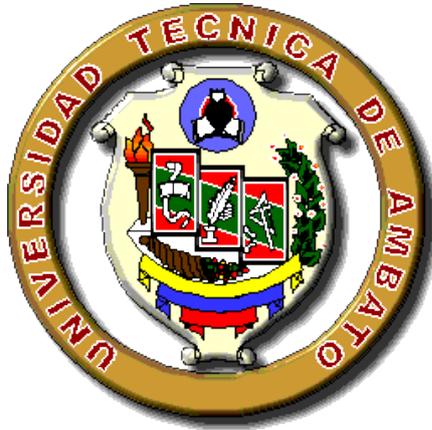


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:** “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO, PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS EN EL BOTADERO DE LA CIUDAD DE AMBATO”

**AUTOR:** Carlos Daniel Chimborazo López.

**TUTOR:** Ing. Mg. Jorge Guamanquispe T.

**AMBATO-ECUADOR**

**2016**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación **“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO, PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS EN EL BOTADERO DE LA CIUDAD DE AMBATO”**. Elaborado por Carlos Daniel Chimborazo Lopez, egresado de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Diciembre de 2015

EL TUTOR

-----  
Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

C. I.: 1802039485

## AUTORÍA

Declaro que el contenido del trabajo investigativo “**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO, PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS EN EL BOTADERO DE LA CIUDAD DE AMBATO**”, así como sus ideas, opiniones, resultados, análisis, conclusiones y propuesta son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato, Diciembre de 2015

EL AUTOR

-----  
Carlos Daniel Chimborazo López

C. I.: 1804007183

## DEDICATORIA

*“Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables, como la fuerza y la materia. Cuando se separan, el Hombre no existe”*

*NIKOLA TESLA.*

A la vida misma y al tiempo, que son los elementos primordiales en nuestra existencia, a las decisiones tomadas que de una u otra forma me permitieron llegar a este punto con satisfacción.

A mis padres, mi hermana, familia y amigos, cuyos hombros fueron esenciales para no decaer en alcanzar la meta propuesta.

## AGRADECIMIENTO

*Han de saber que decidí no decir nombres  
Por si alguno se quedaba en el tintero  
Así que va por las mujeres y los hombres  
Por todos aquellos que me quieren y que quiero.*

*A mi madre, por ser las columnas de mi templo  
Por enseñarme con su amor y con su ejemplo  
A mi padre, que me enseñó cuan dura es la vida pero a la  
vez, que está llena de bendiciones y alegrías.*

*A mi Tutor e ingenieros que han guiado mi camino, a más  
de maestros y consejeros, se han transformado en grandes  
amigos.*

*A las lecciones aprendidas, errores y tropiezos.*

*Se los digo.....*

*Yo no valgo nada sin vosotros.*

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tema de investigación.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis Crítico.....	5
1.2.3 Prognosis .....	6
1.2.4 Formulación del Problema .....	7
1.2.5 Preguntas Directrices .....	7
1.2.6 Delimitación.....	7
1.2.6.1 Delimitación Espacial .....	7
1.2.6.2 Delimitación Temporal .....	7
1.2.6.3 Delimitación Conceptual.....	7
1.3 Justificación.....	8
1.4 Objetivos .....	9
1.4.1 General .....	9
1.4.2 Específicos .....	9
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>10</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
2.1 Antecedentes investigativos .....	10
2.2 Fundamentación filosófica .....	12
2.3 Fundamentación legal .....	12
2.4 Categorías fundamentales .....	13
2.4.1 Diseño mecánico .....	14

2.4.1.1 Trituración.....	14
2.4.2 Sistemas mecánicos.....	15
2.4.2.1 Tipos de trituradoras .....	15
2.4.3 Estudio de sistema de trituración de botellas pet .....	24
2.4.3.1 Aceros de corte.....	24
2.4.3.2 Diseño de herramientas para trituradoras .....	25
2.4.3.3 Fresado .....	26
2.4.3.4 Sistemas de transmisión .....	27
2.4.3.5 Ensayo Izod .....	29
2.4.3.6 Soldadura por arco eléctrico.....	31
2.4.3.7 Rodamientos FAG rígidos de bolas .....	35
2.4.3.8 Reductores y motorreductores.....	36
2.4.4 Desarrollo productivo.....	37
2.4.4.1 Reciclado.....	37
2.4.5 Control medioambiental.....	45
2.4.6 Contaminación ambiental por sólidos .....	47
2.4.6.1 Plástico .....	47
2.4.6.2 Contaminación ambiental producida por los residuos sólidos. ....	49
2.5 Hipótesis.....	50
2.6 Señalamiento de variables.....	50
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>51</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>51</b>
3.1 Modalidad básica de la investigación .....	51
3.2 Nivel o tipo de investigación.....	51
3.2.1 Modalidad .....	51
3.2.2 Tipo de Investigación .....	52
3.3 Población y muestra .....	52
3.3.1 Población.....	52
3.3.2 Muestra.....	52
3.4 Operacionalización de variables .....	53
3.4.1 Variable Independiente: Sistema de trituración de botellas PET.....	53
3.4.2 Variable Dependiente: La contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato.....	54

3.5 Plan de recolección de la información .....	55
3.6 Plan de procesamiento de la información .....	55
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>56</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>56</b>
4.1 Análisis de los resultados .....	56
4.2 Interpretación de resultados .....	65
4.2.1 Variación de potencia de motor .....	65
4.2.2 Variación del material usado para corte .....	66
4.2.3 Variación de las revoluciones del motor .....	67
4.2.4 Variación para mejorar la granulometría .....	68
4.2.5 Total de capacidades de trituración .....	69
4.3 Verificación de la hipótesis .....	69
4.3.1 Método del chi-cuadrado para comprobación de hipótesis de forma estadística .....	70
4.3.1.1 Región de aceptación y rechazo .....	71
4.3.1.2 Especificaciones estadísticas .....	71
4.3.1.3 Estimación de chi cuadrado .....	72
4.3.2 Datos de trituración obtenidos mediante prototipo .....	74
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>77</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>77</b>
5.1 Conclusiones .....	77
5.2 Recomendaciones .....	79
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>81</b>
<b>PROPUESTA</b> .....	<b>81</b>
6.1 Datos informativos .....	81
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	81
6.3 Justificación .....	82
6.4 Objetivos .....	83
6.4.1 General .....	83
6.4.2 Específicos .....	83
6.5 Análisis de factibilidad .....	83

6.6 Fundamentación.....	83
6.6.1 Método de ejecución del reciclado.....	83
6.6.2 Ponderación de variables para el método de reciclado mecánico.....	84
6.6.2.1 Ingreso de material.....	84
6.6.2.2 Tolva de trituración.....	86
6.6.2.3 Trituración.....	87
6.6.2.4 Clasificación del material.....	98
6.6.3 Cálculo de elementos para reciclaje mecánico.....	99
6.6.3.1 Capacidad de trituración.....	99
6.6.3.2 Potencia aproximada de accionamiento.....	100
6.6.3.3 Dimensionamiento de piñones de movimiento.....	103
6.6.3.4 Dimensionamiento de eje.....	110
6.6.3.5 Selección de chaveta para eje principal.....	126
6.6.3.6 Cuchillas y espaciadores.....	128
6.6.3.7 Selección de rodamiento.....	133
6.6.3.8 Selección de cadena y catarinas.....	137
6.6.3.9 Mordazas de aplastamiento.....	145
6.6.3.11 Diseño de soldadura de aletas.....	146
6.6.3.12 Dimensionamiento de placas de carcasa.....	151
6.6.3.13 Selección de pernos.....	151
6.6.3.14 Comprobación de la resistencia del dimensionamiento de placas y pernos de carcasa por análisis estático mediante software.....	158
6.6.3.15 Selección de anillos de seguridad.....	164
6.6.3.16 Estructura o bancada.....	165
6.6.3.17 Selección de motor-reductor.....	172
6.6.3.18 Sistema de arranque y elementos.....	173
6.7 Metodología.....	176
6.7.1 Cuchillas o disco de trituración.....	177
6.7.2 Eje porta cuchillas n° 1.....	177
6.7.3 Eje porta cuchillas n° 2.....	178
6.7.4 Mecanismo de aplastamiento.....	178
6.7.5 Mecanismos de transmisión de movimiento.....	179
6.7.6 Carcasa de placas atornilladas.....	180
6.7.7 Bancada.....	180

6.7.8 Criba.....	181
6.7.9 Tolva .....	181
6.7.10 Prototipo.....	181
6.8 Administración.....	186
6.8.1 Costos de materiales y mano de obra.....	186
6.8.2 Recuperación de la inversión .....	187
6.9 Previsión de la evaluación.....	189
BIBLIOGRAFÍA.....	190
ANEXOS.....	194

## TABLAS

Tabla 2-1: Comparación del CentriCut con el molino de cuchillas convencional	20
Tabla 2-2: Ángulos para trabajo en plásticos .....	27
Tabla 2-3: Características mecánicas requeridas de electrodos .....	32
Tabla 2-4: Características del PET y RPET (pet reciclado).....	39
Tabla 2-5: Contaminación por residuos. ....	49
Tabla 3-1: Operacionalización de variable independiente. ....	53
Tabla 3-2: Operacionalización de variable dependiente .....	54
Tabla 4-1: Variación 1: Motor de 3HP(1800 RPM)por Motor de 2HP (1800 RPM) .....	58
Tabla 4-2: Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste K100(57-62 HRc) por K110(64-67 HRc).....	58
Tabla 4-3: Variación 3: RPM Motor .....	58
Tabla 4-4: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada. .....	59
Tabla 4-5: Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM). .....	60
Tabla 4-6 Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste AISI 01 DF2(62 HRc) por K100(57-62 HRc) .....	60
Tabla 4-7: Variación 3: RPM Motor .....	60
Tabla 4-8: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada .....	60
Tabla 4-9: Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM). .....	61
Tabla 4-10: Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste K100(57- 62 HRc) por AISI 01 –DF2 (62 HRc).....	62

Tabla 4-11: Variación 3: RPM motor .....	62
Tabla 4-12: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada .....	62
Tabla 4-13: Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM).....	63
Tabla 4-14: Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste K100(57-62 HRC) por K110(64-67 HRC).....	64
Tabla 4-15: Variación 3: RPM Motor.....	64
Tabla 4-16: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada .....	64
Tabla 4-17: Porcentaje de variaciones en relación a la potencia del motor .....	66
Tabla 4-18: Porcentaje de variaciones en relación al material usado para corte ..	66
Tabla 4-19: Porcentaje de variaciones en relación a las revoluciones del motor..	67
Tabla 4-20: Porcentaje de variaciones en relación a la mejora de granulometría.	68
Tabla 4-21: FRECUENCIAS OBSERVADAS. ....	71
Tabla 4-22: FRECUENCIAS ESPERADAS. ....	72
Tabla 4-23: Estimación del chi cuadrado.....	73
Tabla 4-24: Datos físicos de las botellas a ensayar .....	75
Tabla 4-25: Datos obtenidos por ensayos de trituración.....	75
Tabla 4-26: Porcentaje de reducción de desechos sólidos plásticos .....	76
Tabla 6-1: Ponderación de la funcionalidad para ingreso de material .....	84
Tabla 6-2: Ponderación del costo constructivo para ingreso de material.....	85
Tabla 6-3: Ponderación de la facilidad de mantenimiento para ingreso de material .....	85
Tabla 6-4: Ponderación del peso para ingreso de material. ....	85
Tabla 6-5: Ponderación de la forma para tolva de trituración.....	86
Tabla 6-6: Ponderación del costo de fabricación para tolva de trituración.....	86
Tabla 6-7: Ponderación del aprovechamiento de caída para tolva de trituración.	86
Tabla 6-8: Ponderación de la complejidad de diseño para tolva de trituración. ...	87
Tabla 6-9: Ponderación de la innovación para tolva de trituración. ....	87
Tabla 6-10: Ponderación de la calidad de trituración para etapas.....	87
Tabla 6-11: Ponderación de la velocidad de trituración para etapas.....	88
Tabla 6-12: Ponderación de la cantidad de trituración para etapas.....	88
Tabla 6-13: Ponderación del consumo de energía de trituración para etapas.....	88
Tabla 6-14: Ponderación del costo de implementación para etapas. ....	88

Tabla 6-15: Ponderación de la vida útil para etapas. ....	89
Tabla 6-16: Ponderación del costo de mantenimiento para etapas. ....	89
Tabla 6-17: Ponderación de la granulometría de trituración para eje. ....	89
Tabla 6-18: Ponderación de la cantidad de trituración por eje.....	90
Tabla 6-19: Ponderación del consumo de energía por eje. ....	90
Tabla 6-20: Ponderación del costo de implementación por eje. ....	90
Tabla 6-21: Ponderación de la mayor vida útil por eje. ....	90
Tabla 6-22: Ponderación del costo de mantenimiento por eje. ....	91
Tabla 6-23: Ponderación del desgaste para cuchillas.....	92
Tabla 6-24: Ponderación del corte efectivo para cuchillas. ....	93
Tabla 6-25: Ponderación del costo de implementación para cuchillas. ....	94
Tabla 6-26: Ponderación de la facilidad de mantenimiento para cuchillas.....	95
Tabla 6-27: Ponderación del ruido que realizan las cuchillas.....	96
Tabla 6-28: Ponderación de la granulometría que permiten las cuchillas. ....	97
Tabla 6-29: Ponderación de la funcionalidad en la clasificación del material.....	98
Tabla 6-30: Ponderación de la facilidad de ensamblaje en la clasificación del material.....	98
Tabla 6-31: Ponderación de la facilidad de construcción para clasificación del material.....	98
Tabla 6-32: Ponderación de la recirculación para clasificación del material.....	98
Tabla 6-33: Elementos seleccionados para cada proceso .....	99
Tabla 6-34: Diámetros comerciales de cuchillas .....	101
Tabla 6-35: Torques según radios de cuchillas .....	102
Tabla 6-36: Potencia según radios de cuchillas .....	102
Tabla 6-37: Características técnicas de trituradora de botellas pet .....	176
Tabla 6-38: Costo de Materiales .....	186
Tabla 6-39: Costo por mano de obra.....	187
Tabla 6-40: Costo total.....	187

## FIGURAS

Figura 1-1 Trituradora Industrial .....	3
Figura 2-1 Categorías Fundamentales.....	13
Figura 2-2 Trituradoras de mandíbulas de doble efecto o "Blake" .....	16
Figura 2-3 Molino de discos .....	17

Figura 2-4 Trituradoras de Rodillos dentados o Rodillo único y placa .....	17
Figura 2-5 Dos rodillos dentados .....	18
Figura 2-6 Máquinas cortadoras rotativas.....	18
Figura 2-7 Trituradora de martillos .....	19
Figura 2-8 Eje de transportador sinfín, 2. Recinto de trituración, 3. Rotor, 4. Cuchilla de rotor, 5. Cuchilla de estátor, 6. Sistema de aspiración, 7. Cribas .....	20
Figura 2-9 Mini Triturador de Botellas PET.....	21
Figura 2-10 Granulador a pie de máquina.....	21
Figura 2-11 Cuchillas de modelo GSL300.....	22
Figura 2-12 Dimensiones .....	22
Figura 2-13 Trituradoras de 4 árboles.....	23
Figura 2-14 Ángulos para fresado.....	26
Figura 2-15: Posición de la probeta para prueba Izod.....	29
Figura 2-16: Mordazas para ensayo .....	30
Figura 2-17: Martillo o punzón para ensayo .....	30
Figura 2-18: Clasificación de electrodos.....	32
Figura 2-19 Juntas de soldadura.....	33
Figura 2-20 Posiciones de soldadura.....	34
Figura 2-21 Rodamientos rígidos de bolas.....	36
Figura 2-22. Proceso de reciclado mecánico.....	38
Figura 2-23 Propiedades físicas, mecánicas del PET.....	39
Figura 2-24 Planta de reciclado de PVC Vinyloop.....	40
Figura 4-1 Organigrama para análisis .....	56
Figura 4-2 Trituradora de cuchillas planas.....	57
Figura 4-3 Trituradora de Martillos .....	59
Figura 4-4 Trituradora Vertical.....	61
Figura 4-5 Trituradora de Discos .....	63
Figura 4-6 Porcentajes de producción de acuerdo a la reducción de la potencia de motor. ....	65
Figura 4-7 Porcentajes de producción de acuerdo al cambio de la dureza del material .....	66
Figura 4-8 Porcentajes de producción de acuerdo a la reducción de las revoluciones de giro del motor .....	67
Figura 4-9 Porcentajes de producción de acuerdo al mejoramiento completo de los sistemas .....	68

Figura 4-10 Producción total de cada uno de los modelos en relación a las variaciones aplicadas.....	69
Figura 4-11: Curva de aceptación y rechazo.....	74
Figura 4-12: Botellas de ensayo.....	75
Figura 6-1: Distancia entre centros de ejes.....	103
Figura 6-2: Disposición de cuchillas y separadores.....	110
Figura 6-3: Ciclo de carga repetida.....	110
Figura 6-4: Distribución de cargas.....	112
Figura 6-5: Separadores.....	112
Figura 6-6: Geometría simple de cuchillas.....	113
Figura 6-7: Fuerzas resultantes en piñón por acción del torque.....	115
Figura 6-8: Ubicación de cargas para plano XY.....	116
Figura 6-9: Diagrama de Fuerzas cortantes para plano XY.....	117
Figura 6-10: Diagrama de Momento flector para plano XY.....	118
Figura 6-11: Ubicación de cargas para el plano XZ.....	118
Figura 6-12: Diagrama de Fuerzas cortantes para plano XZ.....	119
Figura 6-13: Diagrama de Momento flector para plano XZ.....	120
Figura 6-14: Dimensiones de Chaveta.....	126
Figura 6-15: Espesor de cuchilla.....	129
Figura 6-16: Agujero de cuchilla.....	129
Figura 6-17: Chaveta de cuchilla.....	130
Figura 6-18: Ángulos de cuchilla.....	131
Figura 6-19: Ubicación de apoyos.....	133
Figura 6-20: Distribución de aletas sobre ejes.....	145
Figura 6-21: Distribución de fresado (Azul-eje; rojo-medida de fresado).....	146
Figura 6-22: Soldadura sometida a tensión.....	147
Figura 6-23: Modelación de carcasa.....	158
Figura 6-24: Aplicación de conexiones de pernos.....	158
Figura 6-25: Sujeciones fijas de las placas.....	158
Figura 6-26: Inserción de presión interna.....	159
Figura 6-27: Fuerza en agujero 1.....	159
Figura 6-28: Fuerza en agujero 2.....	160
Figura 6-29: Fuerza en agujero 3.....	160
Figura 6-30: Fuerza en agujero 4.....	161

Figura 6-31: Fuerza en agujero 5 .....	161
Figura 6-32: Fuerza en agujero 6 .....	161
Figura 6-33: Fuerza en agujero 7 .....	162
Figura 6-34: Fuerza en agujero 8 .....	162
Figura 6-35: Factor de seguridad de placas.....	163
Figura 6-36: Esfuerzo de Von Misses .....	163
Figura 6-37: Desplazamientos de placas de carcasa .....	164
Figura 6-38: Dimensiones de anillo de seguridad.....	165
Figura 6-39: Modelo 3D de estructura .....	167
Figura 6-40: Propiedades de ángulo 2inx1/4 .....	167
Figura 6-41: Propiedades de tubo estructural cuadrado 2inx1/8.....	168
Figura 6-42: Colocación de perfiles sobre modelo 3D.. .....	168
Figura 6-43: Patrón de carga.....	169
Figura 6-44: Caso de Carga.....	169
Figura 6-45: Combinación de carga a simular. ....	170
Figura 6-46: Ubicación de carga en nodos de apoyo .....	170
Figura 6-47: Deformación de perfiles .....	171
Figura 6-48: Desplazamientos de juntas .....	171
Figura 6-49: Esquemas de fuerza y mando para arranque directo .....	173
Figura 6-50: Curvas de disparo de corto circuito.....	175
Figura 6-51: Conexión eléctrica para motor de 20 Hp.....	176
Figura 6-52: Cuchilla de trituración.....	177
Figura 6-53: Eje porta cuchillas N° 1 .....	177
Figura 6-54: Eje porta cuchillas N° 2.....	178
Figura 6-55: Mecanismo de aplastamiento .....	178
Figura 6-56: Piñón de movimiento .....	179
Figura 6-57: Mecanismo Catalinas-Cadena .....	179
Figura 6-58: Carcasa de placas atornilladas .....	180
Figura 6-59: Bancada .....	180
Figura 6-60: Criba .....	181
Figura 6-61: Tolva de ingreso. ....	181
Figura 6-62: Montura de motor y reductor .....	181
Figura 6-63: Discos de trituración y separadores.....	182
Figura 6-64: Ejes porta cuchillas.....	182

Figura 6-65: Cuchillas y separadores sobre eje.....	182
Figura 6-66: Ensamble de catalinas .....	183
Figura 6-67: Piñones de movimiento .....	183
Figura 6-68: Prototipo del mecanismo de trituración terminado .....	183
Figura 6-69 Seguridades de elementos .....	184
Figura 6-70: Trituraciones Realizadas .....	185

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO, PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS EN EL BOTADERO DE LA CIUDAD DE AMBATO.**

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente trabajo investigativo se estudiaron los parámetros y características más influyentes que actúan sobre los modelos de trituración mecánicos de botellas de tereftalato de polietileno, con los que se pudo formular un sistema de trituración optimizado, para reducir la contaminación por éste tipo de desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato. Para comprobar cuáles son los parámetros que más afectan a un proceso de triturado mecánico se trabajó con ciertos modelos de construcción empírica de capacidades de trituración similares que nos permitieron realizar ciertas variaciones en las características originales de las máquinas y nos mostraron cual es la variación que se produce en las capacidades productivas de cada una.

