre su comportamiento y la capacidad de soportar las fuerzas ejercidas por el sistema.

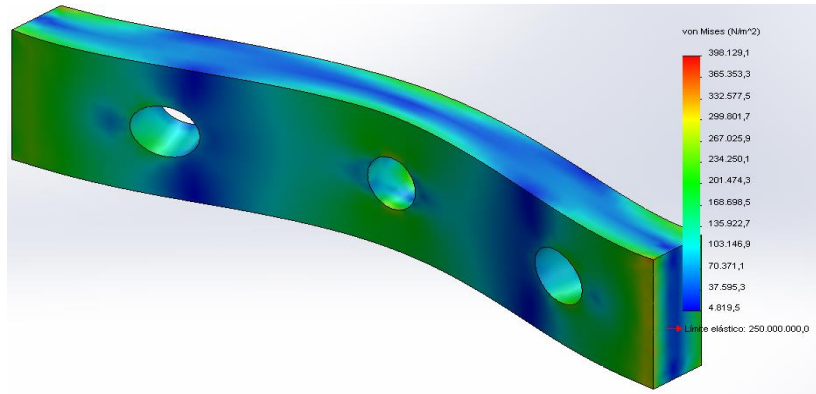
Tabla 47. Propiedades del material.

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
	Límite elástico:	2.5e+008 N/m²
	Límite de tracción:	4e+008 N/m²

Fuente: PORTA CUCHILLAS-SimulationXpress

Las cargas que se utilizan para el análisis de esta pieza, corresponden a la sujeción de las caras laterales ya que estas están soldadas a toda la unidad del eje de corte, y un par de fuerzas de 50 N c/u actuando sobre la cara que sostiene las cuchillas y la otra en los puntos de anclaje.

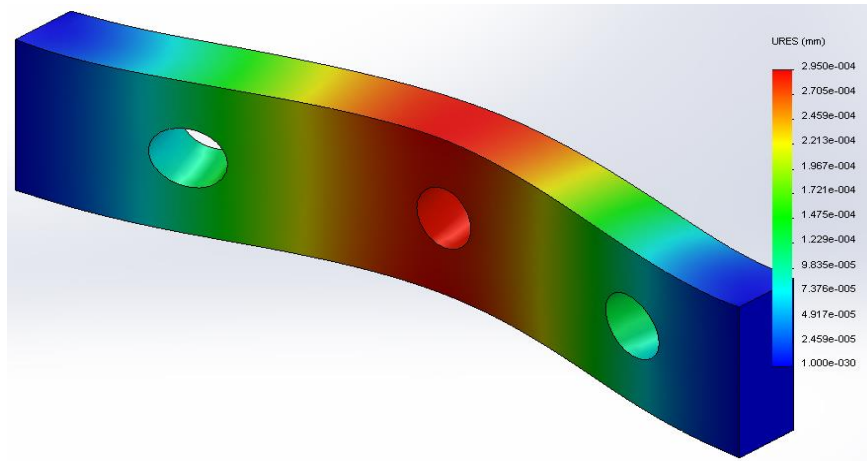
Figura 38. Simulación del esfuerzo Porta Cuchillas.



Fuente: PORTACUCHILLAS-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress

Claramente se puede entender que bajo las condiciones impuestas, la pieza se comporta como se desea, soportando las cargas por un amplio margen, según su límite elástico.

Figura 39. Deformación bajo cargas, Porta Cuchillas.



Fuente: PORTACUCHILLAS-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

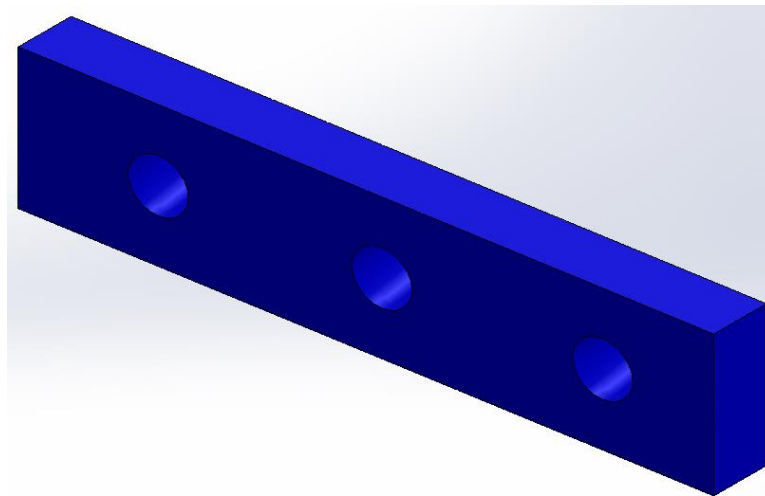
El análisis de deformación presenta un comportamiento en la pieza como se esperaba, actuando como viga apoyada en los extremos, la zona que más desplazamiento presenta es la central, pero su valor es mínimo y no afecta la operación del sistema.

Tabla 48. Datos del estudio Desplazamiento

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 118	0.000295046 mm Nodo: 5858

**Fuente: SOLIDWORKS- SimulationXpress Study-Desplazamientos-
Displacement**

Figura 40. Condiciones del factor de seguridad.



Fuente: SOLIDWORKS Study Factor of Safety

Tabla 49. Datos del Factor de seguridad.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	627.937 Nodo: 163	51872.9 Nodo: 8401

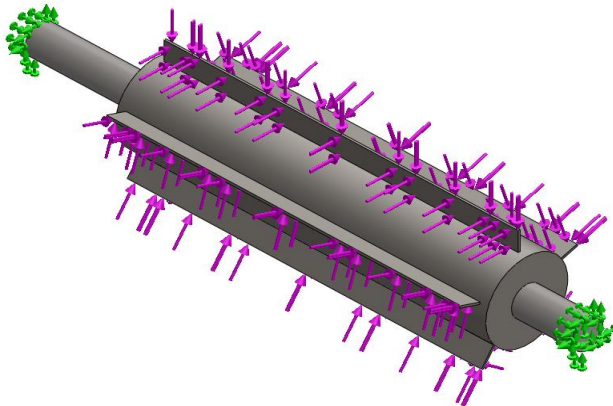
Fuente: SOLIDWORKS Study Factor of Safety

Con los análisis realizados a esta pieza claramente se puede identificar un buen comportamiento bajo las cargas consideradas.

4.5.4 Ensamble Rodillos Impulsores.

Este análisis se realiza para comprobar el comportamiento de un componente importante en el equipo, el sistema de alimentación, y poder comprender cuál va a ser el comportamiento de este montaje cuando el sistema se encuentre en operación. Se definen las cargas y puntos de apoyo.

Figura 41. Cargas y apoyos para el ensamble

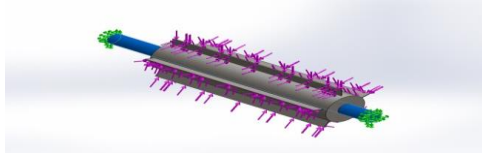


Fuente: SOLIDWORKS RODILLOS IMPULSORES_ENSAMBLE

Se consideran dos tipos de cargas, una con un valor de 100N, actuando en la cara superior de la aleta, considerando que esta cara es la encargada de comprimir al máximo el material, otra fuerza con un valor de 20N, actuando sobre la cara plana de la aleta de impulso como resistencia al paso del material. Se toman uniones en los extremos para representar el apoyo que se obtiene en el montaje.

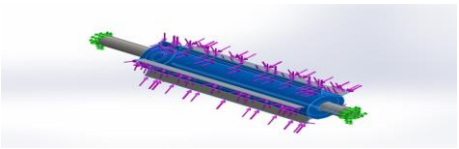
Al ser este análisis de un ensamble, se debe tomar información de las piezas que lo componen, el material en el que están hechos y sus diferentes propiedades.

Tabla 50. Propiedades del material aletas.

Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	AISI 1020
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Desconocido
	Límite elástico:	3.51571e+008 N/m²
	Límite de tracción:	4.20507e+008 N/m²
	Módulo elástico:	2e+011 N/m²
	Coeficiente de Poisson:	0.29
	Densidad:	7900 kg/m³
	Módulo cortante:	7.7e+010 N/m²
	Coeficiente de dilatación térmica:	1.5e-005 /Kelvin

Fuente: SOLIDWORKS

Tabla 51. Propiedades del material cilindro.

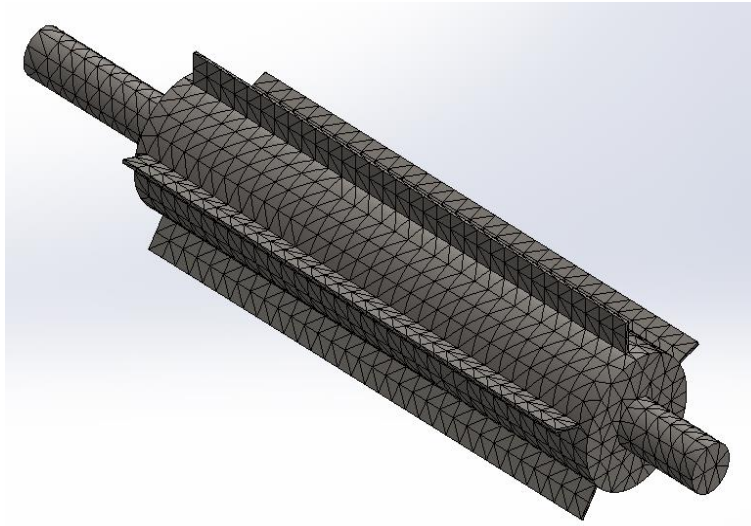
Referencia de modelo	Propiedades	
	Nombre:	ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Desconocido
	Límite elástico:	2.5e+008 N/m ²
	Límite de tracción:	4e+008 N/m ²
	Módulo elástico:	2e+011 N/m ²
	Coeficiente de Poisson:	0.26
	Densidad:	7850 kg/m ³
Módulo cortante:	7.93e+010 N/m ²	

Fuente: SOLIDWORKS

La anterior muestra las propiedades del material con el que fue construido el eje de los rodillos impulsores (acero AISI 1020) y el material de construcción del cuerpo del rodillo (acero ASTM A36).

El siguiente paso es crear la malla para realizar los respectivos análisis.

Figura 42. Mallado del ensamble.



Fuente: SOLIDWORKS

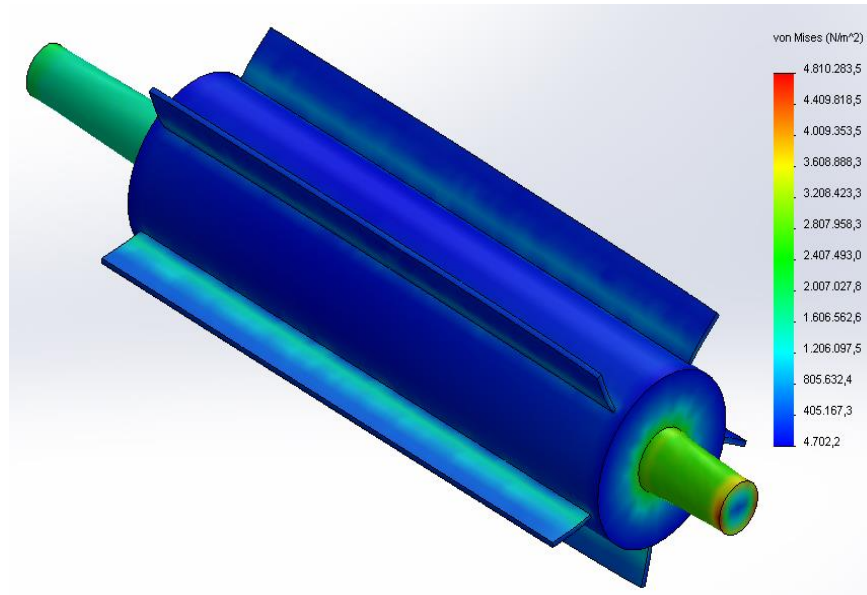
Tabla 52. Información del mallado.

Tipo de malla	Malla Solida
Número total de nodos	21225
Número total de elementos	11644
Tamaño de elementos	6.94785 mm
Tolerancia	0.347393
Tiempo para completar la malla	00:00:16

Fuente: RODILLOS IMPULSORES_ENSAMBLE-Estudio

Ahora si se procede a realizar los estudios del ensamble.

Figura 43. Simulación de esfuerzos para el ensamble.



Fuente: RODILLOS IMPULSORES_ENSAMBLE-Estudio Tensiones

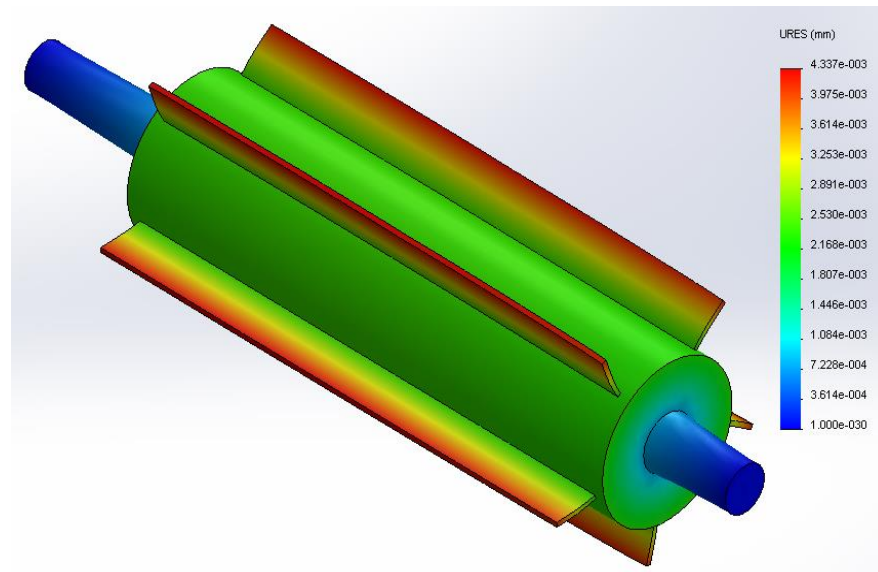
Tabla 53. Datos estudio de esfuerzos

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Tensiones 1	Von: tensiones de von mises	4702.16 N/m ² Nodo: 762	4.81028e+006 N/m ² Nodo: 182

Fuente: SOLIDWORKS RODILLOS IMPULSORES_ENSAMBLE-Estudio Tensiones

Los resultados nos muestran el valor del máximo esfuerzo al que está sometido el ensamble y claramente se aprecia que es inferior al del material, lo que indica que este componente se comporta muy bien bajo las cargas del sistema.

Figura 44. Simulación de desplazamientos para el ensamble.



Fuente: RODILLOS IMPULSORES_ENSAMBLE-Estudio-Desplazamientos

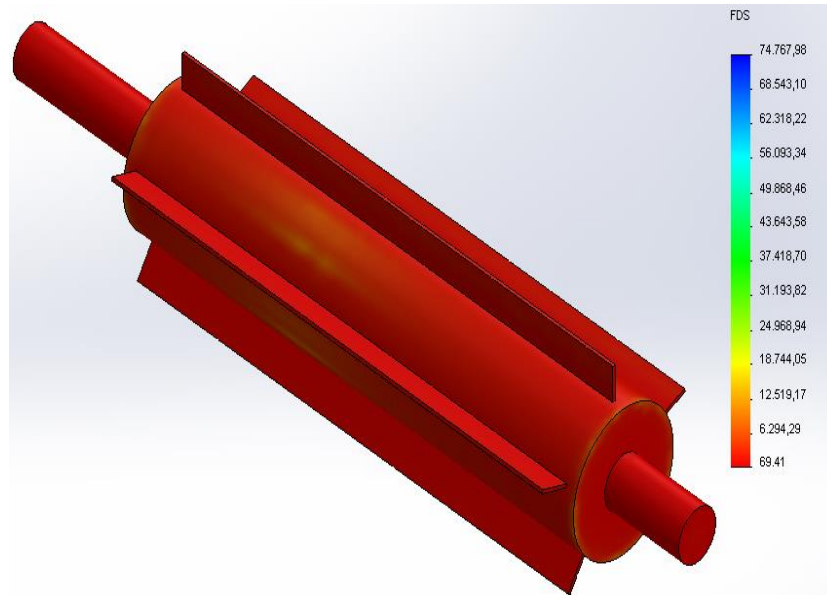
Tabla 54. Datos estudio desplazamientos

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DESPLAZAMIENTOS	URES: desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.00433674 mm Nodo: 6333

Fuente: RODILLOS IMPULSORES_ENSAMBLE-Estudio-Desplazamientos

Se puede apreciar la zona y el valor del máximo desplazamiento al que está sometido el sistema bajo las cargas especificadas, es un valor pequeño y que no afecta la operación ni la vida útil del sistema.

Figura 45. Factor de seguridad para el ensamble.



Fuente: SOLIDWORKS Estudio-Factor de seguridad-Factor de seguridad

Tabla 55. Datos factor de seguridad

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor de seguridad	Automático	69.4101 Nodo: 347	74768 Nodo: 762

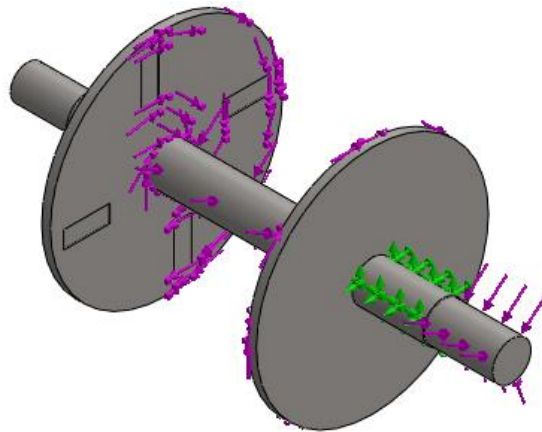
Fuente: SOLIDWORKS estudio factor de seguridad.

La información obtenida en los análisis demuestra que este componente soporta muy bien las condiciones del sistema y se espera que no presente ningún fallo durante la operación.

4.5.5 Eje principal.

Se realiza el mismo procedimiento para los análisis, identificando las cargas y los puntos de apoyo de esta pieza en operación.

Figura 46. Cargas sobre el ensamble.



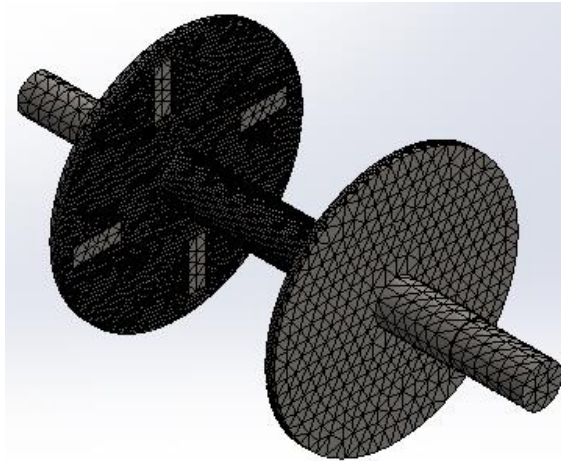
Fuente: SOLIDWORKS

Se definen los puntos de apoyo y las cargas en los extremos a los que está sometido el eje, se toma una fuerza actuando en el centro como una resultante de la carga ejercida por el porta cuchillas, la cuchilla y el proceso de corte.

Se definen 4 fuerzas, una actuando en un extremo con un valor de 150N producida por el volante de inercia, una de 30N en el otro extremo producida por las poleas de la primera etapa de transmisión, y una fuerza sobre el cuerpo central del eje de 150N semejante a la reacción impuesta por los componentes del sistema de corte y una fuerza de torsión con un valor de 100N en la zona central por las cargas del porta cuchillas y de las cuchillas.

Definidas las cargas, se realiza el mallado del ensamble.

Figura 47. Mallado del ensamble eje principal



Fuente: SOLIDWORKS

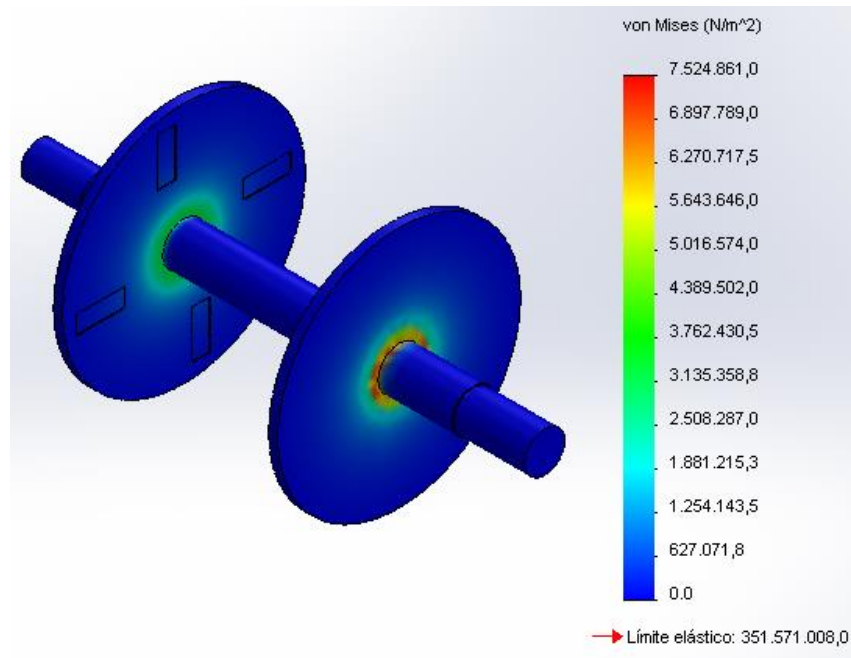
Tabla 56. Datos mallado ensamble.

Tipo de malla	Malla Solida
Número total de nodos	144005
Número total de elementos	87342
Tamaño de elementos	12.4255 mm
Tolerancia	0.6212 mm
Tiempo para completar la malla	00:00:17

Fuente: SOLIDWORKS

Ahora se procede a realizar los estudios para este componente.

Figura 48. Simulación de esfuerzos para el eje.



Fuente: SOLIDWORKS eje_ppal-Study-Tensiones-Stress

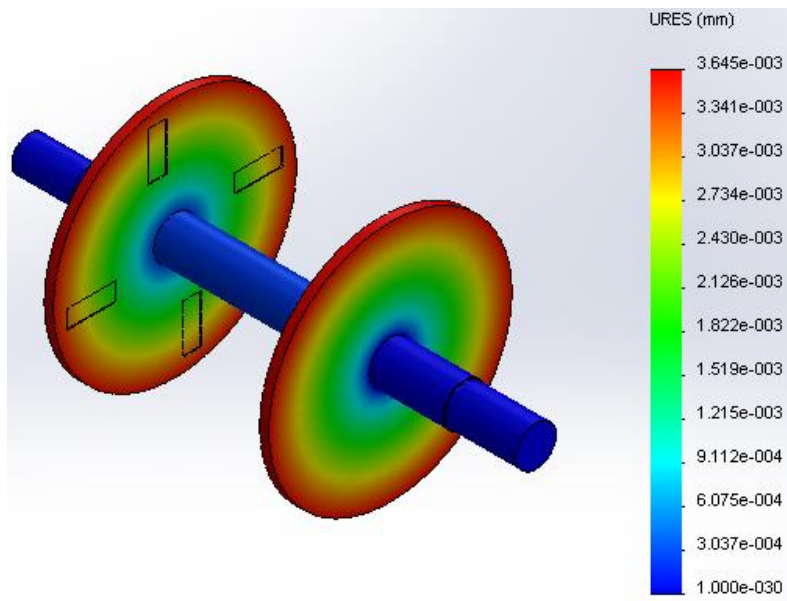
Tabla 57. Datos de la simulación

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: tensiones de von mises	0 N/m ² Nodo: 141117	7.52486e+006 N/m ² Nodo: 94371

Fuente: eje_ppal- Study-Tensiones-Stress

El esfuerzo máximo al que es sometida la pieza no alcanza a sobrepasar el límite elástico del material por lo que se comprueba que la pieza funciona correctamente bajo las cargas del sistema.

Figura 49. Simulación desplazamiento para el eje.



Fuente: SOLIDWORKS eje_ppal Study-Displacement

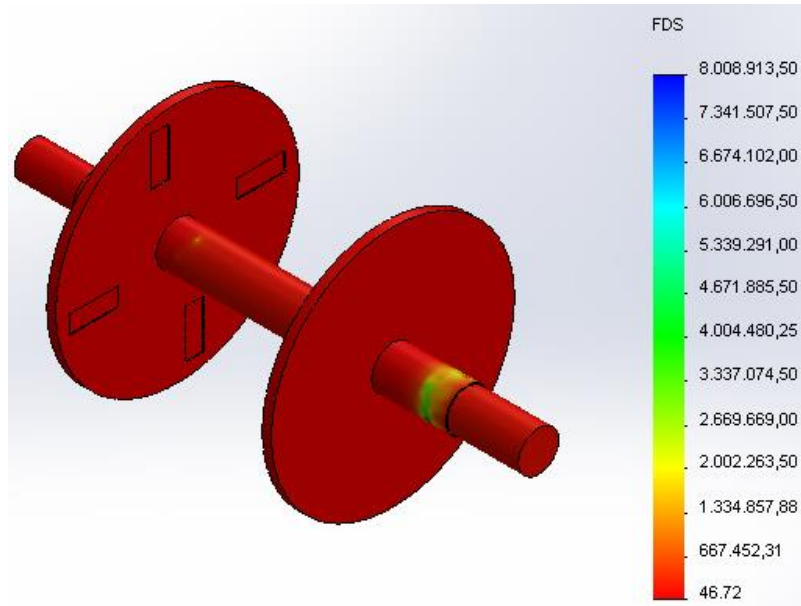
Tabla 58. Datos del desplazamiento

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DESPLAZAMIENTOS	URES: desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.00364473 mm Nodo: 617

Fuente: SOLIDWORKS Study-Tensiones-Stress

El desplazamiento resultante al que está sometida esta pieza es de un valor muy pequeño y no afecta el comportamiento de este componente.

Figura 50. Factor de seguridad para el eje principal.



Fuente: SOLIDWORKS eje_ppal- Study-Factor of Safety

Tabla 59. Datos factor de seguridad

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of safety	Tensión de von Mises máx.	46.7213 Nodo: 94371	8.00891e+006 Nodo: 91056

Fuente: SOLIDWORKS Study-Factor of Safety

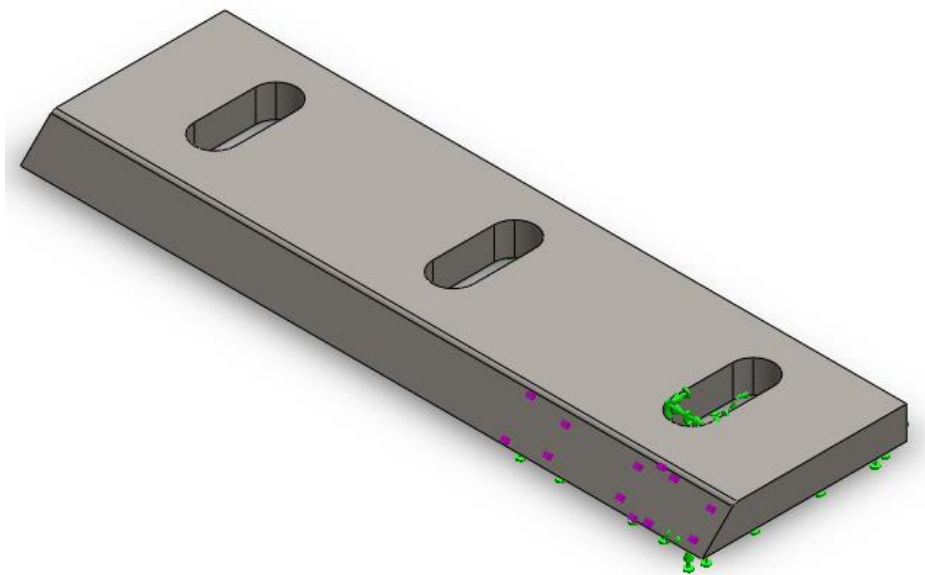
Este componente soporta perfectamente el sistema, sin presentar daños en su estructura con las cargas de operación, y muestra una capacidad mucho mayor de soportar cargas.

4.5.6 Cuchillas.

Las cuchillas son un componente muy importante en la máquina, siendo estas las encargadas de llevar a cabo el proceso de reducción unitaria.

Se realizan los respectivos análisis para entender su comportamiento sometida a las cargas del sistema. Como los elementos anteriores, se definen las cargas a las que está sujeta y se procede con el estudio.

Figura 51. Cargas en la cuchilla

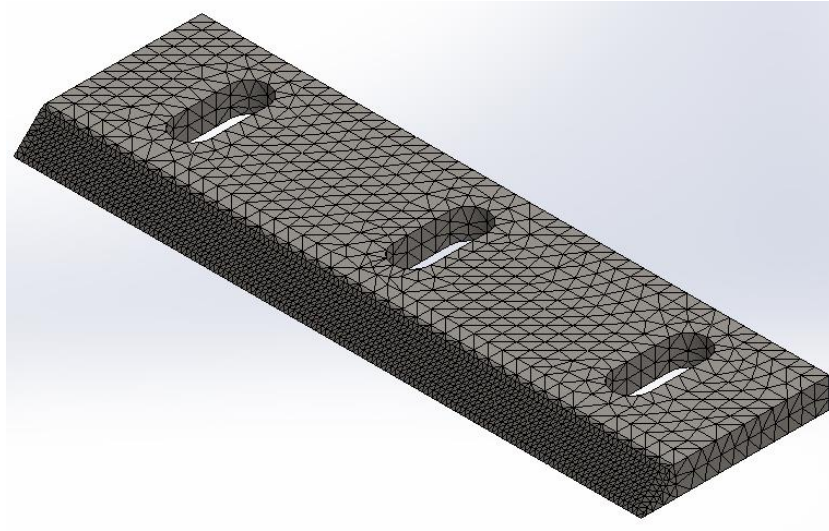


Fuente: SOLIDWORKS

Se define la carga sobre la cara que realiza el corte con un valor de 20N superior al requerido de 15N para provocar fractura en el material (PET), se seleccionan los puntos de apoyo en la cara inferior.