Mediante esto, se pudo entender cuáles son los factores más influyentes dentro de un sistema de trituración mecánica y nos mostró cómo se pueden combinar los diseños para lograr un efecto cortante adecuado para así obtener un sistema que brinde buena granulometría, sea efectivo, óptimo y de un costo alcanzable.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN**

“Estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, para reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato”

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

Los desechos sólidos incluyen principalmente los desechos domésticos (basura doméstica), a veces con la adición de los desechos comerciales recogidos en una zona determinada, ya sea en estado sólido o semisólido. El término desechos residuales se refiere a los desechos que quedan de las fuentes de materiales que contienen los hogares que no han sido separados o enviados para su reprocesamiento. En 1996 el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas definió la gestión integral de los desechos sólidos (iwm, por sus siglas en inglés) como “una estructura de referencia para diseñar y llevar a cabo nuevos sistemas de gestión de desechos y analizar y perfeccionar los sistemas existentes” (Seadon, 2006).

El manejo también incluye el movimiento de contenedores con carga hasta el punto de recogida. La separación de los componentes de los desechos es un paso importante en el manejo y almacenamiento de éstos en la fuente. Los desechos sólidos, como materia residual de las transformaciones productivas realizadas por el ingenio humano, se nos presentan hoy como un reto en cuanto a su disminución y disposición final. A pesar de que los desechos sólidos siempre se han generado

por un desmedido aporte de nuestra sociedad, el problema tiende a empeorar debido al aumento de la producción y el consumo de bienes y servicios. Por tanto, la gestión de residuos mediante su reducción, reciclaje, re-uso, reprocesamiento, transformación y vertido debe convertirse en una prioridad para nuestra sociedad. (Bustos C.,2009)

Según un estudio publicado en la revista Science, inclusive playas que suelen encontrarse en estado virgen contienen desechos plásticos de tamaño microscópico mezclado en la arena y el lodo.

"Si tomamos en cuenta la durabilidad del plástico, y la naturaleza descartable de muchos artículos plásticos, lo más probable es que se incremente este tipo de contaminación", señaló el jefe del grupo de investigadores, el profesor Richard Thompson de la Universidad de Plymouth.

El reciclado mecánico representa una de las mejores historias de éxito ambiental del siglo XX. Algunos beneficios del reciclado son la conservación de recursos, la reducción de contaminantes, ahorro de energía, creación de trabajos y menor necesidad de rellenos sanitarios e incineradores.

“En este proceso se recogen los plásticos de los procesos de fabricación de la industria (petroquímica o transformadora). El procesamiento de materiales plásticos utilizados consiste en trocear el material para introducirlo posteriormente en una máquina extrusora-graneadora” (José Emmanuel Medina, 2011).

“La trituradora de plástico marca Harden se construye para la trituración de tamaños exactamente definidos de pieza, los pellets más pequeños son de hasta 8 mm. Estos trituradores de plástico altamente eficientes son el todo terreno para campos de aplicación universal. Las trituradoras de plástico son adecuadas para los residuos domésticos, residuos industriales. Hay gran cantidad de esfuerzos en el rotor, la hoja de corte se fija con tornillos y es muy fácil de reemplazar, las opciones de los diferentes tamaños de hoja o cuchillas para satisfacer las diferentes necesidades son

elevadas. La trituradora de plástico tiene una función reversible para limpiar el material; la hoja o cuchillo se puede usar dos veces después de girar 90 grados.”



*Figura 1-1 trituradora industrial*  
*Fuente: (hardenmachinery,2015)*

Uno de los mayores problemas es la gran cantidad de botellas de plástico que hay en el planeta. Los refrescos de cola y sus similares trajeron consigo un gran problema: *la botella de plástico*.

Una botella de plástico tarda cientos de años en descomponerse y hacen falta unos 100 millones de litros de petróleo para fabricar mil millones de botellas.

“Informes recientes indican que los recipientes de plásticos podrían contener un químico conocido como BPA (bisfenol-A), que puede causar al cabo de los años comportamientos hiperactivos, pubertad precoz, esterilidad, diabetes y cáncer de mamas”.( Carmen lira, 2013).

Con los datos obtenidos del INEC por medio del último censo nacional, se conoció un dato alarmante: un promedio del 83% de los hogares en el Ecuador no recicla los residuos que produce. Hay iniciativas en las principales ciudades.

La capital produce a diario un promedio de 1 750 toneladas de basura al día. De éstas, el 60% corresponde a desechos orgánicos, el 10% es papel y cartón, el 10% es plástico, el 10% es vidrio y materiales ferrosos y el 10% restante es la basura propiamente dicha, es decir, lo que no se puede reutilizar. (INEC,2013)

“La mayoría de los municipios de Ecuador coloca la basura en botaderos más o menos informales lo que causa problemas ambientales invisibles para los habitantes urbanos, pero evidentes para la gente del campo. Hasta marzo de 2013, de los 221 cantones del país, 110 disponían los desechos sólidos en botaderos a cielo abierto (49,7%), 58 lo hacían en botaderos controlados (26,2%) y 53, en rellenos sanitarios (23,9%), según cifras del Ministerio del Ambiente, el ente de control. Los botaderos se ubican en terrenos baldíos, quebradas o cuerpos de agua en sitios alejados y, por regla general, en zonas rurales con comunidades relativamente próximas. En todo el país, espacios naturales se transforman en contenedores de residuos urbanos (plásticos, papel, latas, orgánicos), agropecuarios e industriales, puesto que no se los discrimina”. (El Comercio, 2013).

Se han realizado estudios y diseños por parte de estudiantes universitarios, aplicando los conocimientos apropiados para la fabricación de sistemas de trituración de plásticos y desechos sólidos para la ciudad de Quito y Píllaro; siendo sus autores Alex Vásquez y Luis Jácome respectivamente, obteniendo como resultados la efectiva reducción de contaminación por desechos sólidos y además permitiendo su re-uso.

“262 toneladas de desechos sólidos son depositadas diariamente en el relleno sanitario de la entrada a Píllaro, el que se cerrará en cuatro años”. (El Comercio, 2013).

“La cantidad de basura que se produce a diario por la ciudadanía es preocupante, más si el 10 por ciento de ella es arrojado en quebradas y terrenos baldíos, ocasionando contaminación ambiental debido a que dichos desechos no son tratados adecuadamente”. (El Comercio, 2013).

“Apenas hay 18 unidades recolectoras de basura, que además ya cumplieron su vida útil debido a que tienen más de 13 años funcionando, siendo su promedio cinco años, funcionan en el sistema de recolección de desechos sólidos en Ambato con una extensión de 1008.80 kilómetros cuadrados y una población servida de 338.738” (según la proyección del INEC de 2001).

Mientras que para recoger la basura de los contenedores, la empresa Global Parts (contratada por la municipalidad) cuenta con dos unidades recolectoras de contenedores y uno para lavado de los eco-tachos, que son el presente y futuro en cuanto a limpieza de la ciudad.

Cada camión recolector puede llevar hasta seis toneladas en transportación, es decir que alcanzarían a llevar hasta 12 toneladas diarias en los dos viajes que debe cumplir cada unidad, es decir que de la totalidad de basura diaria, unas 2.8 toneladas son botellas PET. A más de los camiones de recolección, existen más de 88 trabajadores (que no son suficientes) quienes cumplen el servicio en 18 parroquias rurales y nueve urbanas, que están divididas en 28 zonas de recolección en casi todo Ambato, quienes además están encargados en depositar la basura en el relleno sanitario, según datos tomados del Departamento de Higiene.

La inversión que realizará Anpestrid es de \$ 9 millones, y se estima que en el plazo de 12 meses se tengan terminadas las instalaciones de la Planta. Para su construcción se presentaron al concurso cinco empresas ofertantes, quedando ganadora Anpestrid. Se espera que esta obra genere 120 puestos de trabajo.

Peter Strzyga, gerente general de Anpestrid Constructora, “durante la firma del convenio aseguró que la propuesta beneficiará a más de 100 familias en Ambato. Esta planta será la primera en Latinoamérica, en donde se procesarán bloques, adoquines y fertilizantes. Además, las personas que reciclan en el relleno sanitario pasarán a ser operarios de la planta”. (El Comercio, 2012).

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

Las entidades gubernamentales de la ciudad de Ambato realizan el manejo de los desechos sólidos, siendo los de mayor tonelaje en los vertederos las botellas PET, con una cantidad estimada de 260 toneladas diarias de basura que se trasladan a los acopios; de las cuales 140 son de productos plástico; debido al desorden en el manejo de suelo y territorio para el des-compostaje de los mismos, los sitios para implementar vertederos se van reduciendo cada vez más.

No podemos culpar a la población en general por el abuso de los productos plásticos no desechables, las industrias de producción plástica tienen un compromiso de calidad y control en cada proceso y sistema de fabricación de sus productos; deben respetar las normativas de calidad para que en su mayoría oferten elementos biodegradables que sustituyan a sus productos carentes de vida degradable, permitiendo con esto modificar la idea estándar del uso de productos nocivos y contaminantes.

Por lo que existe desinterés total por parte de la ciudadanía para manejar correctamente los desechos sólidos, no los separa debidamente en cada grupo, y conlleva a que se produzcan fallas en el sistema de recolección que junto a planteamientos erróneos de normativas ambientales por parte de la municipalidad causan un freno para la creación e implementación de sistemas tecnológicos de trituración de desechos sólidos.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

En la actualidad la contaminación ambiental generada por desechos sólidos produce un impacto de gran magnitud en el manejo y desarrollo de los recursos sostenibles, los cuales comprenden lo social, económico, cultural y ya enunciado, lo ambiental.

Al no efectuarse el estudio, no se logrará evaluar la reducción de volumen de los contaminantes sólidos generados en nuestra población, y siendo aún más importante, no podremos ayudar a disminuir la polución de nuestro medio ambiente además de contribuir a la creación de nuevos puestos de trabajo.

Se debe tomar en cuenta el procesamiento de la información que servirá como una fuente primaria de investigación en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para posteriores proyectos que permitan desarrollar a mayor magnitud un manejo de desechos sólidos, además de crear o implementar alternativas de re-uso de dichos desechos.

#### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿La contaminación por desechos sólidos será disminuida mediante sistemas de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno en el botadero de la ciudad de Ambato?

#### **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Cuáles son los factores que se deben considerar en un sistema de trituración de desechos plásticos?

¿Cómo se podrá verificar la cantidad de volumen de los desechos antes y después de la trituración?

¿Será necesaria una comprobación granulométrica de manera progresiva durante la investigación?

#### **1.2.6 DELIMITACIÓN**

##### **1.2.6.1 Delimitación espacial**

La investigación y su desarrollo se lo realizarán en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua con los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica.

##### **1.2.6.2 Delimitación temporal**

La investigación y desarrollo se efectuará de Mayo 2015 a Diciembre 2015.

##### **1.2.6.3 Delimitación conceptual**

El proyecto se halla dentro del área de diseño de elementos mecánicos, Ciencia de Materiales, Mecanismos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Se disminuirá la cantidad de desechos sólidos que terminan en los botaderos de basura de la ciudad mediante su trituración, lo que brindará a la par ideas de re-uso que permitirán fomentar plazas de trabajo contribuyendo así al desarrollo sostenible de la región.

En nuestro planeta a causa de la contaminación ambiental por desechos plásticos tenemos varios problemas los cuales involucran al clima, la salud, la flora y fauna; siendo la magnitud de éstos demasiado elevada, por lo tanto, al aplicar un estudio que permita controlar los desechos estaremos colaborando en el manejo idóneo del 25% de contaminantes en los vertederos de la ciudad.

El proyecto es nuevo en el sector, permitiendo ser un estudio inicial para investigaciones futuras en el desarrollo tecnológico acerca del tratamiento de desechos sólidos plásticos; debido a la granulometría de la trituración del desecho se podrán realizar estudios de nuevas materias primas o nuevas combinaciones de materiales que brinden mejores características para usos específicos, como telas o nuevas resinas.

El proyecto es factible de realizarse debido a que contamos con el conocimiento y tecnología necesarios para el fin, además para el desarrollo de la investigación tenemos al alcance en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica así como en el sector delimitado, los materiales y maquinaria necesarios para efectuarla; teniendo muy presente que las posibilidades económicas son uno de los puntos más sensibles para llevar a cabo el proyecto, se puede destacar que el propósito es desarrollar un sistema económico y efectivo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 GENERAL**

- Determinar las características de un sistema de trituración para la reducción de contaminación por desechos sólidos de botellas PET.

### **1.4.2 ESPECÍFICOS**

- Analizar los parámetros influyentes en el proceso para realizar el diseño de un sistema mecánico apropiado que cumpla con los requerimientos calculados.
- Estimar la cantidad del volumen de botellas PET que llegará a ser triturado por medio de su masa y densidad.
- Verificar progresivamente que la granulometría lograda en el prototipo se halle en el rango correcto (5-12mm).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Se han efectuado algunas investigaciones nacionales e internacionales, de las cuales se destacan:

“ESTUDIO DE MÉTODOS TECNOLÓGICOS EN EL MANEJO ADECUADO DE DESECHOS URBANOS DE POLIETILENO PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL CANTÓN PÍLLARO”; donde su autor Luis Jácome muestra un estudio significativo del proceso de triturado mecánico, implicando así una gran cantidad de aspectos como el peso, volumen, densidad, material de cuchillas; llegando a un número de conclusiones favorables como:

- ✓ “La máquina trituradora tiene una capacidad máxima de 40Kg/h la cual es suficiente, dado que los desechos por día en el relleno sanitario es de 70Kg por día”.
- ✓ “Para una utilización de 6 horas diarias a una capacidad de 40 Kg/h se calcula un motor de 5Hp”.
- ✓ “Se usa como material para las cuchillas acero AISI 4140 T&R con un  $S_y=1640\text{Mpa}$ ”.
- ✓ “Los objetos de PEAD que tienen un espesor mayor o igual a 1mm, son triturados en un tiempo menor y su granulometría es uniforme”.
- ✓ “Los materiales que han estado expuestos al sol, es decir se tornan secos, se Trituran en un tiempo menor y sin esfuerzo alguno de la máquina, además de que se evita el ruido”.
- ✓ “Para la trituración del PET de media densidad como las botellas de gaseosas. Se puede hacerlo junto con el PEAD, debido a que su espesor es menor a 1mm y no se realiza correctamente el corte”.

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS DE 15 KG/H PARA EL LABORATORIO DE CONFORMADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA”; en la cual su autor Álex Vásconez realiza un estudio completo y muy detallado de los parámetros influyentes para el desarrollo de la máquina trituradora en la ciudad de Quito en la ESPE nacional, estableciendo y definiendo las características necesarias para poder triturar 15Kg/h de material PET, pudo llegar a ciertas conclusiones muy favorables, como:

- ✓ “La máquina consta de tres módulos; Módulo 1: Ingreso de materia prima, Módulo 2: Cámara de trituración y Módulo 3: Almacenaje.”.
- ✓ “El módulo 1 es una tolva mixta con tapa, desarrollado en chapa metálica de 0.9 mm de espesor, combinando la geometría rectangular y trapezoidal para evitar que restos de materia prima entren en contacto con el operador”.
- ✓ “El módulo 2 se compone de una serie de cuchillas y porta-cuchillas desfasadas 12° una de la otra y dispuestas a lo largo del eje; también consta de una criba la cual tiene una geometría de un semicilindro con una matriz de agujeros pasantes de 7 mm de diámetro, para obtener un material triturado igual o menor a este valor”.

“DISEÑO DE UNA TRITURADORA PARA PLÁSTICO POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET)”; investigación realizada y desarrollada por José Emmanuel Medina García en la ciudad de México con el aval del SIIR (Simposio Iberoamericano de Ingenierías de Residuos), aunque la información se halla simplificada permite evidenciar los aspectos primordiales del proyecto, además nos brinda detalles y conclusiones efectivas como:

- ✓ “Los molinos HULVIC están diseñados para capacidades de 200-300 kg/hr y 300-500 kg/hr, con motores de 15 y 30 hp respectivamente; éstos molinos son del tipo rotor abierto lo cual permite moler las botellas de PET enteras sin necesidad de aplastarlas antes de alimentarlas a la trituradora.”
- ✓ “Para determinar la capacidad del molino se debe tomar en cuenta la cantidad de plástico que se quiere triturar, la velocidad con la que el

material será alimentado y cómo el material será transportado después de obtenido.”

- ✓ “El molino está constituido por una tolva en la parte superior, la cual posicionará el PET directamente al sistema de trituración. Para obtener las dimensiones exactas de las hojuelas de PET es necesario incluir al sistema una criba; la criba es un componente fundamental para la trituradora porque ésta es la que determina las dimensiones de las hojuelas que resultarán del proceso de molienda.”
- ✓ “La tolva está diseñada para eliminar el ruido que se ocasiona en la molienda, también contiene una criba que permite pasar las hojuelas de plástico con dimensiones de 2” o 3/4” según los criterios que se requieran.”

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

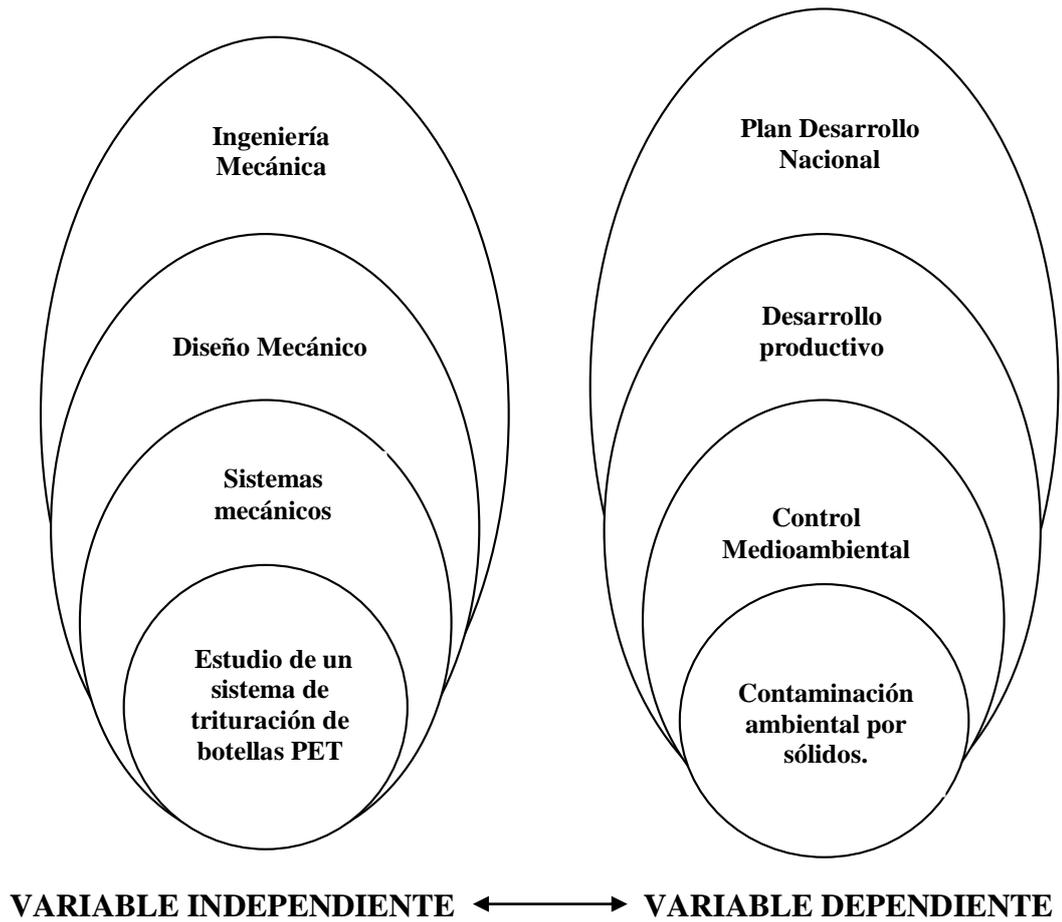
La ubicación paradigmática del proyecto de investigación es de carácter positivista, ya que buscamos la mantenibilidad y/o mejoramiento de la calidad de vida al plantear la reducción de desechos sólidos plásticos mediante su trituración, permitiendo emitir un significativo comunicado de la importancia de implementar los sistemas de gestión integral de residuos sólidos, los cuales puedan conservar nuestros recursos no renovables.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Existen una serie de leyes y reglamentos, los cuales, aunque no sean cumplidos, rigen las normas cotidianas del manejo de desechos sólidos.

- ✓ Constitución Política de la República del Ecuador.
- ✓ Reglamento de Manejo de Desechos Sólidos en los Establecimientos de Salud de la República del Ecuador.
- ✓ Reglamento para el Manejo de Desecho Sólidos.
- ✓ Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- ✓ Ley de Gestión Ambiental.
- ✓ Ley de Régimen Municipal.

## 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



*Figura 2-1 Categorías Fundamentales*

*Fuente: Autor*

## 2.4.1 DISEÑO MECÁNICO

### 2.4.1.1 TRITURACIÓN

La trituración es el proceso de reducción de materia comprendida entre los tamaños de entrada de 1 metro a 1 centímetro (0,01m), diferenciándose en trituración primaria (de 1 m a 10 cm), trituración secundaria (de 10 cm a 1 cm) y trituración final (de 1cm a 0,4 cm). Los medios de molienda tienen 3 tipos de movimientos: rotación alrededor de su propio eje; caída en torrente en donde los elementos de molienda caen rodando por la superficie de los otros cuerpos; caída en cascada que es la caída libre de los medios de molienda sobre el pie de la carga. Las fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño son: la compresión, el cizallamiento, el impacto y la abrasión. Todos los aparatos de trituración deben disponer de una serie de mecanismos o técnicas de auto-regulación:

- ✓ Un sistema o técnica anti-desgaste.
- ✓ Un sistema de regulación de la granulometría del producto.
- ✓ Un mecanismo anti-intriturable que garantice la integridad de la máquina.

Los cuales deben hacer frente a una serie de problemas, como:

- ✓ El desgaste continuo del uso enérgico del mecanismo triturador.
- ✓ El uso impreciso del mecanismo que conlleva a un desajuste de la granulometría, con graves consecuencias a la hora de obtener el producto deseado.

#### **Aspectos a tomar en consideración en el diseño**

La puesta en marcha de este tipo de maquinaria empezó por la necesidad de combatir la contaminación, porque año con año dañamos más y más gracias a los productos elaborados con plástico, ya que todas las personas al terminar de consumir algún producto con este tipo de material lo arrojamos al medio ambiente.

Técnicas: Se desea que su operación sea de forma sencilla y que el cliente lo maneje sin tanta dificultad.

Funcional: El triturador de plástico debe ser eficiente al momento de triturar el plástico.

Seguro: Que trabaje con mayor seguridad y no sea difícil de maniobrar.

Confiable: Hecha a base de acero comercial con placas de lámina de este mismo, y sostenido por una base tipo mesa que llevará un motor que moverá un mecanismo que al igual moverá a un par de rodillos con cuchillas.

Competitivo: Deberá tener como gran ventaja, su rapidez al momento de granular.

Ecológico: Ya que su principal función es el triturar los desechos de plástico para su reciclado, y su trabajo es común al de otras máquinas que no dañan al medio ambiente ya que funciona por medio de electricidad.

Mano facturable: Los procesos que se conllevan a la trituradora de plástico son muy sencillos, torneado de los rodillos, soldado de piezas para hacer los diferentes tipos de ensambles.

## **2.4.2 SISTEMAS MECÁNICOS**

### **2.4.2.1 TIPOS DE TRITURADORAS**

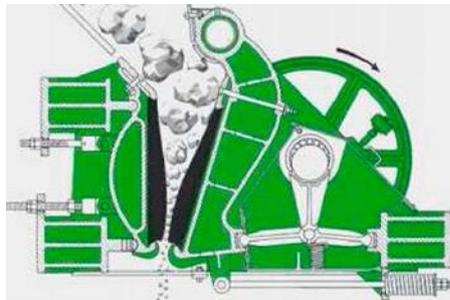
#### **a. Mandíbulas de doble efecto o "Blake"**

“Una de las mandíbulas hace un movimiento respecto a otra fija para granular la roca, un motor mueve un excéntrico unido a una biela, que transmite la fuerza a la mandíbula por medio de dos tejas que son un gran aumentador de fuerzas. Para garantizar el retroceso de la mandíbula móvil, está anexa al bastidor por medio de un vástago sostenido por un muelle. El medio anti desgaste consiste en unas placas que recubren las mandíbulas y que pueden ser reversibles para incrementar su duración (la parte inferior sufre un mayor desgaste)”. (Ortiz, 2013)

“El sistema anti triturables consiste en una teja debilitada, y en el momento en que entra un elemento rígido (tornillos, tuercas, piezas metálicas...) la teja debilitada se rompe retrocediendo la mandíbula móvil por efecto del muelle citado previamente.

Con el mecanismo de tamaño de salida se permite mover el apoyo fijo de la segunda mandíbula para acercarla o alejarla a la fija. La boca de entrada es cuadrada o rectangular y la salida es rectangular (ranura), el ángulo de la placa móvil es de unos  $26^\circ$  con respecto a la vertical”. (Ortiz, 2013)

Tiene un factor de reducción de 0,5. Son muy resistentes a la abrasión, no soporta materiales pegajosos ya que se hace una pasta a la salida impidiendo la salida del material.



*Figura 2-2 Trituradoras de mandíbulas de doble efecto o "Blake"*  
*Fuente: (Ortiz, 2013)*

### **b. Molino de Discos**

“Consisten en cilindros lisos enfrentados y separados una distancia que giran en sentidos contrarios movidos por dos motores autónomos pero a una misma velocidad. Los rodillos llevan una camisa de acero al manganeso como protección al desgaste. Un rodillo va montado sobre unos muelles que hacen de sistema de seguridad, el otro rodillo va instalado sobre unos soportes o tornillos que ayudan a regular su posición respecto al anterior”. (Ortiz, 2013)

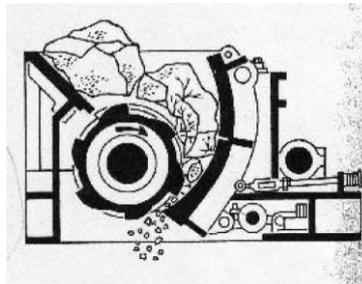
Los granos que caen entre los rodillos son rotos por compresión. Estas máquinas se pueden alimentar a tragante lleno o "en una capa" que produce muy pocos finos pero reduce la producción notablemente. Su relación de reducción normal es de 3 a 4, son muy robustas y sencillas pero se utilizan muy poco.



*Figura 2-3 Molino de discos*  
*Fuente: (Ortiz, 2013)*

### **c. Rodillo único y placa**

Va atrapando con sus picos la roca mientras gira el rodillo y la va desmenuzando obligándola a pasar por la división rodillo y placa. Los dientes están sometidos a altos esfuerzos y por ello solo es apta para rocas muy blandas y no muy duras o materiales flácidos.

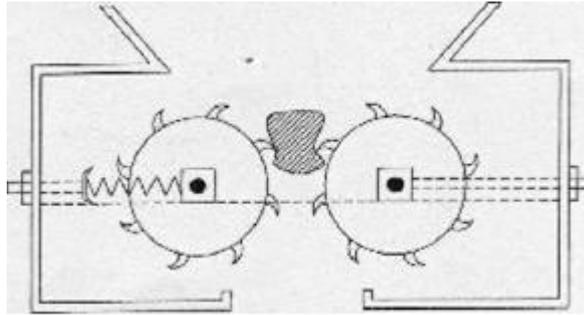


*Figura 2-4 Trituradoras de Rodillos dentados o Rodillo único y placa.*  
*Fuente: (Ortiz, 2013)*

### **d. Rodillos dentados**

Con otro rodillo en vez de placa, los dientes o picos situados de tal forma que se alteran y pueden actuar como picas, como tamiz haciendo pasar rápidamente todos los tamaños inferiores ya producidos.

Trituran por tracción al actuar los picos y por compresión en el momento de obligar a pasar a los trozos entre los rodillos. Se selecciona teniendo en cuenta el tamaño de grano máximo a triturar, estimándose el tamaño del rodillo.



*Figura 2-5 Dos rodillos dentados < Rodillos dentados o Rodillo único y placa  
Fuente: (Ortiz, 2013)*

### **e. Máquinas cortadoras rotativas**

“Caracterizadas por poseer una cámara de corte extensa la cual se encuentra atravesada por un eje porta cuchillas, las que se distribuyen uniformemente en toda su longitud y pueden colocarse perpendicular al eje o tener un pequeño ángulo de inclinación. El eje gira a altas velocidades y se lo puede alinear horizontal o verticalmente a la cámara, siendo esta última la más adecuada y eficiente. Se utiliza estas máquinas para procesar materiales húmedos, ideal para aplicaciones agropecuarias”. (Ortiz, 2013)

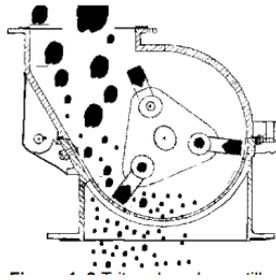


Figura 1. 5 Cortadora rotativa de tipo "picadora de forraje"

*Figura 2-6 Máquinas cortadoras rotativas  
Fuente: (Ortiz, 2013)*

### **f. Martillos**

Por lo general los martillos no pivotan en el eje porta martillos lo que le proporciona una mayor fuerza al impacto en la periferia de la cámara de trituración. La máquina la cual puede ser utilizada tanto para seco y húmedo como trituración de materiales duros y frágiles que se tiene en la industria química, metalúrgica, construcción de carreteras, gas, energía térmica etc.



*Figura 2-7 Trituradora de martillos*  
*Fuente: (Ortiz, 2013)*

### **g. CentriCut**

“Las botellas de PET se alimentan a través de una cinta transportadora a los molinos de cuchillas CentriCut como producto a granel en forma de botellas enteras o desprendidas de pacas o pastillas. El flujo de material se alimenta axialmente forzando al rotor de los molinos a través de un transportador sinfín colocado horizontalmente”. (Inter-empresas, 2015)

En dicho recinto, entre las cuchillas del rotor y el estator, se tritura el material, obteniéndose un producto molido, con cantos bien definidos y bajo contenido de polvo, que, gracias a su buena fluencia, es idóneo para una nueva transformación inmediata.

A través de la criba dispuesta en torno al recinto de trituración, electro-pulida y, por tanto, de bajo desgaste, las botellas trituradas en forma de copos son extraídas rápidamente por un potente sistema de aspiración integrado.

“La “danza” de las ligeras botellas de PET en el rotor habitual en los molinos de cuchillas convencionales o bien la expulsión por centrifugación de material parcialmente triturado (el denominado “bombeo”) se impide por completo gracias a la alimentación desde dentro. El rotor está abierto, con lo cual, condicionado por su diseño, deben moverse masas ínfimas, otro factor que también contribuye a reducir el coste energético”. (Inter-empresas, 2015)

En función de la forma de alimentación de las botellas de PET, del tamaño del rotor y de la geometría de los agujeros de la criba utilizada, la capacidad productiva del CentriCut 44 se sitúa en aprox. 1.000 kg/h. La potencia de accionamiento es de sólo 55 kW. La innovadora alimentación de material y el diseño del rotor permiten una construcción compacta y economizadora de energía del molino de cuchillas. El diámetro del rotor es de tan sólo 440 mm y el ancho del rotor 272 mm.

Tabla 2.1: Comparación del CentriCut con el molino de cuchillas convencional

	Molino de cuchillas convencional	Molino de cuchillas Centricut 44
Capacidad productiva [kg/h]	1.200 .. 1.500	1.000 .. 1.200
Potencia de funcionamiento [kW]	132	56
Diámetro agujeros criba [mm]	8 .. 10	8 .. 10
Cambio de cuchilla [min]	360	15 .. 30

Fuente: (Inter-empresas, 2015)

Las cuchillas del rotor y del estator están formadas por plaquitas de metal duro de acero especial que encajan con precisión y de idéntica construcción, las cuales están montadas sobre porta cuchillas específicos.

En el perímetro del rotor del CentriCut están montadas tres o bien cinco filas de cuchillas y dentro de la pared de la cámara de trituración están dispuestas cuatro filas de cuchillas del estator. Para hacer posible un cambio rápido de las cuchillas, se sustituyen los porta cuchillas completos, incluidas las plaquitas de corte.

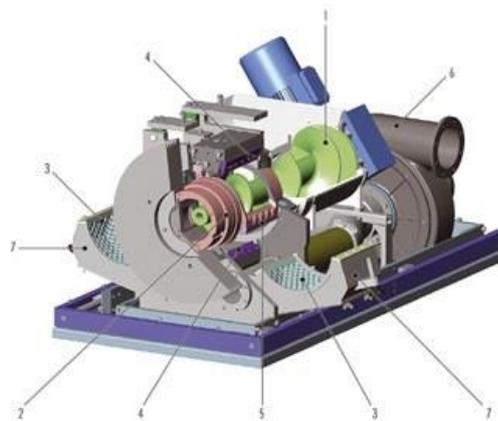


Figura 2-8: 1.Eje de transportador sinfín, 2. Recinto de trituración, 3. Rotor, 4. Cuchilla de rotor, 5. Cuchilla de estator, 6. Sistema de aspiración, 7. Cribas

Fuente: (Inter-empresas, 2015)

## h. Trituradores disponibles en el mercado

- ✓ Mini Triturador de Botellas PET

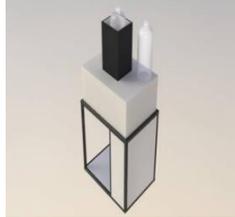


Figura 2-9 Mini Triturador de Botellas PET

Fuente: (fragmaq, 2015)

Uso continuo sin parar para enfriar.

Llave encendido / apagado / reversa;

Embudo de entrada de botellas: 200 mm;

Capacidad de corte: 1 botella por vez;

Capacidad por hora: 50 kg de pet por hora/ 1000 botellas de 2L por hora;

Velocidad de corte: 9m por minuto;

Corte en fragmentos de 20 mm x 40 mm;

Tensión: 220 v Monofásico / 220 v Trifásico / 380 v. Trifásico;

Motor: 2 HP (1.500 w);

Peso: 120 kg;

Dimensiones (A x L x P): 1.500 x 670 x 490 mm;

Garantía: 12 Meses (Asistencia Técnica Permanente).

- ✓ Granulador a pie de máquina



Figura 2-10 Granulador a pie de máquina

Fuente: (zerma, 2015)

“Los granuladores de baja velocidad se usan principalmente en procesos de inyección y soplado para triturar coladas y rebabas. Pero también se pueden usar como granuladores de bajo ruido para producciones de menor rendimiento.”. (zerma, 2015).



Figura 2-11 Cuchillas de modelo GSL300  
Fuente: (zerma, 2015)

“Los granuladores de baja velocidad en el rango de GSL 300 tienen un rotor escalonado con 300 mm de diámetro y 400 a 800mm de ancho. El rotor lo acciona directamente un motor-reductor. La baja velocidad del rotor genera menos ruido y polvo durante el proceso de granulado. Las cuchillas de la serie GSL pueden ser fácilmente afiladas y no necesitan ajustes posteriores.”. (Zerma, 2015)

Las cuchillas de rotor escalonadas crean un corte individual. El rotor abierto de la serie 200 GSL hace estas máquinas más apropiadas para granular piezas de mayor volumen, como botellas.

Tipo GSE	500/500	500/700	500/1000	500/1400
Diámetro del rotor (mm)	500	500	500	500
Ancho del rotor (mm)	500	700	1000	1400
Potencia (KW)	30	37	45	45
Cuchillas de rotor (filas)	3	3	3	3
Cuchillas fijas (filas)	2	2	2	2
Tamaño de criba/tamiz (mm)	>6	>6	>6	>6
Area de trabajo real (mm)	500 x 500	500 x 700	500 x 900	500 x 1400
Peso aproximado (kg)	1500	1750	3100	3900
A (mm)	1610	1610	2050	2050
B (mm)	540	540	540	540
C (mm)	1850	1845	1880	1880
D (mm)	500	700	990	1400
E (mm)	1145	1345	1625	2000

**DIMENSIONES**

Figura 2-12 Dimensiones  
Fuente: (zerma, 2015)

- ✓ Trituradoras de 4 árboles: Modelo 2566

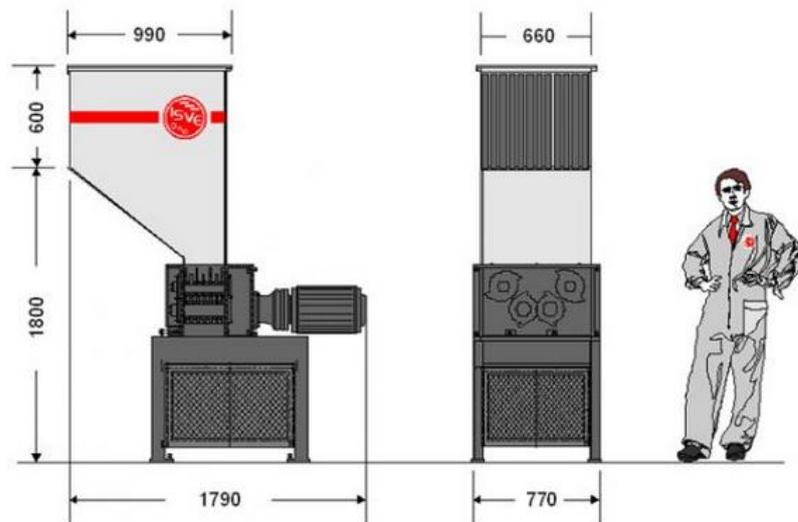


Figura 2-13 Trituradoras de 4 árboles  
Fuente: (Tritotutto, 2015)

Características principales:

- ✓ Cámara de corte: 250x660 mm
- ✓ potencia instalada: HP 7,5
- ✓ Transmisión: por engranajes
- ✓ número de ejes fresas: 2
- ✓ número de fresas templadas: 13
- ✓ número de ejes de introducción: 2
- ✓ número de discos de introducción: 13
- ✓ n° de rev. / min. fresas: 250
- ✓ producción: 50-150 kg/hora
- ✓ equipamientos de seguridad: parada de emergencia, contacto de cierre tolva
- ✓ realización conforme a las normas CE

Características del triturador:

- ✓ Soporte de chapa de acero soldado eléctricamente de elevado espesor;
- ✓ Soportes para rodamientos de rodillos en rótula con sistema de estanqueidad contra polvos y líquidos;

- ✓ Ejes de elevado espesor con 13 fresas de acero especial anti desgaste y 13 discos introductores para facilitar el agarre de cuerpos voluminosos;
- ✓ Colocación gradual dientes fresas para una mejor toma y progresión de corte;
- ✓ N° 1 reductores epi-cicloidales con ejes de rotación paralelos al eje de la fresa;
- ✓ N°1 motores Siemens de 5,5 kW.
- ✓ Sistema de transmisión en baño de aceite con engranajes y piñones de acero;
- ✓ Cámara de corte con dimensiones de 250X660 mm.;
- ✓ Criba intercambiable que determina el tamaño del material triturado (optional);
- ✓ Tolva de chapa soldada eléctricamente para la carga frontal o desde arriba dotada tapa corredera y bandas de goma anti fly-back;
- ✓ Base con cajón conectable al equipo de aspiración (sector de la madera) ù n°3 redes de protección con portillo frontal dotado de micro de seguridad.

### **2.4.3 ESTUDIO DE SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS PET**

#### **2.4.3.1 ACEROS DE CORTE**

Los aceros son materiales imprescindibles dentro de la industria moderna. Uno de los métodos más utilizados en la producción industrial es la mecanización por arranque de viruta. Las herramientas para este proceso de mecanizado se fabrican en gran medida con aceros rápidos. Al presente, el uso de aceros rápidos se extendió a la fabricación de herramientas, la conformación en frío, como por ejemplo, punzones y matrices de extrusión y troquelado.

Las principales características de los aceros rápidos son:

- ✓ Elevada resistencia al revenido y a la pérdida de dureza en caliente
- ✓ Elevada resistencia al desgaste
- ✓ Gran dureza útil
- ✓ Buena tenacidad

**BOHLER S500:** “Acero rápido al molibdeno con aleación de cobalto, de gran dureza, excelentes propiedades de corte, máxima resistencia a la compresión, gran dureza en caliente y buena resistencia”. (Bohler, 2015)

**BOHLER S600:** “Acero rápido de gran tenacidad y buenas propiedades de corte, para aplicación universal. Una buena opción para brocas espirales, machos de roscar, herramientas para brochar y escariar, fresas de toda clase y herramientas para trabajar madera”. (Bohler, 2015)

**BOHLER S705:** “Acero rápido aleado al cobalto, con buenas propiedades de corte, gran dureza en caliente y elevada tenacidad. Para fresas, brocas espirales, machos de roscar y herramientas para brochar y escariar”. (Bohler, 2015)

#### **2.4.3.2 DISEÑO DE HERRAMENTALES PARA TRITURADORAS**

##### **Ángulos, filos y fuerzas**

El corte se logra por medio de herramientas con la forma adecuada. Una herramienta sin los filos o ángulos bien seleccionados generará gastos excesivos y pérdida de tiempo. Las superficies de los útiles de las herramientas son:

Superficie de ataque: Parte por la que la viruta sale de la herramienta.

Superficie de incidencia: Es la cara del útil que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza.

Los ángulos son:

Ángulo de incidencia  $\alpha$  (alfa): Es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia del útil. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.

Ángulo de filo  $\beta$  (beta): Es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque del útil. Establece qué tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo qué tan débil es.

Ángulo de ataque  $\gamma$  (gama): “Es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque del útil. Sirve para el desalojo de la viruta, por lo que también disminuye la fricción de esta con la herramienta”. (Aprendizaje, 2015)

Ángulo de corte  $\delta$  (delta): Es el formado por la tangente de la pieza y la superficie de ataque del útil. Define el ángulo de la fuerza resultante que actúa sobre el buril.

De manera simplificada se puede decir que actúan en una herramienta tres fuerzas:

Fuerza radial, Fr: Se origina por la acción de la penetración de la herramienta para generar el corte y como su nombre lo señala actúa en el eje radial de la pieza.

Fuerza longitudinal, Fl: Es la que se produce por el avance de la herramienta y su actuación es sobre el eje longitudinal de la pieza.

Fuerza tangencial, Ft: Es la fuerza más importante en el corte y se produce por la acción de la pieza sobre la herramienta en la tangente de la pieza.

### 2.4.3.3 FRESADO

“Combina el movimiento de rotación de una herramienta cilíndrica dotada de dientes cortantes en su periferia denominada *fresa*, con el desplazamiento lineal de la pieza, para generar superficies planas. El ángulo de incidencia de la fresa en la pieza da lugar a dos tipos de fresado” (Vergara, 2015):

- **Frontal**: genera una superficie perpendicular al eje de giro de la herramienta.
- **Tangencial**: obtiene una superficie plana paralela al eje de giro.

Conviene, para el fresado de plástico, un paso amplio de la fresa. Para evitar que, al llegar la fresa al extremo de la pieza, el borde de ésta se resquebraje.