Se realiza el mallado de la pieza con el fin de analizar todos los nodos que la conforman.

Figura 52. Mallado de la cuchilla



Fuente: SOLIDWORKS

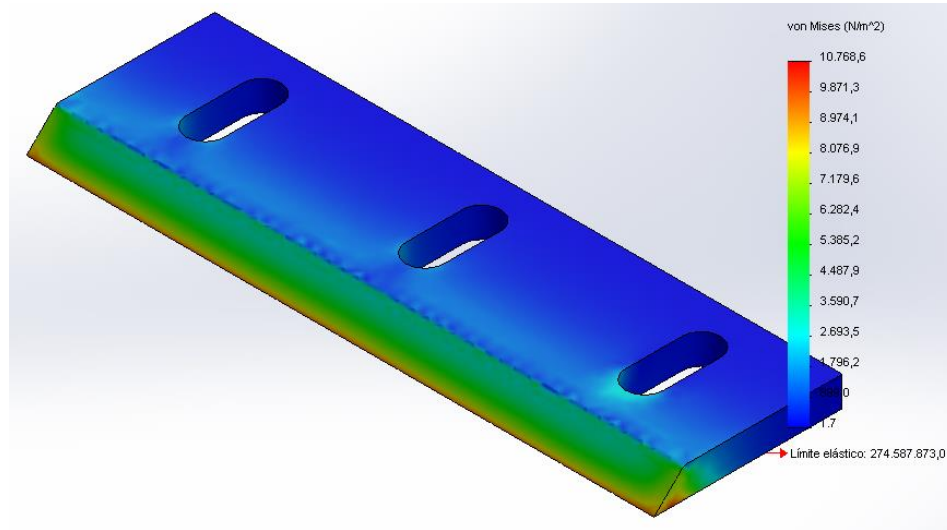
Tabla 60. Datos del mallado de la Cuchilla

Tipo de malla	Malla Solida
Número total de nodos	26072
Número total de elementos	15369
Tamaño de elementos	4.57719 mm
Tolerancia	0.2288 mm
Tiempo para completar la malla	00:00:03

Fuente: SOLIDWORKS

Continuando se realizan los estudios para este elemento.

Figura 53. Simulación esfuerzo Cuchilla.



Fuente: SOLIDWORKS cuchilla_movil-Estudio Tensiones

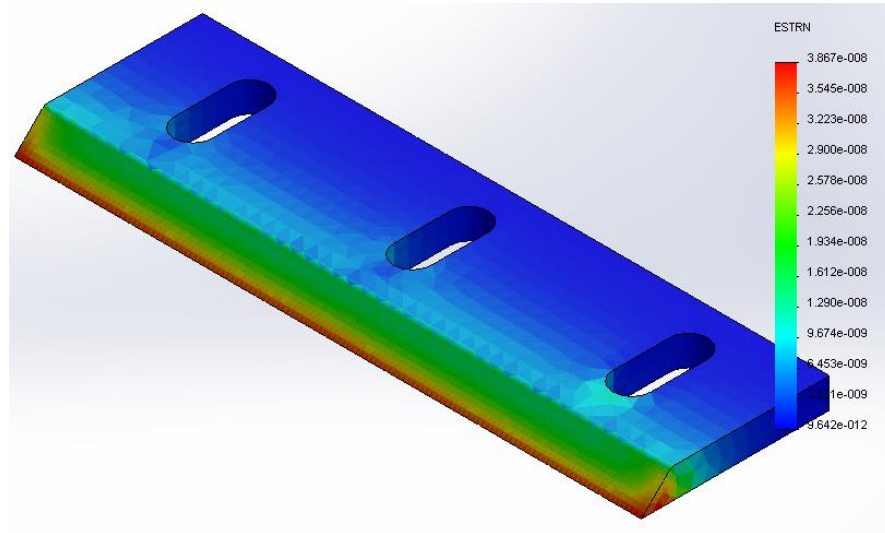
Tabla 61. Datos estudio esfuerzos cuchilla.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: tensiones de von mises	1.74493 N/m ² Nodo: 25498	10768.6 N/m ² Nodo: 25353

Fuente: SOLIDWORKS cuchilla_movil-Estudio

Los datos arrojados y la gráfica muestran que el limite elástico del material de construcción no fue superado, lo que garantiza la integridad de la pieza bajo las cargas del sistema, la información obtenida de la imagen muestra una zona crítica del elemento, como es de esperarse el filo de la cuchilla que se pierde por la operación.

Figura 54. Deformaciones unitarias cuchilla



Fuente: SOLIDWORKS cuchillal-Estudio 1-Deformaciones unitarias

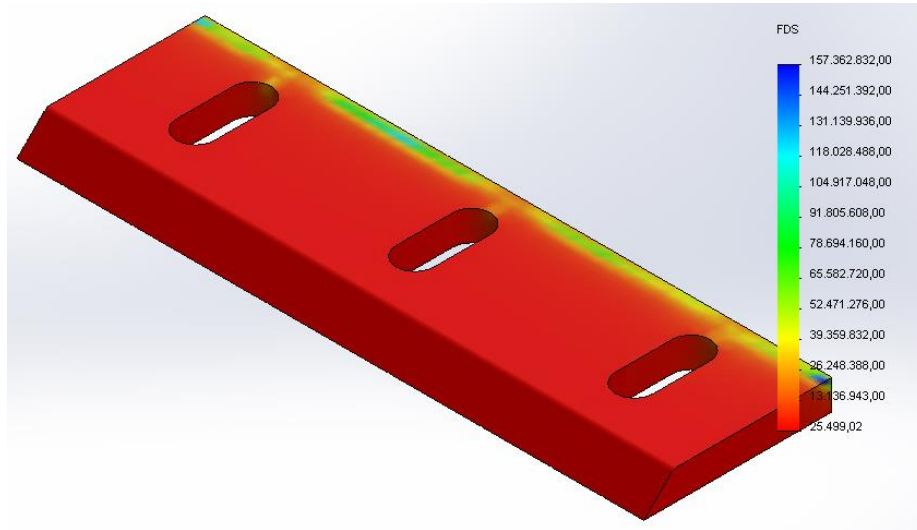
Tabla 62. Datos deformaciones unitarias cuchilla

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DEFORMACIONES UNITARIAS	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9.64243e-012 Elemento: 1493	3.86684e-008 Elemento: 4329

Fuente: SOLIDWORKS cuchillal-Estudio 1-Deformaciones unitarias

Este análisis permite comprender como se deforma en algunos puntos la pieza, la imagen muestra la zona considerada crítica y la tabla indica la magnitud de esas deformaciones, son valores muy pequeños y despreciables.

Figura 55. Factor de seguridad cuchilla



Fuente: SOLIDWORKS cuchilla-Estudio Factor de seguridad

Tabla 63. Datos factor de seguridad cuchilla

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of safety	Automático.	25499 Nodo: 25353	1.57363e+008 Nodo: 25498

Fuente: SOLIDWORKS cuchilla-Estudio Factor de seguridad

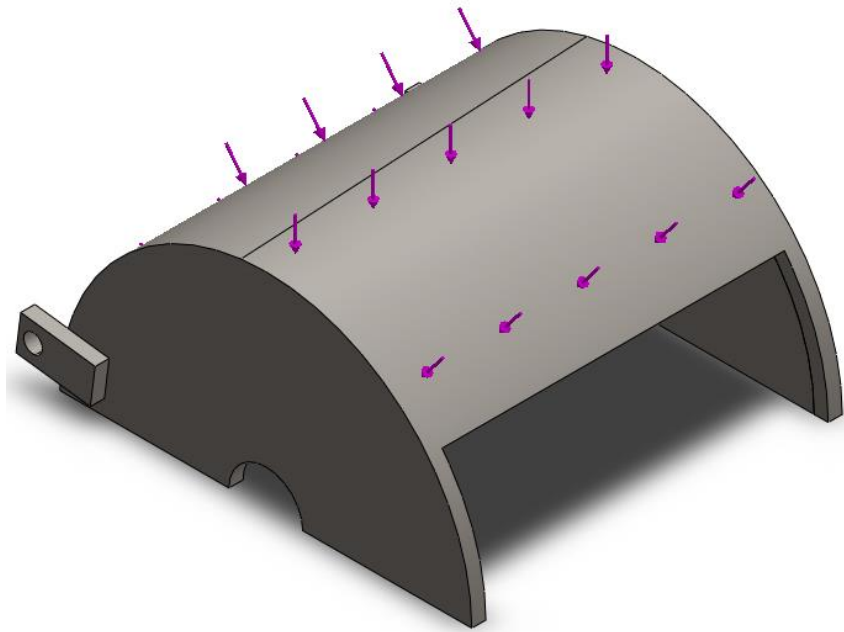
Para terminar el análisis de esta pieza, el factor de seguridad que presenta bajo las cargas estimadas de operación es bastante alto lo que indica una excelente capacidad de soportar las exigencias de la máquina.

4.5.7 Tapa Tamiz.

Este componente sella el acceso al eje de corte protegiendo al operario, soporta el peso de la tolva y el sistema de alimentación, debe ser un elemento rígido para evitar vibraciones y que pierda su posición durante el funcionamiento del equipo.

Se definen las cargas y se realiza el análisis.

Figura 56. Cargas y apoyos tapa tamiz.

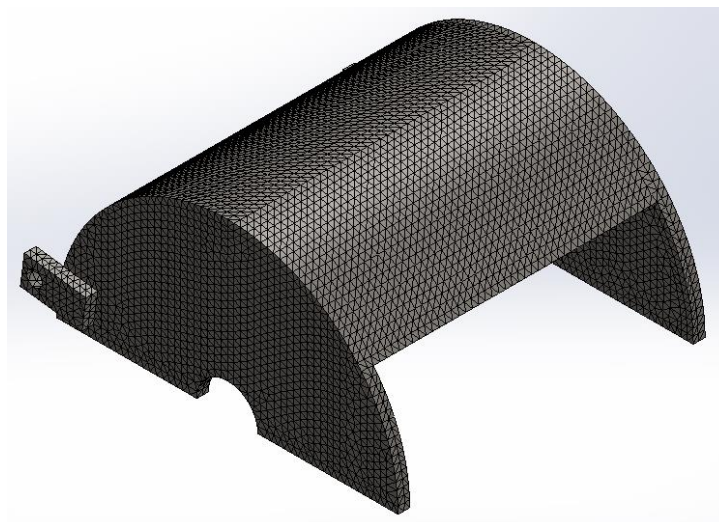


Fuente: SOLIDWORKS

Se define una carga actuando sobre la cara cilíndrica del elemento con un valor de 500N y un sistema de sujeción en los puntos de rotación del elemento, siendo estos los que permiten acceder al eje de corte si es necesario.

Se continúa realizando el mallado de la pieza.

Figura 57. Mallado tapa tamiz



Fuente: SOLIDWORKS

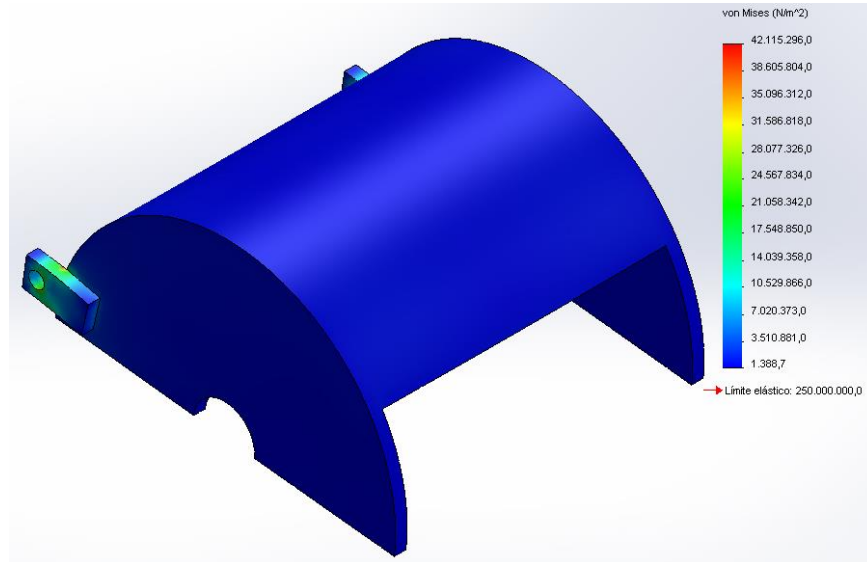
Tabla 64. Datos mallado tapa tamiz

Tipo de malla	Malla Solida
Número total de nodos	95356
Número total de elementos	56671
Tamaño de elementos	5.47945 mm
Tolerancia	0.2739 mm
Tiempo para completar la malla	00:00:25

Fuente: SOLIDWORKS

Para este elemento fue necesario realizar una malla de nodos finos por lo que el número total de nodos es mucho mayor que los elementos anteriores, con esto se logra una mayor precisión en la lectura de los análisis.

Figura 58. Simulación esfuerzo tapa tamiz



Fuente: SOLIDWORKS TAPA TAMIZ-Study-Stress

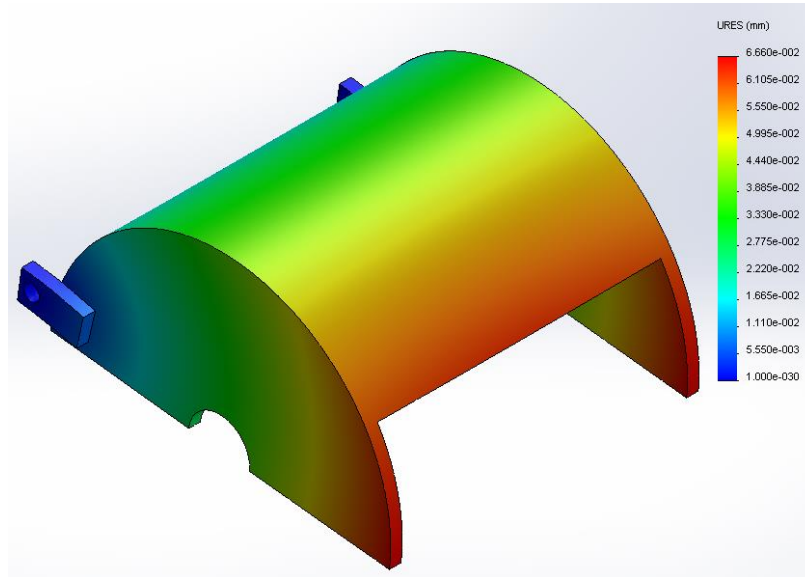
Tabla 65. Datos del esfuerzo tapa tamiz

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: tensiones de von mises	1388.7 N/m ² Nodo: 39	4.21153e+007 N/m ² Nodo: 67352

Fuente: SOLIDWORKS TAPA TAMIZ-Study-Stress

La pieza se ve sometida a esfuerzos mucho menores que su límite elástico lo que garantiza que resiste las cargas del sistema.

Figura 59. Simulación desplazamientos tapa tamiz.



Fuente: SOLIDWORKS tapa tamiz Study-Displacement

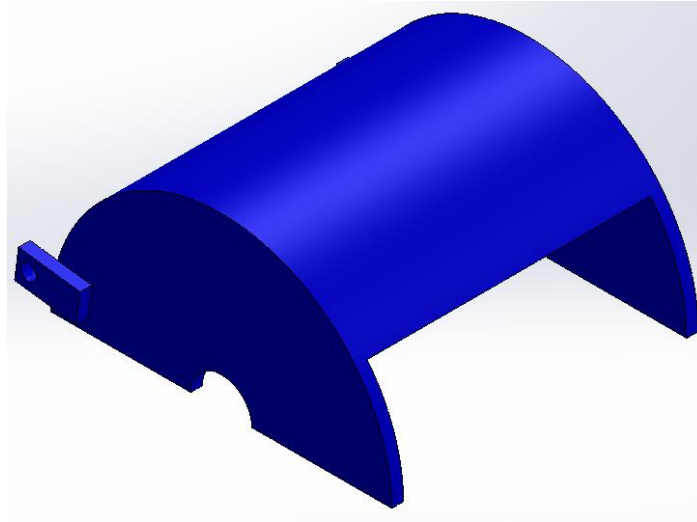
Tabla 66. Datos del desplazamiento tapa tamiz

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.0665968 mm Nodo: 221

Fuente: SOLIDWORKS tapa tamiz Study-Displacement

Se presenta un desplazamiento en la zona frontal debido a la carga que tiene la pieza, sin embargo es un valor pequeño el cual puede ser omitido y se espera que la pieza no falle.

Figura 60. Simulación factor de seguridad tapa tamiz



Fuente: SOLIDWORKS tapa tamiz Study - Factor of Safety

Tabla 67. Datos del factor de seguridad tapa tamiz

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of safety	Automático.	5.93609 Nodo: 67352	180025 Nodo: 39

Fuente: SOLIDWORKS tapa tamiz Study - Factor of Safety

La información recopilada en todos los estudios de esta pieza, muestran su capacidad de soportar las cargas impuestas por el sistema y mantener su forma sin deformarse.

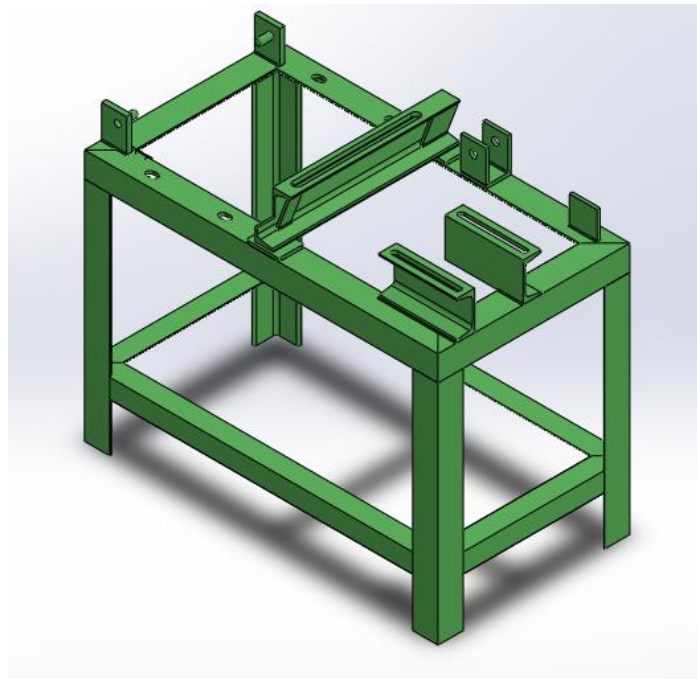
4.5.8 Estructura.

Este componente de la maquina es sin duda uno de los más importantes, es el encargado de soportar todo el sistema y darle estabilidad a la máquina para que esta funcione como se desea.

Por este motivo, para su construcción se emplea un perfil estructural angular con dimensiones 50x50x5 mm, el cual nos aporta la rigidez y fuerza suficiente para soportar todo el equipo.

Para realizar el análisis debe procederse de forma distinta a los componentes anterior mente especificados, debido a su forma y complejidad.

Figura 61. Estructura de soporte



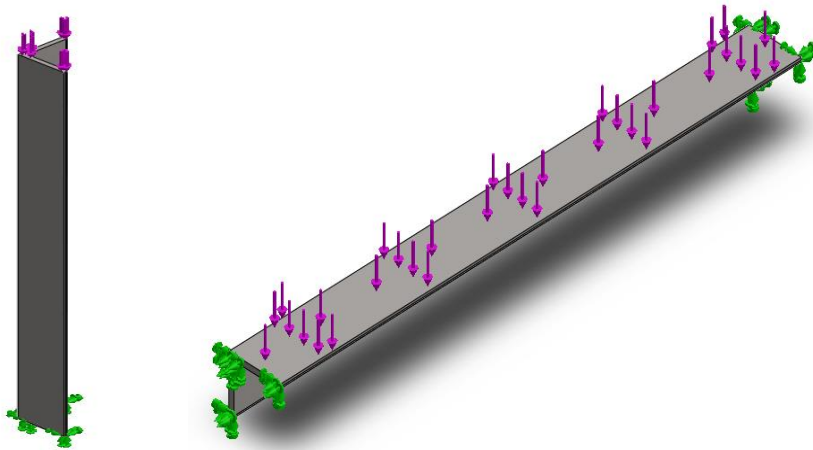
Fuente: Los autores

Por lo que se procede a tomar el perfil estructural y verificar su comportamiento cuando está actuando como viga y como columna respectivamente, para este análisis se incrementa la fuerza y se toman valores superiores a los que se

experimentarían en el montaje, garantizando así que este componente no va a falla por deformación.

Se definen las cargas para las dos configuraciones deseadas.

Figura 62. Perfil actuando como viga y como columna.

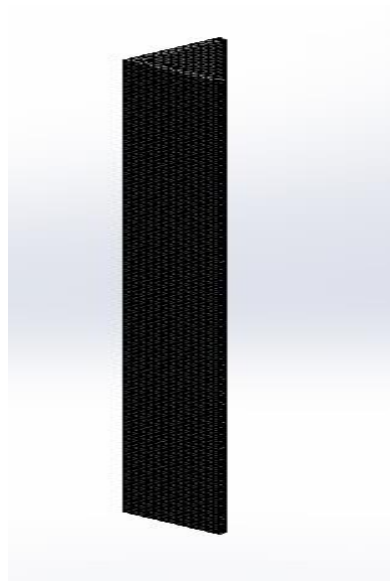


Fuente: SOLIDWORKS

Tomando en cuenta los puntos de apoyo para cada configuración y las fuerzas, para el perfil actuando como columna se toma una fuerza de 2000 N y cuando actúa como viga se toma un valor de 1000 N.

A continuación se realiza el mallado de cada una de las configuraciones anteriores y se procede a realizar el estudio de simulación, que brindará información importante para comprender el comportamiento del material utilizado

Figura 63. Mallado de perfil actuando como columna



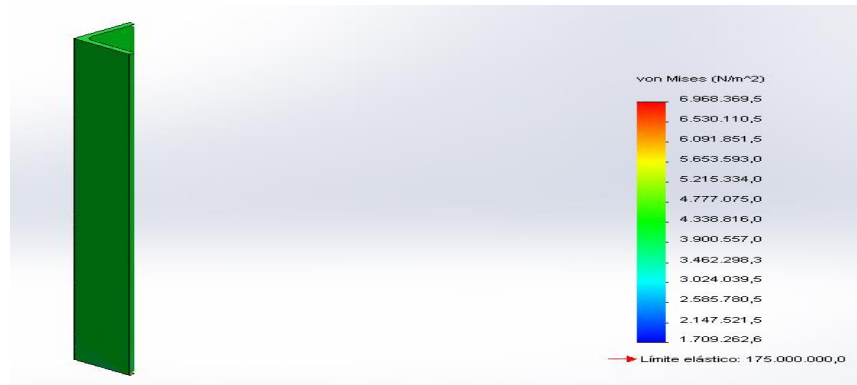
Fuente: SOLIDWOKS

Tabla 68. Datos de la malla columna

Tipo de malla	Malla Solida
Número total de nodos	60532
Número total de elementos	35502
Tiempo para completar la malla	00:00:09

Fuente: SOLIDWORKS

Figura 64. Simulación del esfuerzo miembro como columna



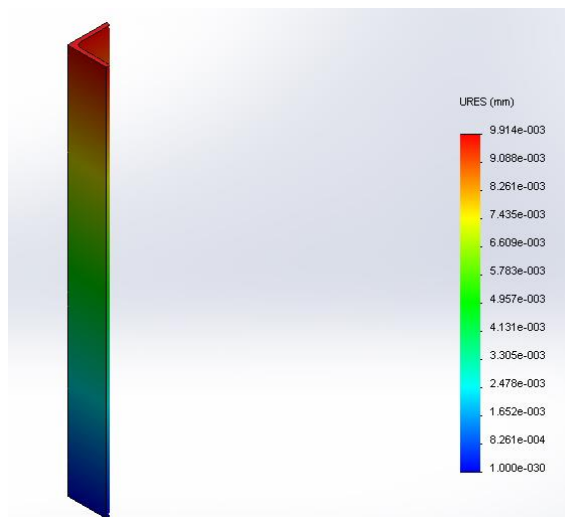
Fuente: Estructura mesa-Estudio 1-Tensiones

Tabla 69. Datos del esfuerzo, miembro como columna

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: tensiones de von mises	1.70926e+006 N/m ² Nodo: 38237	6.96837e+006 N/m ² Nodo: 1

Fuente: SOLIDWORKS Estructura mesa-Estudio 1-Tensiones

Figura 65. Desplazamientos, elemento como columna



Fuente: SOLIDWORKS Estudio 1-Desplazamientos

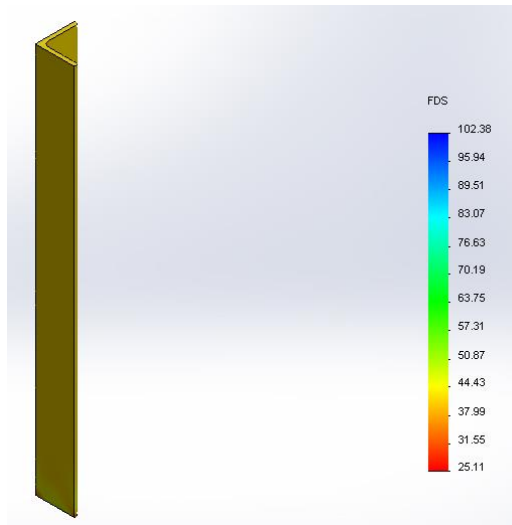
Tabla 70. Datos del desplazamiento del elemento como columna

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.00991371 mm Nodo: 2034

Fuente: Los autores

Lo que se puede apreciar es que este elemento sometido a esta carga tan alta se comporta muy bien cuando actúa como columna, eso nos indica que en la configuración que se encuentra dispuesto en la estructura de la máquina, se comportara muy bien.

Figura 66. Factor de seguridad elemento actuando como columna



Fuente: SOLIDWORKS

Tabla 71. Datos del factor de seguridad columna

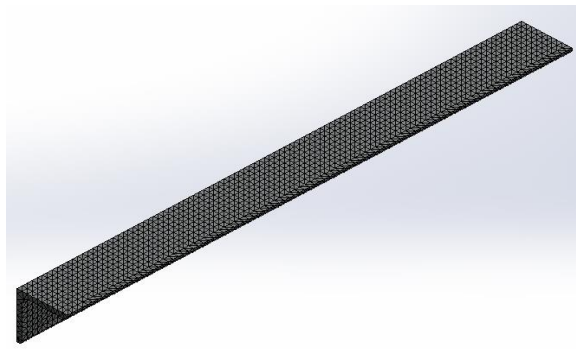
Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of safety	Automático.	25.1135 Nodo: 1	102.383 Nodo: 38237

Fuente: SOLIDWORKS -Estudio 1-Factor de seguridad

Como era de esperarse este componente comportándose como columna soporta muy bien altas cargas, no tendrá problema para la configuración de la estructura de la máquina.

El mismo procedimiento y el análisis de los resultados se hace para cuando está actuando como viga, esto considerando alguna otra configuración a la que esté sometido en la máquina.

Figura 67. Mallado del componente como viga.



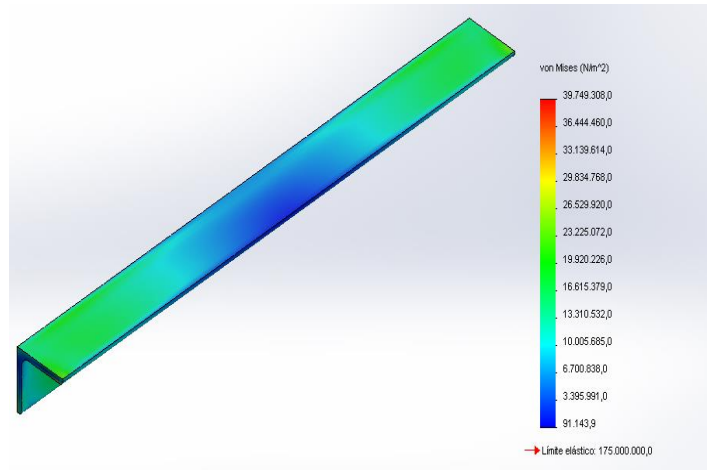
Fuente: SOLIDWORKS

Tabla 72. Datos de la malla elemento como viga.

Tipo de malla	Malla Solida
Número total de nodos	26240
Número total de elementos	13435
Tiempo para completar la malla	00:00:06

Fuente: SOLIDWORKS

Figura 68. Simulación de esfuerzo miembro como viga.



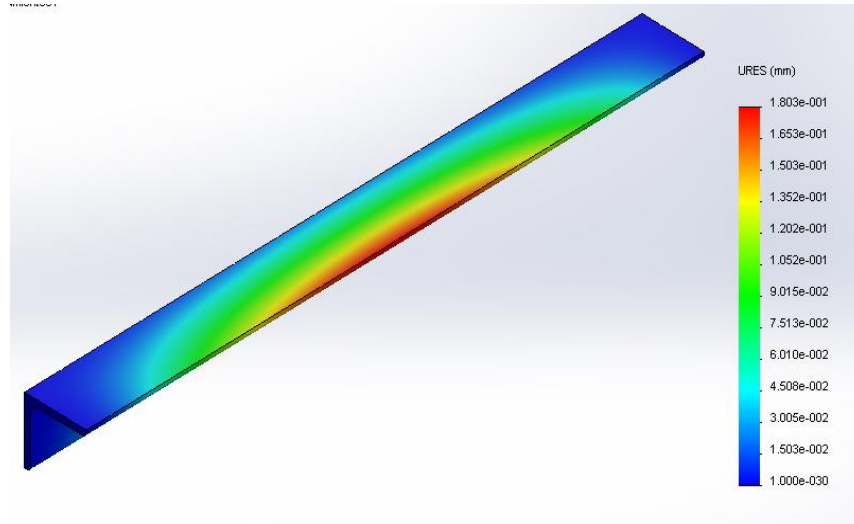
Fuente: SOLIDWORKS estudio – tensiones.

Tabla 73. Datos esfuerzo elemento como viga

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: tensiones de von mises	91143.9 N/m ² Nodo: 19790	3.97493e+007 N/m ² Nodo: 8097

Fuente: SOLIDWORKS estudio – tensiones

Figura 69. Desplazamientos componente como viga



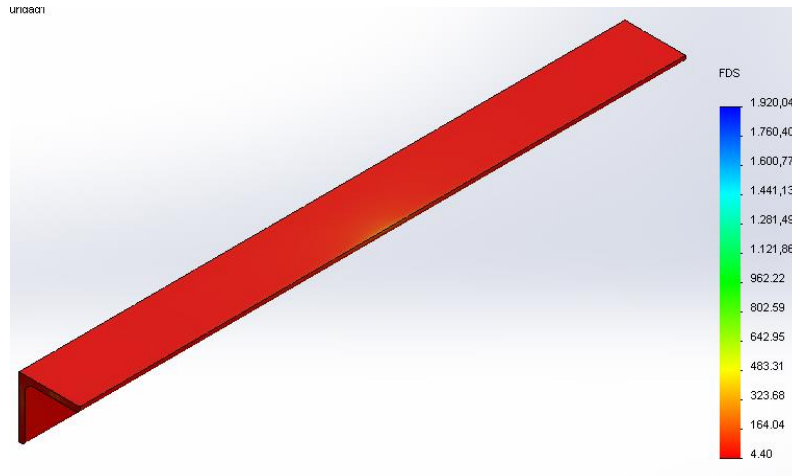
Fuente: SOLIDWORKS

Tabla 74. Datos desplazamientos para elemento como viga.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.180307 mm Nodo: 61

Fuente: SOLIDWORKS estudio - desplazamientos

Figura 70. Simulación factor de seguridad elemento como viga.



Fuente: SOLIDWORKS

Tabla 75. Datos del factor de seguridad miembro como viga.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Factor of safety	Automático.	4.40259 Nodo: 8097	1920.04 Nodo: 19790

Fuente: SOLIDWORKS estudio- factor de seguridad

Gracias a los resultados obtenidos para este componente en las dos configuraciones analizado, se entiende que es un material apropiado debido a que soporta muy bien las cargas cuando se comporta como viga o como columna, y debido a la configuración y la distribución de cargas en la estructura de la máquina, será un soporte apropiado.

5. FABRICACION Y MONTAJE

5.1 EJE PRINCIPAL.

El material usado para la construcción de este eje es un acero 1020 el cual tiene excelentes propiedades mecánicas y es apto para soldar, al realizar la fabricación primero se cortó el eje de aproximadamente 53 [cm] y de diámetro de 1 $\frac{3}{4}$ [pulgada], se procedió a darle el respectivo maquinado hasta llegar a obtener como resultado final un eje con la geometría especificada en el diseño.

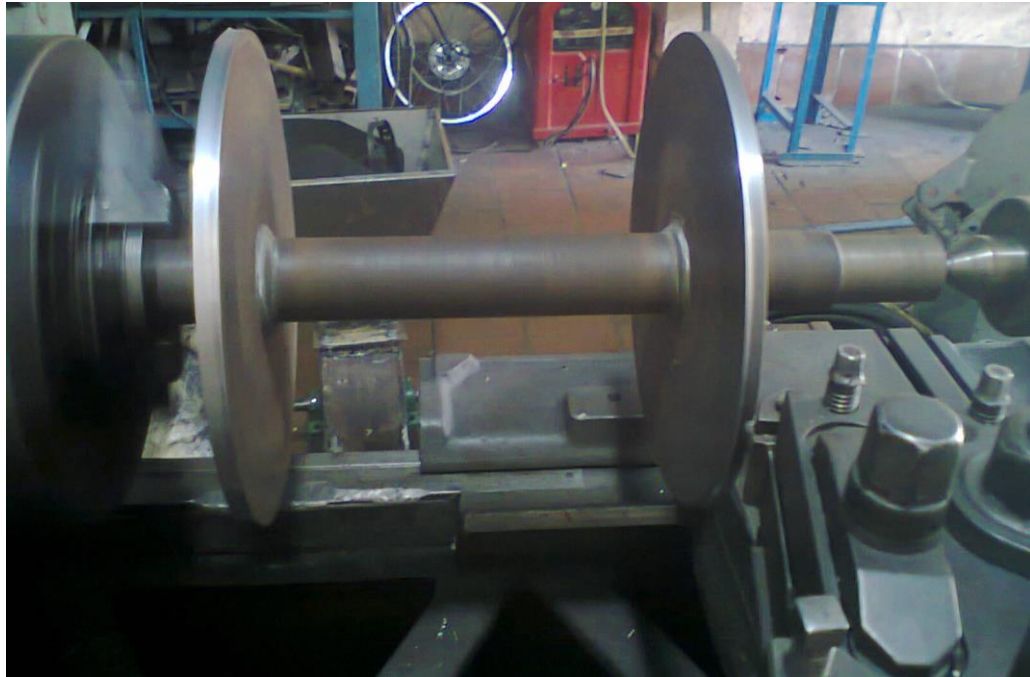
Una vez realizado el proceso de maquinado el siguiente paso fue conseguir dos ruedas de hierro calibre 3/8 [pulgada], para soldarlas a el eje, estas ruedas sirven de soporte para los porta cuchillas, una vez realizado el proceso de soldadura que se llevó a cabo con el tipo de soldadura 7018, (esta soldadura fue la recomendada por expertos ya que tiene mayor temperatura de fundición, lo cual a su vez se traduce en mayor penetración de la soldadura), a continuación se realizó una operación de cilindrado y una operación de refrentado al eje con las ruedas soldadas, esto para disminuir el riesgo de vibraciones en el eje.

Figura 71. Corte de ruedas con oxicorte.



Fuente: Los autores

Figura 72. Maquinando el eje con sus soportes para los porta cuchillas.



Fuente: Los autores

Luego de tener el eje sin ningún tipo de juego se procede a la construcción y montaje de los porta cuchillas, los cuales se fijan a las ruedas por medio de soldadura eléctrica 7018 por las características mencionadas anteriormente. Para los porta cuchillas se utilizó platina calibre $\frac{3}{4}$ [pulgada] debido a que las cuchillas se fijarían a estas piezas por medio de tornillos, consultando a expertos sugirieron que los porta cuchillas deberían tener rosca, así se facilitaría el montaje de las cuchillas debido a la reducción de pieza (tuercas y arandelas), al tener un buen espesor en el porta cuchillas se garantiza aproximadamente unos 8 hilos de rosca lo cual es superior a el número de hilos que tienen las tuercas de estos tornillos, lo que a su vez ayuda a que el agarre de la cuchilla sea muy fuerte y de óptima calidad.

Una vez obtenido los 4 porta cuchillas se realizan una serie de dibujos guías sobre las ruedas, esto con el fin de que el proceso de soldadura sea más preciso y así no tener ningún problema de desbalanceo de cargas en el eje.

Figura 73. Eje con sus ruedas y sus guías para soldar lo porta cuchillas.



Fuente: Los autores.

A las platinas que van a servir de porta cuchillas se les realiza una serie de desbastes a ambos lados para lograr obtener la inclinación descrita en el diseño del equipo, una vez realizado esto se unen los porta cuchillas a las ruedas por medio de puntos de soldadura, esto con el fin de poder corregir cualquier error de desalineación, a continuación se realiza la unión con cordones de soldadura garantizando una muy buena aproximación del diseño CAD, a el resultado final.

Figura 74. Eje principal con sus porta cuchillas.



Fuente: Los autores.

5.2 CHASIS DE LA MAQUINA

Para el chasis de la maquina se realizan primero los cortes rectos y con ángulos según lo requiera la pieza, luego de esto se procede a verificar dichos cortes y a realizar la unión de las piezas con puntos de soldadura para permitir cualquier corrección, inicialmente se construyó una mesa y luego se soldaron los soportes para darle mayor resistencia, la estructura principal del chasis fue construida con Angulo de 2pulg * ¼ [pulgada].

Figura 75. Mesa básica



Fuente: Los autores.

Figura 76. Mesa con soportes y con el eje principal.



Fuente: Los autores.

Partiendo de los planos del equipo se fue construyendo la máquina, pero debido a algunos inconvenientes presentados en la fabricación se fue realizando un trabajo mutuo de modificación y construcción; esto es debido a la falta de precisión de los trabajos de metalmecánica realizados.

Después de varios errores, trabajos de corte, desbaste, soldadura y pintura se llegó al resultado final del chasis de equipo.

Figura 77. Chasis del equipo.



Fuente: Los autores.

5.3 CRIBA

La construcción de la criba inicialmente se realizaría doblando una lámina hasta obtener la curva deseada y luego se procedería a la realización de los agujeros, pero en la búsqueda de reducir costos del equipo y a su vez facilitar el trabajo se consiguió una tubería de oleoducto la cual tenía un diámetro interno de 10 [pulgadas], la cual sería perfecta para la criba de la máquina y a su vez para la tapa posterior, la cual debería soportar el peso de la tolva y sus rodillos impulsores.

Este hallazgo redujo los costos de fabricación, ya que solamente se cortaría y se le realizarían los agujeros.

Figura 78. Corte del tubo para la criba.



Fuente: Los autores.

Después de tener la media circunferencia de la criba, se le realizó una cuadrícula para saber en qué punto se debía realizar la perforación con el taladro de árbol, esto con el fin de no realizar agujeros de una manera desordenada, y se dio inicio a la realización de 286 agujeros, para los cuales primero se realizó un centro

punteo, luego se pasó la broca de 3/16 [pulgadas] y por ultimo a de 3/8 [pulgada], el cual es un diámetro ideal para las lentejas de PET.

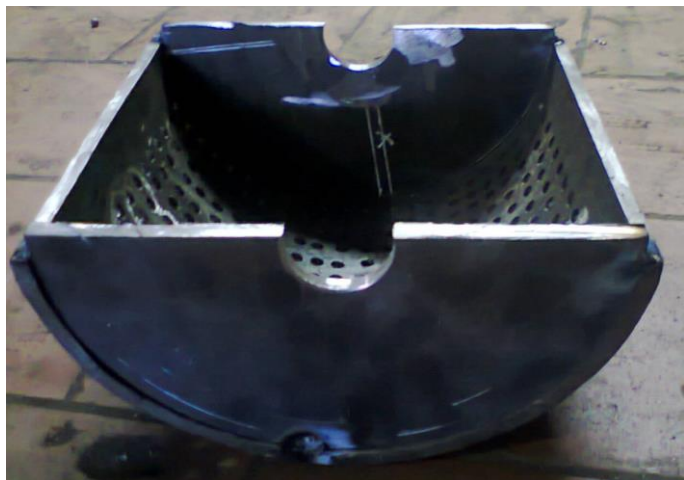
Figura 79. Parte inferior de la criba.



Fuente: Los autores.

Para la fabricación de la criba y la tapa superior, se adquirieron dos ruedas más, con un diámetro de 25 [cm], para utilizarlas de tapas laterales

Figura 80. Criba con tapas laterales.



Fuente: Los autores.

Para la ubicación de los soportes laterales de la criba se realizó el montaje de esta en el chasis para ver los posibles errores, una vez satisfechos con el resultado se soldaron los soportes de la criba, los cuales le dan el soporte a esta sobre el chasis.

Figura 81. Fijación de los soportes de la criba.



Fuente: Los autores.

Donde el resultado final es una criba la cual está apoyada en el chasis del equipo por medio de dos soportes laterales y un soporte frontal, y la criba tiene la inclinación necesaria para estar lo más cerca al eje principal posible.

Figura 82. Criba soportada en el chasis.



Fuente: Los autores.

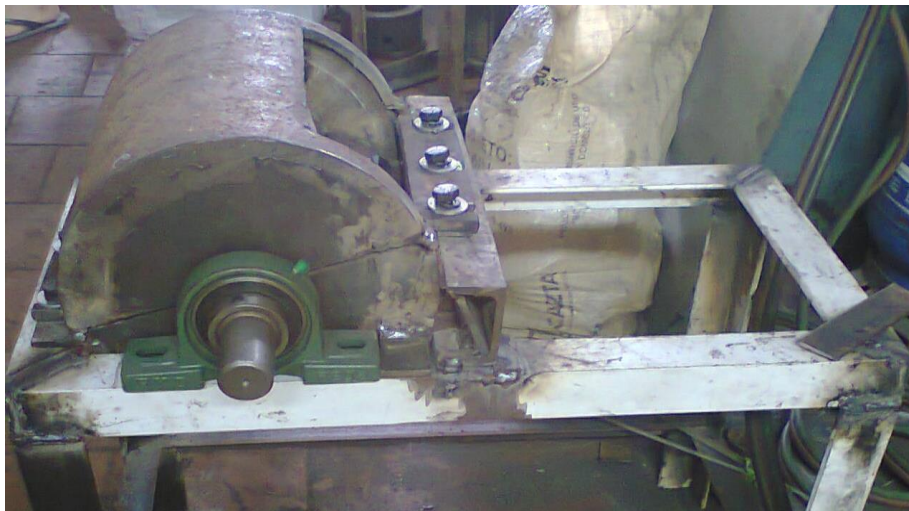
5.4 TAPA SUPERIOR

Para esta pieza se aprovechó la otra mitad del tubo y la mitad de las dos ruedas adquiridas anteriormente, esto hizo que la criba encajara con la tapa de una manera casi perfecta.

A la tapa superior se le soldaron dos platinas calibre 3/8 [pulgada] para que sirvan de pivote a la misma, esto para lograr una abertura fácil a la hora del mantenimiento de las cuchillas y así permitir un fácil desmontaje, también se le realizó un agujero por el cual ingresarían las botellas a triturar.

Adicionalmente ya que tanto la tapa superior como la criba debían ajustar muy bien se les soldó una platina de 1/2 [pulgada] de ancho y calibre 1/8 [pulgada] esto para mejorar la unión entre las dos piezas.

Figura 83. Criba con la tapa superior.



Fuente: Los autores.

Figura 84. Tapa superior con sus apoyos.



Fuente: Los autores.

5.5 TOLVA DE ALIMENTACION

La construcción de esta pieza se llevó a cabo con lamina calibre 3/16 [pulgadas] pues esta debe soportar los rodillos impulsores por medio de sus chumaceras, para la construcción de esta tolva primero se realizó la construcción de la parte que va asegurada por medio de tornillos a la tapa superior debido a que esta pieza es curva fue un poco tedioso hacer que coincidiera de la mejor manera, una vez obtenido esto se procedió a hacer la rosca en la tapa superior para fijar la tolva, no se aseguran con tuercas ya que el espesor de la tapa superior es bastante aceptable y se alcanzan a tener aproximadamente 6 líneas de rosca lo cual es superior a las de las tuercas. Otro factor es que adentro de la tapa superior no debe haber ningún tipo de obstrucción de las cuchillas pues una tuerca que chocara contra una cuchilla podría generar un accidente.

Figura 85. Base de la tolva asegurada a la tapa superior.



Fuente: Los autores

Luego para realizar el corte de la lámina para la estructura de la tolva se realizó un modelo en papel cartón para que esta se apoyara perfectamente en nuestro equipo.

Figura 86. Molde lateral de la tolva en papel cartón.



Fuente: Los autores.

Luego se procedió al corte y la unión con soldadura eléctrica, también se realizó una guía por donde se van a instalar los rodillos impulsores, también se realizaron los agujeros por donde se asegurarían las chumaceras de los rodillos.

Figura 87. Tolva de alimentación.

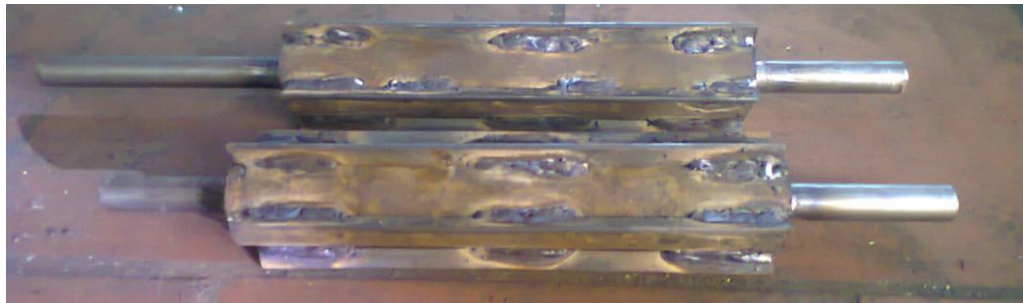


Fuente: Los autores.

5.6 RODILLOS IMPULSORES.

Para a fabricación de los rodillos impulsores se compró eje de $\frac{3}{4}$ [pulgada] y se cortó según las medidas de los planos, luego se le soldaron unas arandelas a los ejes para en ellas soldar un tubo de 2 [pulgadas] de diámetro en el cual se le soldarían las venas, las cuales eran cinco tiras de platina de $\frac{1}{2}$ [pulgada] de ancho, y calibre de $\frac{1}{8}$ [pulgada], las cuales son las que empujaran las botellas hacia el centro de la cámara de corte.

Figura 88. Rodillos impulsores.



Fuente: Los autores.

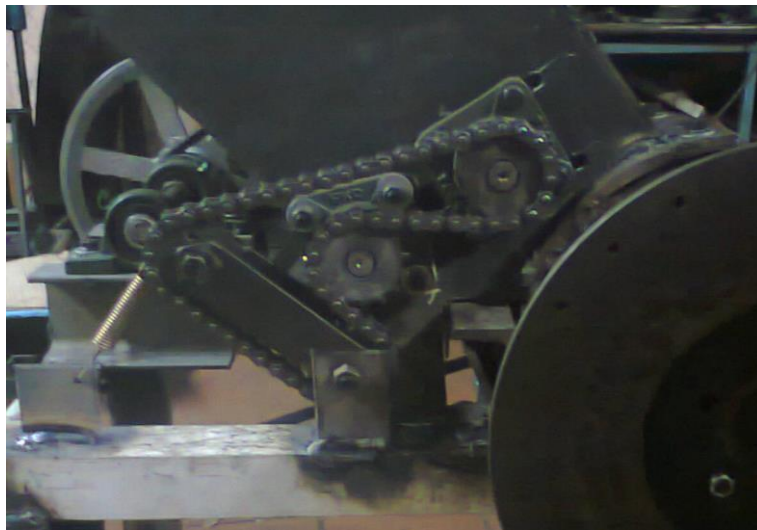
Figura 89. Montaje del rodillo impulsor.



Fuente: Los autores.

El rodillo impulsor le transmite el movimiento al rodillo impulsado por medio de una cadena y unos piñones al otro lado del eje, para conseguir el movimiento en la misma dirección se utilizan dos piñones más montados sobre una platina, la cual está articulada en uno de los piñones y al mismo tiempo con el uso de un resorte se logra tensionar la cadena para un óptimo funcionamiento.

Figura 90. Transmisión del movimiento entre los rodillos con tensor.



Fuente: Los autores.

5.7 SOPORTE UNIVERSAL PARA EL MOTOR.

Ya que en la industria se consiguen diferentes fabricantes de motores y a su vez cada fabricante maneja diferentes bases para los motores, se realizó la construcción de un soporte universal para que se le pueda instalar cualquier marca y tipo de motor siempre y cuando sea un motor de baja velocidad (175 rpm) aproximadamente, e igual a 3 HP o mayor, estos soportes se construyeron con platina de $\frac{1}{2}$ [pulgada] calibre $\frac{1}{8}$ [pulgada].

Figura 91. Soporte universal para el motor.



Fuente: Los autores.

5.8 INSTALACION DE POLEAS Y COMPONENTES AUXILIARES.

Por último se realizó el montaje del equipo teniendo en cuenta el siguiente orden.

- Montaje de la criba en el chasis de la máquina.
- Instalación del eje principal con sus respectivas chumaceras y se aseguran estas al chasis.
- Alineación y montaje de las cuchillas fijas y las cuchillas móviles, se deben asegurar muy bien, pues este elemento es el que está en trabajo permanente y si no se asegura muy bien se pueden soltar ocasionándole un daño al equipo.
- Ubicación de la tapa superior, fijación con tornillos y con doble tuerca.

- Instalación de la etapa intermedia dejando montadas las correas en esta etapa.
- Postura y aseguramiento de la tolva de alimentación por medio de los 5 tornillos a la tapa superior.
- Montura de los rodillos impulsores y ajuste con el espacio necesario para que ingresen las botellas, por medio de las correderas que hay para uno de estos rodillos.
- Montaje de la cadena que transmite el movimiento entre los rodillos, con su respectivo resorte para tensionarla.
- Se tensionan todas las correas y se asegura que todo esté bien montado y ajustado.
- Se hace el montaje del motor con su respectiva polea y se tensionan sus correas.
- Se pone en marcha el equipo y se le empieza a introducir material.

Figura 92. Equipo vista frontal.



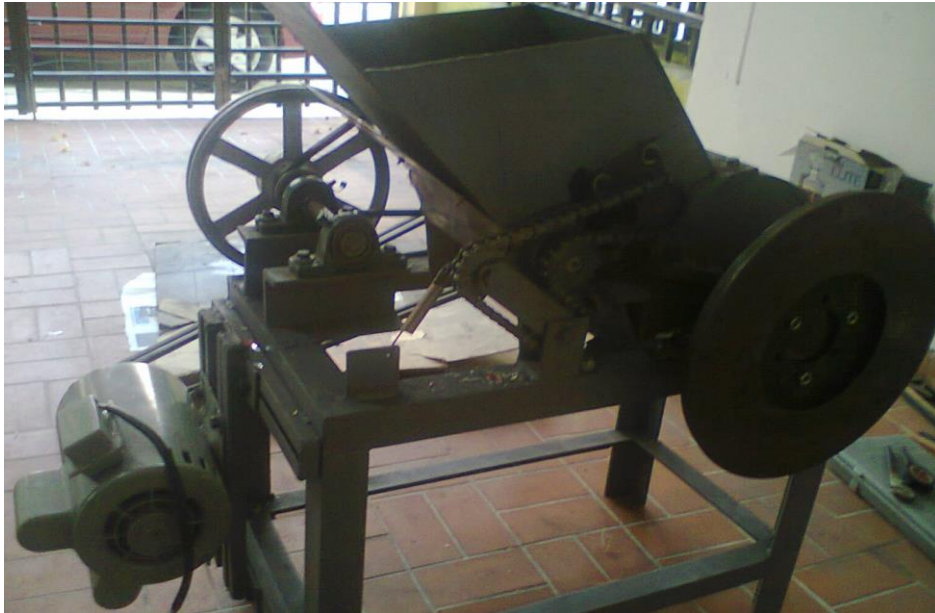
Fuente: Los autores.

Figura 93. Equipo vista isométrica.



Fuente: Los autores.

Figura 94. Equipo vista posterior



Fuente: Los autores.

6. COSTOS, MONTAJE, PRUEBAS Y MANTENIMIENTO.

6.1 COSTOS DEL EQUIPO.

A continuación se presentan los costos que se generaron en la construcción del equipo. El equipo se construyó en un taller de metalmecánica en la ciudad de Ocaña Norte de Santander ya que se contaba con la asesoría de una persona que había construido algunas trituradoras de diferentes usos al reciclaje de botellas PET, la cual apporto muchas ideas y su experiencia en la construcción del equipo.

Los costos presentados a continuación se subdividen en:

- Costo de las piezas que transmiten y ayudan en la transmisión del movimiento.
- Costo de las piezas que conforman la cámara de corte y realizan el corte.
- Costo de las piezas que conforman la tolva de alimentación.
- Costo del chasis de la máquina.
- Costo total de la fabricación del equipo.

Tabla 76. Costos chasis.

COSTOS DEL CHASIS DE LA MAQUINA			
COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
Angulo 2 [pulgadas] calibre 1/4 [pulgada]	\$ 65.000.00	1	\$ 65000.0.00
Soldadura 7018 [kg]	\$ 7.000.00	4	\$ 28000.0.00
Disco de corte tronadora	\$ 12.000.00	2	\$ 24000.0.00
Disco de corte pulidora	\$ 7.000.00	2	\$ 14000.0.00
Disco de desbaste pulidora	\$ 7.000.00	2	\$ 14000.0.00
Miembro estructural en C por 1[m]	\$ 35.000.00	1	\$ 35000.0.00
Angulo para el soporte del motor	\$ 15.000.00	1	\$ 15000.0.00
Platina diferentes medidas	\$ 20.000.00	1	\$ 20000.0.00
Tornillos	\$ 10.000.00	1	\$ 10.000.00
TOTAL	\$		225.000.00

Fuente: Los autores.

Tabla 77. Costos sistema de corte.

COSTOS DE LAS PIEZAS QUE CONFORMAN LA CAMARA DE CORTE Y REALIZAN EL CORTE			
COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
Ruedas calibre 5/8 diámetro 25 [cm]	\$ 20.000.00	4	\$ 80.000.00
Soldadura 7018 [kg]	\$ 7.000.00	4	\$ 28.000.00
Platina calibre 3/4 por 1[m]	\$ 27.000.00	1	\$ 27.000.00
Platina diferentes calibres	\$ 45.000.00	1	\$ 45.000.00
Tornillos	\$ 25.000.00	1	\$ 25.000.00
Material cuchillas	\$ 40.000.00	1	\$ 40.000.00
Tratamiento térmico cuchillas	\$ 50.000.00	1	\$ 50.000.00
Afilas cuchillas	\$ 20.000.00	1	\$ 20.000.00
Tubo diámetro 10 [pulgadas]	\$ 45.000.00	1	\$ 45.000.00
Oxicorte	\$ 40.000.00	1	\$ 40.000.00
TOTAL	\$		400.000.00

Fuente: Los autores.

Tabla 78. Costo transmisión de movimiento.

COSTOS DE LAS PIEZAS QUE TRANSMITEN EL MOVIMIENTO			
COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
Motor 3 HP de baja	\$ 550.000.00	1	\$ 550.000.00
Chumaceras pedestal 1 3/4 [pulgadas]	\$ 40.000.00	2	\$ 80.000.00
Piñones	\$ 5.000.00	4	\$ 20.000.00
Chumaceras flanche 3/4 [pulgada]	\$ 13.000.00	4	\$ 52.000.00
Chumaceras pedestal 3/4 [pulgadas]	\$ 13.000.00	2	\$ 26.000.00
Eje 3/4 [pulgada] por 1 [m]	\$ 20.000.00	1	\$ 20.000.00
Volante de inercia	\$ 55.000.00	1	\$ 55.000.00
Tornillos	\$ 12.000.00	1	\$ 12.000.00
Polea 2 1/2 [pulgadas]	\$ 10.000.00	1	\$ 10.000.00
Polea 3 [pulgadas]	\$ 13.000.00	1	\$ 13.000.00
Maquinado polea 3 [pulgadas]	\$ 12.000.00	1	\$ 12.000.00
Polea 10 [pulgadas]	\$ 23.000.00	2	\$ 46.000.00
Polea dos canales tipo A 7 [pulgadas]	\$ 45.000.00	1	\$ 45.000.00
Maquinado polea dos canales tipo A	\$ 12.000.00	1	\$ 12.000.00
Polea dos canales tipo A 3 1/2 [pulgadas]	\$ 20.000.00	1	\$ 20.000.00
Prisioneros para las poleas	\$ 3.000.00	1	\$ 3.000.00
Rodamientos	\$ 4.000.00	4	\$ 16.000.00
Correas	\$ 13.000.00	4	\$ 52.000.00
Resorte	\$ 3.000.00	1	\$ 3.000.00
Cadena	\$ 15.000.00	1	\$ 15.000.00
Arreglo de poleas	\$ 30.000.00	1	\$ 30.000.00
TOTAL	\$		1.092.000.00

Fuente: Los autores

Tabla 79. Costos sistema de alimentación.

COSTOS DE LAS PIEZAS QUE CONFORMAN LA TOLVA DE ALIMENTACION			
COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
Lamina calibre 3/16 [pulgada] 1[m]*0.4[m]	\$	52.000.00	1 \$ 52.000.00
Tubo y arandelas para los rodillos	\$	10.000.00	1 \$ 10.000.00
Tornillos	\$	11.000.00	1 \$ 11.000.00
Soldadura 7018 [kg]	\$	7.000.00	1 \$ 7.000.00
Disco de corte pulidora	\$	7.000.00	2 \$ 14.000.00
Disco de desbaste pulidora	\$	7.000.00	2 \$ 14.000.00
Puntas para mototool	\$	6.000.00	2 \$ 12.000.00
TOTAL	\$		120.000.00

Fuente: Los autores.

Tabla 80. Costos totales de fabricación.

TOTAL COSTOS FABRICACION DEL EQUIPO	
REFERENCIA	TOTAL
Transmisión de movimiento	\$ 1.092.000.00
Sistema de corte	\$ 400.000.00
Tolva de alimentación	\$ 120.000.00
Chasis de la maquina	\$ 225.000.00
Mano de obra	\$ 1.300.000.00
Transporte de la maquina	\$ 150.000.00
Pintura y detalles estéticos	\$ 150.000.00
Puesta a punto	\$ 200.000.00
Papelería	\$ 100.000.00
Transporte	\$ 200.000.00
TOTAL	\$ 3.937.000.00

Fuente: Los autores.

6.2 MONTAJE.

6.2.1 Montaje del motor y alineación de correas.

Se realizó el montaje del motor en el soporte universal, después se procedió a la instalación y tensión de todas las correas del equipo, primero se tensionaron las 2 correas que van desde el motor hasta el eje de corte, luego la que va del eje de corte a la parte intermedia y por último la correa de la parte intermedia hacia uno de los rodillos impulsores, esta alineación se realiza con un elemento largo el cual se debe tener seguridad de su rectitud, este elemento se pone en una polea el cual debe tocar a ambos lados de la misma y con esta guía se alinea la otra. También se realizó el montaje de la cadena, la cual transmite el movimiento del rodillo impulsor al otro rodillo, y después se procedió al montaje del resorte el cual hace la función de tensor.

Figura 95. Alineación de la polea del motor.



Fuente: Los autores.

Se presenta a continuación la maquina lista para operar, mostrando su sistema de trasmisión por poleas y permitiendo observar su imponente y buen diseño.

Figura 96. Equipo listo para iniciar operación.