**Ángulos, avances y velocidad de corte**



Figura 2-14 Ángulos para fresado  
Fuente: El Autor

Tabla 2.2: Ángulos para trabajo en plásticos

		<b>NYLON 6</b>	<b>ACETAL</b>	<b>PE/PP</b>	<b>PTFE</b>
<b>Ángulo de incidencia a</b>	°	10-20	5-15	10-20	10-20
<b>Ángulo de virutas g</b>	°	5-15	5-15	5-15	5-20
<b>Avance S</b>	mm/t	>0,03	>0,02	>0,05	>0,03
<b>Velocidad de corte V</b>	m/min	<1000	<1000	>1000	>800

Fuente: (Vergara, 2015)

#### 2.4.3.4 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

##### TRANSMISIÓN POR CADENA

“Sistema de transmisión entre ejes y árboles caracterizado por el uso de una cadena y dos o más piñones unidos a los ejes o árboles entre los que se desea transmitir el movimiento. El sistema básico de transmisión es por empuje de los rodillos de la cadena sobre los dientes del piñón. En relación a otros sistemas de transmisión, las transmisiones por cadena presentan las siguientes ventajas” (Jaume, 2015):

- Frente a las transmisiones por correa, no existe posibilidad de resbalamiento.
- En relación a las transmisiones por engranaje, el peso es menor, especialmente para distancia entre ejes medias-altas.
- La transmisión es elevada por la gran resistencia de las cadenas.
- Si están bien engrasadas no se deterioran, soportando las condiciones ambientales adversas como el polvo o humedad.

Algunos de sus inconvenientes, en cambio, son:

- Frente a las transmisiones por correa, el sistema es ligeramente más pesado y ruidoso.
- El montaje y mantenimiento son más complejos que en una transmisión por correa.

##### POLEA Y CORREA

La transmisión por poleas y correas comunican la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados por una cierta distancia. La transmisión

del movimiento por correas, se debe al rozamiento, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento de rotor y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. El valor del rozamiento depende de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; es decir, del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, etc.).

Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras sobre las cuales se apoyan las correas.

Las correas son cintas cerradas de ciertos materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes paralelos. Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada.

El sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias. Su principal inconveniente se debe a que el resbalamiento de la correa sobre la polea produce pérdidas considerables de potencia; sobre todo en el arranque.

## **TRANSMISIÓN POR ENGRANAJE**

“Es el grupo de transmisiones mecánicas más difundido e importantes. Es un mecanismo que con ayuda del engranaje transmite o convierte el movimiento cambiando las velocidades angulares y los momentos”. (Ecured, 2015)

### **Empleo**

- “Los Engranajes se emplean para transmitir el movimiento de rotación entre árboles que se cortan y que se cruzan, así como transformar el movimiento de rotación en movimiento de avance y viceversa”. (Ecured, 2015)
- “Par transmitir el movimiento entre árboles paralelos se emplean engranaje por ruedas cilíndricas (de dientes rectos, helicoidales, oblicuos y angulares)”. (Ecured, 2015)
- Para convertir el movimiento de rotación en movimiento de avance y viceversa se usan engranajes por ruedas cilíndricas y cremallera.
- Para árboles y ejes que se cruzan se emplean engranajes de tornillo sin fin.

### **Ventajas**

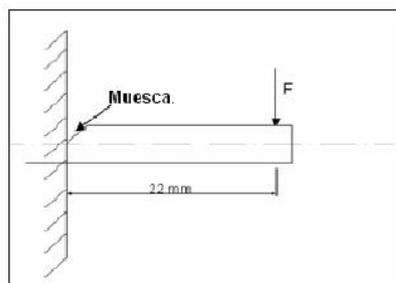
- Dimensiones exteriores pequeñas, para transmitir esfuerzos.
- Rendimiento alto.
- Gran duración y fiabilidad de funcionamiento.
- Constancia de la relación de transmisión, por ausencia de patinaje
- Fácil mantenimiento

#### Desventajas

- Ruido durante su funcionamiento a grandes velocidades
- Algo de Desgaste abrasivo en la superficie de los dientes.

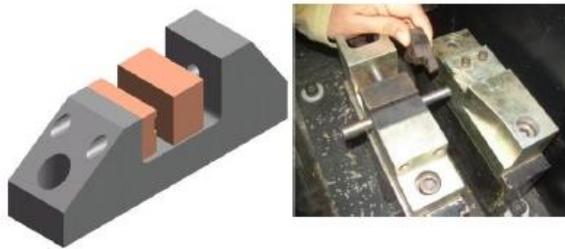
### 2.4.3.5 ENSAYO IZOD

“La prueba lleva el nombre del ingeniero Inglés Edwin Gilbert Izod (1876-1946), quien lo describió en su discurso de 1903 de la Asociación Británica. Este ensayo consiste en romper una probeta sostenida en voladizo en posición horizontal, por medio de un golpe en su extremo libre, esto se realiza mediante un péndulo al igual que el ensayo Charpy. A esta probeta también se le realiza una muesca en su base, la cual se hace a toda su sección transversal”. (Arencón, 2009)



*Figura 2-15: Posición de la probeta para prueba Izod*  
**Fuente:** (Ensayo Izod, 2015)

“Para el ensayo de impacto tipo Izod, las mordazas deben sujetar la probeta por uno de sus extremos, dejándola en voladizo, para que el golpe suceda a 22mm de la muesca según la norma ASTM E-23”. (Ensayo Izod, 2015)



*Figura 2-16: Mordazas para ensayo*  
**Fuente:** (Ensayo Izod, 2015)

“Martillo para este tipo de prueba de impacto, también requiere que cumpla con ciertas normas, en donde se especifican los ángulos y dimensiones en contacto con la probeta. Es necesario tener en cuenta que como la probeta está en posición horizontal, el martillo debe ser colocado un giro de  $90^{\circ}$  respecto al eje del péndulo.” (Ensayo Izod, 2015)



*Figura 2-17: Martillo o punzón para ensayo*  
**Fuente:** (Ensayo Izod, 2015)

### **Resultados de carga de impacto Izod**

“El parámetro más relevante determinado en estos ensayos es la energía absorbida en la rotura de la probeta, que se conoce como resistencia al impacto y se suele medir en  $\text{kJ/m}^2$ . El ensayo puede realizarse con mazas instrumentadas de diversa capacidad que permiten registrar de manera continua la fuerza aplicada sobre la probeta y la velocidad de la propia maza”. (Arencón, 2009)

Algunas propiedades que se buscan el ensayo son:

- Trabajo absorbido en el choque.
- Valor de resiliencia.
- Análisis de fractura

#### **2.4.3.6 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO**

Es un método que se obtiene a bajo costo, además de ser de fácil y rápida utilización, el cual es aplicable a toda clase de metales, con lo que pueden obtenerse resultados perfectos.

##### **Procedimiento**

“Se provoca la fusión de los bordes que se desean soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. Al ponerse en contacto los polos opuestos de un generador se establece una corriente eléctrica de gran intensidad. Si se suministra la intensidad necesaria, la sección de contacto entre ambos polos se pone incandescente.

Esto puede provocar la ionización de la atmósfera que rodea a la zona de contacto y que el aire se vuelva conductor; de modo que al separar los polos, el paso de corriente eléctrica se mantenga de uno a otro a través del aire. El arco eléctrico genera un cráter en la pieza.

Es fundamental tener en cuenta la longitud del arco (distancia entre el extremo del electrodo y la superficie del baño fundido). Si el arco es demasiado pequeño, la pieza se calienta bastante y la penetración resulta excesiva; en ese caso, puede llegar a producirse una perforación peligrosa.

Por el contrario, si el arco es demasiado largo, se dispersa parte de su calor y la penetración resulta insuficiente.

El soldador debe mantener el arco a la longitud adecuada. Las temperaturas que se generan son del orden de 3500 °C.” (Cero Grados, 2015)

CLASIF.	CORRIENTE	ARCO	Penetración	Fundente y Escoria
EXXX0	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
<b>DCEP</b> - Corriente Directa Electrodo Positivo		<b>DCEN</b> - Corriente Directa Electrodo Negativo		
<b>Nota:</b> El porcentaje del polvo de Hierro esta calculado en base al peso del fundente				

Figura 2-18: Clasificación de electrodos

Fuente: (M.Soldaduratechno, 2015)

Tabla 2.3: Características mecánicas requeridas de electrodos

CLASIFICACIÓN AWS	Resistencia a la rotura PSI (mín.)	Límite elástico PSI (mín.)	Alargamiento en 2 plg. % (mín.)
E6010	62000	50000	22
E6011	62000	50000	22
E6012	67000	55000	17
E6013	62000	55000	17
E6020	62000	50000	25
E6027	72000	50000	25
E7014	72000	60000	17
E71015	72000	60000	22
E7016	72000	60000	22
E7018	72000	60000	22
E7024	72000	60000	17
E7028	72000	60000	22

Fuente: Autor

### Posiciones de soldadura

Posición plana o de nivel: “Es aquella en que la pieza recibe la soldadura colocada en posición plana a nivel. El material adicional viene del electrodo que está con la punta para abajo, depositando el material en ese sentido.” (SMAW, 2015)

Posición horizontal: “Es aquella en que las aristas o cara de la pieza a soldar está colocada en posición horizontal sobre un plano vertical. El eje de la soldadura se extiende horizontalmente”. (SMAW, 2015)

Posición vertical: “Es aquella en que la arista o eje de la zona a soldar recibe la soldadura en posición vertical, el electrodo se coloca aproximadamente horizontal y perpendicular al eje de la soldadura”. (SMAW, 2015)

Posición sobre la cabeza: “La pieza colocada a una altura superior a la de la cabeza del soldador, recoge la soldadura por la parte inferior. El electrodo se ubica con el extremo apuntando hacia arriba verticalmente. Esta posición es inversa a la posición plana o de nivel”. (SMAW, 2015)

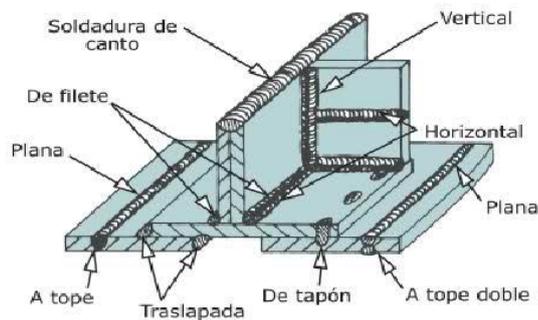


Fig. 2.15 Denominación de los tipos de soldadura

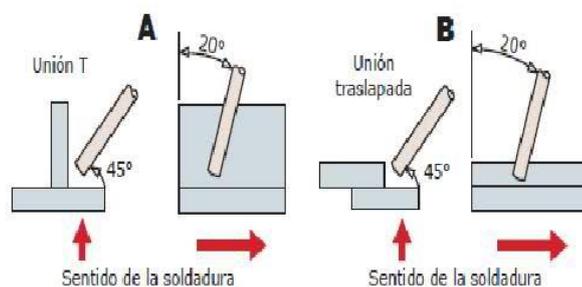
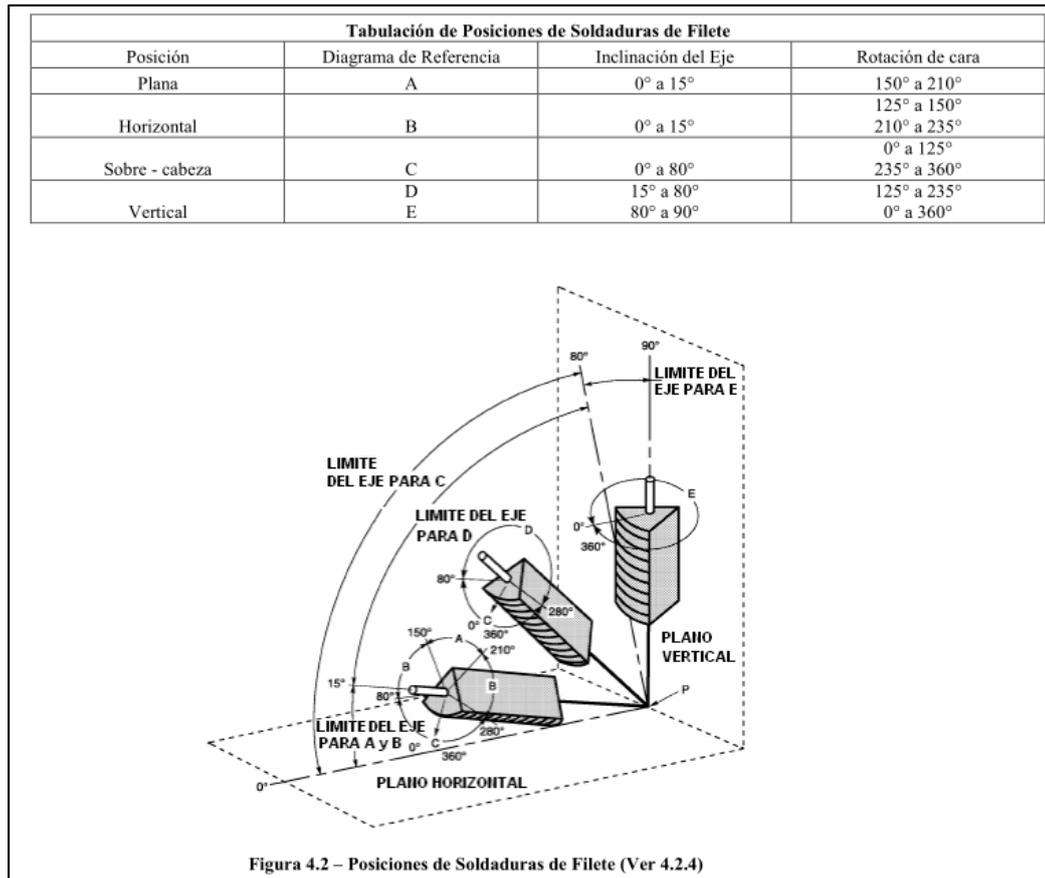


Fig. 2.16 Angulos de los electrodos para soldadura de filete

Figura 2-19: Juntas de soldadura  
Fuente: (SMAW, 2015)



**FIGURA 2-20: POSICIONES DE SOLDADURA**  
**FUENTE: (WELDING, 2002)**

### Método de Seferian para evitar agrietamientos

“Es un método sencillo para determinar la temperatura de precalentamiento de aceros al carbono y ligeramente aleados para evitar los agrietamientos que se pueden ocasionar en su soldadura”. (Pastor, 2000)

$$Tp = 350 * \sqrt{[CE] - 0,25} \quad (75)$$

Donde [CE] representa el equivalente total del carbono y Tp resulta ser la temperatura de precalentamiento.

“[CE] es resultante de la suma de las expresiones del equivalente químico en carbono [CE]<sub>q</sub>, deducido de la composición química del acero y del equivalente en carbono del espesor [CE]<sub>e</sub>”. (Pastor, 2000)

Donde:

$$[CE]_q = C + \frac{(Mn+Cr)}{9} + \frac{Ni}{8} + \frac{Mo}{13} \quad (73)$$

El equivalente en carbono del espesor [CE]<sub>e</sub> depende del grueso de la chapa y del poder de temple del acero, así:

$$[CE]_e = 0,005e * [CE]_q \quad (74)$$

Por lo cual nos queda:

$$[CE] = [CE]_q * (1 + 0,005e)$$

#### **2.4.3.7 RODAMIENTOS FAG RÍGIDOS DE BOLAS**

“Los rodamientos rígidos con una hilera de bolas soportan cargas radiales y axiales, además son apropiados para revoluciones elevadas. Estos rodamientos no son despiezables y su adaptabilidad angulares relativamente pequeña. Los rodamientos rígidos de bolas obturados están exentos de mantenimiento y posibilitan construcciones sencillas. Por su gran variedad de aplicaciones y debido a su precio económico, los rodamientos rígidos de bolas son los más usados entre todos los tipos de rodamientos”. (FAG, 2000)

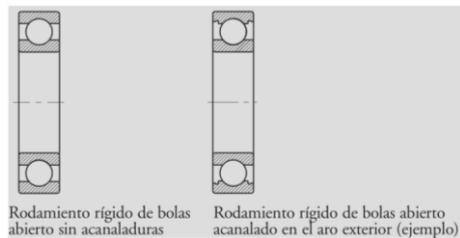
##### **Normas**

Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera DIN 625, volumen 1

##### **Ejecuciones básicas**

Los rodamientos rígidos de bolas se ofrecen tanto en ejecución abierta como con tapas de obturación o tapas de protección en ambos lados. Por razones de fabricación, los rodamientos en la ejecución básica abierta, también pueden tener

acanaladuras sólo en el aro exterior o en el aro exterior-interior para tapas de obturación o tapas de protección.



*Figura 2-21: Rodamientos rígidos de bolas*  
*Fuente: (FAG, 2000)*

#### **2.4.3.8 REDUCTORES Y MOTORREDUCTORES**

“Los Reductores y los Motor-reductores son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas de uso industrial, las cuales necesiten reducir su velocidad de forma, constante y segura”. (solomantenimiento, 2015)

Las ventajas de usar Reductores y/o Motor-reductores son:

- Eficiencia de la transmisión de potencia del motor.
- Regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos.
- Poco espacio para el mecanismo.
- Poco tiempo de instalación y mantenimiento.
- Elemento seguro en todos los aspectos, muy protegido.

#### **MOTORREDUCTORES**

“Los Motorreductores se suministran normalmente acoplado al mecanismo reductor un Motor eléctrico normalizado, cerrado y refrigerado por un autoventilador. Además, este motor suele incluir como protección, un Guarda-Motor que limita su intensidad y un relé térmico de sobrecarga, que asimismo se corresponde a la llamada clase de Protección IP-44”. (solomantenimiento, 2015)

#### **CARACTERÍSTICAS DEL REDUCTOR O MOTORREDUCTOR**

1. Potencia, en HP, de entrada y de salida.
2. Velocidad, en RPM, de entrada y de salida.

3. PAR (o torque), a la salida del mismo
4. Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

#### CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO A REALIZAR

1. Tipo de máquina motriz.
2. Tipos de acoplamiento entre máquina motriz, reductor y salida de carga.
3. Carga: uniforme, discontinua, con choque, con embrague, etc.
4. Duración de servicio: horas/día. - N° de Arranques/hora.

#### SELECCIÓN DE POTENCIA DE LOS REDUCTORES

“En el trabajo diario en la industria es muy difícil que se den las condiciones idóneas para el trabajo de un elemento como un Reductor o Motorreductor. Por lo tanto, para calcular la potencia que debe tener un Reductor a acoplar a una determinada Carga, la potencia requerida por la máquina accionada a través del Reductor se debe multiplicar por el FACTOR DE SERVICIO; el resultado se llamará Potencia de Elección. En algunos casos es más importante el PAR que puede dar un Reductor que la Potencia, por lo que en la Elección se tendrá más en cuenta este PAR”. (solomantenimiento, 2015)

### **2.4.4 DESARROLLO PRODUCTIVO**

#### **2.4.4.1 RECICLADO**

##### **a. PET**

Es el material para reciclaje más usado, su proceso consiste en varias etapas de separación, limpieza y molido como se muestra a continuación:



Figura 2-22. Proceso de reciclado mecánico  
Fuente: (Vergara, 2015)

Plásticos seleccionados y eficazmente limpiados (etiquetas, papeles, etc) circulan por un molino o una trituradora. El proceso se lo puede realizar en modos sucesivos, dependiendo del nivel de contaminación de los desechos y de las características del producto reciclado. La preparación final del producto empieza con el lavado y la separación de contaminantes, etapa que se puede repetir si es necesario. Después el material pasa por una centrifuga y secadora y se almacena en un depósito intermedio.

El producto triturado, limpio, seco se introduce a una extrusora, y, tras el proceso de graneado, se obtiene los gránulos de PET listos para ser procesados por diferentes técnicas. Los gránulos obtenidos se pueden utilizar de diferentes maneras, según los requerimientos para el producto final:

- ✓ “Extrusión del producto reciclado directamente; en este caso, las piezas obtenidas tienen en general propiedades menores a las fabricadas con polímero virgen, lo que es suficiente para lo necesitado”. (Vergara, 2015)

- ✓ “Mezcla de gránulos reciclados con polímero virgen para alcanzar las necesidades requeridas. El ejemplo típico es la adición de polímero virgen a la mezcla de termoplásticos”. (Vergara, 2015)

Tabla 2.4: Características del PET y RPET (pet reciclado)

Propiedad	PET virgen	RPET
Módulo de Young [MPa]	1890	1630
Resistencia a la rotura [MPa]	47	24
Elongación a la rotura [%]	3,2	110
Resistencia al impacto [J m <sup>-1</sup> ]	12	20
IV (dl g <sup>-1</sup> )	0.72 – 0.84	0.46 – 0.80
Temperatura de fusión (°C)	244 - 254	247 - 253
Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )	81600	58400

Fuente: (Vergara, 2015)

Propiedades físicas	
Densidad (g.cm <sup>-1</sup> )	Amorfo: 1,33 - 1,34 Semicristalino: 1,45 – 1,51
Absorción de agua – equilibrio (%)	< 0,7
Absorción de agua – en 24 horas (%)	0,1
Índice refractivo	1,58 – 1,64
Índice de oxígeno limite (%)	21
Resistencia a la radiación	buena

Propiedades mecánicas	
Resistencia a la tracción hasta la deformación (MPa)	59
Resistencia a la tracción hasta la rotura (MPa)	No rompe
Alargamiento hasta la rotura	No rompe
Módulo de elasticidad en tracción (MPa)	2420
Resistencia a la flexión (MPa)	86
Resistencia al impacto Charpy	No rompe
Dureza Rockwell, escala M/R	111
Dureza a la presión de la bola	117
Relación de Poisson	0,37 – 0,44 (orientado)

Figura 2-23. Propiedades físicas y mecánicas del PET

Fuente: (Elaplast, 2015)

## b. PVC

Poli cloruro de vinilo es fácilmente reciclable y al lograrlo, tiene gran variedad de aplicaciones. Vemos que la fabricación y su reciclaje son muy antiguos, lo que muestra que es viable, tecnológica y económicamente. Gracias a la facilidad de transformación y a su termo-plasticidad, el PVC puede ser reciclado de las siguientes formas:

- ✓ Reciclaje mecánico: Consideramos dos tipos de PVC, el procedente de las materias primas del material y el procedente de los residuos sólidos urbanos (RSU). En ambos casos los residuos son seleccionados, molidos, de ser necesario re-formulados, y transformados en nuevos productos.
- ✓ Reciclaje químico: Son sometidos a procesos químicos, bajo temperatura y presión para descomponerlos en productos más elementales como aceites y gases. Hoy por hoy el proceso es aplicado en países como Alemania y Japón.
- ✓ Reciclaje por disolventes: Alternativamente existe también la tecnología de disolución química del PVC a través de solventes (Vinyloop). Esta tecnología fue desarrollada por Solvay. Este es un proceso que demanda alta inversión y gran control de la unidad productiva.