Fuente: Los autores.

6.2.2 Montaje de cadena.

Para el montaje de la cadena se procede a quitar el eslabón que esta trae para poder separarla y así hacer el recorrido de la instalación final de esta el cual se muestra en la figura 87.

Figura 97. Recorrido de la cadena.



Fuente: Los autores.

Por último se procede a la unión de la cadena por medio de su eslabón y se instala el tensor el cual va a permitir el movimiento de la cadena sin golpearse con nada que altere su funcionamiento normal. Como se aprecia en la figura 88.

Figura 98. Cadena con su tensor.



Fuente: Los autores.

6.2.3 Procedimiento para montar y afilar las cuchillas.

Las cuchillas pueden ser afiladas una vez se observe que el equipo ha perdido eficiencia, esto se vería reflejado en una disminución considerable en el flujo del material que sale por la criba el cual es aproximadamente de 60 gr/min con un flujo continuo de botellas ingresadas en la tolva. Para realizar el desmonte se procede a soltar los tornillos de las chumaceras de la parte intermedia y así mismo se liberan las correas, también se debe soltar el tensor de la cadena y desengancharla, esto con el fin de poder levantar todo el sistema de los rodillos impulsores con su tolva y la tapa superior de la cámara de corte, dando así un acceso fácil a las cuchillas las cuales cada una de ellas está ajustada a él porta cuchillas por medio de tres tornillos con sus respectivas arandelas y guasas de presión.

Figura 99. Retiro de las cuchillas.



Fuente: Los autores.

Una vez retiradas las cuchillas se procede al proceso de afilado el cual se recomienda mandarlo a hacer en un sitio especializado para este fin. En la ciudad de Bucaramanga se encuentran varias empresas que realizan este tipo de trabajos.

Teniendo afiladas las cuchillas se procede al montaje la cual es una parte muy importante para el buen funcionamiento del equipo. Los pasos en su respectivo orden son los siguientes:

- Fijar las cuchillas fijas sin ajustar tanto los tornillos.
- Montar una cuchilla móvil sin ajustar tanto los tornillos.
- Hacer girar el sistema de corte lo cual permite ver que tanto espacio hay entre las cuchillas y ajustarlo lo que más se pueda dándole un perfecto uso a las correderas que todas las cuchillas tienen.
- Asegurar las cuchillas fijas y montar las otras móviles cerciorándose de que el espacio entra las cuchillas fijas y móviles sea el menor posible.

Figura 100. Ajuste de las cuchillas.



Fuente: Los autores.

Listo el montaje se procede a la tensión de las correas y aseguramiento de las chumaceras de la parte intermedia del equipo.

Por último se monta la cadena y se instala el tensor, también se verifica que el giro del porta cuchillas manualmente no tenga ningún bloqueo ni sonido muy fuerte para así ponerla en marcha.

6.3 PRUEBAS

Teniendo el equipo listo, se encendió el motor monofásico de 3 HP a 110V lo cual hizo notar un problema, el motor empieza a mover todo el sistema pero después de 2 segundos aproximadamente se detiene, realizando varias consultas a expertos de motores eléctricos y tomando varios datos se llegó a la conclusión de que el motor no debe estar conectado a 110 V sino a 220 V con este cambio se reduce en un 50% el amperaje que consume el motor y esto haría que el sistema de seguridad con el que viene este motor no se active, permitiendo así un buen funcionamiento, pero sería todavía mejor el uso de un motor trifásico el cual reduce aún más el consumo de los amperios y tiene un mejor arranque, es por esto que la mayoría de equipos de la industria funcionan con motores trifásicos.

Debido a que en el lugar donde se harían las pruebas no hay conexión trifásica se instaló el motor monofásico a 110V y adicionando un impulso a todo el sistema en el arranque del motor para así evitar la activación del térmico con el que viene el motor de fábrica, este es un dispositivo que evita que el motor se quemé.

Una vez solucionado el arranque de manera provisional se notó un excelente comportamiento del equipo, el cual realiza el proceso de corte sin tener contratiempos, se nota la solidez y robustez del equipo ya que no tiene vibraciones excesivas cumpliendo así uno de los objetivos en el diseño del equipo.

Se realizaron cortes creando dos grupos de botellas, en el primer grupo se encontraban las botellas pequeñas no mayores de 600 ml de capacidad, el otro grupo eran las mayores de 600 ml hasta un máximo de 3 litros.

El primer paso antes de introducir las botellas al equipo es quitarles cualquier tipo de contaminante como pitillos, líquidos en el interior, servilletas y demás objetos para así garantizar que la botella este vacía y si viene con tapa esta debe ser almacenada pues actualmente en Bucaramanga existen empresas que están reciclando este tipo de materiales ya que no son PET.

Figura 101. Botellas vacías y sin tapa.



Fuente: Los autores.

Ahora se debe quitar el aro de seguridad de las tapas, esto se hace ya que es otro material diferente del PET, este material puede ser polietileno, polipropileno, pvc. También por su geometría es bueno retirarlo ya que al ser una tira plástica puede salir con bastante facilidad por la criba mezclándose de esta manera con el producto final.

Figura 102. Botellas listas para triturar.



Fuente: Los autores.

Teniendo listas las botellas se ingresaron al equipo dando como resultado las escamas tipo PET.

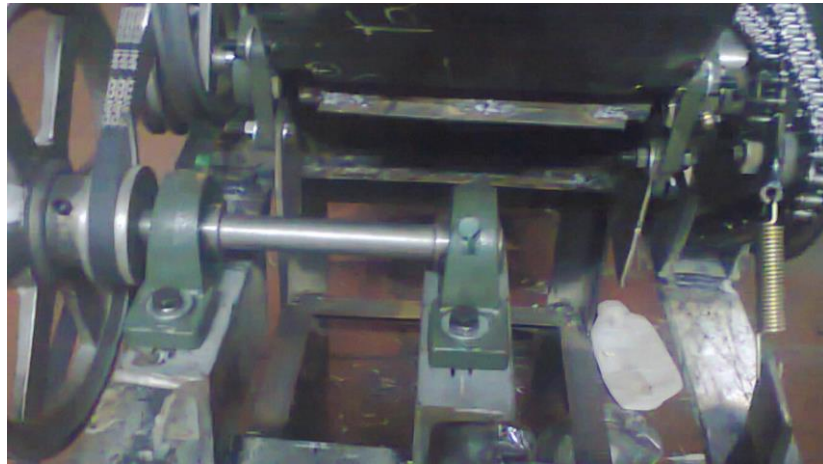
Figura 103. Escamas tipo PET.



Fuente: Los autores.

Debido a la abertura que se necesita en la tolva de alimentación para el montaje de los rodillos se observó que una cantidad del material con cortes parciales se salía por esta abertura, lo cual obligo a el diseño de una tapa fabricada en lámina, a la cual se le realizaron algunos dobleces para que se amolde de la mejor manera posible.

Figura 104. Espacio que generaba perdida de material



Fuente: Los autores.

Figura 105. Mejora para evitar perdida de material.



Fuente: Los autores

Una vez realizada e instalada esta pieza se pone en marcha observando así que ya el material triturado solamente sale por la criba.

Para el segundo grupo de botellas se realizaron los mismos pasos mencionados anteriormente.

Figura 106. Grupo de botellas hasta 3 litros.



Fuente: Los autores.

Dando como resultado un excelente comportamiento en el corte pero se observó una dificultad en el ingreso de las botellas pues al estar estas aplastadas en su mayoría los rodillos impulsores no las podían introducir de fácil manera a la cámara de corte lo cual hacía necesario un impulso con las otras botellas para así lograr que ingresaran a su proceso de corte.

Figura 107. Escamas tipo PET.



Fuente: Los autores.

El equipo realiza el corte de las botellas hasta llegar a el diámetro requerido para que puedan salir por la criba, la gran diferencia entre los grupos es el ingreso pues las botellas pequeñas entran muy fácilmente impulsadas por los rodillos, mientras que las grandes si están comprimidas hay que realizar una pequeña fuerza para que ingresen.

Con el equipo ya funcionando y con una alimentación continua de botellas a la tolva de alimentación se alcanzó un flujo de salida de aproximadamente 60 gr/min, esto quiere decir es 28.8 Kg en 8 Horas de trabajo.

La diferencia de esta máquina con las que se encuentran en el mercado son los rodillos impulsores pues ninguna los trae. La implementación de estos ayuda a que el material no este tanto tiempo en la cámara de corte pues la mayoría de cortes se realizan en el ingreso de la misma, pero a su vez estos rodillos son los que limitan la cantidad de material que ingresa en la cámara dando así un volumen de escamas PET inferior al que se pensó en el diseño.

El uso del volante de inercia en este equipo resulto ser muy útil pues disminuye aproximadamente en 10 amperios el consumo del motor cuando está en funcionamiento alargando así la vida útil del motor.

6.4 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

El mantenimiento de este equipo consiste en aproximadamente cada 15 días revisar todas las uniones roscadas que tenga a la vista, como por ejemplo los tornillos que aseguran las chumaceras, los tornillos que soportan el motor, si estos llegan a estar demasiado sueltos es conveniente destapar la cámara de corte realizando el procedimiento de abertura de esta y ajustando los tonillos de las cuchillas tanto las fijas como las móviles.

Cada 8 días aproximadamente debe realizarse la lubricación de las chumaceras esto se realiza con una engrasadora y aplicando directamente sobre un pin instalado en cada chumacera dispuesto para este fin. También se recomienda verificar la tensión de las correas ya que esta no puede ser ni excesiva ni muy suelta ya que ocasionaría problemas en el desempeño del equipo.

A el equipo no se deben ingresar ningún tipo de material diferente de las botellas tipo PET, ya que si se llegara a introducir algún metal, afectaría directamente la vida útil de las cuchillas pues se generarían irregularidades en el filo de la misma, reduciendo así la eficiencia del equipo lo cual obligaría de inmediato a realizar el paso para sacarles filo a las cuchillas, esto si no se ocasionaron daños en la parte eléctrica de la maquina es decir una sobrecarga del motor.

La máquina es bien robusta pensando en que no tenga ningún tipo de desgaste que afecte su funcionamiento, también se pintó con tres capas de anticorrosivo para así evitar un deterioro cercano. Ya que es un prototipo de maquina se recomienda bastante observación para detectar cualquier falla en el equipo en sus primeros meses de funcionamiento.

Tabla 81. Programa de mantenimiento para el equipo

Programa de Mantenimiento Preventivo Equipo: Trituradora de Botellas PET			
Componente	Operación	Frecuencia	Responsable
Uniones roscadas	Verificar estado y ajuste	2 semanas	Operario
Lubricación	Lubricar elementos móviles	semanalmente	Operario
Correas	Verificar estado	semanalmente	Operario
Cuchillas	Afilar	6 meses	Operario
Estructura	Verificar estado	mensual	Operario
Sistema eléctrico	Verificar niveles y consumo	6 meses	Técnico

Fuente: Los autores.

Para garantizar una buena operación de la maquina se recomienda realizar las revisiones especificadas anteriormente, con el fin de prevenir daños sustanciales en la operación del equipo y en sus componentes.

Siguiendo estas instrucciones se garantiza un equipo con óptimo funcionamiento y buena calidad del producto procesado.

7. CONCLUSIONES.

- ✚ Se diseñó y construyó un prototipo de máquina trituradora de botellas plásticas tipo PET, la cual tritura aproximadamente 60 gr/min y es capaz de procesar las diferentes presentaciones comerciales de estos envases, con excelente comportamiento en operación. Su diseño robusto y fuerte es capaz de soportar vibraciones productos de extensas jornadas de trabajo, la altura de la máquina y su diseño compacto se acopla a lo esperado por un posible cliente y a los requerimientos de un trabajador promedio, gracias a la utilización de componentes sencillos y de buena comercialización se garantiza una rápida y fácil reposición en caso de presentar avería o daño.
- ✚ Se presenta un diseño innovador al adicionar un sistema impulsor del material a procesar, encargados de dirigir el material hacia la cámara de molienda a una velocidad proporcional a la de este elemento, mejorando la calidad del corte y la operación del equipo. La cantidad de material procesado es proporcional a la capacidad de alimentación constante, una alimentación intermitente produce desgaste en el equipo y tiempos muertos de operación.
- ✚ Para el diseño de componentes se siguieron teorías de falla de materiales como la teoría de Von Mises, justificadas por medio de un análisis de simulación en software CAD-CAE, los resultados obtenidos permiten comprender el comportamiento de las piezas que conforman el diseño de la maquina bajo cargas del sistema aportando una valiosa información de su comportamiento y el esfuerzo que soportan.
- ✚ Se entrega a la comunidad un equipo que permitirá la creación de una línea de recuperación y reutilización de este material, siendo el proceso que realiza esta máquina el primer paso para lograrlo, con un significativo aporte ambiental y económico para la sociedad.

- ✚ La realización de este proyecto permitió la aplicación integral de los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria dando como resultado un diseño agradable y una operación exitosa, que sumados a su bajo costo de fabricación y al beneficio ambiental que se puede lograr hacen de esta máquina una atractiva inversión.
- ✚ La recopilación de información y el resultado obtenido es el fruto del trabajo en equipo, encabezado por el director del proyecto y los estudiantes que lo realizaron.

BIBLIOGRAFIA.

- ✚ ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA
<<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/colombia/colombia6.html>>
- ✚ BEER, Ferdinand et all. Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica. 7 ed. México: McGraw Hill, 2004. p. 1026-1073.
- ✚ COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. Propiedades mecánicas de los materiales. Disponible <www.cga.com.co>.
- ✚ FALCONI FLORES, Mauricio y TIAGUARO REA, Robinson, Molino triturador de botellas desechables. Quito, 2009. 210 p. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Universidad Tecnológica de América. Facultad de ciencias de la ingeniería. Programa de Ingeniería Mecánica.
- ✚ GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias.3 ed. México: Prentice hall, 1998. p. 928-935
- ✚ GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS URBANOS
<<http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina2.htm>>
- ✚ GOMEZ GONZALEZ, Sergio. SOLIDWORKS. México D.F: Alfaomega grupo editor, S.A. 2008. Cap.4-5-8-10
- ✚ GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw Hill, 2007. p. 542-794.
- ✚ LUNA PUENTE, Rafael, MORENO VILLANUEVA, Emanuel, LEDESMA JAIME, Reynaldo. Diseño de maquina recicladora de PET. En: Congreso Nacional de Tecnología Industrial. Guanajuato, 2009. 9 p. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato.
- ✚ MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson, 2006. P. 530 – 564.
- ✚ MYSZKA, David H. Máquinas y mecanismos. 4 ed. México: Pearson, 2012. p. 302-313.
- ✚ NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: Prentice hall, 1999. p. 373-459

✚ PET Y SOLO PET, EMPRESA COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS A BASE DE PET. <<http://www.petysolopet.com/>>

✚ PROYECTO DE RECICLAJE DEL PET EN LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA. <http://www.esiapi.edu.mx/recicla_pet.html>

✚ TODO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE CLASIFICACIÓN Y PROCESOS DE RECICLAJE DE RESIDUOS SOLIDOS
<<http://todosobreelmedioambiente.jimdo.com/residuos-s%C3%B3lidos/>>

ANEXOS

Anexo A. Tablas para selección de correas

TABLE 5 — SERVICE FACTORS								
THE CORRECT SERVICE FACTOR IS DETERMINED BY: 1. The extent and frequency of peak loads. 2. The number of operating hours per year, broken down into average hours per day of continuous service. 3. The proper service category (intermittent, normal or continuous). Select the one that most closely approximates your application conditions.				INTERMITTENT SERVICE — SERVICE FACTOR 1.0 TO 1.5 a Light Duty — Not more than 6 hours per day. b Never exceeding rated load. NORMAL SERVICE — SERVICE FACTOR 1.1 TO 1.6 a Daily service 6 to 16 hours per day. b Where occasional starting or peak load does not exceed 200% of the full load. CONTINUOUS SERVICE — SERVICE FACTOR 1.2 TO 1.8 a Where starting or peak load is in excess of 200% of the full load or where starting or peak loads and overloads occur frequently. b Continuous service 16 to 24 hours per day.				
TYPICAL SERVICE FACTORS								
DRIVEN MACHINE TYPES			DRIVER TYPES					
Driven machine types noted below are representative samples only. Select a category most closely approximating your application from those listed below. IF IDLERS ARE USED, ADD THE FOLLOWING TO THE SERVICE FACTOR. Idler on slack side (inside) None Idler on slack side (outside) 0.1 Idler on tight side (inside) 0.1 Idler on tight side (outside) 0.2			ELECTRIC MOTORS: AC Normal Torque Squirrel Cage and Synchronous AC Split Phase DC Shunt Wound Internal Combustion Engines			ELECTRIC MOTORS: AC Hi-Torque AC Hi-Slip AC Repulsion-Induction AC Single Phase Series Wound AC Slip Ring DC Compound Wound		
			INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE	INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE
Agitators for Liquids Blowers and Exhausters Centrifugal Pumps and Compressors 1.0 Fans up to 10 HP Light Duty Conveyors			1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Belt Conveyors For Sand, Grain, etc. Dough Mixers Fans Over 10 HP Generators Line Shafts Laundry Machinery Machine Tools Punches-Presses-Shears Printing Machinery Positive Displacement Rotary Pumps Revolving and Vibrating Screens			1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Brick Machinery Bucket Elevators Exciters Piston Compressors Conveyors (Drag-Pan-Screw) Hammer Mills Paper Mill Beaters Piston Pumps Positive Displacement Blowers Pulverizers Saw Mill and Woodworking Machinery Textile Machinery			1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Crushers (Gyratory-Jaw-Roll) Mills (Ball-Rod-Tube) Hoists Rubber Calenders-Extruders-Mills			1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Chokable Equipment			2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

FOR A GOOD COMMERCIAL DRIVE SELECTION, USE CONTINUOUS SERVICE FACTOR

Fuente: Catalogo MARTIN Nostock Drive Selection

TABLE 6 — Hi-Cap Cross Section Selection Chart

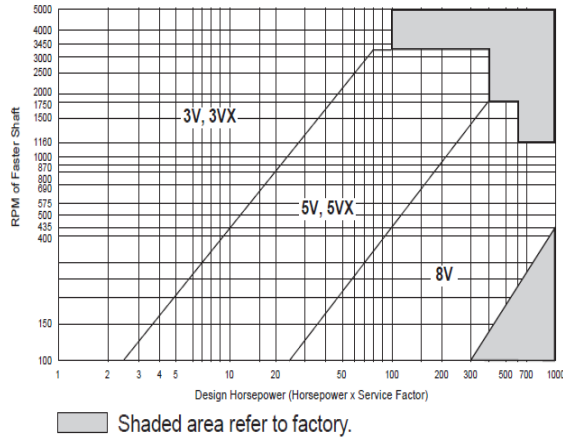
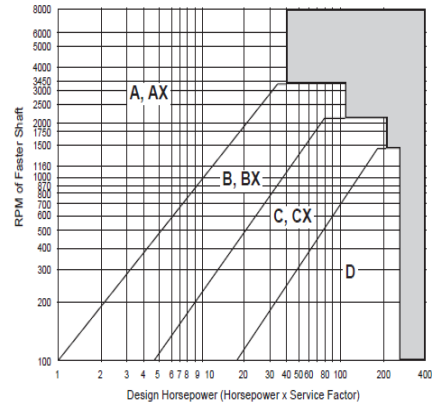


TABLE 7 — Conventional Cross Section Selection Chart



Fuente: Catalogo MARTIN Nostock Drive Selection

TABLE 8 — Minimum Recommended Sheave Diameters For Electric Motors

MOTOR HORSE-POWER	MOTOR RPM					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50★
★30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

★Note: Data above the line are from National Electrical

Fuente: Catalogo MARTIN Nostock Drive Selection

Table 9 — Stock Sheave Diameters

A		B		C		D		3V		5V		8V	
Outside Diam.	Pitch Diam.	Outside Diam.	Pitch Diam.	Outside Diam.	Pitch Diam.	Outside Diam.	Pitch Diam.	Outside Diam.	Pitch Diam.	Outside Diam.	Pitch Diam.	Outside Diam.	Pitch Diam.
3.25	3.0	3.75	3.4	5.4	5.0	12.6	12.0	2.20	2.15	4.40	4.30	12.5	12.3
3.45	3.2	3.95	3.6	5.9	5.5	13.6	13.0	2.35	2.30	4.65	4.55	13.2	13.0
3.65	3.4	4.15	3.8	6.4	6.0	14.1	13.5	2.50	2.45	4.90	4.80	14.0	13.8
3.85	3.6	4.35	4.0	7.4	7.0	14.6	14.0	2.65	2.60	5.20	5.10	15.0	14.8
4.05	3.8	4.55	4.2	7.9	7.5	15.1	14.5	2.80	2.75	5.50	5.40	16.0	15.8
4.25	4.0	4.75	4.4	8.4	8.0	15.6	15.0	3.00	2.95	5.90	5.80	17.0	16.8
4.45	4.2	4.95	4.6	8.9	8.5	16.1	15.5	3.15	3.10	6.30	6.20	18.0	17.8
4.65	4.4	5.15	4.8	9.4	9.0	16.6	16.0	3.35	3.30	6.70	6.60	19.0	18.8
4.85	4.6	5.35	5.0	9.9	9.5	18.6	18.0	3.65	3.60	7.10	7.00	20.0	19.8
5.05	4.8	5.55	5.2	10.4	10.0	20.6	20.0	4.12	4.07	7.50	7.40	21.2	21.0
5.25	5.0	5.75	5.4	10.9	10.5	22.6	22.0	4.50	4.45	8.00	7.90	22.4	22.2
5.45	5.2	5.95	5.6	11.4	11.0	27.6	27.0	4.75	4.70	8.50	8.40	24.8	24.6
5.65	5.4	6.15	5.8	12.4	12.0	33.6	33.0	5.00	4.95	9.00	8.90	30.0	29.8
5.85	5.6	6.35	6.0	13.4	13.0	40.6	40.0	5.30	5.25	9.25	9.15	35.5	35.3
6.05	5.8	6.55	6.2	14.4	14.0	48.6	48.0	5.60	5.55	9.75	9.65	40.0	39.8
6.25	6.0	6.75	6.4	16.4	16.0	58.6	58.0	6.00	5.95	10.30	10.20	44.5	44.3
6.45	6.2	6.95	6.6	18.4	18.0			6.50	6.45	10.90	10.80	53.0	52.8
6.65	6.4	7.15	6.8	20.4	20.0			6.90	6.85	11.30	11.20	63.0	62.8
6.85	6.6	7.35	7.0	24.4	24.0			8.00	7.95	11.80	11.70	71.0	70.8
7.25	7.0	7.75	7.4	27.4	27.0			10.60	10.55	12.50	12.40	95.0	94.8
7.85	7.6	8.35	8.0	30.4	30.0			14.00	13.95	13.20	13.10		
8.45	8.2	8.95	8.6	36.4	36.0			19.00	18.95	14.00	13.90		
9.25	9.0	9.75	9.4	44.4	44.0			25.00	24.95	15.00	14.90		
10.85	10.6	11.35	11.0	50.4	50.0			33.50	33.45	16.00	15.90		
12.25	12.0	12.75	12.4							18.70	18.60		
13.45	13.2	13.95	13.6							21.20	21.10		
15.25	15.0	15.75	15.4							23.60	23.50		
15.85	15.6	16.35	16.0							28.00	27.90		
18.25	18.0	18.75	18.4							31.50	31.40		
19.85	19.6	20.35	20.0							37.50	37.40		
24.85	24.6	25.35	25.0							50.00	49.90		
29.85	29.6	30.35	30.0										
37.85	37.6	38.35	38.0										

Sizes shown above bold lines are normally recommended for driver sheaves.

Fuente: Catalogo MARTIN Nostock Drive Selection

Table 10 — Effective Outside Belt Length and Correction Factors

A			B			C			D			3V			5V			8V		
Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor	Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor	Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor	Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor	Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor	Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor	Belt No.	Eff. Length	Corr. Factor
A 26	28.1	0.81	B 35	37.9	0.81	C 51	55.2	0.80	D 120	125.2	0.86	3VX250	25.0	0.83	5VX 500	50.0	0.85	8V1000	100.0	0.87
A 31	33.1	0.84	B 38	40.9	0.83	C 60	64.2	0.82	D 128	133.2	0.87	3VX 265	26.5	0.84	5VX 530	53.0	0.86	8V1060	106.0	0.88
A 35	37.1	0.87	B 42	44.9	0.85	C 68	72.2	0.85	D 144	149.2	0.90	3VX 280	28.0	0.85	5VX 560	56.0	0.87	8V1120	112.0	0.88
A 38	40.1	0.88	B 46	48.9	0.87	C 75	79.2	0.87	D 158	163.2	0.92	3VX 300	30.0	0.86	5VX 600	60.0	0.88	8V1180	118.0	0.89
A 42	44.1	0.90	B 51	53.9	0.89	C 81	85.2	0.89	D 173	178.2	0.93	3VX 315	31.5	0.87	5VX 630	63.0	0.89	8V1250	125.0	0.90
A 46	48.1	0.92	B 55	57.9	0.90	C 85	89.2	0.90	D 180	185.2	0.94	3VX 335	33.5	0.88	5VX 670	67.0	0.90	8V1320	132.0	0.91
A 51	53.1	0.94	B 60	62.9	0.92	C 90	94.2	0.91	D 195	200.2	0.96	3VX 355	35.5	0.89	5VX710	71.0	0.91	8V1400	140.0	0.92
A 55	55.1	0.96	B 68	70.9	0.95	C 96	100.2	0.92	D 210	217.2	0.96	3VX 375	37.5	0.90	5VX 750	75.0	0.92	8V1500	150.0	0.93
A 60	62.1	0.98	B 75	77.9	0.97	C 105	109.2	0.94	D 240	242.7	1.00	3VX 400	40.0	0.92	5VX 800	80.0	0.93	8V1600	160.0	0.94
A 68	70.1	1.00	B 81	83.9	0.98	C 112	116.2	0.95	D 270	272.7	1.03	3VX 425	42.5	0.93	5VX 850	85.0	0.94	8V1700	170.0	0.95
A 75	77.1	1.02	B 85	87.9	0.99	C 120	124.2	0.97	D 300	302.7	1.05	3VX 450	45.0	0.94	5VX 900	90.0	0.95	8V1800	180.0	0.95
A 80	82.1	1.04	B 90	92.9	1.00	C 128	132.2	0.98	D 330	332.7	1.07	3VX 475	47.5	0.95	5VX 950	95.0	0.96	8V1900	190.0	0.96
A 85	87.1	1.05	B 97	99.9	1.02	C 144	148.2	1.00	D 360	362.7	1.09	3VX 500	50.0	0.96	5VX1000	100.0	0.96	8V2000	200.0	0.97
A 90	92.1	1.06	B 105	107.9	1.04	C 158	162.2	1.02	D 390	392.7	1.11	3VX 530	53.0	0.97	5VX1050	105.0	0.97	8V2120	212.0	0.98
A 96	98.1	1.08	B 112	114.9	1.05	C 173	177.2	1.04	D 420	422.7	1.12	3VX 560	56.0	0.98	5VX1120	112.0	0.98	8V2240	224.0	0.98
A105	107.1	1.10	B 120	122.9	1.07	C 180	184.2	1.05	D 480	482.7	1.16	3VX 600	60.0	0.99	5VX1180	118.0	0.99	8V2360	236.0	0.99
A112	114.1	1.11	B 128	130.9	1.08	C 195	199.2	1.07	D 540	542.7	1.18	3VX 630	63.0	1.00	5VX1250	125.0	1.00	8V2500	250.0	1.00
A120	122.1	1.13	B 144	146.9	1.11	C 210	212.2	1.08	D 600	602.7	1.20	3VX 670	67.0	1.01	5VX1320	132.0	1.01	8V2650	265.0	1.01
A128	130.1	1.14	B 158	160.9	1.13	C 240	242.2	1.11				3VX 710	71.0	1.02	5VX1400	140.0	1.02	8V2800	280.0	1.00
			B 173	175.9	1.15	C 270	272.2	1.14				3VX 750	75.0	1.03	5VX1500	150.0	1.03	8V3000	300.0	1.00
			B 180	182.9	1.16	C 300	302.2	1.16				3VX 800	80.0	1.04	5VX1600	160.0	1.04	8V3150	315.0	1.03
			B 195	197.9	1.18	C 330	332.2	1.19				3VX 850	85.0	1.05	5VX1700	170.0	1.05	8V3350	335.0	1.04
			B 210	211.4	1.19	C 360	362.2	1.21				3VX 900	90.0	1.07	5VX1800	180.0	1.06	8V3550	355.0	1.05
			B 240	241.4	1.22	C 390	392.2	1.23				3VX 950	95.0	1.08	5VX1900	190.0	1.07	8V3750	375.0	1.06
			B 270	271.4	1.25	C 420	422.2	1.24				3VX 1000	100.0	1.09	5VX2000	200.0	1.08	8V4000	400.0	1.07
			B 300	301.4	1.27							3VX1060	106.0	1.10	5V 2120	212.0	1.08	8V4250	425.0	1.08
												3VX1120	112.0	1.11	5V 2240	224.0	1.09	8V4500	450.0	1.09
												3VX1180	118.0	1.12	5V 2360	236.0	1.10	8V4750	475.0	1.10
												3VX1250	125.0	1.13	5V 2500	250.0	1.11	8V5000	500.0	1.11
												3VX1320	132.0	1.15	5V 2650	265.0	1.12			
												3VX1400	140.0	1.16	5V 2800	280.0	1.13			
															5V 3000	300.0	1.14			
															5V 3150	315.0	1.15			
															5V 3350	335.0	1.16			
															5V 3550	355.0	1.17			

D-151

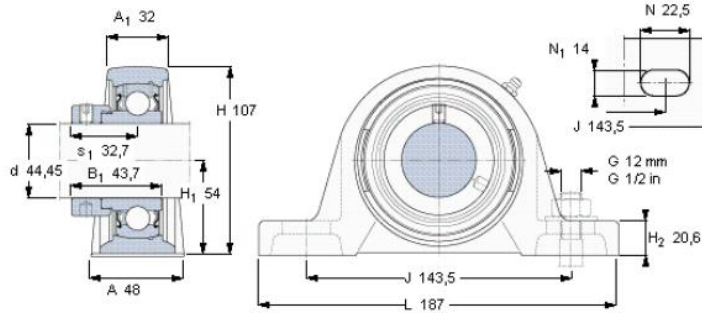
Fuente: Catalogo MARTIN Nostock Drive Selection

Anexo B. Dimensiones del soporte utilizado en eje corte



Colombia Productos Rodamientos, ... Unidades... Unidades de... Soportes de pie con rodamientos Y
Soportes de pie con rodamientos Y, soportes de fundición, con anillos de fijación excéntricos

Dimensiones principales					Capacidades de carga básica		Referencias		
d	A	H	H ₁	L	dinámica C	estática C ₀	Unidad de rodamientos	Soporte	Rodamiento
mm					kN		-		
44,45	48	107	54	187	33,2	21,6	SY 1.3/4 FM	SY 509 U	YET 209-112



Prisionero
Par de apriete recomendado [Nm]
Tamaño de la llave hexagonal [mm]

3/8-24x3/8
16,5
4,7625

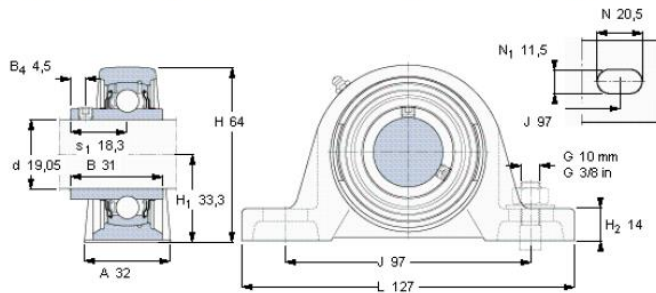
Fuente: SKF CORPORATION. Descargas CAD disponible.
<<http://www.skf.com/co/index.html>>

Anexo C. Dimensiones del soporte utilizado en etapa intermedia



Colombia Productos Rodamientos, ... Unidades... Unidades de rodamientos de bolas -... Soportes de pie con rodamientos Y
Soportes de pie con rodamientos Y, soportes de fundición, con prisioneros

Dimensiones principales					Capacidades de carga básica		Referencias		
d	A	H	H ₁	L	dinámica C	estática C ₀	Unidad de rodamientos	Soporte	Rodamiento
mm					kN		-		
19,05	32	64	33,3	127	12,7	6,55	SY 3/4 TF	SY 504 U	YAR 204-012-2F



Prisionero

Par de apriete recomendado [Nm]
Tamaño de la llave hexagonal [mm]

1/4-28x1/4
4
3,175

Fuente: SKF CORPORATION. Descargas CAD disponible.
<<http://www.skf.com/co/index.html>>

Anexo D. Dimensiones del soporte del eje rodillos impulsores.



Colombia Productos Rodamientos, ... Unidades... Unidades de rodamientos... Soportes de brida con rodamientos Y
Soportes de brida cuadrados con rodamientos Y, soportes de fundición, con prisioneros

Dimensiones principales					Capacidades de carga básica		Referencias		
d	A ₁	J	L	T	dinámica C	estática C ₀	Unidad de rodamientos	Soporte	Rodamiento
mm					kN		-		
19,05	29,5	63,5	86	37,3	12,7	6,55	FY 3/4 TF	FY 504 U	YAR 204-012-2F

Prisionero	1/4-28x1/4
Par de apriete recomendado [Nm]	4
Tamaño de la llave hexagonal [mm]	3,175

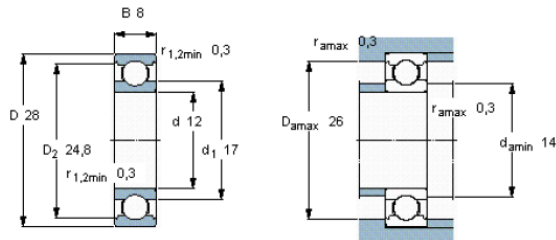
Fuente: SKF CORPORATION. Descargas CAD disponible.
<<http://www.skf.com/co/index.html>>

Anexo E. Dimensiones rodamiento utilizado en inversor giro rodillos



Colombia Productos Rodamientos, unidades y soportes Rodamientos de bolas Rodamientos rígidos de bolas Rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Velocidades nominales		Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	Velocidad de referencia	Límite de velocidad	* rodamiento SKF Explorer
mm			kN		rpm		-
12	28	8	5,4	2,36	60000	38000	6001 *



Factores de cálculo

k_r 0,025
 f_0 13

Fuente: SKF CORPORATION. Descargas CAD disponible.
<<http://www.skf.com/co/index.html>>

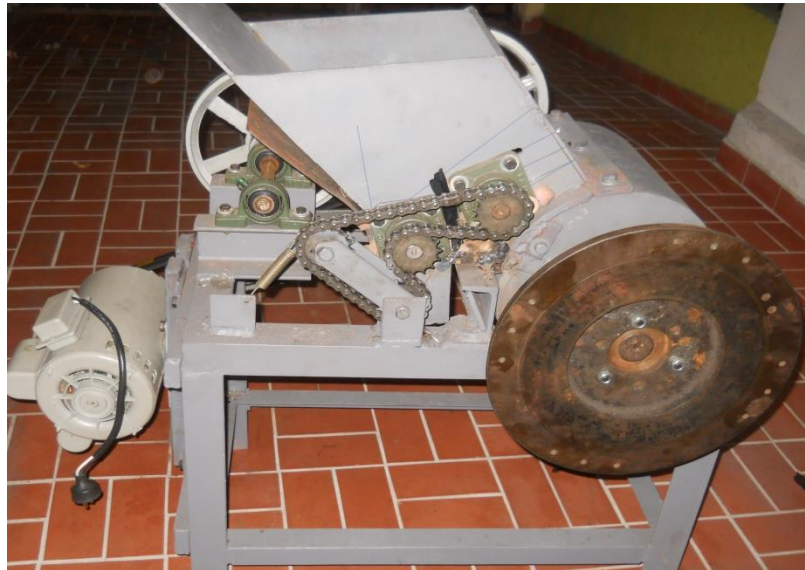
Anexo F. Fotos del equipo

Figura 108. Vista frontal.



Fuente: Los autores.

Figura 109. Vista posterior.



Fuente: Los autores

Figura 110. Vista superior.



Fuente: Los autores

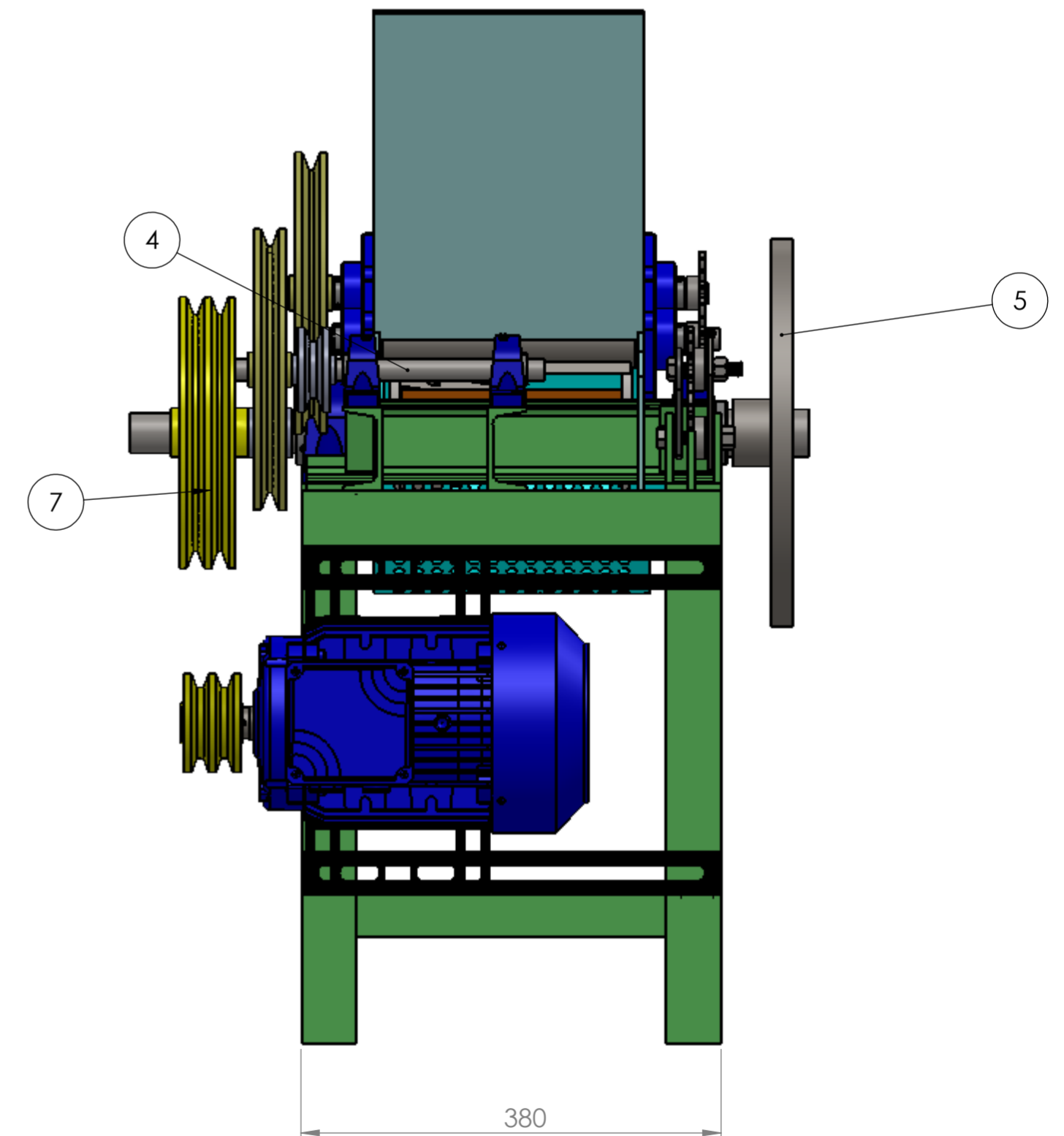
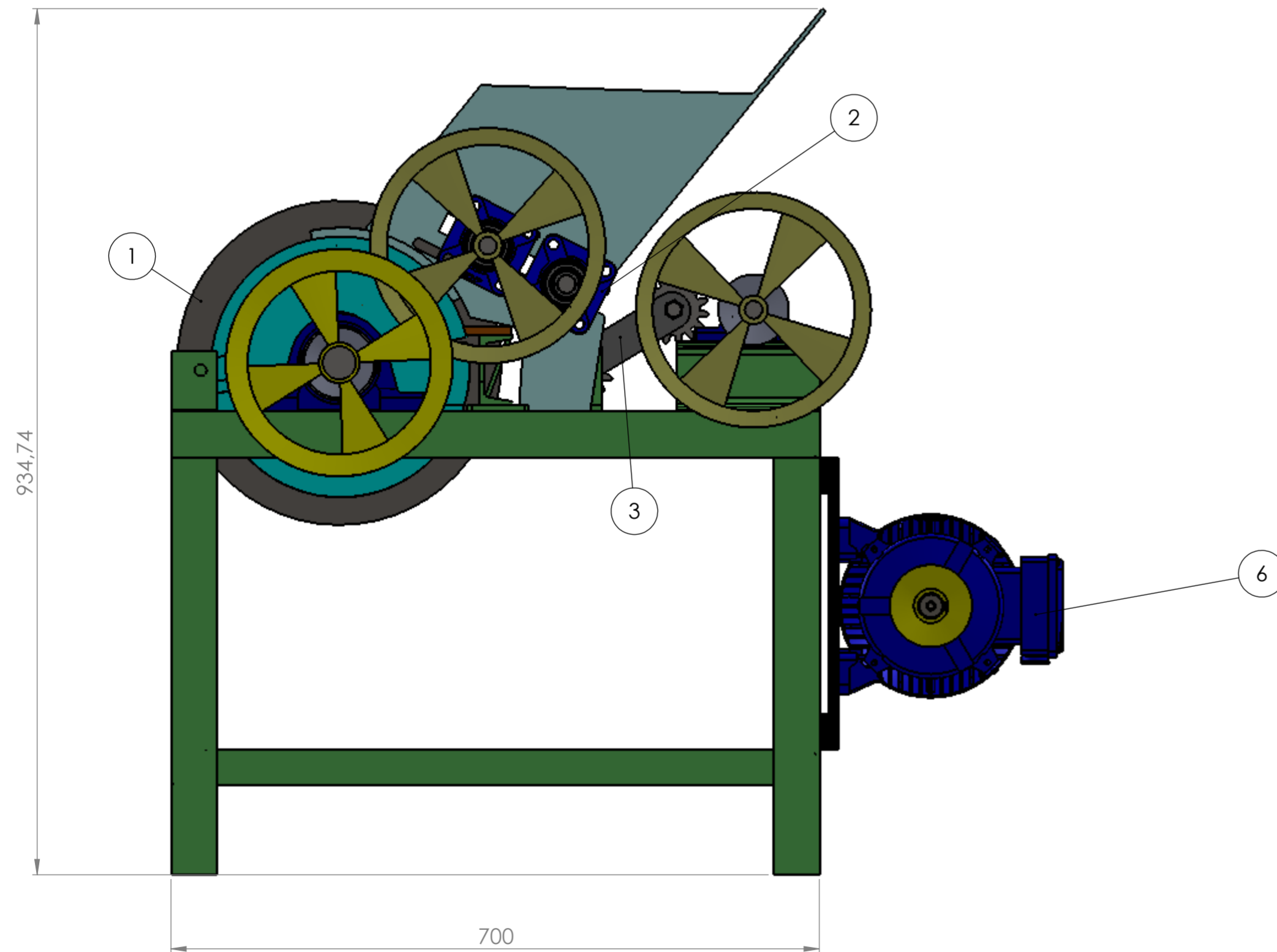
Figura 111. Vista Isométrica.



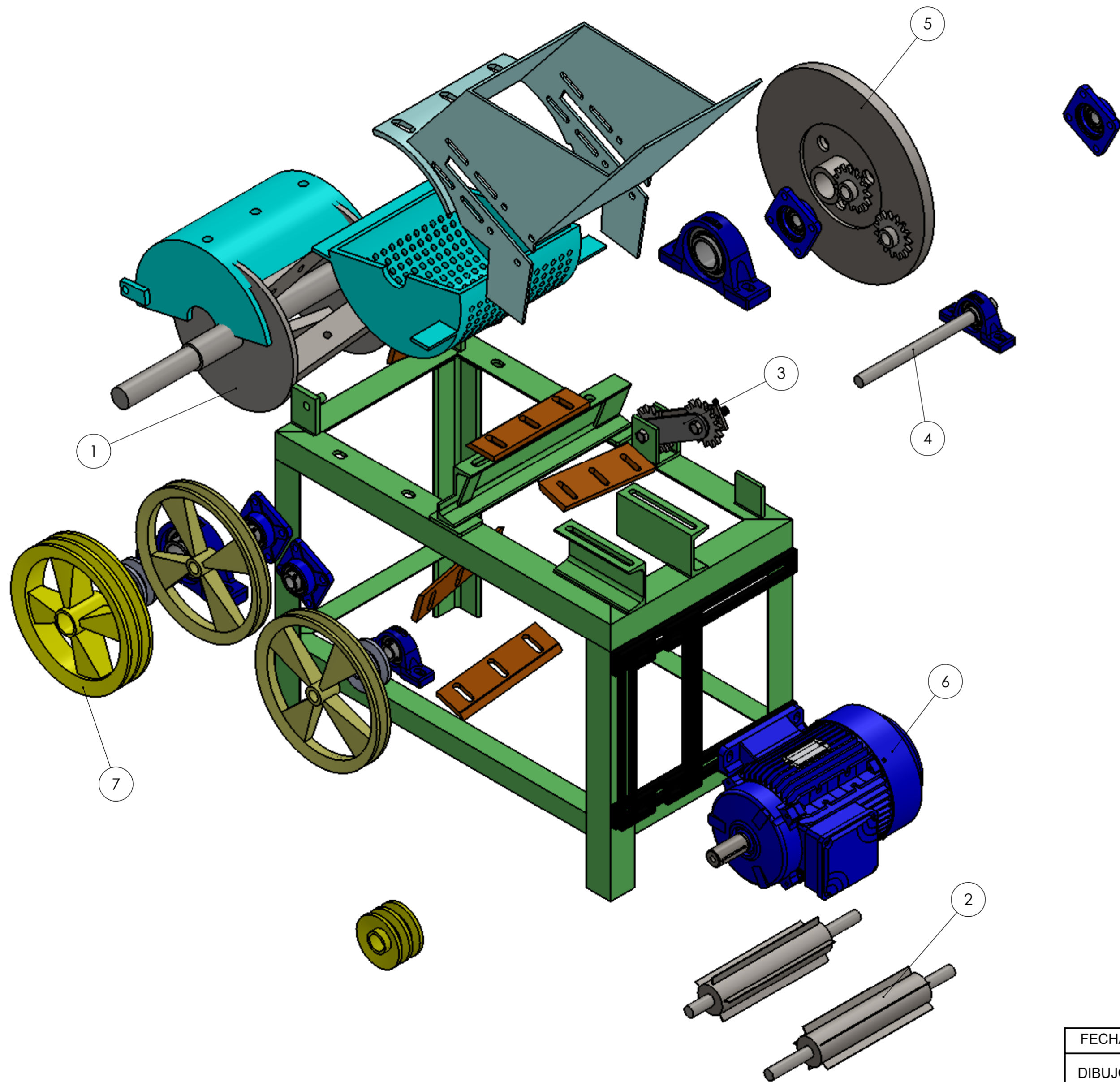
Fuente: Los autores

ANEXO G. PLANOS

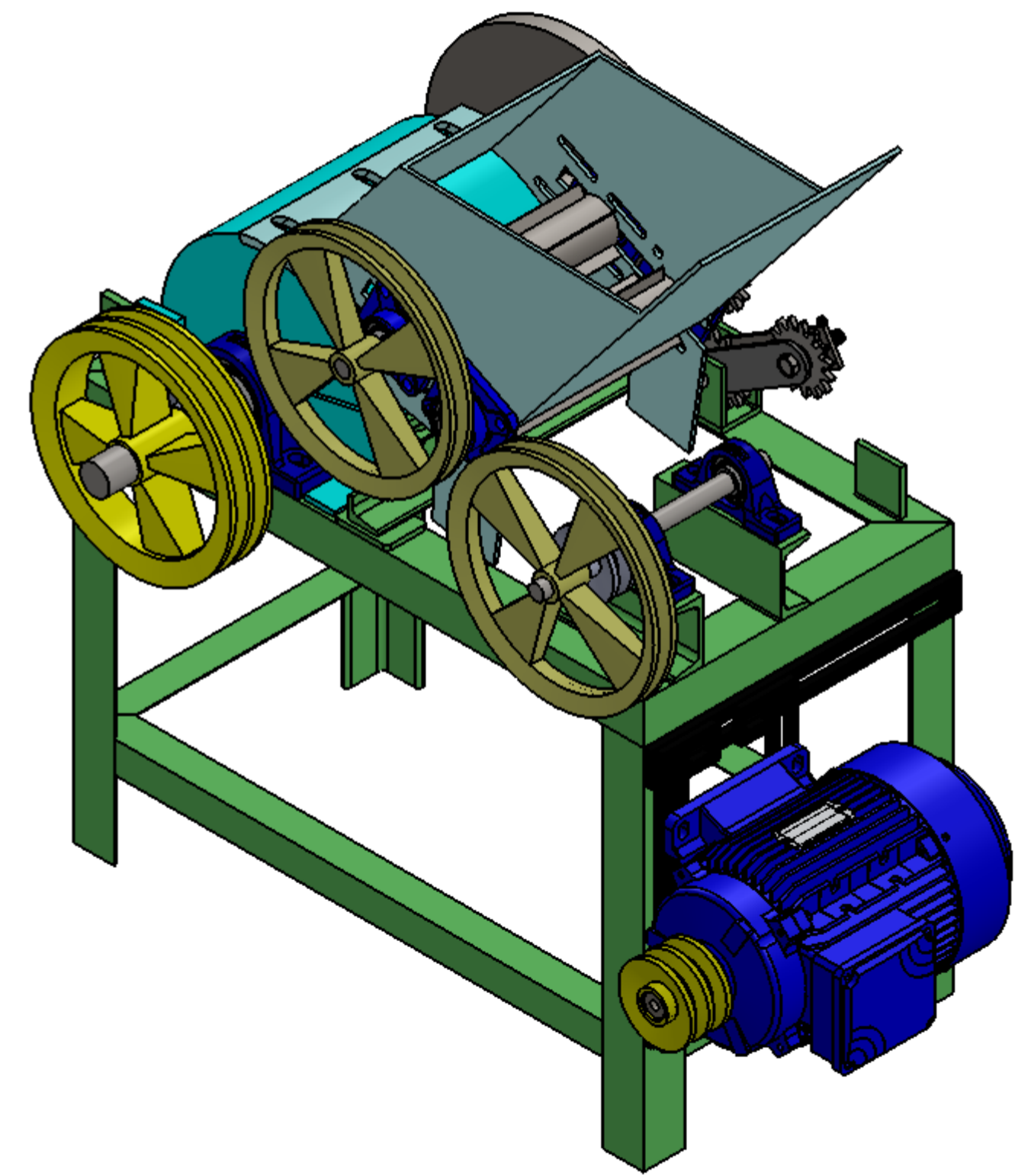
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	SISTEMA DE CORTE	CAMARA DE MOLIENDA Y EJE DE CORTE	1
2	SISTEMA DE ALIMENTACION	RODILLOS IMPULSORES DE MATERIAL.	1
3	SISTEMA INVERSOR GIRO	CONTROL ROTACION DE RODILLOS IMPULSORES	1
4	ETAPA INTERMEDIA ALIMENTACION	TRANSMISION A RODILLOS IMPULSORES	1
5	VOLANTE INERCIA	INERCIA DE ROTACION	1
6	MOTOR ELECTRICO	POTENCIA DEL SISTEMA	1
7	POLEAS TRANSMISION PRINCIPAL	TRANSMISION PRINCIPAL	1



FECHA	01/11/2013	MEDIDAS: EN mm	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	001
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE:	
APROBO	ING. ISNARDO GONZALEZ		DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIVO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	TRITURADORA DE BOTELLAS PET	
ESCALA: 1:5	MATERIAL:				

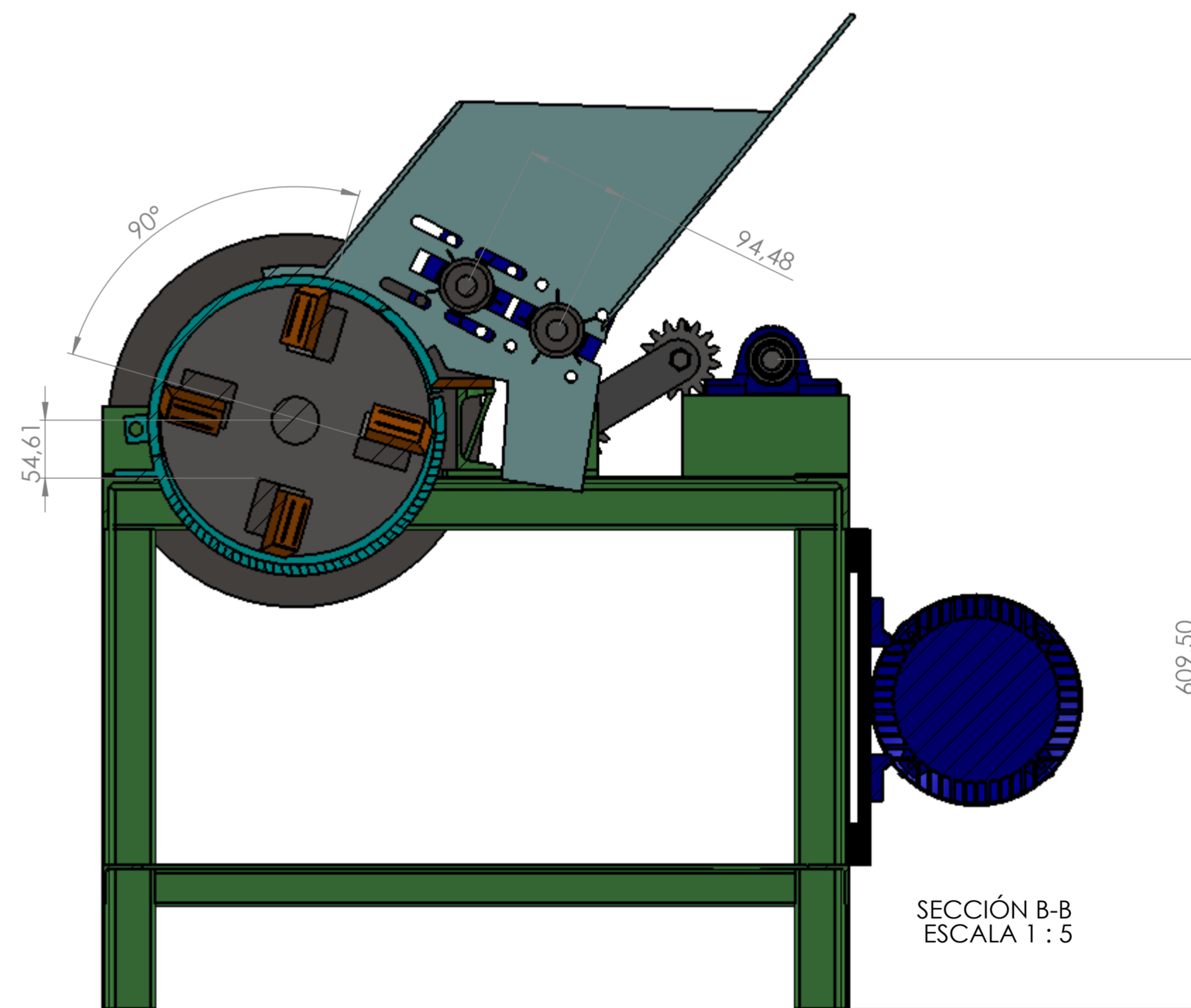
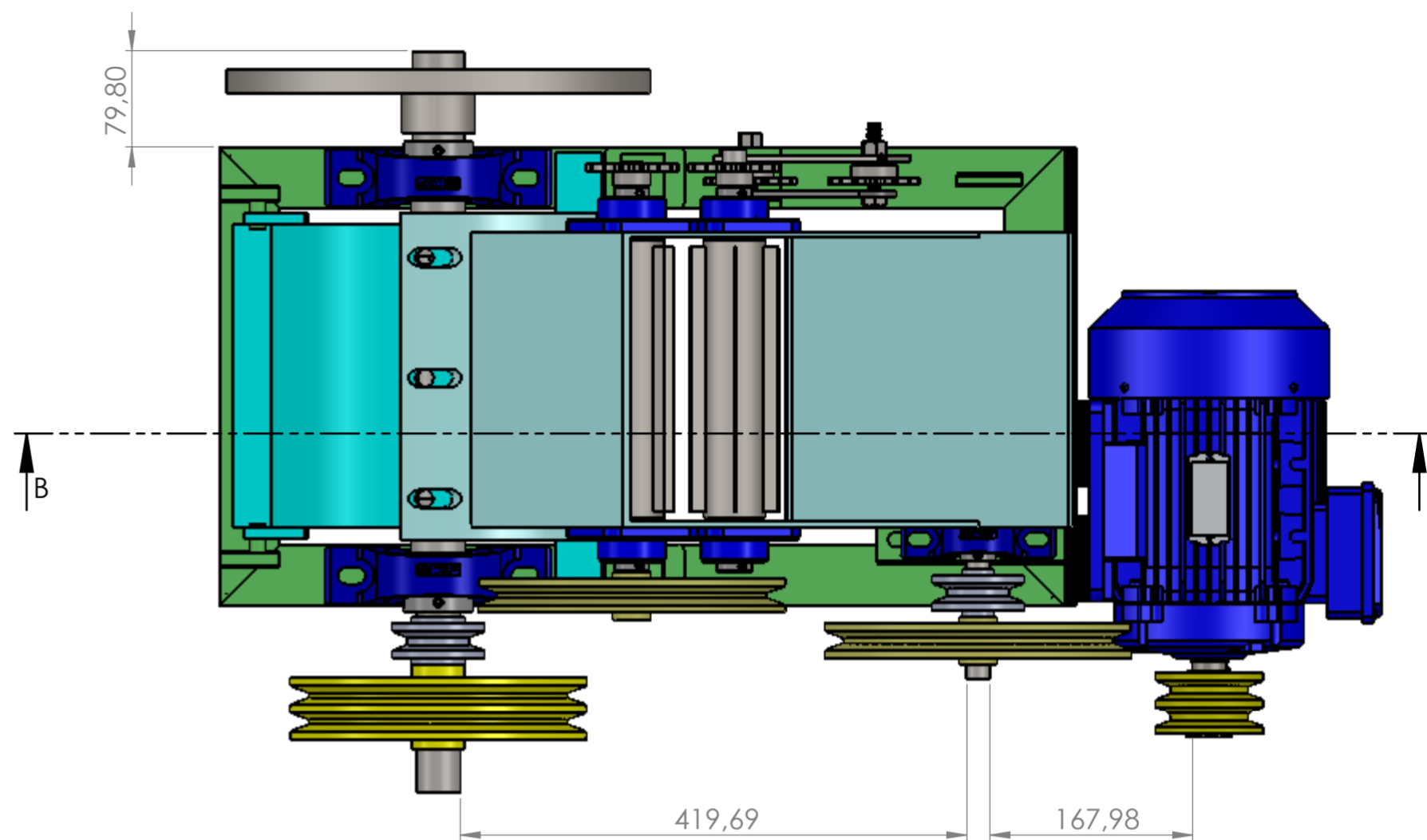
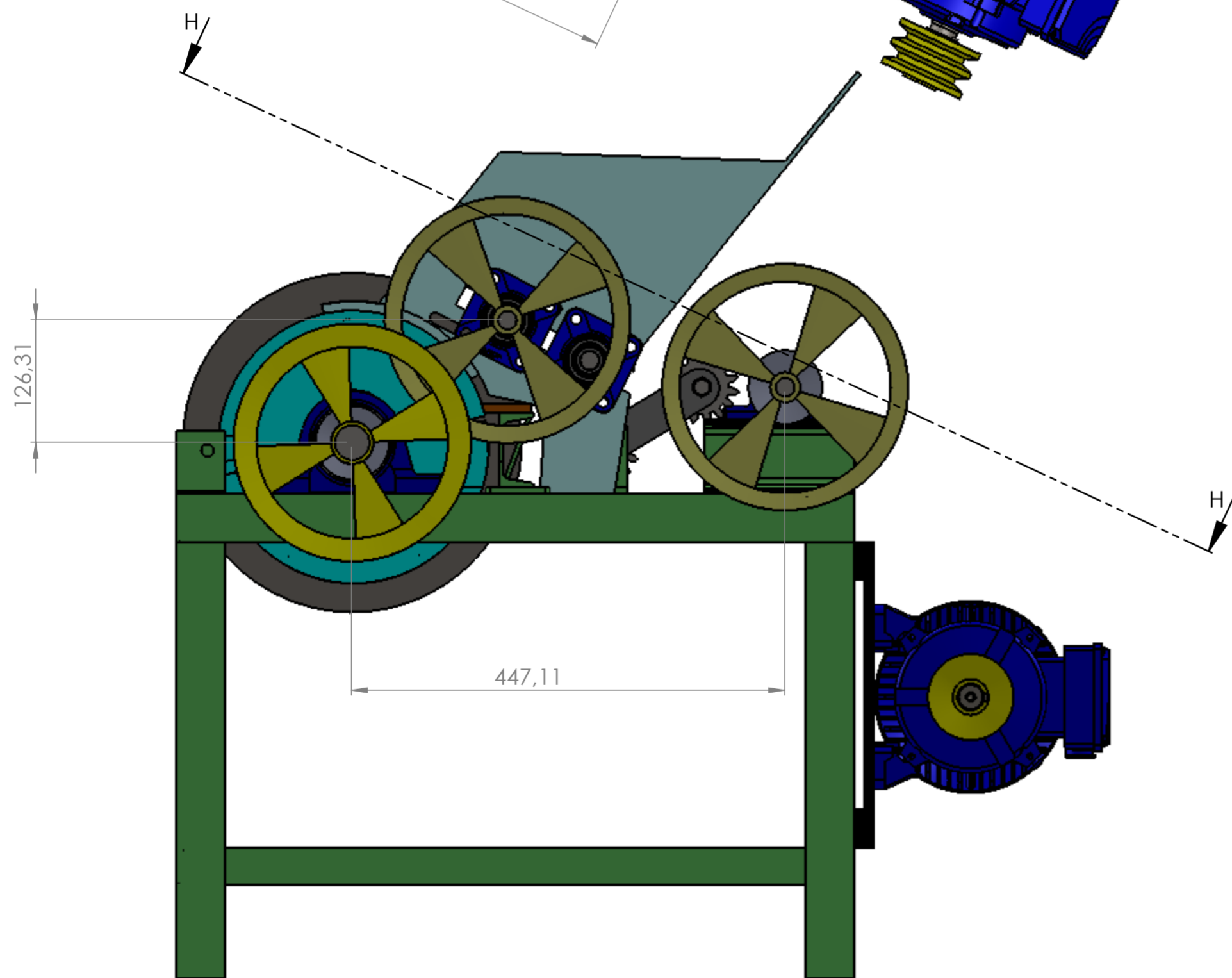
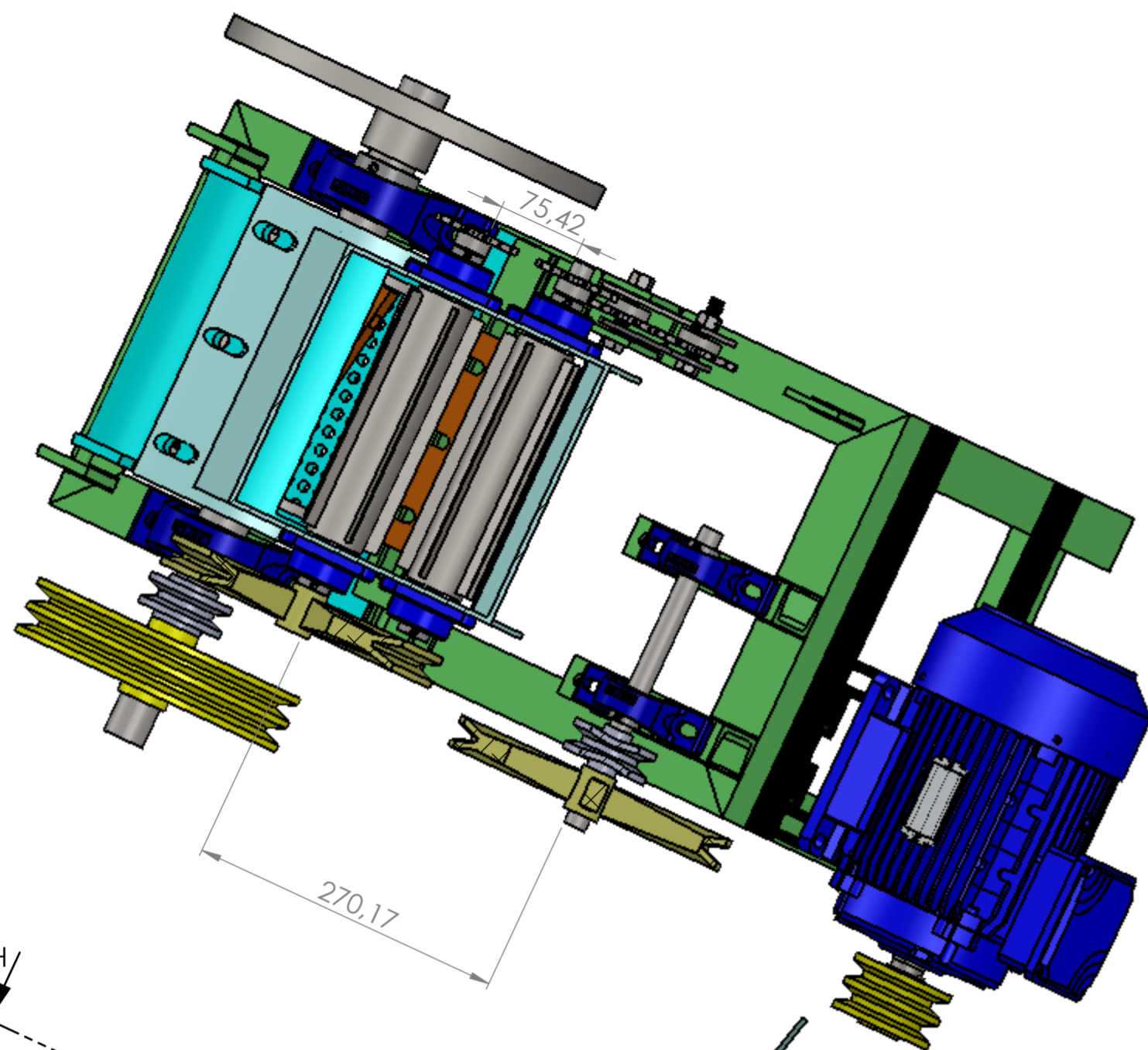