*Figura 2-24 planta de reciclado de PVC Vinyloop (Kobelco)*

**Fuente:** (Vergara, 2015)

### c. PS

Poli-estireno expandido utiliza productos derivados del petróleo. Siendo el consumo del recurso natural realmente muy limitado; el 4% del petróleo a nivel mundial se destina a la producción de plásticos, y el PS representa un 2,5% del total, entonces se deduce que 1 de cada mil partes del petróleo se destina a la fabricación de PS.

“En Europa, el uso del plástico por habitante es aproximadamente 30 kg/año, por lo tanto, la cantidad de petróleo usado para la producción de plástico, sería suficiente para un viaje en auto de 300 km. El PS brinda una ventaja al medio ambiente, para su producción o uso no se utilizan, ni se han utilizado jamás, cloro-fluoro-carburos, de modo que no se ataca la atmósfera. El agente expansor utilizado en su fabricación, pentano, pertenece a la familia del metano, un gas natural derivado de fuentes naturales, que se descompone rápidamente en la atmósfera. Existen además otras posibilidades como por ejemplo en la construcción como componente del hormigón liviano, rellenos de terrenos, etc.” (Vergara, 2015)

A continuación se detallan algunas formas de reciclado del poli-estireno expandido:

- ✓ Embalaje nivel doméstico: mudanzas, almacenaje, jardinería, decoración.
- ✓ Piezas molidas de poli-estireno expandido: Fabricación de hormigón liviano o en el aflojamiento de suelos, jardines, estadios.
- ✓ Volver al Poli-estireno (PS): Con poliestireno expandido desgasificado se pueden fabricar piezas por inyección (macetas, carretes de películas, artículos de escritorio, etc.)..
- ✓ Ocuparlo como elemento inflamable: 1 kg de espuma del tipo fácilmente inflamable (generalmente embalajes) equivale en su valor energético a aproximadamente 1,2L de aceite combustible. En una combustión completa, el poli-estireno expandido es eliminado libre de cenizas, con formación de: energía, agua y dióxido de carbono.

#### **d. HDPE**

El reciclado del Polietileno de alta densidad es por medio del proceso mecánico y la calidad presentada en este método es buena. Comienza con un proceso de lavado, para separar el PVC y el PET, debido a que su densidad es mayor que la del agua, mientras que el HDPE flota. Se procede con la trituración o molienda, donde al material se reduce del 80 al 90% en volumen. Luego se lleva a lavado y secado donde se desprenden los restos orgánicos y otros contaminantes presentes.

El HDPE solo es reutilizable por procesos de extrusión ya que es poco fluido y difícil de inyectar. En grandes piezas se recurre al moldeo por prensado. Las botellas domésticas no sufren degradación apreciable por lo que su reciclaje da lugar a un pellet de similar calidad que la del material virgen.

Otro proceso al que pueden someterse los plásticos es la valorización energética. Es decir, se aprovecha como combustible por su elevado poder calorífico. En la valorización energética se tienen 3 alternativas para la recuperación de la energía:

- ✓ Recuperación de energía de los residuos plásticos mezclados con el resto de los residuos sólidos urbanos.
- ✓ Recuperación de residuos plásticos solo mediante combustión
- ✓ Uso de los residuos plásticos como combustibles alternativos en plantas cementeras.

#### **e. PP**

Es un termoplástico el polipropileno, que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la purificación del petróleo. Desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos (homopolímero, copolímero rándom y copolímero de alto impacto), los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos.

- ✓ Diversidad: Compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento y usado en diferentes aplicaciones comerciales, como, packaging, industria automotriz, textiles, menaje, medicina, tuberías, etc.
- ✓ Procesabilidad: Es el material plástico de menor peso específico (0,9 g/cm<sup>3</sup>), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado.
- ✓ Barrera al vapor de agua: evita el traspaso de humedad, lo cual puede ser utilizado para la protección de diversos alimentos.

El PP reciclado proveniente de tapas, empaques de snack, fibra y vasos plásticos, re-usado en la fabricación de viviendas para poblaciones vulnerables y en múltiples accesorios para la construcción, no todos son fácilmente reciclados, pero cobra especial importancia desde la perspectiva ecológica.

#### **d. Maquinaria para un proceso completo de reciclado**

“Como en cualquier otra industria la maquinaria, en su mayoría, es proveniente de Europa o Norteamérica, para la industria del reciclado y para obtener los pellets con el grado de pureza para que los usen en nuevos envases, no es la excepción, las principales empresas fabricantes son: EREMA, SOREMA, NAVARINI, entre algunas otras, además es necesario el uso de una planta para el tratado del agua, ya que no se puede tirar al drenaje, solo se usará una planta para todos los procesos, a continuación se presentan detalladamente los equipos y maquinaria.” (Luna Puente & Moreno Villanueva, 2009)

##### 1. Alimentador de molino:

Sistema: Transportado de banda. Motor de 4 HP, 380 V, 50 hz

Capacidad: 10, 000 botellas /h

2. Molino (Con rotor de cuchillas tipo tijera): Tritura las botellas de pet convirtiéndolas en hojuelas y realiza también la operación de lavado de las hojuelas.

Capacidad de PET - botellas 800-1000 [kg/h]

Potencia	160 [kW]
Rotor RPM	970 [RPM]
Diámetro bote	1400 [mm]
Bote interno intercambiable	INOX AISI 304
Bomba agua	3 [kW]
Capacidad bomba agua	250 [l/min]

### 3. Transportador de descarga al proceso de separación

Sistema: Tornillo sin fin. Motor de 8 HP, 440 V, 50 hz  
 Capacidad: 1000 kg /h

### 4. Tina de Flotación.

Sistema:	flotación
Capacidad:	Depende del diseño y material
Longitud / Amplitud de la Tina [m]	12.0 x 2.0
Volumen Agua [m <sup>3</sup> ]	10 - 15
Agua en Circuito cerrado [lit./min]	200

### 5. Transportador de descarga al proceso de enjuague.

Sistema: Tornillo sin fin. Motor de 8 HP, 440 V, 50 hz  
 Capacidad: 1000 kg /h

### 6. Centrifuga dinámica: Realiza el proceso de enjuague y secado.

Potencia instalada	75 [kW]
Longitud / Amplitud / Altura	3000 /1850 / 1830 [mm]
Agua de lavado	78 [lit./min]
Agua de enfriamiento	23 [lit./min]

### 7. Sistema de peletizado ASP 120 de marca EREMA.

Ancho de corte (mm)	120
Mecanismo de transmisión de corte(kW)	4,0
Transmisión - Mecanismo de entrada (kW)	2 x 0,25
velocidad de entrada (m/min.) con pellets de longitud de 3 mm	40 - 120
Max. Número de hilos con hilos de diámetro de 3 mm	13

Longitud de Pellets (mm)	3
PET (kg/h)	700

#### 8. Sistema de envasado en costales TE 100 de Taylor Products

Velocidad	840 sacos por hora
Rango de peso	De 9 a 56 kilogramos
Requerimientos eléctricos	110 V
Escala	Análoga, digital
Requerimientos de aire	80 PSI

Montacargas eléctricos con llantas sólidas de 3 ruedas, de hombre sentado, con capacidades para 3,000 libras hasta 4,000 libras con mástiles, con altura desde 3.30 m hasta 7 m y horquillas de 36" a 54" de largo, en voltajes de 36 y 48 volts, asientos de suspensión y equipos de seguridad.

#### **2.4.5 CONTROL MEDIOAMBIENTAL**

El hombre en relación al medio ambiente siempre se ha enfrentado al problema del manejo de sus residuos; éste problema se incrementó cuando el hombre se agrupó en los centros urbanos, creciendo la cantidad de desechos generados, haciendo más difícil el manejo de los mismos.

El problema ambiental relacionado con el manejo de los residuos sólidos, aqueja al hombre y a su medio de diferentes maneras, especialmente en los sectores de:

- ✓ Salud Pública
- ✓ Destrucción de los recursos naturales renovables y no renovables.
- ✓ Factores sociales
- ✓ Factores económicos.

Todos estos elementos, afectan a cada uno de los componentes ambientales que nosotros como habitantes del planeta tierra necesitamos:

- ✓ Recurso Hídrico.
- ✓ Recurso Atmosférico.

- ✓ Recurso Suelo.

### Recurso Hídrico

- ✓ Obstrucción y represamiento de caudales: La presencia de basuras, bolsas, colchones, escombros es decir elementos que puedan represar el cauce normal de un río. En casos muy particulares como crecientes repentinas, épocas de alto invierno o la presencia de gran cantidad de residuos, estos cauces se represan, produciendo inundaciones.
- ✓ Elevados costos de tratamiento: Si las fuentes de agua son contaminadas por algún elemento, incluyendo los residuos sólidos, pasarán por un proceso de tratamiento para que el hombre pueda ocuparla en el consumo humano, en general para cualquier actividad en la que se emplee este recurso. Obviamente estos procesos son altamente costosos y la comunidad que demanda estos recursos, debe afrontar el pago los servicios.
- ✓ Huella zonas marítimas: La presencia de desechos en las zonas de esparcimiento afecta ambiental, social y económicamente, ya que causan un deterioro ambiental en las costas y playas, se amenaza la flora y la fauna marina, afecta el turismo y las actividades relacionadas a estas zonas como son la pesca y la recreación, entre otros.

Recurso atmosférico: Los residuos sólidos en su proceso de degradación generan malos olores y gases como metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) los cuales ayudan al aumento del efecto invernadero en el planeta, elevando la temperatura y generando el deshielo de polos. La descomposición se puede controlar con una correcta disposición de los residuos sólidos a través de su incineración tecnificada, de la ubicación de los residuos en rellenos sanitarios y/o botaderos especializados.

Recurso suelo: Se ve afectado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, su contaminación ocurre a través de diferentes elementos como son los lixiviados, que se filtran a través del mismo, afectando la productividad y acabando con la micro-

fauna que habita en él (lombrices, bacterias, hongos, musgos, entre otros.), lo cual lleva a la pérdida de productividad del suelo.

Los efectos obstruyen el diario laborar afectando nuestra calidad de vida, impiden que estemos en armonía con el entorno y afecta a todos en general. El creciente desarrollo urbano y la gran concentración poblacional han generado un deterioro del paisaje y de la calidad de vida, por la falta de cultura en cuanto al manejo de los residuos sólidos.

## **2.4.6 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR SÓLIDOS**

### **2.4.6.1 PLÁSTICO**

El plástico es una sustancia sintética, está constituido por gran cantidad de moléculas de hidrocarburos, alcoholes y demás agregados orgánicos, es decir el plástico es una sustancia orgánica dada su cantidad de carbono entre sus numerosas moléculas. Suele ser formado, por la acción del calor y la presión ya sean calor y presión natural como artificial, este último es el proceso más común de fabricación de plástico ya que el plástico natural no es abundante y el que existe no es el apropiado para la fabricación de gran parte de productos plásticos.

#### **Tipos de plásticos**

**Naturales:** No necesitan de un proceso de laboratorio para producirse, ya que están creadas en su totalidad por compuestos naturales, que proceden en su mayoría de animales y vegetales.

**Semi-sintéticos:** Son todas aquellas sustancias plásticas, que mediante la polimerización de algunas moléculas muy sencillas, se obtienen en fábricas y laboratorios. Un ejemplo es el poliuretano, hoy en día se conocen gran cantidad de plásticos utilizables como tales. Entre ellos cabe destacar las siguientes:

- ✓ **Baquelita:** Es muy utilizada y es obtenida de una sustancia llamada fenol que es un compuesto derivado oxigenado, presente en el alquitrán de hulla y producido

industrialmente a partir del benceno. La baquelita es uno de los plásticos más rígidos y duros. Es muy útil en la fabricación de elementos resistentes, como las carcasas de los teléfonos, despertadores, y el encubrimiento de algunos aparatos informáticos.

- ✓ **Celofán:** Con una consistencia similar a la del papel, los dos están compuestos por celulosa, que es una sustancia macromolecular del grupo de los glúcidos que está contenida en las membranas de las células vegetales, en especial en la de algunos árboles. El celofán es un plástico transparente y muy flexible, además es aislante de la humedad.

### **Clasificación**

“En los envases de plástico se muestra códigos o números establecidos para la identificación de este material. Estos códigos se encuentran en el fondo de los envases con el símbolo de reciclaje y el número que establece el tipo de plástico”. (Corporation, 2015)

- ✓ **PET** (tereftalato de polietileno): Se utiliza mayormente en la fabricación de bebidas suaves y refrescos.
- ✓ **HDPE** (polietileno de alta densidad) una gran cantidad de productos son elaborados de este tipo de plástico: Es el más común en los productos del consumidor: botellas para la leche, agua, detergentes, suavizadores de ropa y blanqueadores.
- ✓ **PVC** (cloruro de polivinilo): Se utiliza para fabricar envases aceites cosméticos, enjuagadores bucales, mangueras de jardín, cortinas de baño, tarjetas de crédito.
- ✓ **LDPE** (polietileno de baja densidad): Cosméticos y ciertos productos de aseo personal. Bolsas plásticas para empacados y bolsas transparentes de lavanderías.
- ✓ **PP** (polipropileno): En las tapas plásticas de los envases, en la fabricación de sorbetos y alfombras.
- ✓ **PS** (poliestireno): Es utilizado en la producción de espuma plástica. Vasos o tazas de bebidas calientes.

## 2.4.6.2 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDA POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Desechos sólidos ordinarios y peligrosos originan problemas ambientales en las urbanizaciones, y fundamentalmente zonas industrializadas, ya que crean un impacto ambiental negativo por el inapropiado manejo de los mismos y que amenazan las condiciones ambientales.

Por esto debemos cuidar el manejo que le damos a la basura que generamos dentro del hogar, sitio de trabajo y estudio.

Los residuos sólidos son cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido proveniente del consumo, el cual se rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien.

Tabla 2.5: Contaminación por residuos.

RESIDUOS MUNICIPALES	ORIGEN
Residenciales	Casas individuales, edificios, conjuntos y unidades residenciales, etc.
Comerciales	Restaurantes, hoteles, mercados, estaciones de servicio, talleres, etc
Institucionales	Colegios, hospitales, cárceles, edificios gubernamentales, entre otros.
Construcciones, demoliciones	Escombros.
Servicios municipales	Barrido de calles, mantenimiento de parques y plazas públicas, plantas de tratamiento de aguas residuales, etc.
Industriales	Pequeña, mediana y gran industria, actividades agroindustriales.

*Fuente: Autor*

## 2.5 HIPÓTESIS

¿El estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato?

## 2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

**Variable Independiente:** Estudio de un sistema de trituración de botellas PET

**Variable Dependiente:** La contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente proyecto se enfocará en una investigación cuantitativa y cualitativa; se planteará de manera cuantitativa ya que deberemos tabular los resultados obtenidos para la sustentación del proyecto.

Se lo realizará de manera cualitativa por la aplicación de parámetros técnicos y tecnológicos para el desarrollo del proyecto, lo que nos permitirá lograr un análisis minucioso a los procesos de trituración que nos llevará a la comprobación de la hipótesis.

#### **3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1 MODALIDAD**

**Experimental:** Se la desarrolla en el ámbito del proyecto, ya que se relaciona la causa y efecto de las variables por medio de un estudio interpretativo de los problemas y soluciones que se obtienen, para lograr la validación de la hipótesis.

**De Campo:** Realizada donde ocurren los fenómenos a estudiar, los hechos que son la base misma de la investigación; Este tipo de investigación se apoya en informaciones que provienen de otras, de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones.

**Documental Bibliográfica:** Basada en documentación legal, impresa y/o publicada, teorías referentes a las variables planteadas; la cual permite sustentar y validar la hipótesis.

### 3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se fundamentó en los siguientes tipos:

**Investigación aplicada:** Este tipo de investigación permitió desarrollar los conocimientos teóricos; para verificar la teoría de la realidad mediante pruebas prácticas que confirmen la información bibliográfica.

**Investigación Exploratoria:** Persigue el perfeccionamiento de la propuesta mediante la validación de los resultados hallados en favor de la hipótesis.

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Teniendo presente que la totalidad de los desperdicios y desechos sólidos plásticos se los retiene y cuantifica en el botadero municipal, la investigación se enfoca directamente en éste servicio para lograr una validación correcta de las cantidades o tonelajes que se vierten en éste sitio, para deducir los factores adecuados que ayudarán a validar la hipótesis planteada.

#### 3.3.1 POBLACIÓN

El relleno funciona desde julio del 2004. Está situado en la vía Ambato-Píllaro, en el sector de Chachoán. Ocupa una superficie de 13 hectáreas. Para su puesta en operación se invirtieron USD 10 millones. Ahí se depositan 235 toneladas de basura que produce diariamente Ambato. (Diario EL COMERCIO, 2012).

#### 3.3.2 MUESTRA

De las 230 toneladas de basura que llegan diariamente al relleno, el 25.27 por ciento son desechos reciclables y el 74.73 por ciento se lo dirigiría al proceso de reducción de productos bio degradables; de los cuales, del 25.27 por ciento la mitad es botellas y material PET. (Diario La Hora, 2012).

### 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS PET

Tabla 3.1: Operacionalización de variable independiente.

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítems Básicos	Técnicas e Instrumentos
Diferentes métodos de procesamiento de materiales, proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, para minimizar espacios.	Reducción de tamaño de las partículas de PET.  Trituración	Granulometría	[mm]	-Investigación Experimental
		Ángulo de ataque	[ grados ]	-Investigación de Campo
		Material Cuchilla	[HRc] AISI-SAE	-Observación Directa
		Fuerza	[N]	-Documentación Bibliográfica.
	Cantidad procesada	Flujo de masa	[Kg/h]	-Ficha de toma de datos

*Fuente: El Autor*

### 3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE: LA CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS EN EL BOTADERO DE LA CIUDAD DE AMBATO

Tabla 3.2: Operacionalización de variable dependiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítems Básicos	Técnicas e Instrumentos
Total de los materiales sólidos descartados de los hogares o centros comerciales, los cuales son una gran cantidad de agentes nocivos para la salud, seguridad y bienestar de la población.	Materiales sólidos descartados	Volumen Ocupado	[m <sup>3</sup> ]	-Cuadros Estadísticos
	Cantidad de agentes nocivos	Masa	[Kg]	-Investigación de Campo
		Tonelaje manejado	[Tn]	-Observación directa
				-Fichas de Registro

Fuente: El Autor

### **3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La técnica más común es la observación directa, que en este caso predominará en las modalidades de observación de laboratorio, de campo e indirecta, por tratarse de una investigación de carácter técnica.

Basándonos en la investigación de campo, nos confinaremos concretamente en el relleno sanitario de la ciudad para tomar la información respectiva del manejo y procesamiento que se le da a los residuos plásticos, con los cuales procederemos a realizar ciertos cambios en las variables de diseño de modelos de reciclaje mecánico con los que trabajaremos y lograremos optar por una propuesta correcta.