N° ELEMENTO	PIEZA
1	SISTEMA CORTE
2	SISTEMA ALIMENTACION
3	SISTEMA INVERSOR DE GIRO
4	ETAPA INTERMEDIA DE ALIMENTACION
5	VOLANTE INERCIA
6	MOTOR ELECTRICO
7	POLEAS TRANSMISION PRINCIPAL



FECHA	01/11/2013	MEDIDAS: EN mm	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	002
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE: VISTA EXPLOSIONADA TRITURADORA PET	
APROBO	ING. ISNARDO GONZALEZ		DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET		
ESCALA: 1:5	MATERIAL:				

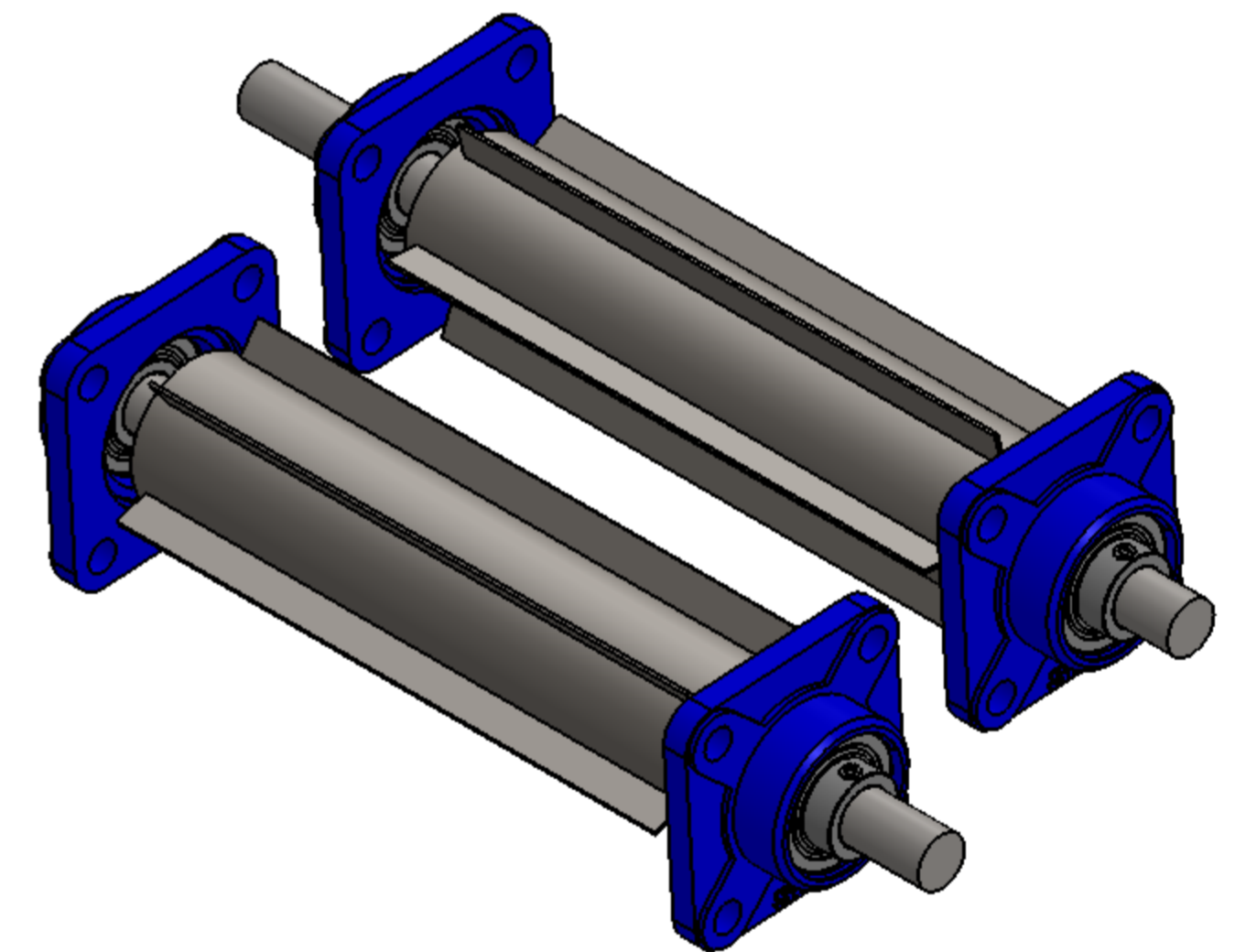
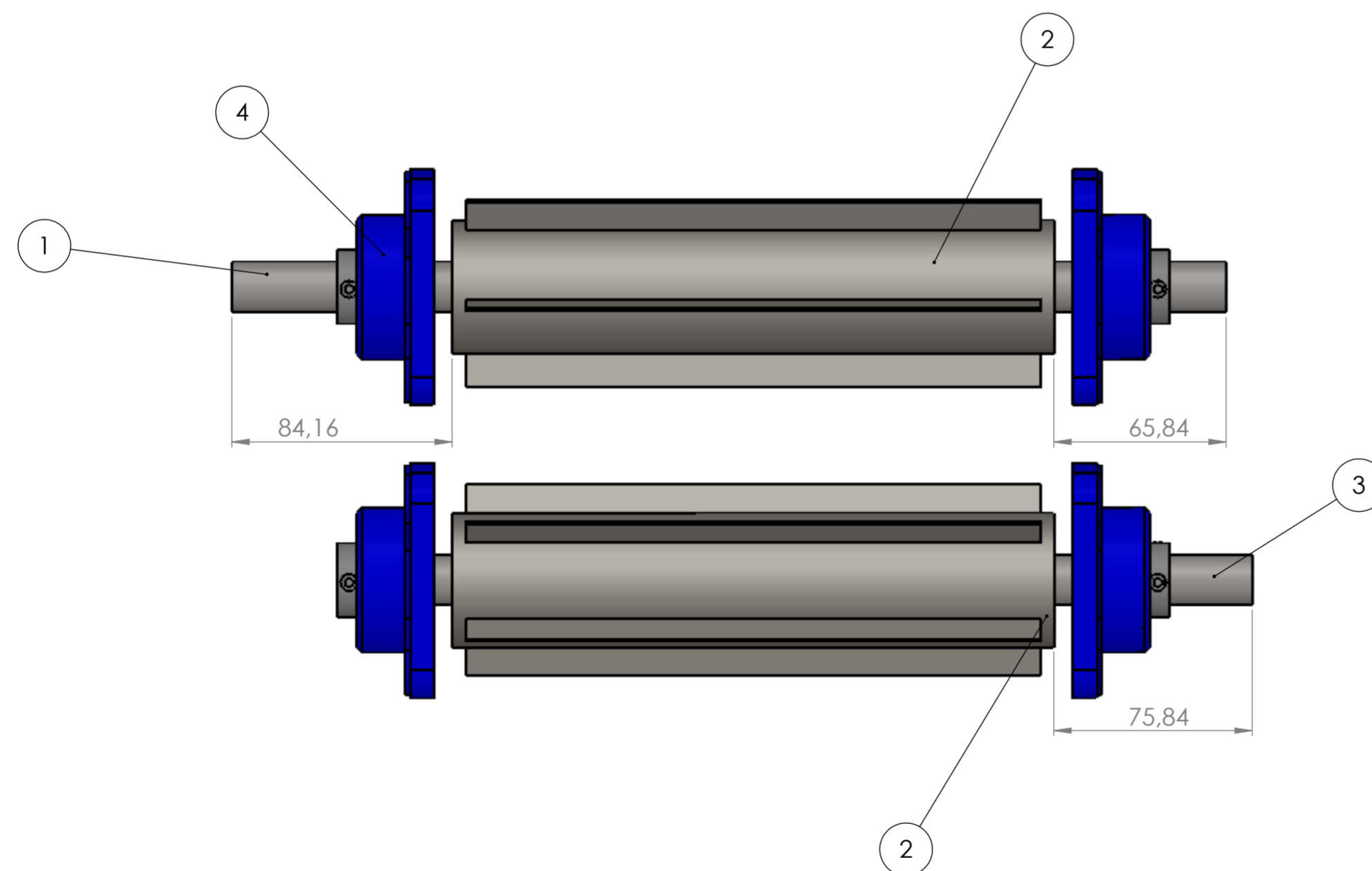
SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5

FECHA	01/11/2013	MEDIDAS: EN mm	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	003
DIBUJO:	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE:	
APROBO	ING. ISNARDO GONZALEZ		DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	VISTAS	
ESCALA: 1:5	MATERIAL:			TRITURADORA PET	

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	eje_rod_impul_alimenta	EJE QUE COMUNICA LA POLEA DE LA TRANSMISION.	AISI 1020	1
2	tubo rodillos impulsores	CUERPO DE LOS CILINDROS IMPULSORES.	ASTM A36	2
3	eje 2 rodillo impulsor	EJE RODILLOS	AISI 1020	1
4	HI_FY 3_4 RM_PART1	CHUMACERAS DE PARCE	FUNDICION	4



OBSEVACION: EJE DE LOS RODILLOS 1, ES FIJO EN LA TOLVA DE ALIMENTACION, EL EJE 2 SE DESPLAZA SOBRE CORREDEEA.

FECHA	01/11/2013	MEDIDAS: EN mm	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	004
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE:	
APROBO	ING. ISNARDO GONZALEZ		DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	ENSAMBLAJE SISTEMA ALIMENTACION	
ESCALA: 1:2	MATERIAL:				

1 2 3 4 5 6

A

A

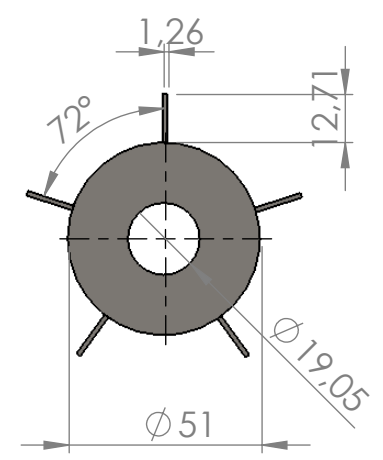
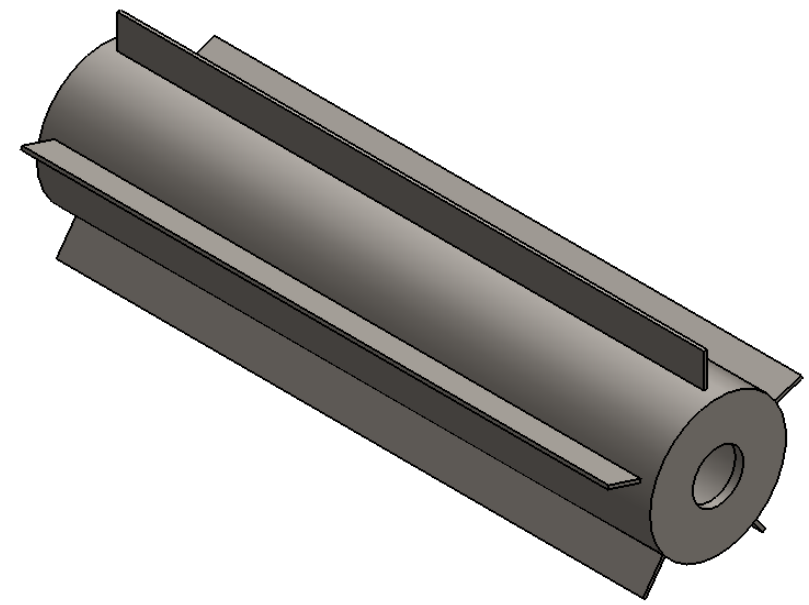
B

B

C

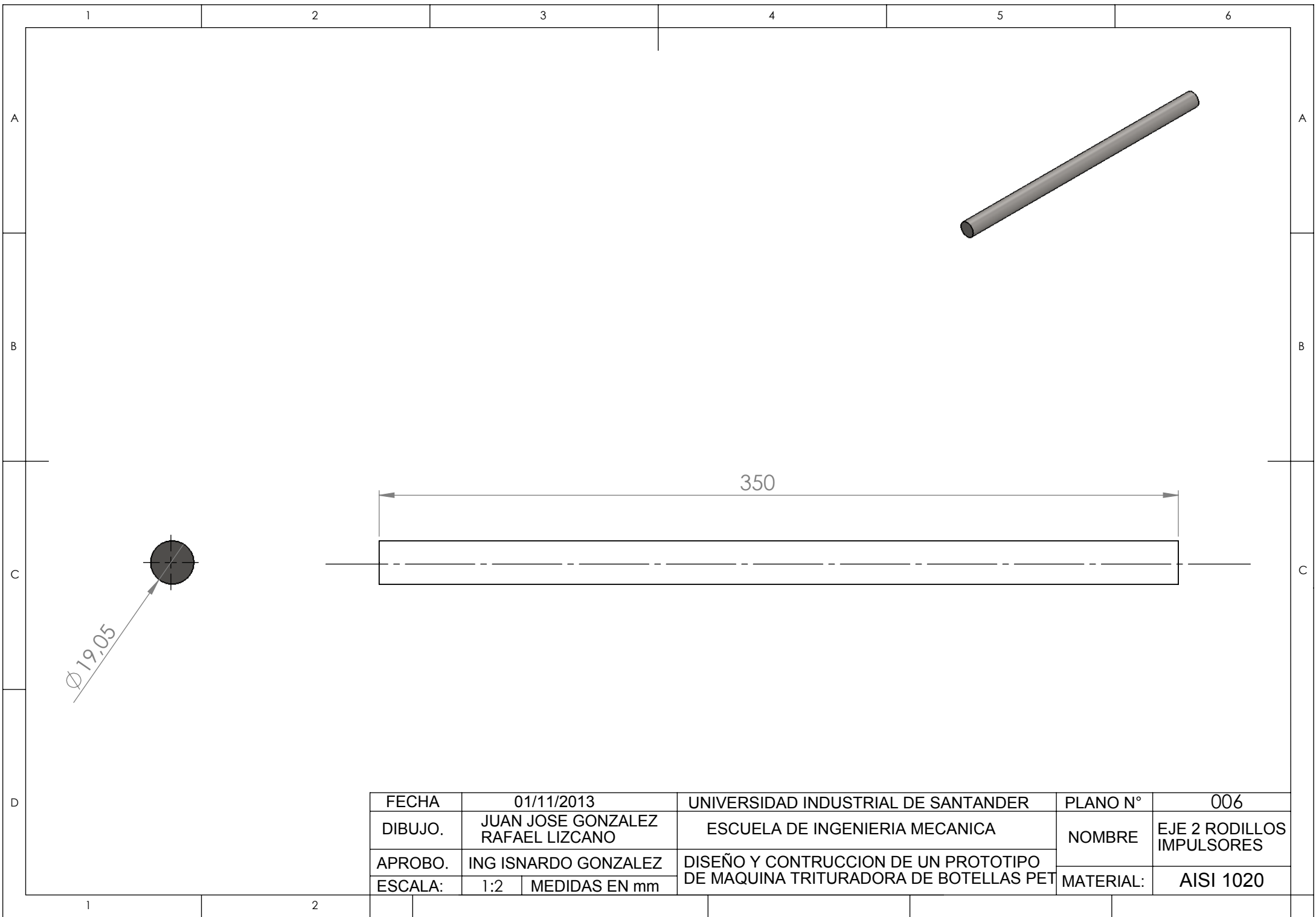
C

D

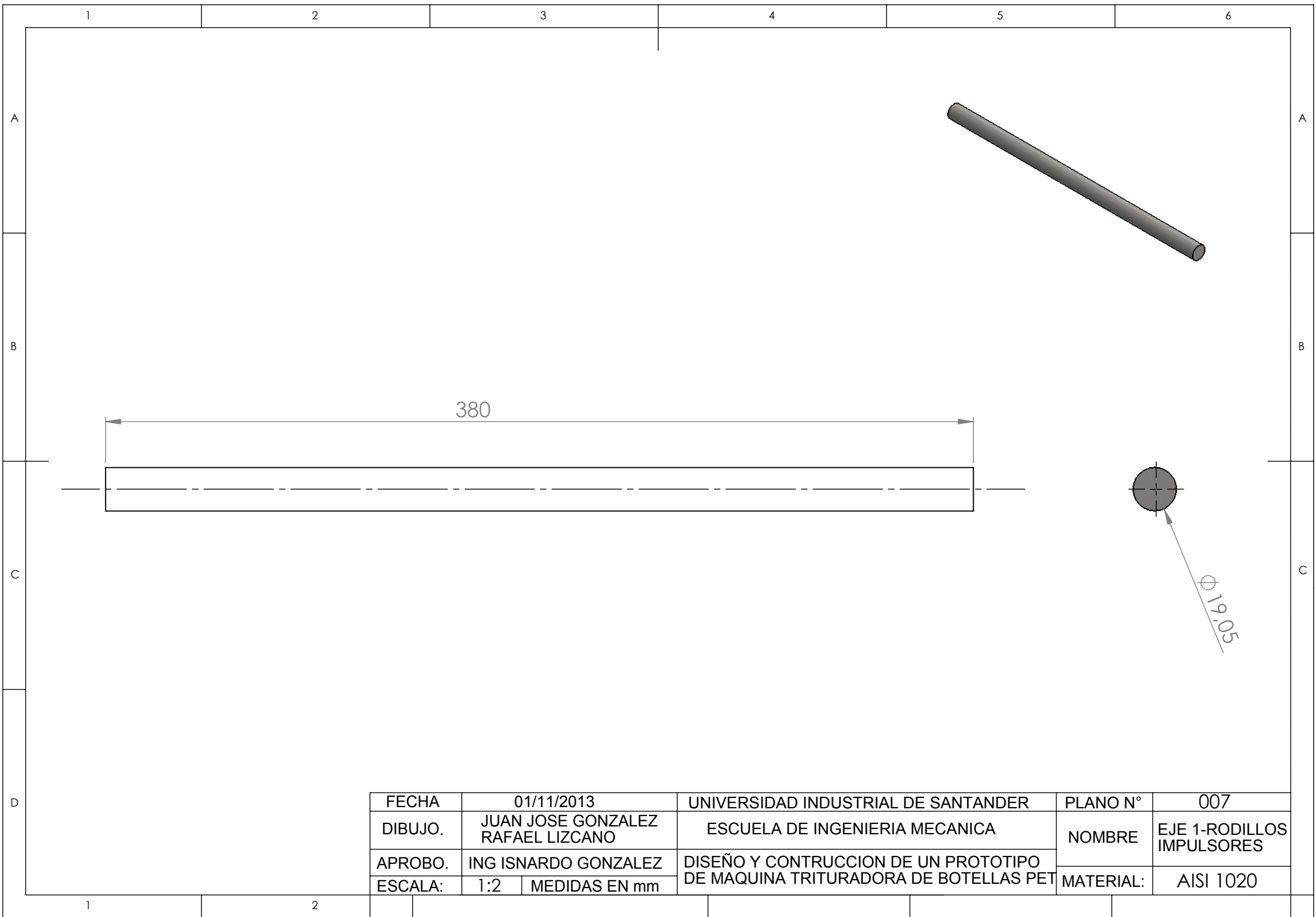


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	005
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	CUERPO RODILLOS
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ASTM A36
ESCALA:	1:2 MEDIDAS EN mm			

1 2

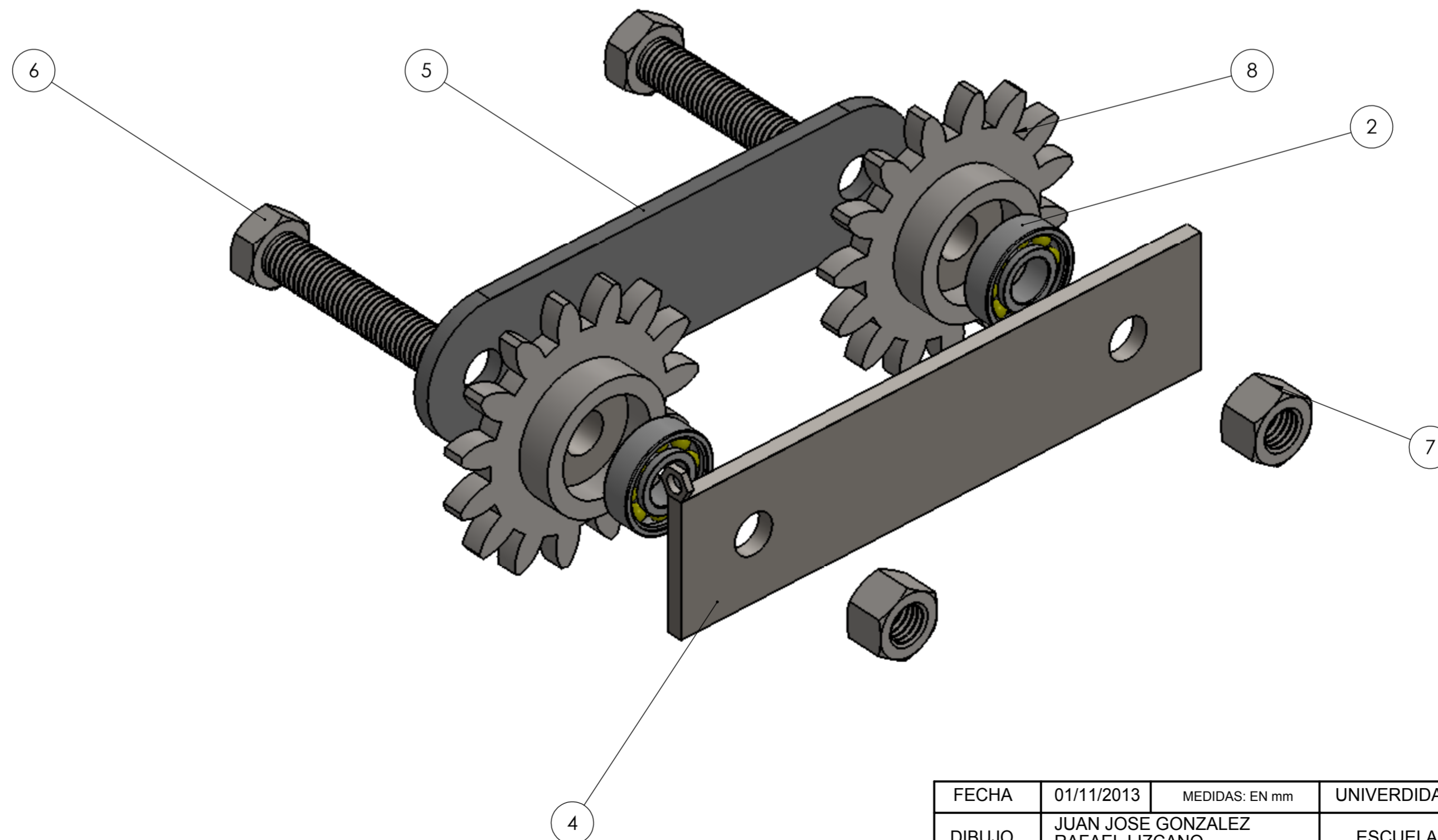


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	006
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	EJE 2 RODILLOS IMPULSORES
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	AISI 1020
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		

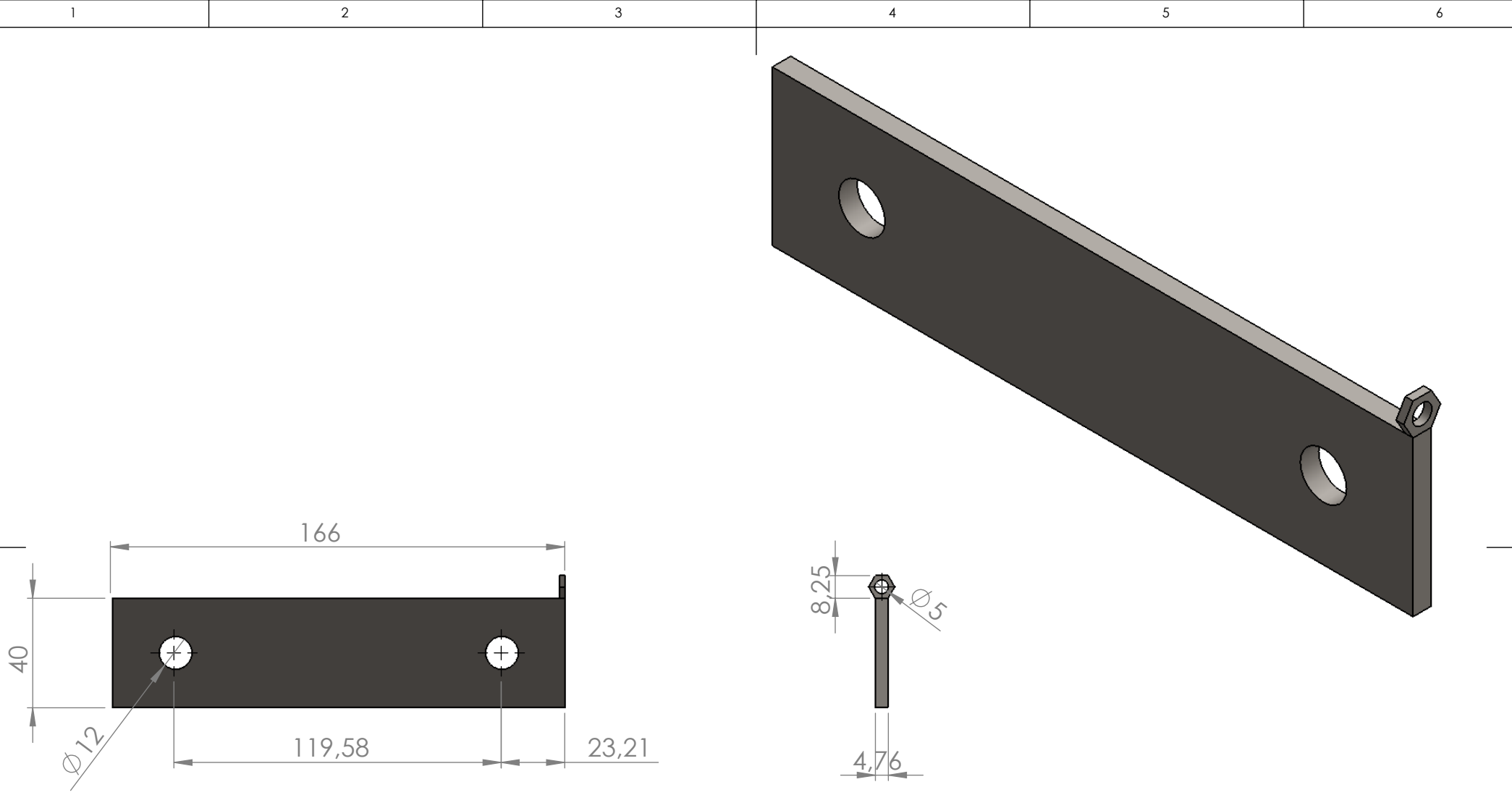


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	007
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	EJE 1-RODILLOS IMPULSORES
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	AISI 1020
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		

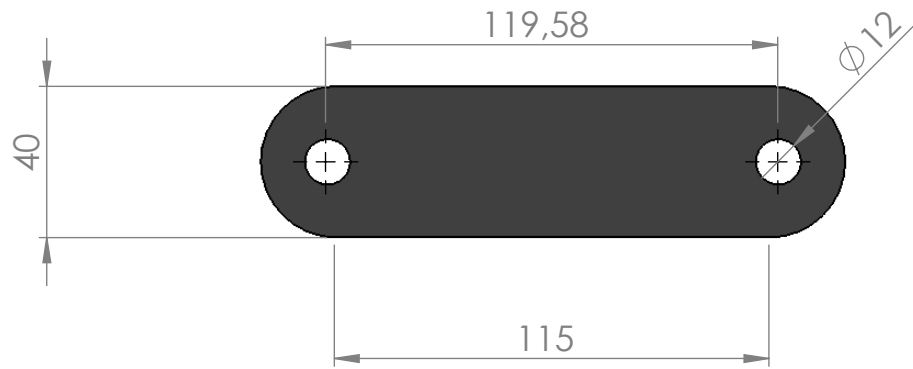
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
2	HI_6001_PART2	RODAMIENTO 6001		2
4	soporte1_sistema cadena	PLATINA DE SOPORTE	ASTM A36	1
5	SOPORTE2_CADENA	PLATINA SOPORTE	ASTM A36	1
6	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M12 x 1.75 x 60 --60CS	TORNILLO PARA AJUSTE	ACERO	2
7	TUERCA	AJUSTE TORNILLOS	ACERO	2
8	PIÑON	ENGRANRE CADENA	FUNDICION	2



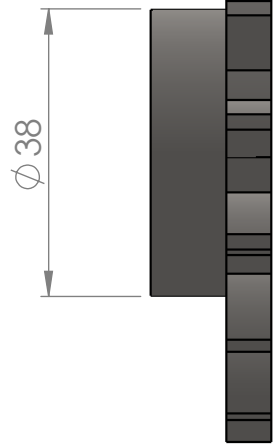
FECHA	01/11/2013	MEDIDAS: EN mm	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	008
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE: SISTEMA INVERSOR DE GIRO
APROBO	ING. ISNARDO GONZALEZ		DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIVO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET		
ESCALA: 1:1	MATERIAL:				



FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	009
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	SOPORTE ROTACION
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ASTM A36
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		

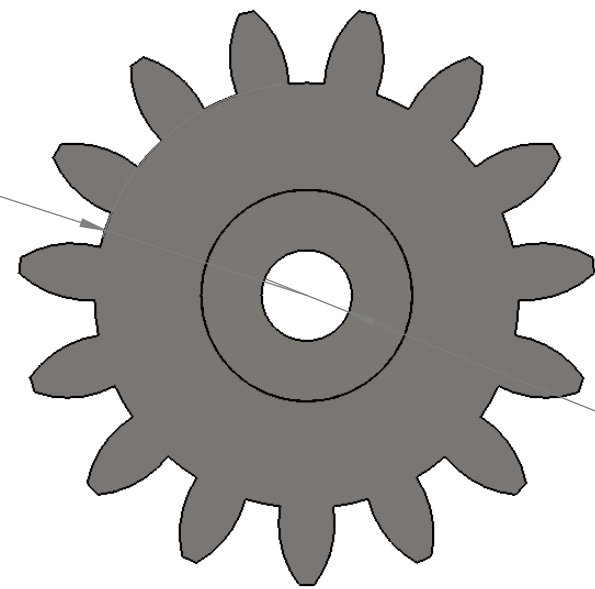


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	010
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	PLATINA SISTEMA ROTACION
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ASTM A36
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		

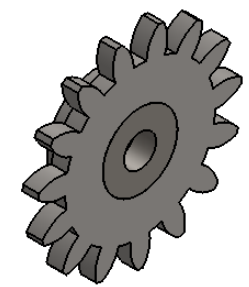


MODULO : 4,5
 N° DIENTES: 15
 ANGULO PRESION: 20°
 ANCHO CARA: 6

R28,12

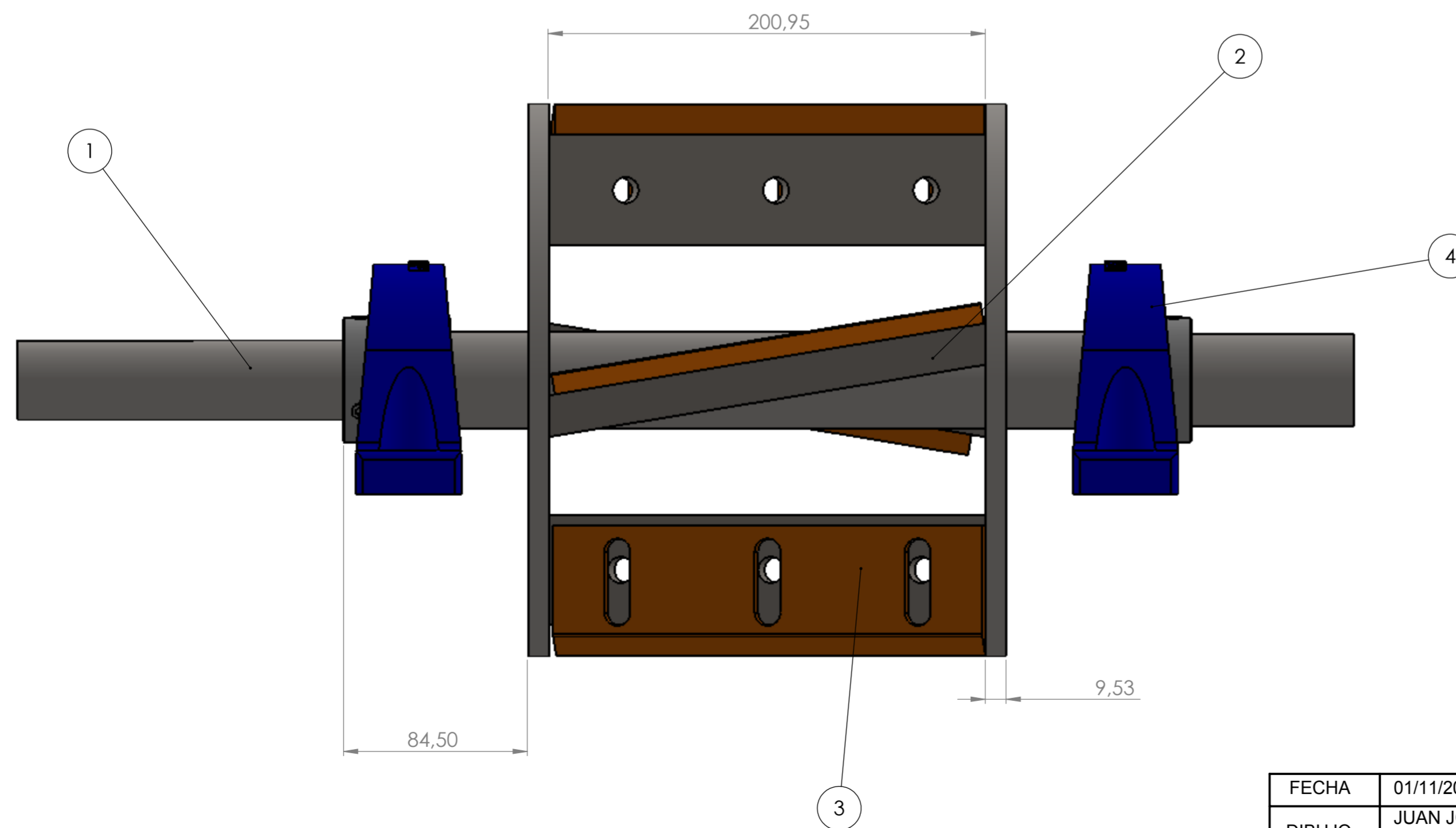
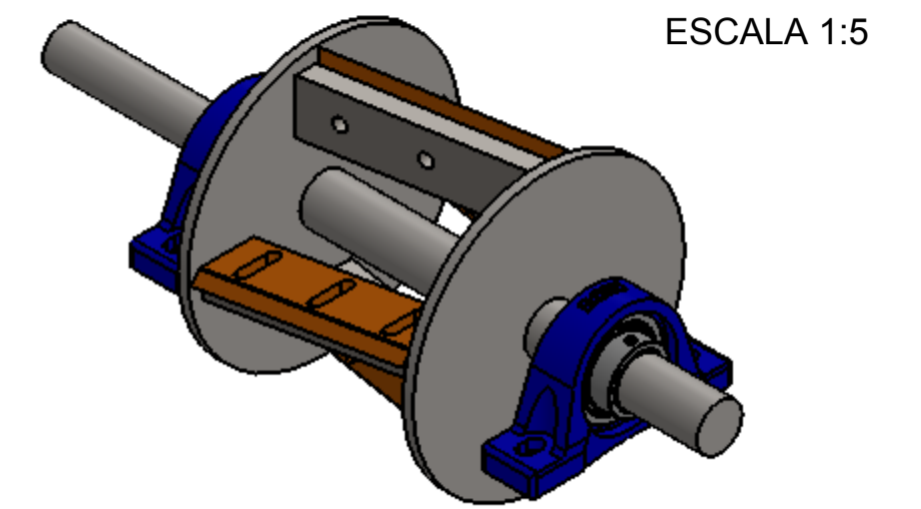


Ø 12

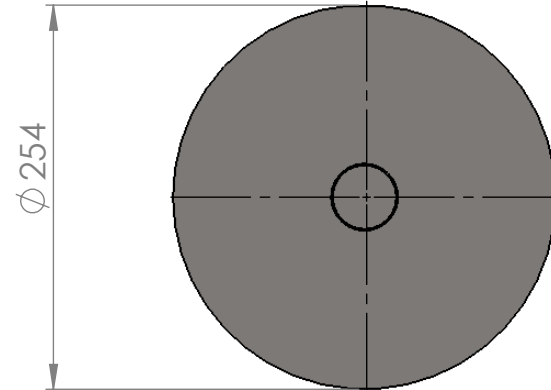
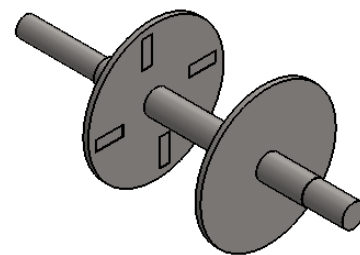
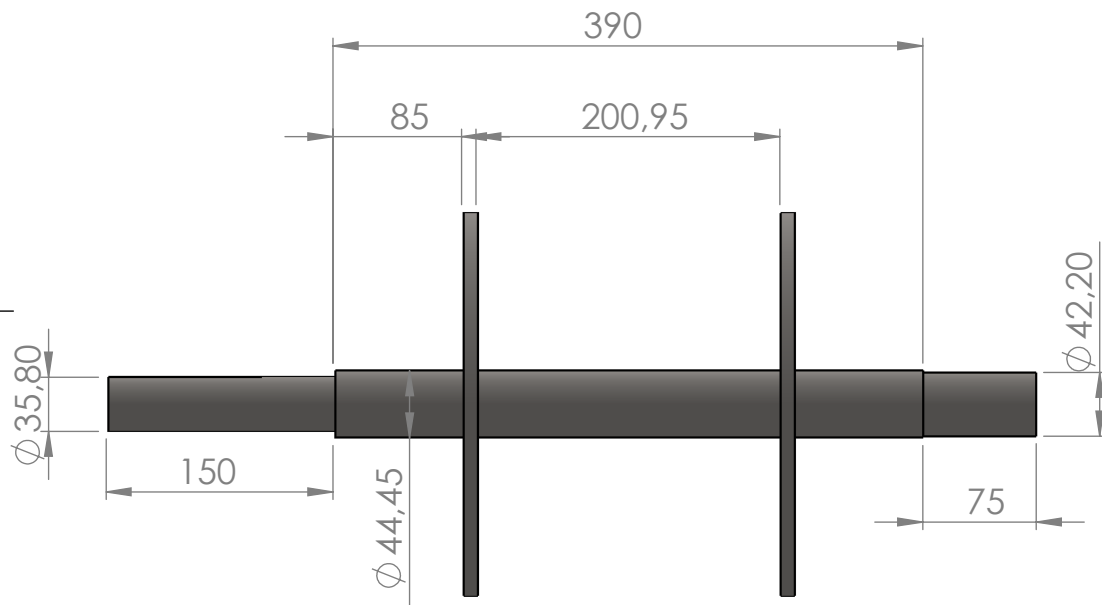


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	011
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	PIÑON TRANSMISION
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ACERO
ESCALA:	1:1	MEDIDAS EN mm		

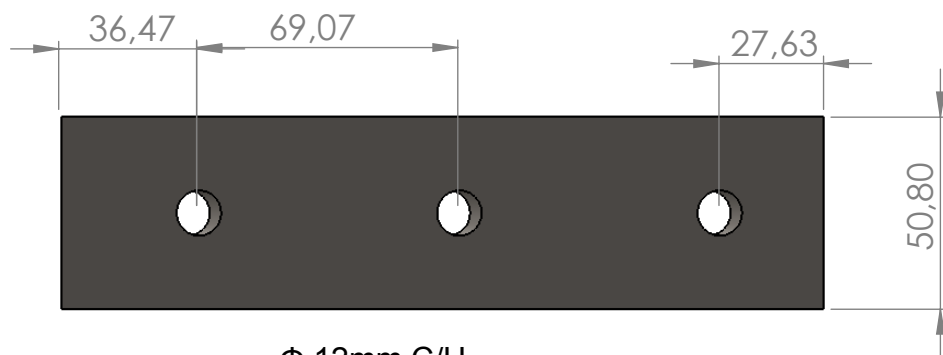
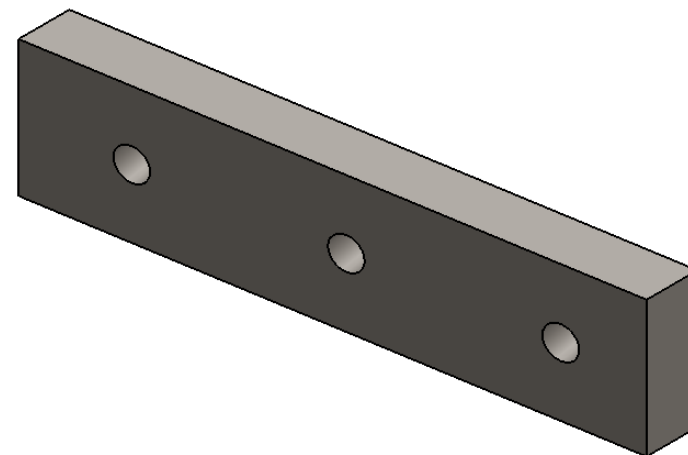
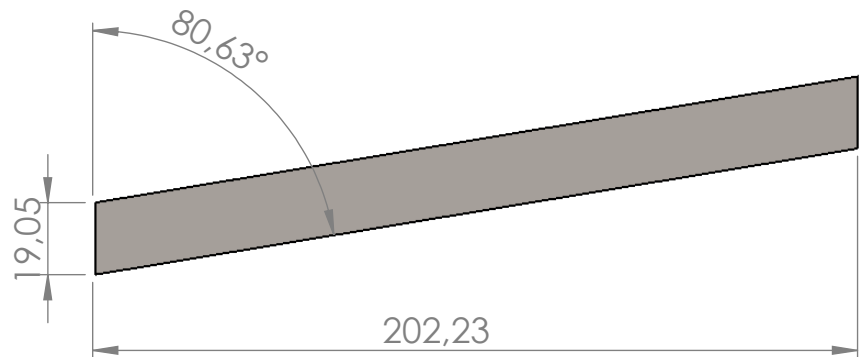
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	EJE PRINCIPAL	AISI 1020	1
2	PORTACUCHILLAS	ASTM A36	4
3	cuchilla_movil	SAE 5160	4
4	HI_SYH 1.3_4 TF_PART1	FUNDICION	2



FECHA	01/11/2013	MEDIDAS: EN mm	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	012
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE:	
APROBO	ING. ISNARDO GONZALEZ		DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	EJE CORTE	
ESCALA: 1:2	MATERIAL:				

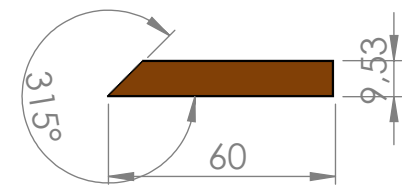
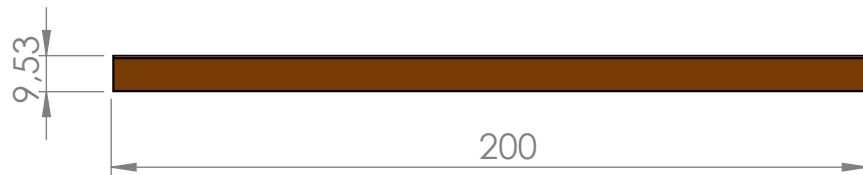
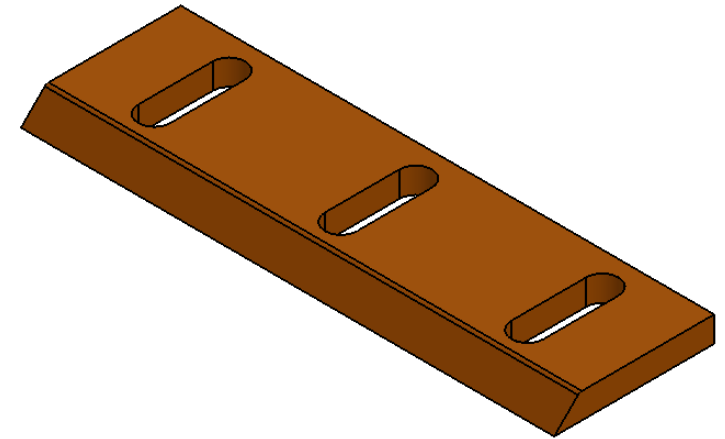
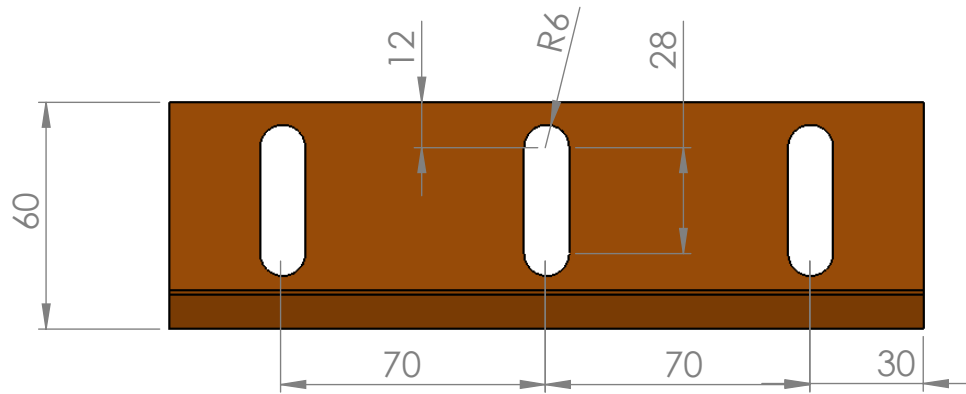


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	013
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	EJE PRINCIPAL
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	SAE 1020
ESCALA:	1:5	MEDIDAS EN mm		

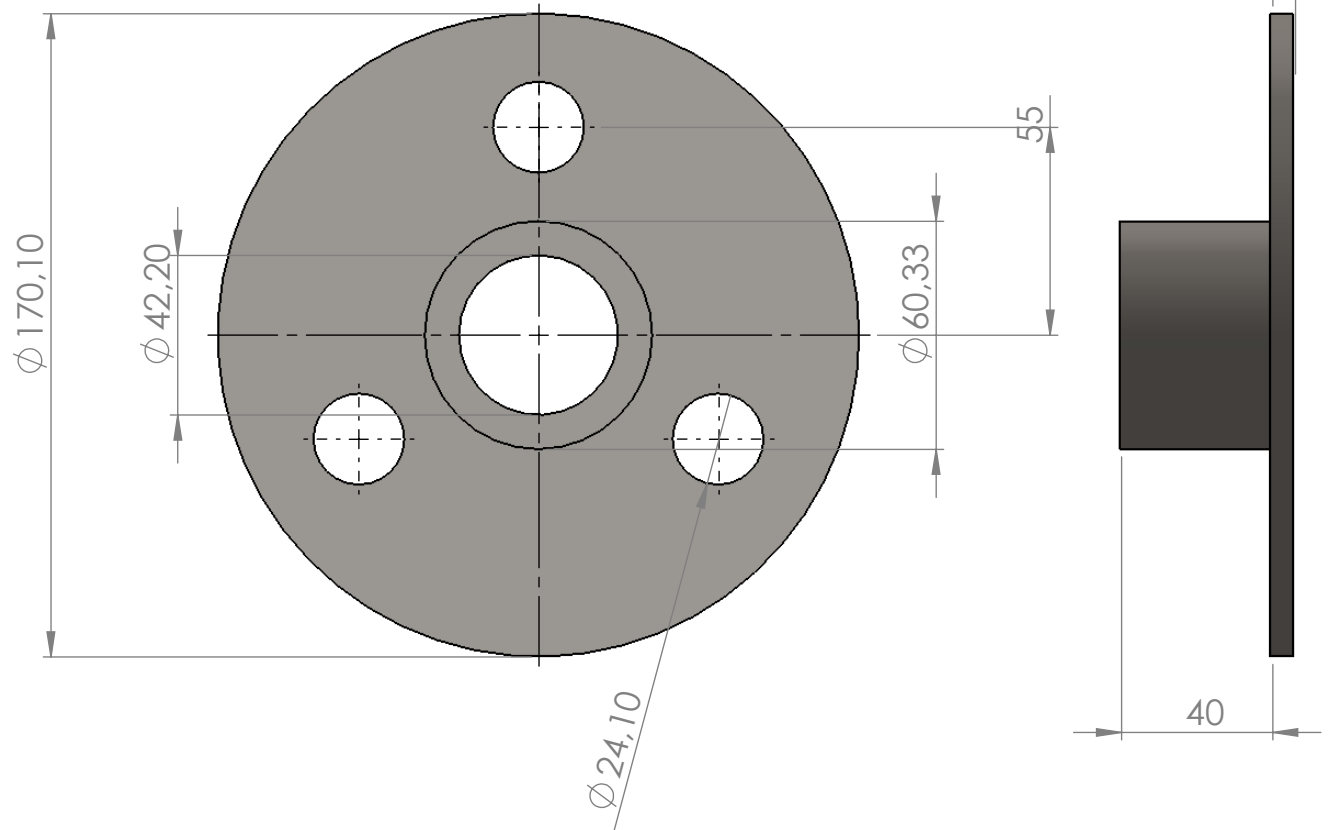
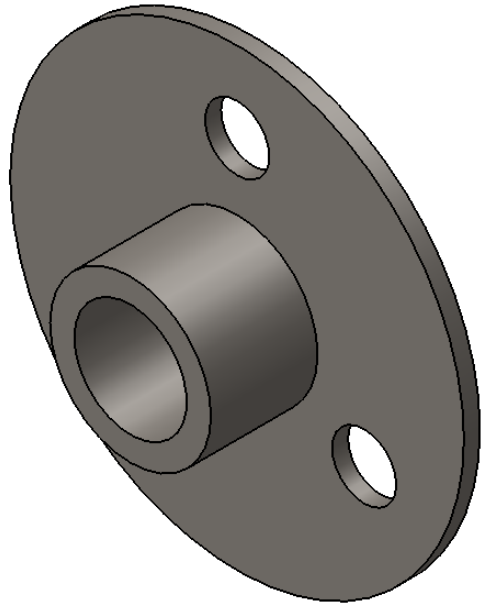


Φ 12mm C/U

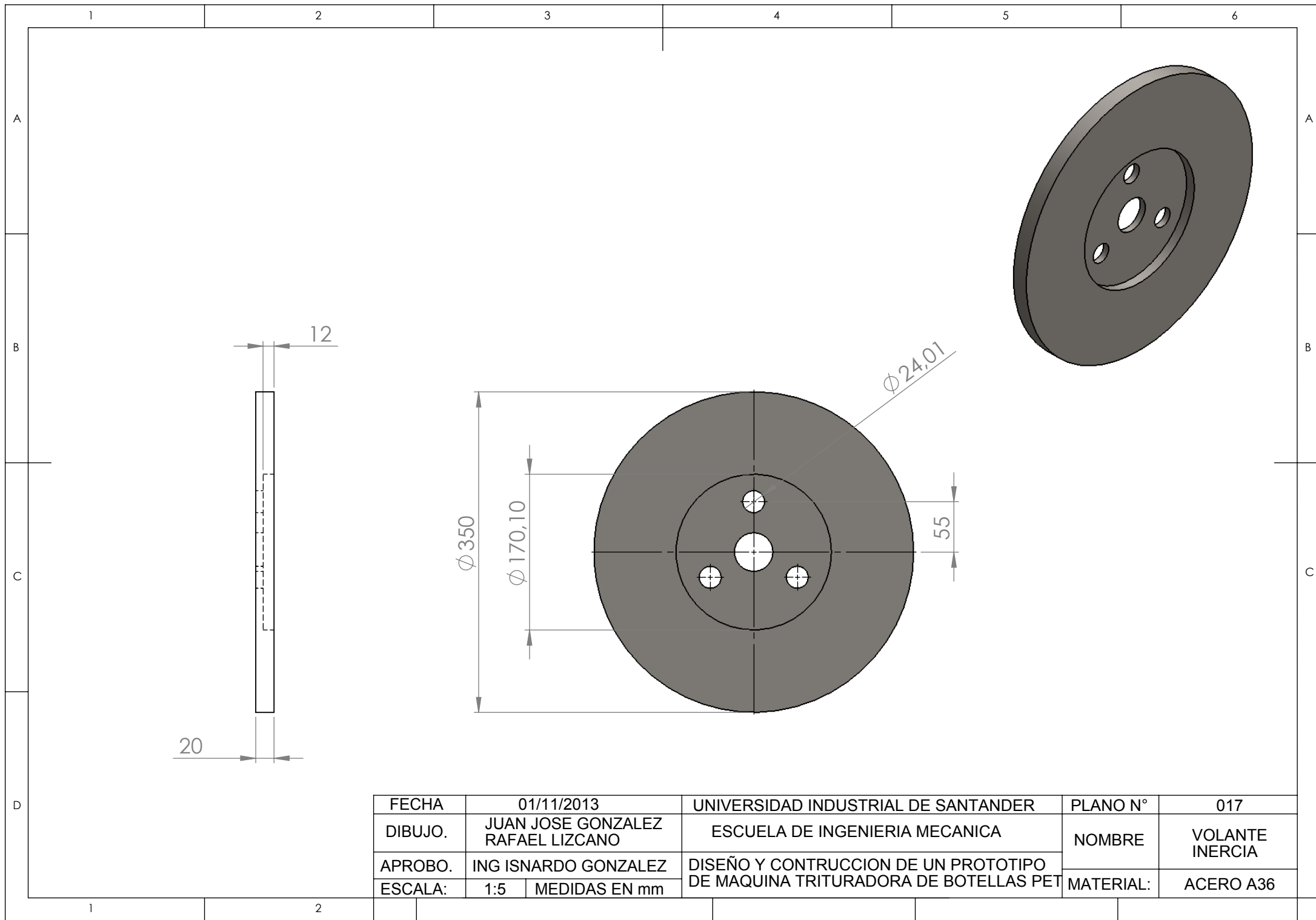
FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	014
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	PORTA CUCHILLAS
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ASTM A36
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		