### **3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el procesamiento adecuado de la información se van a seguir varios lineamientos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- ✓ Procesar los datos obtenidos experimentalmente para llegar a obtener las mejores conclusiones.
- ✓ Tabular los cuadros de las variables con respecto a la hipótesis.
- ✓ Tabular las observaciones realizadas mediante cuadros de ponderación conociendo e interpretando los principales problemas de contaminación residual.
- ✓ Analizar e interpretar los resultados obtenidos en el estudio de reducción de tamaño para lograr una eficiente deducción del mejor proceso de trituración necesario para minimizar la contaminación y así lograr una hipótesis válida.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

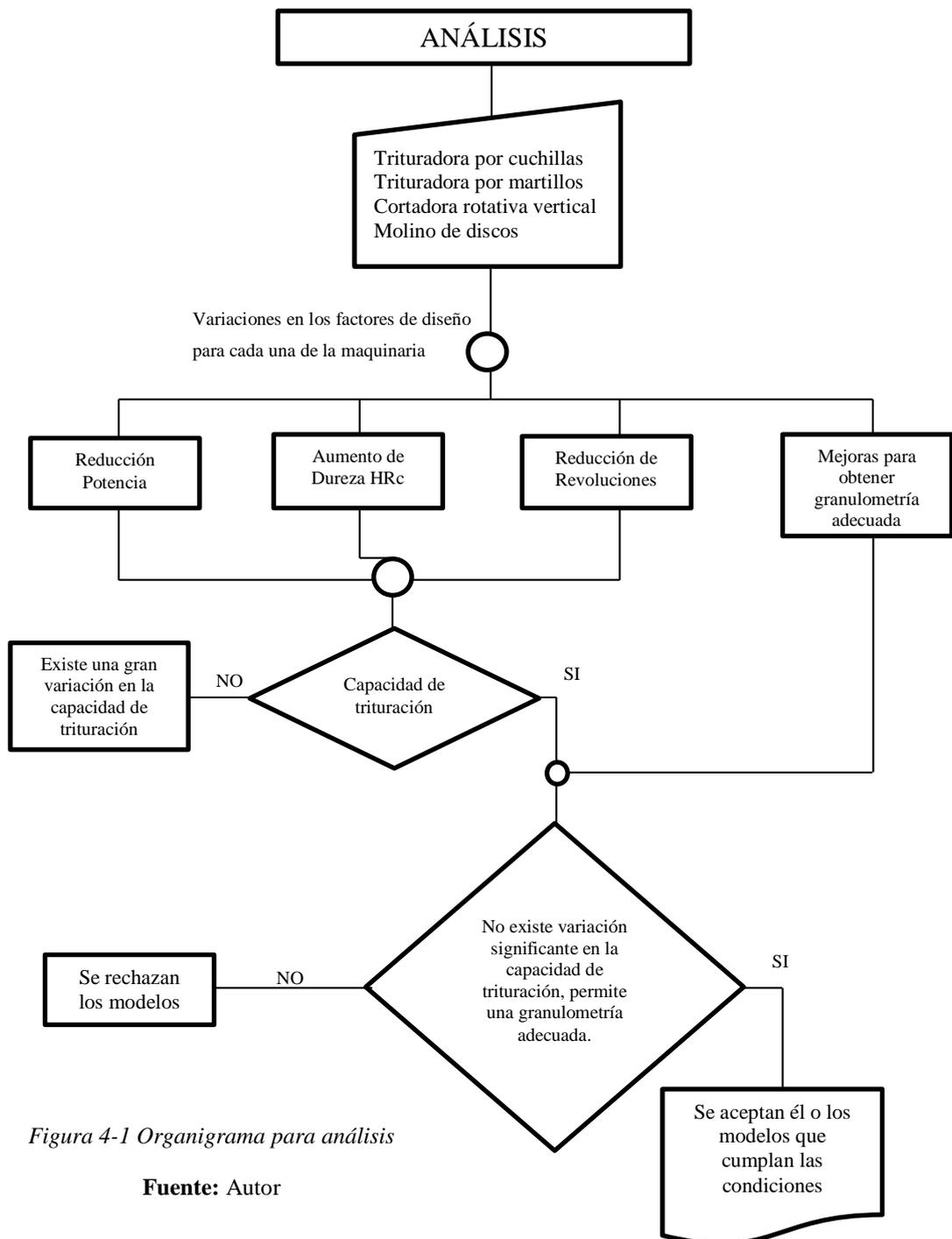


Figura 4-1 Organigrama para análisis

Fuente: Autor

Al proponernos realizar un estudio completo acerca de los sistemas de trituración, manejamos una cierta cantidad de variables dentro de los diseños que se hallan en el mercado empírico del sector, los cuales nos permitirán conocer qué sistema es el más operativo.

Para poder obtener los datos necesarios, específicamente trabajamos con maquinaria de trituración para desechos plásticos, con una capacidad nominal similar, no mayor a 55kg/h, la misma que aumentará o se reducirá al cambiar algunos de sus factores de diseño, por lo cual a continuación se identifican las variaciones primordiales que ocurrieron en la maquinaria y su efecto en la capacidad productiva de la misma.

#### **a. Trituradora por cuchillas**



*Figura 4-2 Trituradora de cuchillas planas*

*Fuente: El autor*

Datos en modo operativo intacto:

Marca: Sin detalle (propia del constructor)

Capacidad nominal: 50Kg/h

Potencia del motor: 3HP (1800 RPM)

Granulometría de trituración: (9-10) mm

Elemento Triturador: Cuchillas planas.

Material del elemento y resistencia al desgaste Bohler K100 (57-62 HRc) (Anexo 17)

Detalle de las variaciones realizadas y su efecto en la producción:

Tabla 4.1: *Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM)*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	2HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Cuchillas planas	(12-14)mm	41kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.2: *Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste K100(57-62 HRc) por K110(64-67 HRc)*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP(1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Cuchillas planas	(7-8)mm	49kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K110(64-67 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.3: *Variación 3: RPM Motor*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (900 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Cuchillas planas	(12)mm	42kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.4: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	5HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Cuchillas planas	(5)mm	61kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K110(64-67 HRc)		

*Fuente: El autor*

## b. Trituradora por martillos

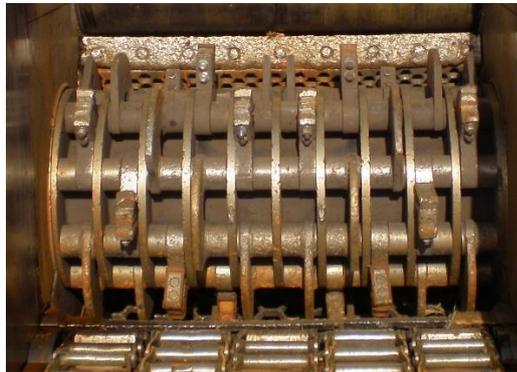


Figura 4-3 Trituradora de Martillos

*Fuente: El autor*

Datos en modo operativo intacto:

Marca: Sin detalle (propia del constructor)

Capacidad nominal: 50Kg/h

Potencia del motor: 3HP (1800 RPM)

Granulometría de trituración: (12) mm

Elemento Triturador: Martillos empernados.

Material del elemento y resistencia al desgaste: AISI D2 (62 HRc)

Detalle de las variaciones realizadas y su efecto en la producción:

Tabla 4.5: Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM)

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	2HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Martillos	(16)mm	25kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	AISI D2(62 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.6: Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste AISI 01 DF2(62 HRc) por K100(57-62 HRc)

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Martillos	(11)mm	49kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.7: Variación 3: RPM Motor

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (900 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Martillos	(13)mm	41kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	AISI D2(62 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.8: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	5HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Martillos	(10)mm	65kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

Fuente: El autor

**c. Máquina cortadora rotativa vertical**



*Figura 4-4 Trituradora Vertical*

**Fuente:** El autor

Datos en modo operativo intacto:

Marca: AGICO GROUP.

Capacidad nominal: 55Kg/h

Potencia del motor: 3HP (1800 RPM)

Granulometría de trituración: (13-15) mm

Elemento Triturador: Hojas de Corte.

Material del elemento y resistencia al desgaste: K100 (57-62 HRc)

Detalle de las variaciones realizadas y su efecto en la producción:

*Tabla 4.9: Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM)*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	2HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Hojas de Corte	(25)mm	45kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

**Fuente:** El autor

Tabla 4.10: *Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste K100(57-62 HRc) por AISI 01 –DF2 (62 HRc)*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Hojas de Corte	(11)mm	52kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	AISI D2(62 HRc)		

*Fuente: El autor*

Tabla 4.11: *Variación 3: RPM motor*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (900RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Hojas de Corte	(20)mm	20kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

*Fuente: El autor*

Tabla 4.12: *Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	5HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Hojas de Corte	(6-7)mm	67kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	AISI 01- DF2 (62 HRc)		

*Fuente: El autor*

#### d. Molino de discos



Figura 4-5 Trituradora de Discos

Fuente: El autor

Datos en modo operativo intacto:

Marca: Sin detalle (propia del constructor)

Capacidad nominal: 45Kg/h

Potencia del motor: 3HP (1800 RPM)

Granulometría de trituración: (15) mm

Elemento Triturador: Pastillas de Corte acopladas a discos.

Material del elemento y resistencia al desgaste: K100 (57-62 HRc)

Detalle de las variaciones realizadas y su efecto en la producción:

Tabla 4.13: *Variación 1: Motor de 3HP (1800 RPM) por Motor de 2HP (1800 RPM)*

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	2HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Pastillas de Corte acopladas a discos	(28)mm	22,5kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100(57-62 HRc)		

Fuente: El autor

Tabla 4.14: Variación 2: Material del elemento y resistencia al desgaste K100 (57-62 HRc) por K110 (64-67 HRc)

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Pastillas de Corte acopladas a discos	(15)mm	44kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K110 (64-67 HRc)		

*Fuente: El autor*

Tabla 4.15: Variación 3: RPM Motor

VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	3HP (900 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Pastillas de Corte acopladas a discos	(20)mm	22,5kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K100 (57-62 HRc)		

*Fuente: El autor*

Tabla 4.16: Variación 4: Motor, Material y RPM para una granulometría adecuada

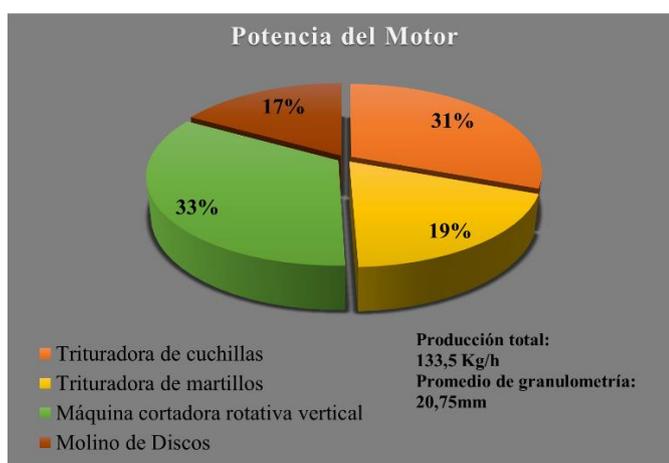
VARIACIONES		EFECTOS	
Motor	5HP (1800 RPM)	Granulometría	Producción
Elemento Triturador	Pastillas de Corte acopladas a discos	(9)mm	60kg/h
Material del elemento y resistencia al desgaste	K110(64-67 HRc)		

*Fuente: El autor*

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Mediante las variaciones realizadas a distintos tipos de maquinaria de trituración de desechos plásticos, pudimos observar y tabular cómo reaccionan estos modelos a cada uno de los cambios planteados, los cuales permitieron verificar cuáles son los componentes primordiales que influyen directamente en un corte adecuado además de mantener una capacidad de trituración estable o superior a la planteada en dichos modelos. Cabe mencionar que los modelos fueron sometidos a variables de cambio similares ya que solo así se lograría entender cuál es el efecto final en los ítems planteados.

### 4.2.1 Variación de potencia de motor



*Figura 4-6 Porcentajes de producción de acuerdo a la reducción de la potencia de motor.*

**Fuente:** El autor

Como podemos observar, al momento de reducir solo la potencia de accionamiento en los modelos mostrados, obtuvimos una producción total para ésta variable de 133,5kg/h y una medida promedio de pet triturado de 20,75mm; siendo la trituradora de cuchillas y la cortadora rotativa, los modelos que mostraron las mejores características al cambio planteado con una reducción pequeña en su capacidad nominal de trituración, mientras que los otros modelos mostraron una reducción muy considerable, así:

Tabla 4.17: Porcentaje de variaciones en relación a la potencia del motor

MODELOS	Capacidad nominal kg/h	Capacidad obtenida kg/h	Porcentaje de reducción
Trituradora de cuchillas	50	41	18%
Trituradora de martillos	50	25	50%
Máquina cortadora rotativa vertical	55	45	18.2%
Molino de Discos	45	22,5	50%

Fuente: El Autor

#### 4.2.2 Variación del material usado para corte



Figura 4-7 Porcentajes de producción de acuerdo al cambio de la dureza del material.

Fuente: El autor

Para éste fin hemos variado el material usado para triturar, es decir cambiarlo con otro de mayor o menor dureza Rockwell C lo que nos ha permitido obtener una producción total para ésta variable de 194kg/h y una medida promedio de pet triturado de 11,25mm, que mejora de acuerdo a la variable anterior; mostrando un porcentaje de capacidad productiva casi inalterable entre todos los modelos, así:

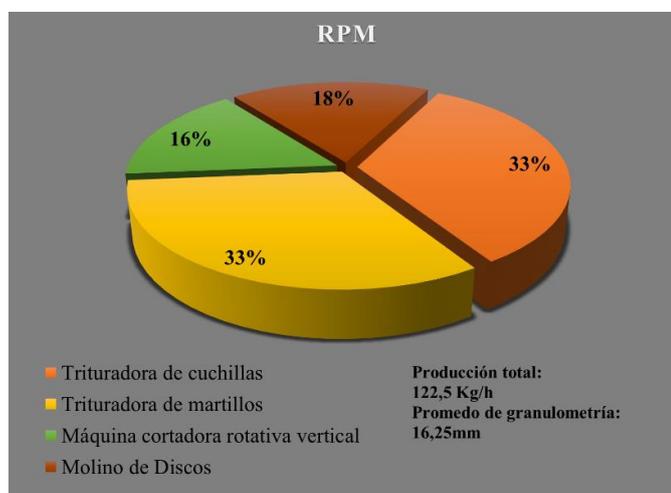
Tabla 4.18: Porcentaje de variaciones en relación al material usado para corte

MODELOS	Capacidad nominal kg/h	Capacidad obtenida kg/h	Porcentaje de reducción
Trituradora de cuchillas	50	49	2%
Trituradora de martillos	50	49	2%

Máquina cortadora rotativa vertical	55	52	5,45%
Molino de Discos	45	44	2,22%

*Fuente: El Autor*

#### 4.2.3 Variación de las revoluciones del motor



*Figura 4-8 Porcentajes de producción de acuerdo a la reducción de las revoluciones de giro del motor*

*Fuente: El autor*

Para éste fin hemos reducido únicamente las revoluciones de giro del motor lo que nos ha permitido obtener una producción total para ésta variable de 122,5kg/h y una medida promedio de pet triturado de 16,25mm, siendo la prueba que más redujo la capacidad de trituración de la cortadora vertical, mostrándose así como la variable influyente en cuanto a capacidad de producción y dejándonos los siguientes porcentajes de variación, así:

*Tabla 4.19: Porcentaje de variaciones en relación a las revoluciones del motor*

MODELOS	Capacidad nominal kg/h	Capacidad obtenida kg/h	Porcentaje de reducción
Trituradora de cuchillas	50	42	16%
Trituradora de martillos	50	41	18%
Máquina cortadora rotativa vertical	55	20	63,64%
Molino de Discos	45	22,5	50%

*Fuente: El autor*

#### 4.2.4 Variación para mejorar la granulometría

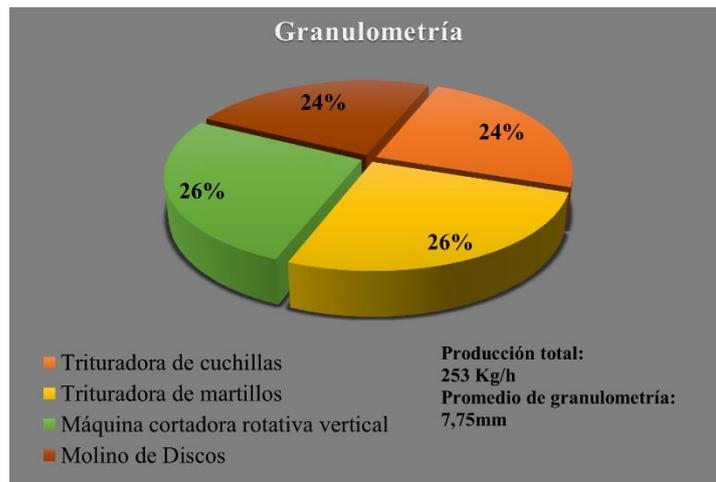


Figura 4-9 Porcentajes de producción de acuerdo al mejoramiento completo de los sistemas.

Fuente: El autor

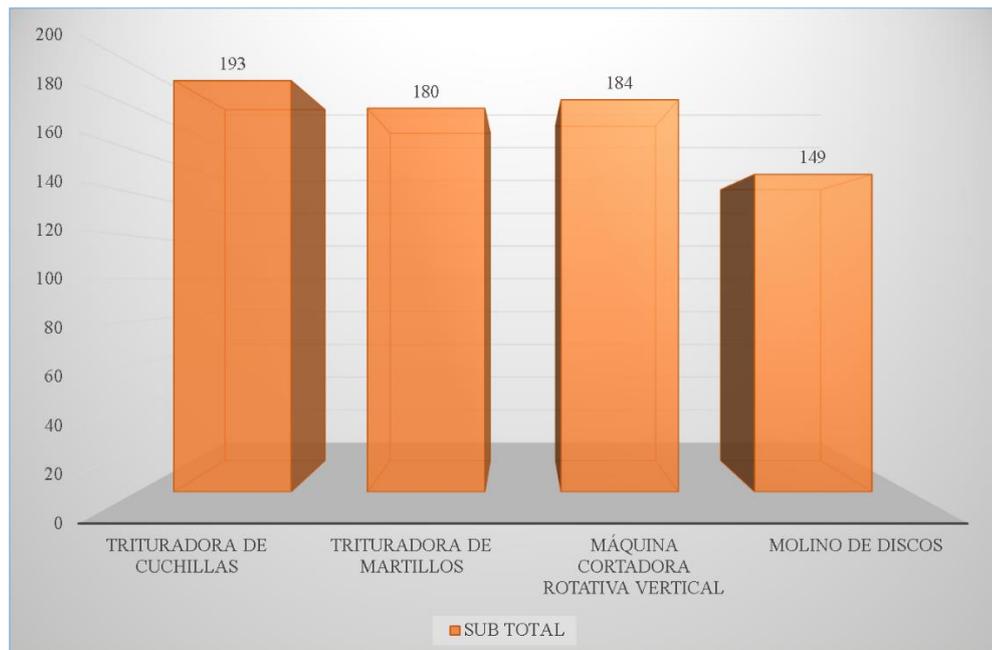
Para éste fin hemos tratado de mejorar las características planteadas, es decir potencia, revoluciones y la dureza del material de corte, para lograr obtener una granulometría adecuada, lo que por consiguiente ha permitido aumentar la capacidad de trituración total a 253kg/h y una medida promedio de pet triturado de 7,75mm, siendo la prueba que muestra una respuesta de mejora considerable tanto en producción como en obtención del grano correcto:

Tabla 4.20: Porcentaje de variaciones en relación a la mejora de granulometría

MODELOS	Capacidad nominal kg/h	Capacidad obtenida kg/h	Porcentaje de mejora
Trituradora de cuchillas	50	61	22%
Trituradora de martillos	50	65	30%
Máquina cortadora rotativa vertical	55	67	21,82%
Molino de Discos	45	60	33,33%

Fuente: El autor

#### 4.2.5 Total de capacidades de trituración



*Figura 4-10 Producción total de cada uno de los modelos en relación a las variaciones aplicadas.*

*Fuente: El autor*

Una vez obtenidos los resultados de las producciones de cada una de las variaciones realizadas, hemos logrado comprender que la trituradora por cuchillas y la cortadora vertical son los modelos que responden de mejor manera a las variaciones planteadas, mostrándonos que su método de corte es muy favorable, lo que nos brinda la posibilidad de adaptarlo a otros diseños, para proponer un modelo más sustentable.

#### 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la hipótesis planteada “¿El estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato?” para su verificación se debe realizar ciertas consideraciones. En los procesos de reciclaje mecánico inciden una gran cantidad de factores en los diseños de los modelos, los cuales permiten que el funcionamiento y capacidad de reciclaje sean menor, mayor o igual al esperado, además de aumentar o reducir el costo neto; por lo que era necesario establecer en

base a los modelos comúnmente usados en el mercado, cuáles presentan los mejores parámetros de diseño para reciclaje mecánico y cuáles permiten obtener una granulometría adecuada de 5 a 8mm; mostrando así que al tabular varios parámetros y factores en las maquinarias se logra entender que si se combinan diseños para proponer un modelo-sistema más óptimo; se brindará certeza en la reducción en la contaminación por desechos sólidos plásticos de botellas pet en el botadero de la ciudad de Ambato.

#### **4.3.1 MÉTODO DEL CHI-CUADRADO PARA COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS DE FORMA ESTADÍSTICA**

El método del Chi-cuadrado es utilizado para probar hipótesis sobre eventos conocidos. Para el análisis hacemos referencias a los resultados esperados con los obtenidos. Entonces realizamos un planteamiento lógico de la hipótesis:

##### **Hipótesis**

“¿El estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato?”.