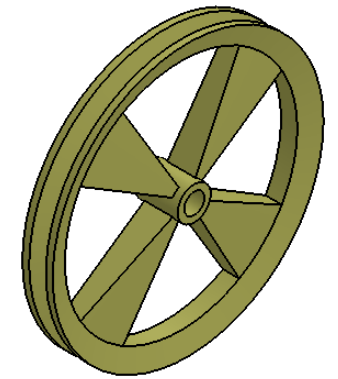
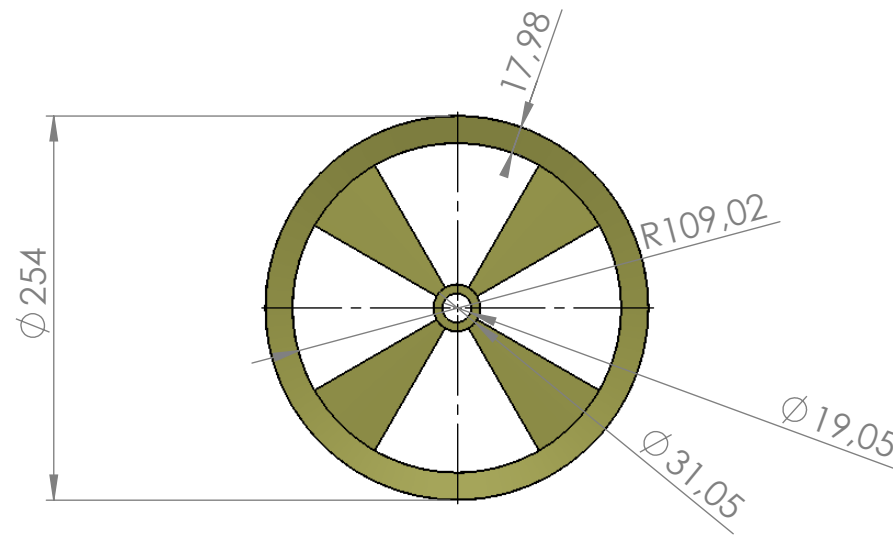
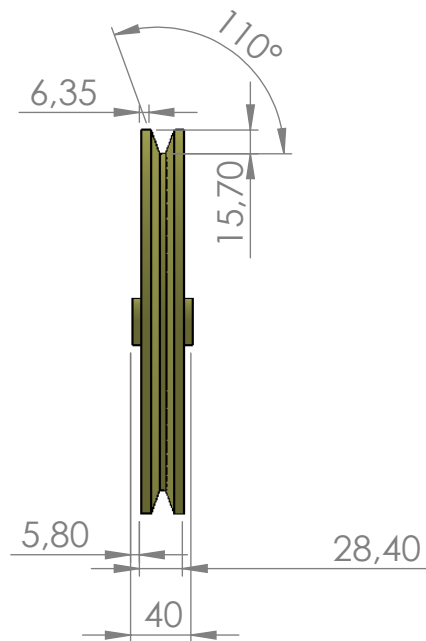
FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	015
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	CUCHILLAS
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	SAE 5160
ESCALA:	1:2 MEDIDAS EN mm			



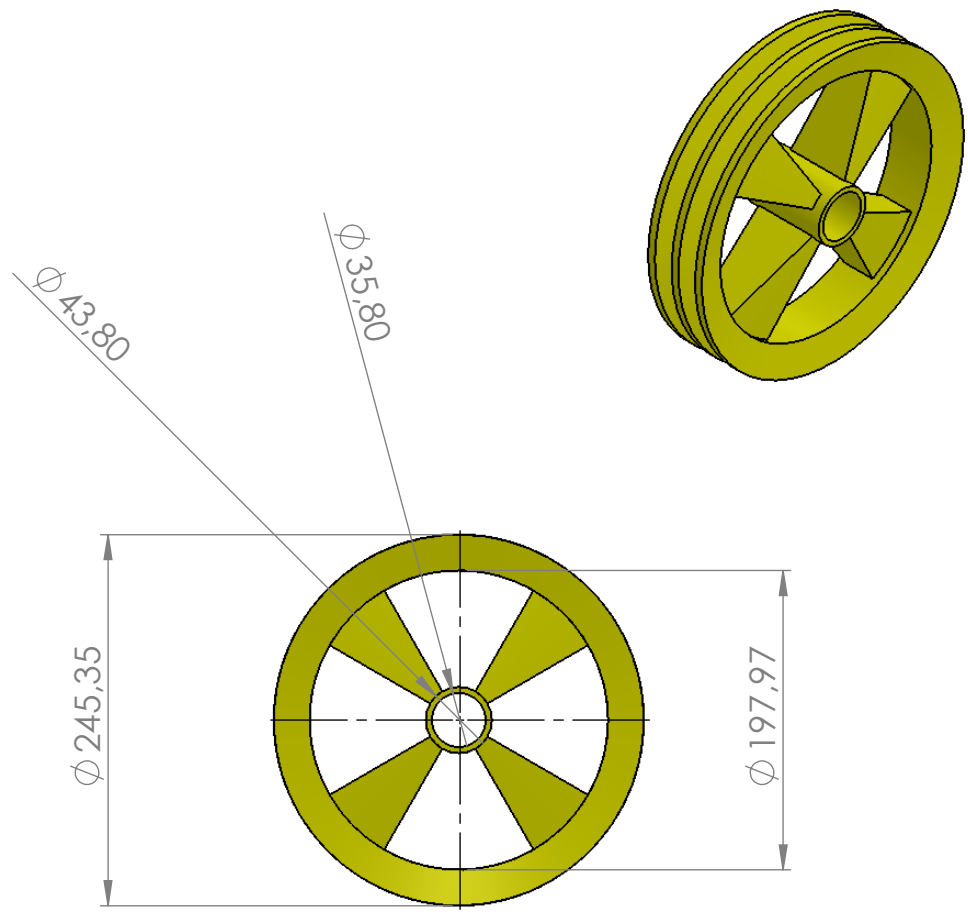
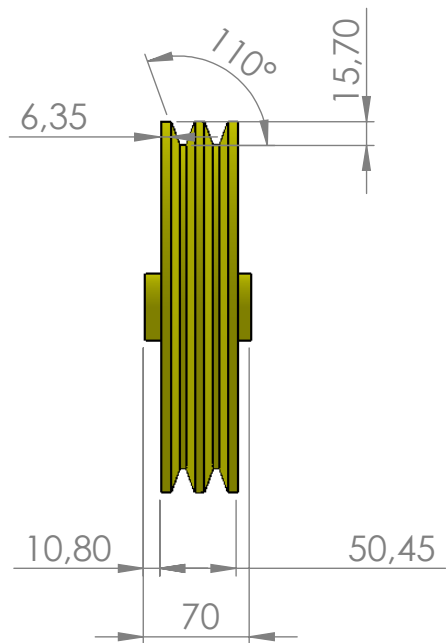
FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	016
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	MUÑON VOLANTE
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ACERO A36
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		



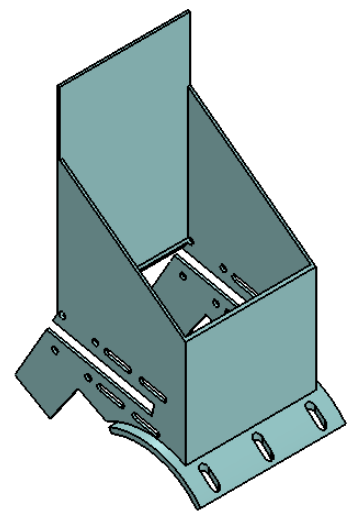
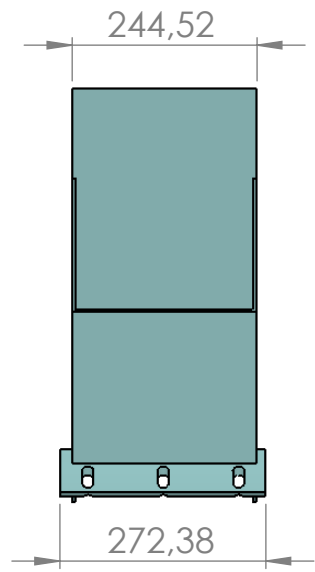
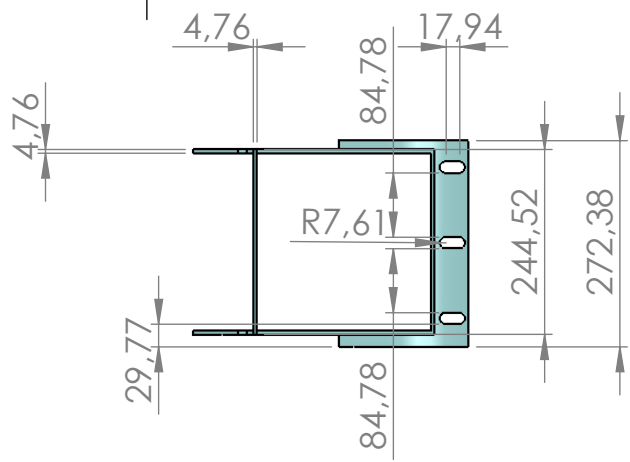
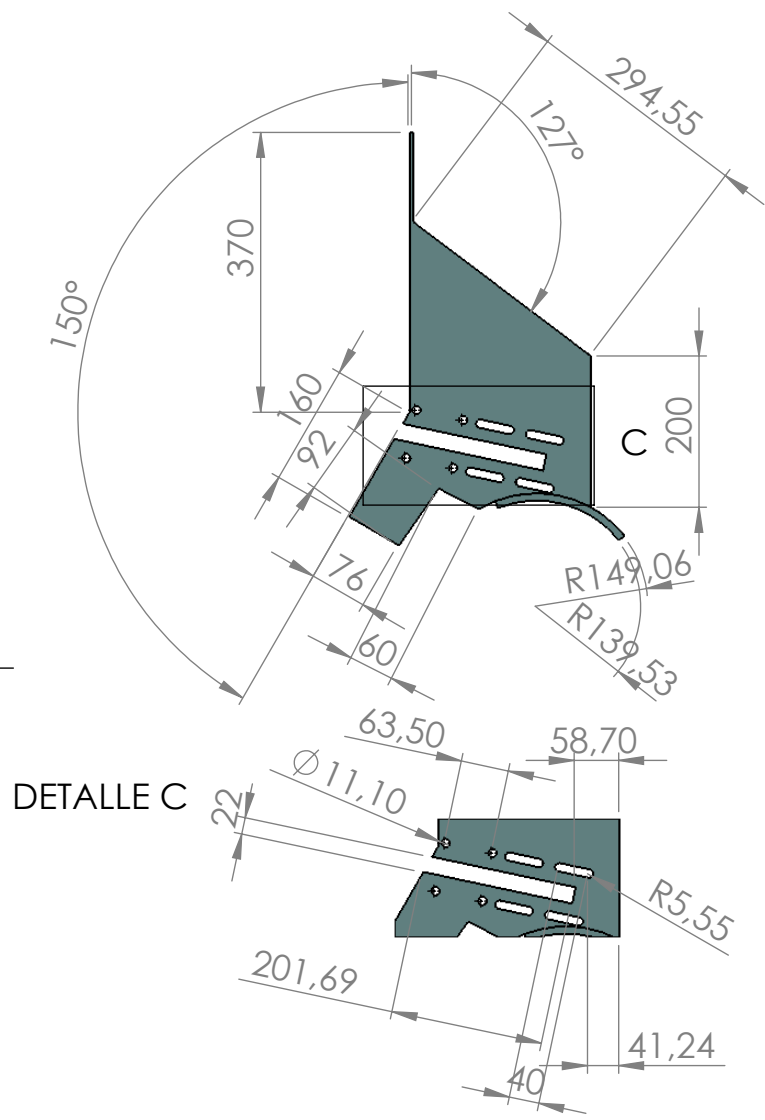
FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	017
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	VOLANTE INERCIA
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ACERO A36
ESCALA:	1:5	MEDIDAS EN mm		



FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	018
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	POLEA SIMPLE
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ALEACION AL 1060
ESCALA:	1:5 MEDIDAS EN mm			

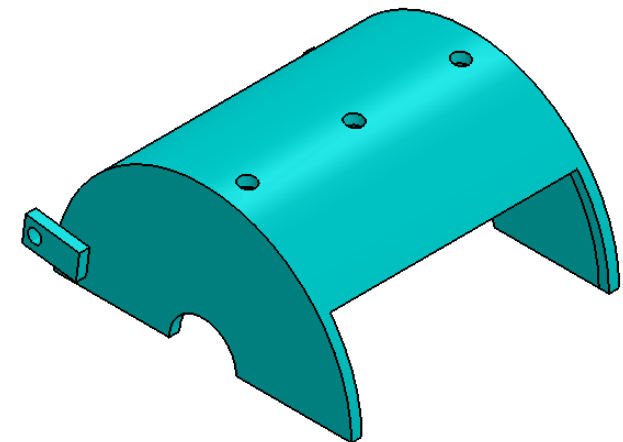
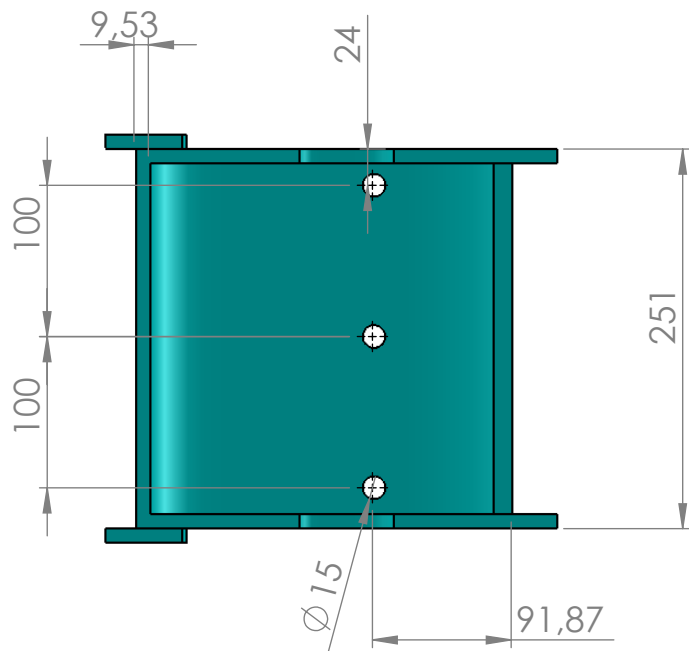
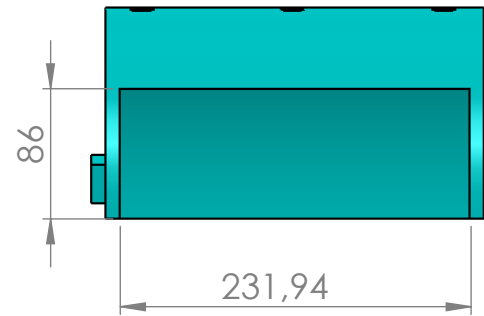
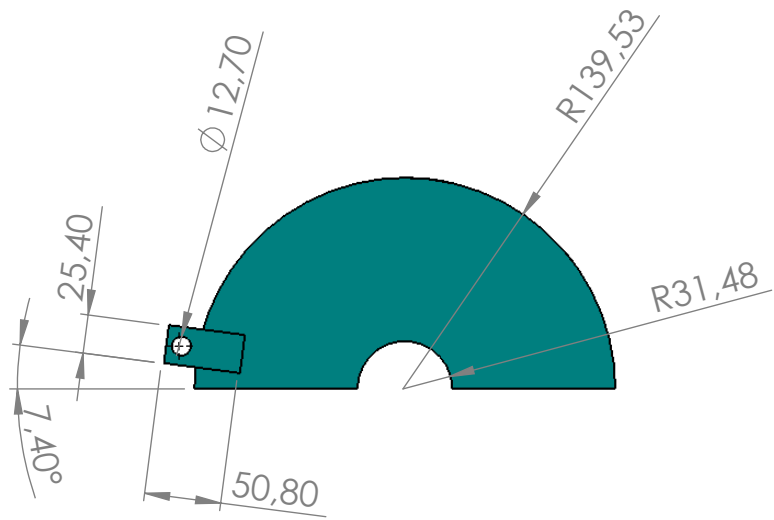


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	019
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	POLEA DOBLE
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ALEACION AL 1060
ESCALA:	1:5 MEDIDAS EN mm			

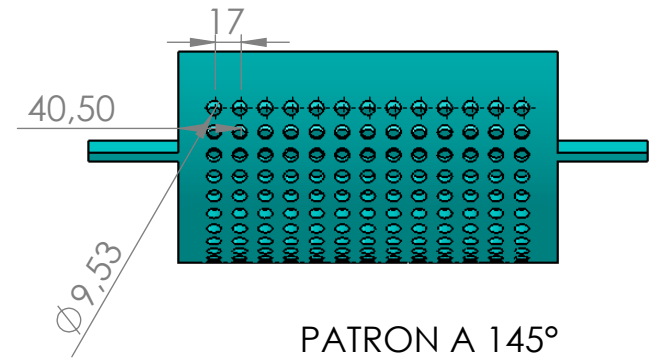
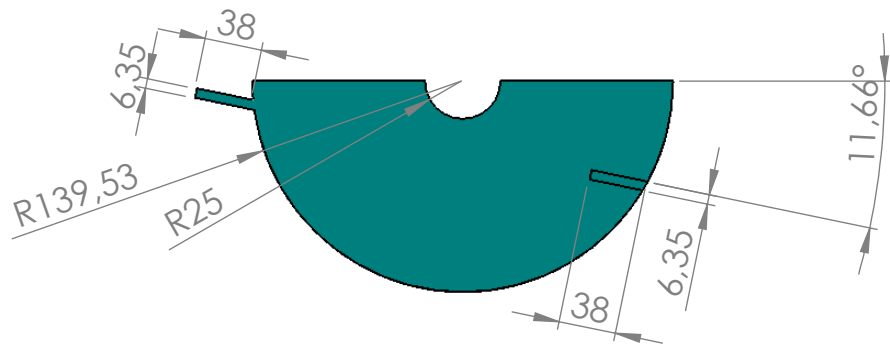
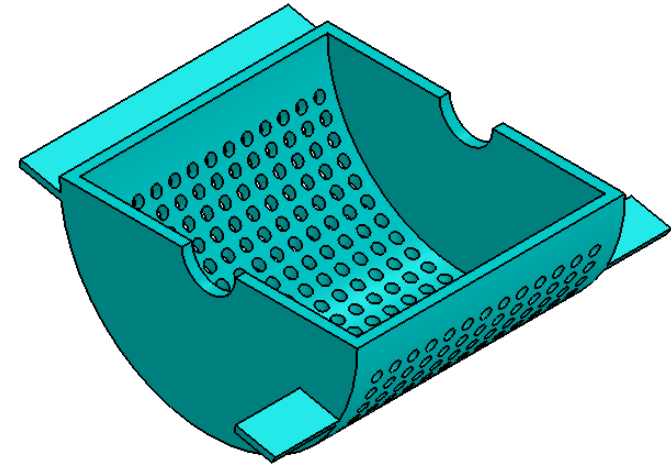
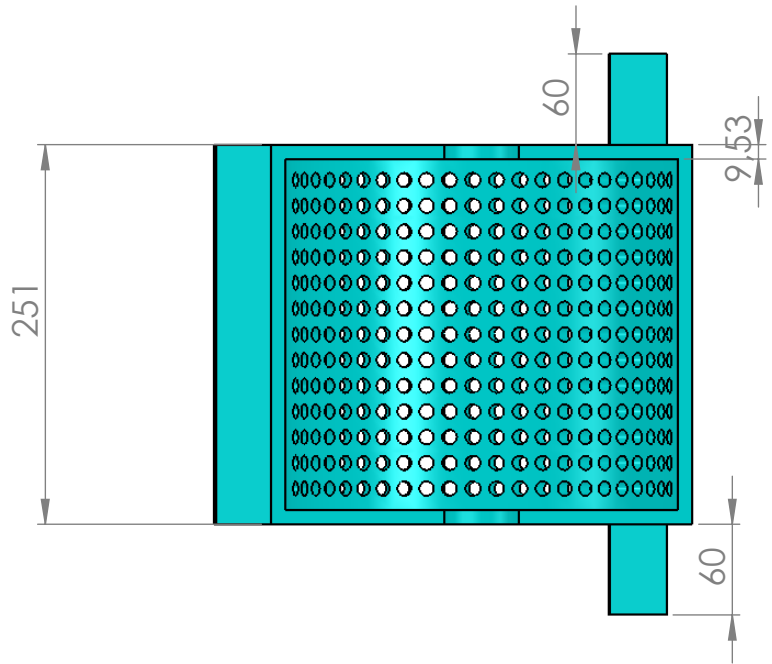


DETALLE C

FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	020
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	TOLVA ALIMENTACION
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ASTM A36
ESCALA:	1:10 MEDIDAS EN mm			

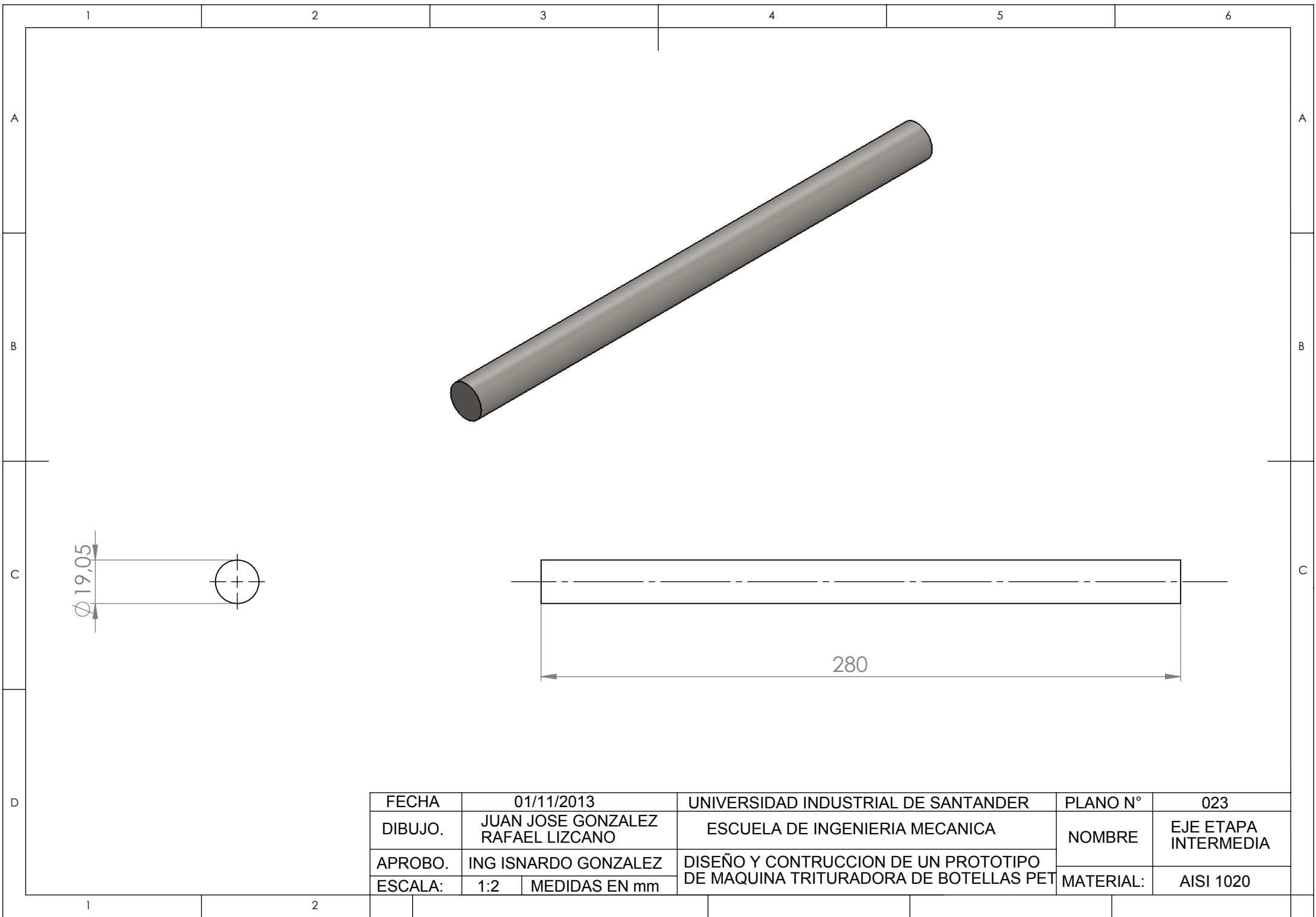


FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	021
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	TAPA TAMIZ
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ACERO A36
ESCALA:	1:5 MEDIDAS EN mm			

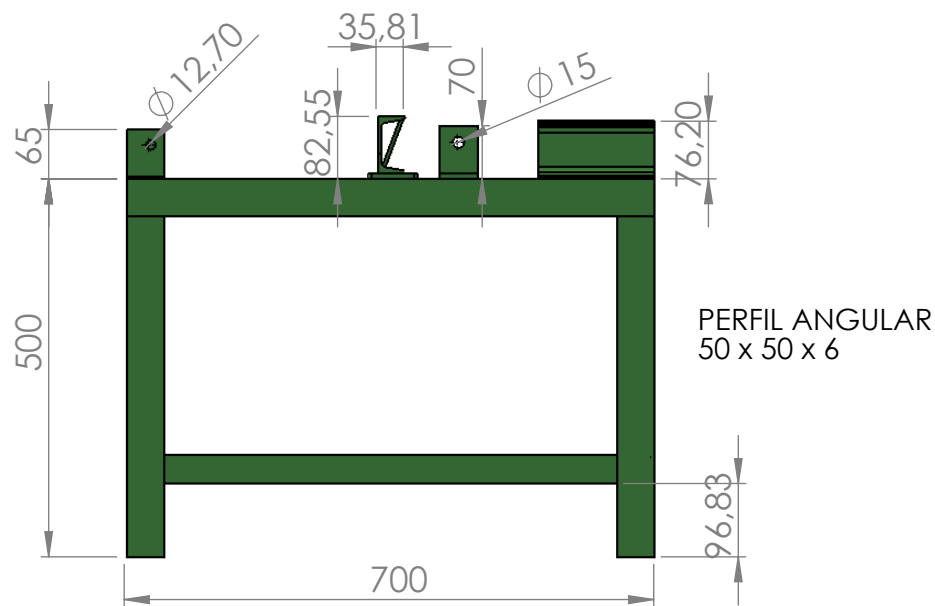
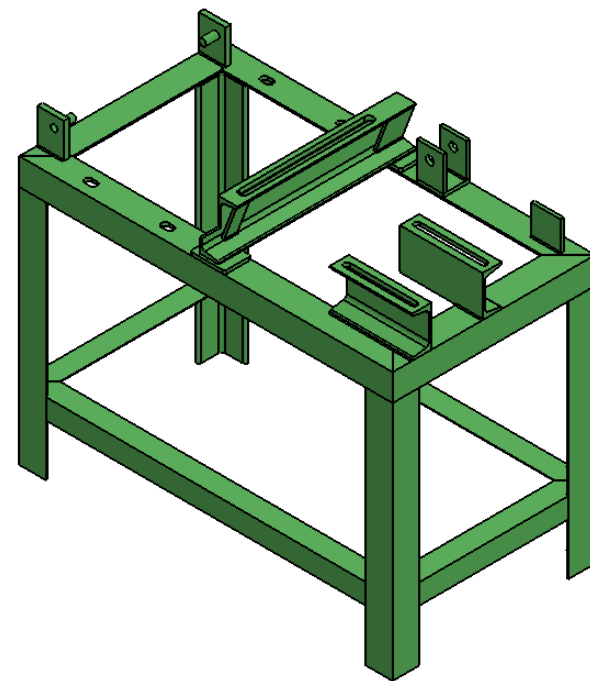


PATRON A 145°
22 REPETICIONES
LINEA PRIMARIA.

FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	022
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	TAMIZ
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ACERO A36
ESCALA:	1:5 MEDIDAS EN mm			



FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	023
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	EJE ETAPA INTERMEDIA
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	AISI 1020
ESCALA:	1:2	MEDIDAS EN mm		



FECHA	01/11/2013	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°	024
DIBUJO.	JUAN JOSE GONZALEZ RAFAEL LIZCANO	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	NOMBRE	ESTRUCTURA
APROBO.	ING ISNARDO GONZALEZ	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	MATERIAL:	ACERO ESTRUCTURAL
ESCALA:	1:10	MEDIDAS EN mm		