##### **Planteamiento lógico**

##### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

“El estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, *no* permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato”

##### **Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>)**

“El estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato”

#### 4.3.1.1 Región de aceptación y rechazo

Para poder obtener los valores deseados se trabajó con 4 modelos de maquinaria y 4 factores de diseño, siendo las filas y columnas respectivamente; lo que nos permite calcular el punto crítico que nos brindará la posibilidad de aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

$$\text{Grado de libertad (gl)} = (f - 1) * (c - 1)$$

Donde:

Filas (f) = 4; Columnas (c) = 4; Gl = 9; Nivel de significancia = 5%

#### 4.3.1.2 Especificaciones estadísticas

Elaboramos nuestro cuadro de frecuencias observadas basándonos en el estudio realizado anteriormente, dándonos:

Tabla 4.21: Frecuencias Observadas

Sistema (método) de trituración	Producción de desechos triturados en kg/h en relación a variabilidad de factores de diseño				
	Potencia del Motor	Resistencia a la abrasión del material	RPM	Granulometría	<b>SUB TOTAL</b>
Trituradora de cuchillas	41	49	42	61	193
Trituradora de martillos	25	49	41	65	180
Máquina cortadora rotativa vertical	45	52	20	67	184
Molino de Discos	22,5	44	22,5	60	149
<b>SUB TOTAL</b>	133,5	194	125,5	253	<b>706</b>

Fuente: El autor

Elaboramos nuestro cuadro de frecuencias esperadas mediante los datos de la tabla de frecuencias observadas; por resultado de la aplicación de la fórmula siguiente:

$$FE = \frac{(Total\ de\ Fila) * (Total\ de\ Columna)}{N}$$

Dónde:

N = Total de Frecuencias Observadas (706)

Tabla 4.22: Frecuencias Esperadas

Sistema (método) de trituración	Producción de desechos triturados por hora en relación a variabilidad de factores de diseño				
	Potencia del Motor	Resistencia a la abrasión del material	RPM	Granulometría	<b>SUB TOTAL</b>
Trituradora de cuchillas	36,50	53,03	34,31	69,16	193,00
Trituradora de martillos	34,04	49,46	32,00	64,50	180,00
Máquina cortadora rotativa vertical	34,79	50,56	32,71	65,94	184,00
Molino de Discos	28,17	40,94	26,49	53,40	149,00
<b>SUB TOTAL</b>	133,50	194,00	125,50	253,00	<b>706,00</b>

Fuente: El autor

#### 4.3.1.3 Estimación de chi cuadrado

“Cuanto menor sean el valor del estadístico  $\chi^2$ , más coherentes serán las observaciones obtenidas con los valores esperados. Por el contrario, valores grandes de este estadístico indicarán falta de concordancia entre las observaciones y lo esperado. En este tipo de contraste se suele rechazar la hipótesis nula (los valores observados son coherentes con los esperados) cuando el estadístico es mayor que un determinado valor crítico”. (Monge, 2015)

$$\chi^2 = \sum \frac{(FO - FE)^2}{FE}$$

Donde:

$X^2 = \text{Ji cuadrado}$

$\Sigma = \text{Sumatoria}$

FO= Frecuencias Observadas

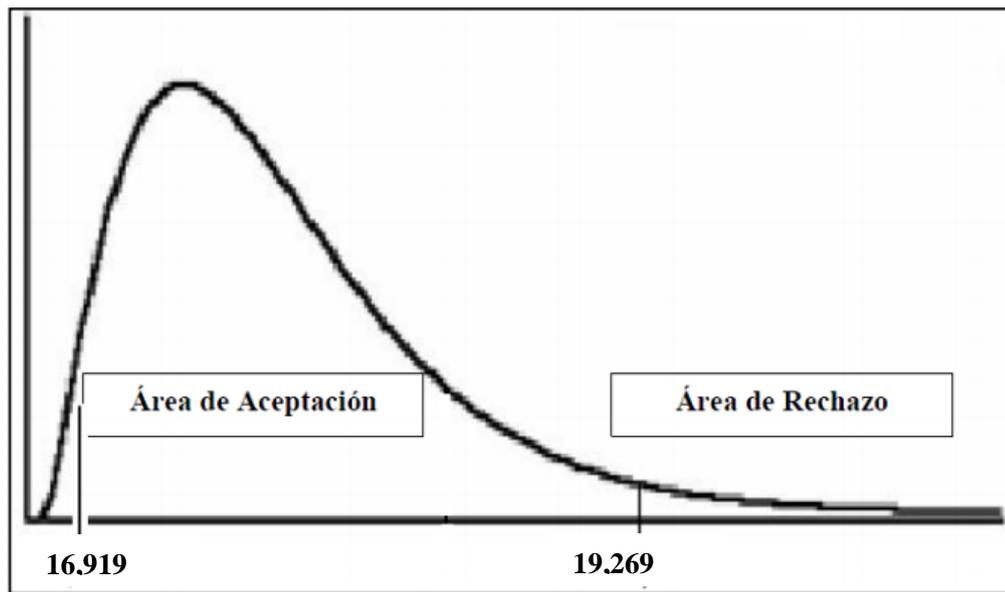
FE= Frecuencias Esperadas

Tabla 4.23: Estimación del Chi Cuadrado

FO	FE	FO-FE	(FO-FE) <sup>2</sup>	((FO-FE) <sup>2</sup> )/FE
41	36,50	4,50	20,29	0,556
49	53,03	-4,03	16,27	0,307
42	34,31	7,69	59,17	1,725
61	69,16	-8,16	66,63	0,963
25	34,04	-9,04	81,66	2,399
49	49,46	-0,46	0,21	0,004
41	32,00	9,00	81,05	2,533
65	64,50	0,50	0,25	0,004
45	34,79	10,21	104,18	2,994
52	50,56	1,44	2,07	0,041
20	32,71	-12,71	161,50	4,938
67	65,94	1,06	1,13	0,017
22,5	28,17	-5,67	32,20	1,143
44	40,94	3,06	9,34	0,228
22,5	26,49	-3,99	15,89	0,600
60	53,40	6,60	43,62	0,817
706	706	0	695,48	<b>19,269</b>

Fuente: El autor

Estadísticamente se puede observar que el chi cuadrado calculado de 19,269 es mayor que el Chi Cuadrado de borde establecido por medio de los grados de libertad y el nivel de significancia (**Anexo 1**), por lo que se procederá a graficar para establecer el criterio de aceptación o rechazo.



*Figura 4-11: Curva de aceptación y rechazo*

*Fuente: El autor*

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de “el estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno no permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato” y se acepta la hipótesis alternativa es decir “el estudio de un sistema de trituración de botellas de Tereftalato de Polietileno, permitirá reducir la contaminación por desechos plásticos en el botadero de la ciudad de Ambato”.

#### **4.3.2 DATOS DE TRITURACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE PROTOTIPO**

Una vez diseñados cada uno de los elementos que constituyen el sistema desarrollado, se procedió a construir un prototipo del sistema de corte, para verificar que el modelo llegará a funcionar de la manera esperada, por lo cual optamos a realizar ensayos de trituración con 3 variantes de botellas que las botamos diariamente y que son las que ocupan mayor volumen en el botadero de la ciudad de Ambato.



Figura 4-12: Botellas de ensayo  
Fuente: Autor

Tabla 4.24: Datos físicos de las botellas a ensayar

	Volumen medido geoméricamente( $\text{cm}^3$ )
Botella pequeña	500,29
Botella mediana	1161,82
Botella grande	2409,99

Fuente: Autor

Al realizar los ensayos de trituración (**Anexo 43**) con botellas de volumen pequeño, mediano y grande, obtuvimos varios datos muy favorables que los mostramos a continuación:

Tabla 4.25: Datos obtenidos por ensayos de trituración

	Tiempo de trituración (s)	Masa triturada (gr) ( <b>Anexo 44</b> )	Volumen de trituración(hallado por medio de densidad del pet $1.34\text{gr}/\text{cm}^3$ ) $\text{cm}^3$	Rango de granulometría lograda (mm) ( <b>Anexo 45</b> )
Botella pequeña	4	8.98	6,7	6-8
Botella mediana	8	15,71	11,72	6-12
Botella grande	11	17,30	12,91	8-12

Fuente: Autor

Tabla 4.26: Porcentaje de reducción de desechos sólidos plásticos

	Volumen medido geoméricamente (cm <sup>3</sup> )	Volumen de trituración(hallado por medio de densidad del pet 1.34gr/cm <sup>3</sup> )cm <sup>3</sup>	Porcentaje de reducción %
Botella pequeña	500,29	6,7	98,2
Botella mediana	1161,82	11,72	98,77
Botella grande	2409,99	12,91	99,3

*Fuente: Autor*

Quedando comprobado que el estudio de un sistema de trituración de botellas de tereftalato de polietileno logrará la reducción del volumen de contaminación en el botadero de la ciudad de Ambato, además de lograr una granulometría adecuada.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El sistema de reciclaje más eficiente, económico y que brinda mayores réditos en su total implementación en cualquier botadero o centro de acopio es el sistema por reciclado mecánico.
- Los pellet de Tereftalato de Polietileno actualmente más cotizados y que permiten mejor inyección en el re-uso, son los que tienen un porcentaje de limpieza (pureza) de 85%.
- Las características primordiales que un sistema de trituración adecuado debe tener son:
  - Potencia de Trabajo superior a 5HP.
  - Rango de revoluciones de trabajo (500 a 1800).
  - Dureza del Elemento de corte no menor a 57HRc.
  - Producción de granulometría de (5-12)mm
- De los parámetros ponderados los 3 factores con mayor influencia en el proceso de análisis para la selección de las partes principales para el diseño son la efectividad en la ejecución de su función, mantenimiento y costo de implementación.
- Del prototipo del mecanismo de corte realizado, en base a los ensayos hechos con las botellas más comunes en el mercado, obtenemos los siguientes valores:
  - Botella pequeña: 4s tiempo de trituración, Masa triturada 8,98gr, Volumen obtenido  $6.7\text{cm}^3$ , rango de gránulo (6-8) mm, porcentaje de reducción de volumen de 98,2%.

- Botella mediana: 8s tiempo de trituración, Masa triturada 15,7gr, Volumen obtenido 11,72cm<sup>3</sup>, rango de gránulo (6-12) mm, porcentaje de reducción de volumen de 98,7%.
  - Botella grande: 11s tiempo de trituración, Masa triturada 17,3gr, Volumen obtenido 12,91cm<sup>3</sup>, rango de gránulo (8-12) mm, porcentaje de reducción de volumen de 99,3%.
- Ángulos de ataque:
- $\alpha = 8^\circ$  respecto a la horizontal.
  - $\gamma = 10^\circ$  respecto a la vertical.
- Para el elemento cortante se puede trabajar con un material AISI D2 o D3 de dureza HRc (57-62).
- La fuerza necesaria para lograr el corte de PET de hasta 3mm es 72N.
- Potencia necesaria para accionar 22 cuchillas para una capacidad de 350Kg/h, son 20HP.
- Las botellas más comunes en el mercado tienen una masa y ocupan un volumen geométrico de:
- Botella pequeña: 10,98gr; 500,29cm<sup>3</sup>
  - Botella mediana: 20,71gr; 1161,82 cm<sup>3</sup>
  - Botella grande: 22,3gr; 2409,99 cm<sup>3</sup>
- Todos los modelos o sistemas que usamos para comprender la variabilidad en los rangos de trituración, tenían la misma falla, no eran adaptables, es decir no se podía realizar un desarme o ensamble sencillo en caso de requerirlo.
- Las cuchillas de disco industriales Trituran combinando un esfuerzo cortante más un efecto de desgarre permitiendo el aumento de la capacidad productiva del sistema.
- El costo resultante del modelo diseñado se reduce alrededor de 4000 dólares en comparación al costo de maquinaria de fabricantes extranjeros, sin contar gastos de envío y retiro de aduana.
- El peso final de la máquina, de igual manera disminuye en un 35% en relación a fabricaciones extranjeras.

- La colocación correcta de los ejes de trituración, es decir, respetando la distancia entre centros calculada, permite un trabajo de trituración adecuado, y evita desgaste innecesario.
- Al reducir las dimensiones de las cuchillas se debe reducir la velocidad de rotación para que el agarre de los dientes y la trituración de las cuchillas sean correctos.
- Para obtener una granulometría menor, se debe reducir el espesor de las cuchillas y aumentar su número.
- Si las botellas de PET son expuestas al sol, éstas presentan una menor resistencia al corte de trituración.
- Todos los modelos, sistemas o diseños, implementados empíricamente en el mercado llegan a tener bajo rango efectivo de trabajo, pero con los estudios y adecuaciones necesarias podrían aumentar su eficiencia considerablemente.
- Si existieran mejores planes para el manejo y re-uso de los desechos plásticos de botellas por parte del municipio se tendría una ganancia más considerable, además del mejoramiento en el suelo del botadero.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- La puesta en marcha de este proceso de reciclaje debe realizarse ya que permitiría expandir los márgenes de un manejo sustentable del PET, además que el modelo mostrado aquí puede ser utilizado como guía para el desarrollo de otros tipos de elementos para diferentes ámbitos.
- Para lograr un modelo sustentable y coherente, se debe trabajar el diseño de la maquinaria de manera manual y con la ayuda de software Cad, ya que nos facilita el entendimiento de criterios de fallo en varias partes del estudio.
- Las cuchillas y los separadores deben ser completamente llevados a un proceso de templado (en caso que el material no lo esté) para aumentar su dureza y mejorar el desempeño.
- Ya que no todas las botellas de la ciudad llegan al botadero, para tener mayor cantidad de tonelaje de botellas se puede trabajar con instituciones o centros de trabajo, lo que permitiría hacer el proceso más rentable.

- Para mejorar el costo de producción de varios modelos, se pueden, en principio fabricarlos de material reciclado, como es el caso de ejes, placas y bancada.
- Debemos recordar que se triturará solo material fabricado con PET, por lo tanto las tapas que son fabricadas de HDPE deberán pasar por otro proceso.
- Si se desea aumentar la producción, hay que recordar que al realizar un cambio de motor de igual manera se debe hacerlo con el moto-reductor, ya que variará la potencia útil.
- Los elementos mecánicos de movimiento deben estar totalmente engrasados.
- Por seguridad del motor se puede instalar un sistema con variador de frecuencia que permita una inversión de giro en caso de sobre carga de la máquina.
- Para el ensamble de los elementos hay que precautelar que la caja de trituración quede totalmente hermética ya que así se logrará una trituración efectiva.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

##### **6.1.1 TÍTULO**

**Tema:** “DISEÑAR UN SISTEMA DE TRITURACIÓN DE BOTELLAS PET, QUE PERMITA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN EL BOTADERO DE LA CIUDAD DE AMBATO”.

##### **6.1.2 BENEFICIARIOS:**

EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS “GIDSA”; ASOCIACIONES DE RECICLADORES DE LA CIUDAD.

##### **6.1.3 UBICACIÓN:**

Situado en la vía Ambato-Píllaro, en el sector de Chachoán. Ocupa una superficie de 13 hectáreas.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Existen varios puntos de vista acerca de la conservación y el ambientalismo, pero realmente no sirven de nada si no ponemos de nuestra parte en crear tecnologías que ayuden y beneficien a estos ideales; gracias a la ingeniería que se desarrolla día con día podemos diseñar, fabricar, enlazar, implantar o mejorar métodos que permiten extender la vida de nuestro medio ambiente sin reducir ninguna de las actividades socio económicas fundamentales para nuestro progreso, es más podemos contribuir al desarrollo económico del sector afectado al aumentar las plazas de trabajo, ya que donde existe un deplorable manejo de los desechos y el suelo, se hallan minas de oro para la creación de fuentes de trabajo relacionadas con el acopio y el reciclaje.

Mediante un estudio observamos que gran parte del territorio del botadero en cuestión es desperdiciado y en cierta manera sobre contaminado, ya que se vierten y entierran gran cantidad de desechos de toda clase, es decir, orgánicos, plásticos, virales, etc., que con la tecnología y trato correcto pueden llegar en gran porcentaje a ser re-usables como lo son las botellas de tereftalato de polietileno (PET) las cuales ocupan un porcentaje considerable del tonelaje diario que llega al botadero y las mismas que con las ideas y tratos correctos brindan infinitas posibilidades de inclusión económica y desarrollo industrial. Teniendo en cuenta lo anterior y que además las autoridades del GIDSA en los últimos años están ampliando su criterio de desarrollo tecnológico para el mejoramiento del manejo de desechos sólidos podemos aprovechar todos los recursos a nuestra disposición, tanto humanos como económicos, para reducir esta grave situación y contribuir de alguna manera hacia este mundo que aunque no lo valoremos nos brinda todo.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

La implementación de tecnología en los procesos de reciclaje a menor escala es un tema poco tratado en los países latinoamericanos, siendo el costo el eje principal en la carencia de maquinaria para esta industria, estudios ya desarrollados han permitido elaborar mejores sistemas de reciclaje y más económicos, que en años anteriores, llegando a tener una gama muy extensa de materiales, elementos constitutivos eficientes, además que la vida útil de los mismos va incrementándose gradualmente a la par de la tecnología. Por ende, siendo ésta la mayor preocupación de la empresa municipal de Ambato, se desarrollará un modelo de un sistema eficiente, económico y con un estándar de larga vida útil; el cual en el momento de su puesta en marcha, beneficiará a recicladores, obreros e industria en general ya que podrán obtener réditos económicos gracias a la alta cotización de un pet triturado de calidad, logrando afianzar conocimientos adquiridos durante toda la carrera y poniéndolos en práctica para el beneficio conjunto de varios sectores económicos y sociales de nuestra ciudad.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 GENERAL**

Diseñar un sistema de trituración de botellas pet que permita obtener una granulometría adecuada.

### **6.4.2 ESPECÍFICOS**

- Disponer de un listado de elementos constitutivos y sus respectivos materiales.
- Determinar el costo total de una maquinaria para éste fin.
- Disponer de los planos respectivos para una futura construcción.
- Construir el prototipo del mecanismo de corte.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El proyecto propuesto cuenta con el aval de adquisición por parte de la municipalidad ya que continuamente receptan propuestas tecnológicas para la implementación a futuro de su propia planta de reciclaje, lo que beneficiaría en gran magnitud al sector social ya que ésta entidad proveerá de trabajo a las personas asentadas en las localidades del botadero de basura; además mediante un sondeo realizado a varios centros de acopio de la ciudad, se pudo ver que existe un gran interés de adquisición del equipo, ya que al llegar a la granulometría propuesta, el pet triturado será muy cotizado y se lo podrá vender a empresas que se dediquen a fabricar pellet para máquinas extrusoras.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

### **6.6.1 Método de ejecución del reciclado**

Mediante la investigación teórica hemos podido verificar que el porcentaje de desarrollo es mucho mayor en el reciclado mecánico por trituración en relación al

resto de métodos que se han podido comprender; debido a que los factores para su puesta en marcha presentan alto desempeño y un bajo precio, nos permiten vislumbrar que es muy factible obtener réditos económicos luego de la puesta en marcha del diseño; por lo tanto reafirmamos la idea de que nuestro diseño y modelo serán llevados hacia el reciclado de trituración mecánica.

### 6.6.2 Ponderación de variables para el método de reciclado mecánico

Mediante un estudio de observación a centros de producción a importadores de maquinaria de reciclado en particular, se pudo hallar los elementos constitutivos primordiales que intervienen en el método de reciclaje mecánico y que individualmente nos permiten palpar su incidencia en el proceso; con la ayuda del método de ponderación de variables a continuación podemos establecer la jerarquía definitiva de cada uno de los elementos para la implementación del método:

#### Selección de la alternativa con mejor evaluación

**0** Si el criterio de solución de las filas es inferior (o peor <) que de las columnas.

**0,5** Si el criterio de solución de las filas es equivalente (o igual =) que de las columnas.

**1** Si el criterio de solución de las filas es superior (o mejor >) que de las columnas.

#### 6.6.2.1 Ingreso de material

Tabla 6.1: Ponderación de la funcionalidad para ingreso de material

Funcionalidad	Tapa con bisagra	Tapa de vaivén	Ingreso libre	$\Sigma+1$	Ponderación
Tapa con bisagra		1	0,5	2,5	0,385
Tapa de vaivén	0		0	1	0,154
Ingreso libre	1	1		3	0,462
			<b>SUMA</b>	6,5	1

Fuente: El autor

Tabla 6.2: Ponderación del costo constructivo para ingreso de material

<b>Costo constructivo</b>	Tapa con bisagra	Tapa de vaivén	Ingreso libre	$\Sigma+1$	Ponderación
Tapa con bisagra		0	0	1	0,167
Tapa de vaivén	1		0	2	0,333
Ingreso libre	1	1		3	0,5
			<b>SUMA</b>	6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.3: Ponderación de la facilidad de mantenimiento para ingreso de material

<b>Facilidad de Mantenimiento</b>	Tapa con bisagra	Tapa de vaivén	Ingreso libre	$\Sigma+1$	Ponderación
Tapa con bisagra		0,5	0	1,5	0,25
Tapa de vaivén	0,5		0	1,5	0,25
Ingreso libre	1	1		3	0,5
			<b>SUMA</b>	6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.4: Ponderación del peso para ingreso de material

<b>Peso</b>	Tapa con bisagra	Tapa de vaivén	Ingreso libre	$\Sigma+1$	Ponderación
Tapa con bisagra		0,5	0	1,5	0,25
Tapa de vaivén	0,5		0	1,5	0,25
Ingreso libre	1	1		3	0,5
			<b>SUMA</b>	6	1

Fuente: El autor

NOTA: Luego de analizar las ponderaciones efectuadas, se logra determinar que la característica adecuada para el ingreso de material es el ingreso libre.

### 6.6.2.2 Tolva de trituración

Tabla 6.5: Ponderación de la forma para tolva de trituración

Capacidad	Cuadrada	Rectangular	Mixta(doble entrada) con cierta angulación	$\Sigma+1$	Ponderación
Cuadrada		0,5	0	1,5	0,25
Rectangular	0,5		0	1,5	0,25
Mixta(doble entrada) con cierta angulación	1	1		3	0,5
<b>SUMA</b>				6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.6: Ponderación del costo de fabricación para tolva de trituración

Costo de fabricación	Cuadrada	Rectangular	Mixta(doble entrada) con cierta angulación	$\Sigma+1$	Ponderación
Cuadrada		0,5	1	2,5	0,417
{Rectangular	0,5		1	2,5	0,417
Mixta(doble entrada) con cierta angulación	0	0		1	0,167
<b>SUMA</b>				6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.7: Ponderación del aprovechamiento de caída para tolva de trituración

Aprovechamiento de caída	Cuadrada	Rectangular	Mixta(doble entrada) con cierta angulación	$\Sigma+1$	Ponderación
Cuadrada		0,5	0	1,5	0,25
Rectangular	0,5		0	1,5	0,25
Mixta(doble entrada) con cierta angulación	1	1		3	0,5
<b>SUMA</b>				6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.8: Ponderación de la complejidad de diseño para tolva de trituración

<b>Complejidad de diseño</b>	Cuadrada	Rectangular	Mixta(doble entrada) con cierta angulación	$\Sigma+1$	Ponderación
Cuadrada		0,5	0,5	2	0,333
Rectangular	0,5		0,5	2	0,333
Mixta(doble entrada) con cierta angulación	0,5	0,5		2	0,333
			<b>SUMA</b>	6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.9: Ponderación de la innovación para tolva de trituración

<b>Innovación</b>	Cuadrada	Rectangular	Mixta(doble entrada) con cierta angulación	$\Sigma+1$	Ponderación
Cuadrada		0,5	0	1,5	0,25
Rectangular	0,5		0	1,5	0,25
Mixta(doble entrada) con cierta angulación	1	1		3	0,5
			<b>SUMA</b>	6	1

Fuente: El autor

*NOTA: Podemos estipular mediante el análisis de las características, que la tolva de trituración más adecuada es la mixta (doble entrada) con angulación.*

### 6.6.2.3 Trituración.

#### a. Etapas

Tabla 6.10: Ponderación de la calidad de trituración para etapas

<b>Calidad de trituración</b>	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		0	1	0,333
Doble (aplastamiento, caída y trituración)	1		2	0,667
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

Tabla 6.11: Ponderación de la velocidad de trituración para etapas

<b>Alta Velocidad de trituración</b>	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		1	2	0,667
Doble (aplastamiento, caída y trituración)	0		1	0,333
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

Tabla 6.12: Ponderación de la cantidad de trituración para etapas

<b>Mayor Cantidad de trituración</b>	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		0	1	0,333
Doble (aplastamiento, caída y trituración)	1		2	0,667
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

Tabla 6.13: Ponderación del consumo de energía de trituración para etapas

<b>Consumo de energía</b>	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		0	1	0,333
Doble (aplastamiento, caída y trituración)	1		2	0,667
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

Tabla 6.14: Ponderación del costo de implementación para etapas

<b>Costo de implementación</b>	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		0,5	1,5	0,5

Doble (aplastamiento, caída y trituración)	0,5		1,5	0,5
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

Tabla 6.15: Ponderación de la vida útil para etapas

Vida útil	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		0,5	1,5	0,5
Doble (aplastamiento, caída y trituración)	0,5		1,5	0,5
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

Tabla 6.16: Ponderación del costo de mantenimiento para etapas

Costo de Mantenimiento	Simple (Caída y trituración)	Doble (aplastamiento, caída y trituración)	$\Sigma+1$	Ponderación
Simple (Caída y trituración)		0,5	1,5	0,5
Doble (aplastamiento, caída y trituración)	0,5		1,5	0,5
		<b>SUMA</b>	3	1

Fuente: El autor

NOTA: Podemos afirmar que la mejor etapa de trituración para el efecto es la Doble (aplastamiento, caída y trituración), cabe acotar, que al reducir la forma de la botella eliminamos aire, logrando un mejor efecto cizalla.

## b. Eje

Tabla 6.17: Ponderación de la granulometría de trituración para eje

Mejor granulometría de trituración	1 Eje	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	$\Sigma+1$	Ponderación
1 Eje		0	0	0	1	0,1
2 Ejes	1		0,5	0,5	3	0,3
3 Ejes	1	0,5		0,5	3	0,3
4 Ejes	1	0,5	0,5		3	0,3
				<b>SUMA</b>	10	1

Fuente: El autor

Tabla 6.18: Ponderación de la cantidad de trituración por eje

<b>Mayor Cantidad de trituración</b>	1 Eje	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	$\Sigma+1$	Ponderación
1 Eje		0	0	0	1	0,1
2 Ejes	1		0.5	0	2,5	0,25
3 Ejes	1	0.5		0.5	3	0,3
4 Ejes	1	1	0.5		3,5	0,35
				<b>SUMA</b>	10	1

Fuente: El autor

Tabla 6.19: Ponderación del consumo de energía por eje

<b>Menor Consumo de energía</b>	1 Eje	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	$\Sigma+1$	Ponderación
1 Eje		0,5	1	1	3,5	0,35
2 Ejes	0,5		1	1	3,5	0,35
3 Ejes	0	0		1	2	0,2
4 Ejes	0	0	0		1	0,1
				<b>SUMA</b>	10	1

Fuente: El autor

Tabla 6.20: Ponderación del costo de implementación por eje

<b>Menor Costo de implementación</b>	1 Eje	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	$\Sigma+1$	Ponderación
1 Eje		0,5	1	1	3,5	0,35
2 Ejes	0,5		1	1	3,5	0,35
3 Ejes	0	0		1	2	0,2
4 Ejes	0	0	0		1	0,1
				<b>SUMA</b>	10	1

Fuente: El autor

Tabla 6.21: Ponderación de la mayor vida útil por eje

<b>Mayor Vida útil</b>	1 Eje	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	$\Sigma+1$	Ponderación
1 Eje		0	1	1	3	0,3
2 Ejes	1		1	1	4	0,4
3 Ejes	0	0		0,5	1,5	0,15
4 Ejes	0	0	0,5		1,5	0,15
				<b>SUMA</b>	10	1

Fuente: El autor

Tabla 6.22: Ponderación del costo de mantenimiento por eje

<b>Menor Costo de Mantenimiento</b>	1 Eje	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	$\Sigma+1$	Ponderación
1 Eje		0,5	1	1	3,5	0,35
2 Ejes	0,5		1	1	3,5	0,35
3 Ejes	0	0		1	2	0,2
4 Ejes	0	0	0		1	0,1
				<b>SUMA</b>	10	1

Fuente: El autor

NOTA: La variable descrita presenta varias características, poniendo entre sus opciones una variación mínima en las ponderaciones, pero teniendo en consideración el factor costo se eligió como alternativa primordial la función de 2 Ejes.

### c. Cuchillas

Tabla 6.23: Ponderación del desgaste para cuchillas

Menor Desgaste	Desfasadas de Disco con porta cuchillas	Desfasadas de Disco industrial de corte directo	Distribuidas de Disco con porta cuchillas	Distribuidas de Disco industrial de corte directo	Planas	$\Sigma+1$	Ponderación
Desfasadas de Disco con porta cuchillas		0	0,5	0	1	2,5	0,167
Desfasadas de Disco industrial de corte directo	1		1	0,5	1	4,5	0,300
Distribuidas de Disco con porta cuchillas	0,5	0		0	1	2,5	0,167
Distribuidas de Disco industrial de corte directo	1	0,5	1		1	4,5	0,300
Planas	0	0	0	0		1	0,067
					SUMA	15	1

Fuente: El autor

Tabla 6.24 Ponderación del corte efectivo para cuchillas

<b>Corte efectivo</b>	Desfasadas de Disco con porta cuchillas	Desfasadas de Disco industrial de corte directo	Distribuidas de Disco con porta cuchillas	Distribuidas de Disco industrial de corte directo	Planas	$\Sigma+1$	Ponderación	
Desfasadas de Disco con porta cuchillas		0	0,5	0	1	2,5	0,167	
Desfasadas de Disco industrial de corte directo	1		1	0,5	1	4,5	0,300	
Distribuidas de Disco con porta cuchillas	0,5	0		0	1	2,5	0,167	
Distribuidas de Disco industrial de corte directo	1	0,5	1		1	4,5	0,300	
Planas	0	0	0	0		1	0,067	
						SUMA	15	1

Fuente: El autor

Tabla 6.25: Ponderación del costo de implementación para cuchillas

<b>Menor costo de implementación</b>	Desfasadas de Disco con porta cuchillas	Desfasadas de Disco industrial de corte directo	Distribuidas de Disco con porta cuchillas	Distribuidas de Disco industrial de corte directo	Planas	$\Sigma+1$	Ponderación
Desfasadas de Disco con porta cuchillas		0	0,5	0	0	1,5	0,100
Desfasadas de Disco industrial de corte directo	1		1	0,5	0,5	4	0,267
Distribuidas de Disco con porta cuchillas	0,5	0		0	0	1,5	0,100
Distribuidas de Disco industrial de corte directo	1	0,5	1		0,5	4	0,267
Planas	1	0,5	1	0,5		4	0,267
					<b>SUMA</b>	15	1

Fuente: El autor

Tabla 6.26: Ponderación de la facilidad de mantenimiento para cuchillas

<b>Facilidad de Mantenimiento</b>	Desfasadas de Disco con porta cuchillas	Desfasadas de Disco industrial de corte directo	Distribuidas de Disco con porta cuchillas	Distribuidas de Disco industrial de corte directo	Planas	$\Sigma+1$	Ponderación
Desfasadas de Disco con porta cuchillas		1	0,5	1	1	4,5	0,300
Desfasadas de Disco industrial de corte directo	0		0	0,5	1	2,5	0,167
Distribuidas de Disco con porta cuchillas	0,5	1		1	1	4,5	0,300
Distribuidas de Disco industrial de corte directo	0	0,5	0		1	2,5	0,167
Planas	0	0	0	0		1	0,067
					SUMA	15	1

Fuente: El autor

Tabla 6.27: Ponderación del ruido que realizan las cuchillas

<b>Menor Ruido</b>	Desfasadas de Disco con porta cuchillas	Desfasadas de Disco industrial de corte directo	Distribuidas de Disco con porta cuchillas	Distribuidas de Disco industrial de corte directo	Planas	$\Sigma+1$	Ponderación
Desfasadas de Disco con porta cuchillas		0	0,5	0	0,5	2	0,133
Desfasadas de Disco industrial de corte directo	1		1	0	1	4	0,267
Distribuidas de Disco con porta cuchillas	0,5	0		0	0,5	2	0,133
Distribuidas de Disco industrial de corte directo	1	1	1		1	5	0,333
Planas	0,5	0	0,5	0		2	0,133
					SUMA	15	1

Fuente: El autor

Tabla 6.28: Ponderación de la granulometría que permiten las cuchillas

<b>Mejor granulometría de trituración</b>	Desfasadas de Disco con porta cuchillas	Desfasadas de Disco industrial de corte directo	Distribuidas de Disco con porta cuchillas	Distribuidas de Disco industrial de corte directo	Planas	$\Sigma+1$	Ponderación
Desfasadas de Disco con porta cuchillas		0	0,5	0	0,5	2	0,133
Desfasadas de Disco industrial de corte directo	1		1	0,5	1	4,5	0,300
Distribuidas de Disco con porta cuchillas	0,5	0		0	0,5	2	0,133
Distribuidas de Disco industrial de corte directo	1	0,5	1		1	4,5	0,300
Planas	0,5	0	0,5	0		2	0,133
					SUMA	15	1

Fuente: El autor

NOTA: Al analizar las características más importantes e influyentes para el elemento que permite la trituración, se logró determinar que las cuchillas más adecuadas son las “Distribuidas de Disco industrial de corte directo”

#### 6.6.2.4 Clasificación del material

Tabla 6.29: Ponderación de la funcionalidad en la clasificación del material

Funcionalidad	Criba plana	Criba de media luna	Criba de doble media luna	$\Sigma+1$	Ponderación
Criba plana		0	0	1	0,167
Criba de media luna	1		1	3	0,5
Criba de doble media luna	1	0		2	0,333
<b>SUMA</b>				6	

Fuente: El autor

Tabla 6.30: Ponderación de la facilidad de ensamblaje en la clasificación del material

Facilidad de ensamblaje	Criba plana	Criba de media luna	Criba de doble media luna	$\Sigma+1$	Ponderación
Criba plana		0,5	1	2,5	0,416
Criba de media luna	0,5		1	2,5	0,416
Criba de doble media luna	0	0		1	0,167
<b>SUMA</b>				6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.31: Ponderación de la facilidad de construcción para clasificación del material

Facilidad de Construcción	Criba plana	Criba de media luna	Criba de doble media luna	$\Sigma+1$	Ponderación
Criba plana		0,5	1	2,5	0,416
Criba de media luna	0,5		1	2,5	0,416
Criba de doble media luna	0	0		1	0,167
<b>SUMA</b>				6	1

Fuente: El autor

Tabla 6.32: Ponderación de la recirculación para clasificación del material

Recirculación de material	Criba plana	Criba de media luna	Criba de doble media luna	$\Sigma+1$	Ponderación
Criba plana		0	0	1	0,167
Criba de media luna	1		1	3	0,5
Criba de doble media luna	1	0		2	0,333
<b>SUMA</b>				6	1

Fuente: El autor

*NOTA: Luego de analizar las ponderaciones efectuadas, se logra determinar que la característica adecuada para la Clasificación de Material es la “Criba de Media Luna”*

### 6.6.3 Cálculo de elementos para reciclaje mecánico

Una vez evaluadas y ponderadas las características primordiales de los elementos principales que llegarán a constituir el modelo a desarrollar, se muestra a continuación la selección de elementos en la cual nos basaremos para proceder a diseñarlos uno a uno, más sus respectivas sub-partes que conformarán el conjunto final, siendo:

Tabla 6.33: Elementos seleccionados para cada proceso

<b>Proceso</b>		<b>Elemento constitutivo</b>
<b>Ingreso de material</b>		Ingreso libre
<b>Tolva de trituración</b>		Mixta (doble entrada) con cierta angulación
<b>Trituración</b>	<i>1) etapas</i>	Doble (aplastamiento, caída y trituración)
	<i>2) eje</i>	2 ejes
	<i>3) cuchillas</i>	Distribuidas de disco industrial de corte directo
<b>Clasificación del material</b>		Criba de media luna

Fuente: El autor

#### 6.6.3.1 CAPACIDAD DE TRITURACIÓN

Para poder entender la constitución de la máquina a diseñar, primordialmente debemos conocer cuál es capacidad de botellas a ser trituradas, ya que en base a este dato se irán diseñando y conformando cada una de las partes y sub-partes del modelo.

Requerimientos:

Capacidad necesitada en el botadero: 350 kg/h (2,8 Toneladas diarias)

Botella mínima: 500 cm<sup>3</sup>; 25 gr

Botella máxima: 2000 cm<sup>3</sup>; 75 gr

Densidad del PET: 1,34 gr/cm<sup>3</sup>

Para alcanzar la capacidad solicitada o una mayor haremos un cálculo del número mínimo de botellas a triturar usando un promedio de datos de las botellas máximas y mínimas, los cuales son obtenidos de los catálogos de empresas fabricantes más comunes que se hallan en el mercado, entonces relacionamos los valores:

$$\text{Volumen Botella Promedio} = \frac{2000+500}{2} = 1250 \text{ cm}^3 = 1250 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

$$\text{Masa de Botella Promedio} = \frac{75+25}{2} \text{ gr} = 50 \text{ gr} = 0,05 \text{ Kg} \quad (2)$$

Mediante la capacidad necesitada en el botadero, tenemos que en 1 hora trituraremos 350 Kg, por lo tanto:

Número de botellas trituradas en una hora:

$$350 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ botella}}{0,05 \text{ Kg}} = 7000 \text{ botellas/hora} \quad (3)$$

Entonces para 8 horas de trabajo diario, lo haríamos con 56000 botellas/día

### 6.6.3.2 POTENCIA APROXIMADA DE ACCIONAMIENTO

Para poder obtener la potencia aproximada es necesario conocer el valor promedio de resistencia al impacto Izod del PET, el cual es de (13-35) kJ.m<sup>-2</sup> (Anexo 2), dándonos:

$$24 \text{ kJ.m}^{-2}$$

Que es aplicado en pruebas a elementos pet estándar de inyección de espesor de 1.5 a 3 mm (Ensayo Izod, 2015). Entonces calculamos la fuerza necesaria de corte:

$$F_{\text{corte}} = \text{Izod} \times ec \quad (4)$$

Donde:

F<sub>corte</sub> = Fuerza máxima de corte del PET (N)

Izod = Valor resistencia al impacto (kJ.m<sup>-2</sup>)

ec = Espesor máximo a cortar (m)

$$F_{corte} = 24000 \frac{N \cdot m}{m^2} \times 0,003 m = 72 N$$

Obtenida la fuerza, usaremos la velocidad angular y torque requeridos para determinar la potencia aproximada de accionamiento.

### **Velocidad angular:**

Según la magnitud de la capacidad, varios constructores usan 700 rpm; la cual tomaremos como referencia (Pozo & Pilatasig, 2014).

Entonces:

$$W = \frac{2\pi N}{60} \quad (5)$$

Donde:

W = velocidad angular (rad/s)

N = número de revoluciones (Rpm)

Tenemos: 
$$W = \frac{2\pi \times 700 \text{ Rpm}}{60} = 73,3 \text{ rad/s}$$

### **Torque:**

Diámetros de cuchillas

*Tabla 6.34: Diámetros comerciales de cuchillas*

<b>D1</b>	0,25 m
<b>D2</b>	0,3 m
<b>D3</b>	0,35 m
<b>D4</b>	0,4 m

*Fuente: (Mendez & Solano, 2010)*

Para determinar el torque usaremos:

$$T = F * r \quad (6)$$

Donde:

T = Torque (N.m)

F = Fcorte = 72 N

r = radio de las cuchillas (m)

Tabla 6.35: Torques según radios de cuchillas

<b>T1</b>	9 N.m
<b>T2</b>	10,8 N.m
<b>T3</b>	12,6 N.m
<b>T4</b>	14,4 N.m

*Fuente: El autor*

### Potencia de accionamiento:

Ésta potencia será únicamente para el accionamiento de una sola cuchilla. Una vez obtenidos todos los datos usamos:

$$P = T * W \quad (7)$$

Donde:

P = Potencia de accionamiento (Watts, kWatts, Hp)

T = Torque (N.m)

W = Velocidad angular (rad/s)

Tabla 6.36: Potencia según radios de cuchillas

<b>P1</b>	659,7 Watts	0,659 kW	0,884 Hp
<b>P2</b>	791,64 Watts	0,792 kW	1,062 Hp
<b>P3</b>	923,58 Watts	0,924 kW	1,24 Hp
<b>P4</b>	1055,52 Watts	1,055 kW	1,414 Hp

*Fuente: El autor*

Por costo y facilidad de adquisición seleccionamos cuchillas de diámetro = 0,25 m para trabajar con una potencia de accionamiento de 0,88 Hp; por la capacidad de

trituration usualmente se trabaja con un rango de 22 cuchillas distribuidas en sus 2 ejes (Mendez & Solano, 2010).

La potencia de accionamiento total será:

$$P. act = P1 * \text{Número total cuchillas} \quad (8)$$

$$P. act = 0,884 \text{ HP} * 22 = 19,45 \approx 20 \text{ HP}$$

### 6.6.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE PIÑONES DE MOVIMIENTO

Primeramente calcularemos la geometría del piñón, que será la misma del piñón 2 ya que su relación es de 1 a 1, luego mediante el método de LEWIS, calcularemos los esfuerzos que se generan en el piñón para determinar el material adecuado.

#### Geometría

##### Consideraciones:

Distancia entre centros  $C = 175 \text{ mm} = 6,8 \text{ in}$

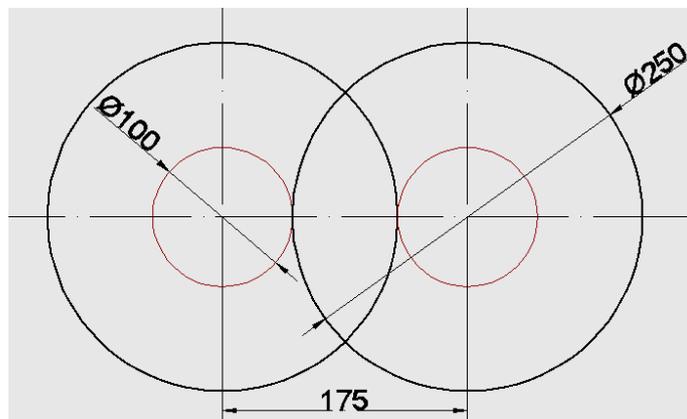


Figura 6-1: Distancia entre centros de ejes.

Fuente: Autor

Diametral pitch para transmisión de movimiento = 5 dientes/in (Anexo 23)

Entonces:

$$C = \frac{N_G + N_P}{2P} \quad (9)$$

Donde:

$N_G$  = Número de dientes de rueda

$N_P$  = Número de dientes piñón

Si  $N_G = N_P$

$$C = \frac{2N_G}{2P}$$

$$N_G = C * P$$

$$N_G = 6.8 \text{ in} * 5 \frac{\text{dientes}}{\text{in}}$$

$$N_G = 34 \text{ dientes.}$$

$$D_o = \frac{N+2}{P} \quad (10)$$

Donde:

$D_o$  = Diámetro exterior (in)

$N$  = Número de dientes (in)

$P$  = Paso diametral (5 dientes/in)

$$D_o = \frac{34 + 2}{5}$$

$$D_o = 7,2 \text{ in.}$$

$$D = \frac{N}{P} \quad (11)$$

Donde:

$D$  = Diámetro primitivo (in)

$$D = 6.8 \text{ in.}$$

Por medio del paso diametral = 5 y mediante (Anexo 24) se obtiene (Plano N° 12):

Addendum:  $a = 0,2 \text{ in}$

Deddendum:  $b = 0,25 \text{ in}$

Espacio libre de fondo:  $c = 0,05 \text{ in}$

Paso Circular:  $\rho = 0,6283 \text{ in}$

Altura total del diente:  $ht = 0,45 \text{ in}$

Espesor circular:  $t = 0,3141 \text{ in}$   
 Diámetro de fondo:  $D_R = D - 2 * b$   
 $= 7,2 - 2(0,25)$   
 $= 6,7 \text{ in}$

### Selección del material

“Lewis reconoció que un diente es una viga en voladizo con sección crítica en la raíz. Iniciando con la  $E_c$  del esfuerzo de flexión en una viga en voladizo. Los principios de la  $E_c$  de Lewis aún son válidos, pero se ha enriquecido con factores adicionales para considerar los mecanismos de falla que se comprendieron posteriormente” (Norton, 2011); pág. 571).

Conociendo que:

$H = 20 \text{ Hp}$   
 $P = 5 \text{ dientes/in}$   
 $n = 700 \text{ Rpm}$   
 $N = 34 \text{ dientes}$   
 $D = 6.8 \text{ in}$

Asumiendo:

AISI 1010 CD (Anexo 4)

$S_y = 44 \text{ Kpsi}$

$S_{ut} = 53 \text{ Kpsi}$

Factor de seguridad ( $n$ ) = 8

$$\begin{aligned}
 \text{Velocidad} &= \frac{\pi * D * n}{12} & (12) \\
 &= \frac{\pi * 6.8 * 700}{12} = 1282,817 \frac{\text{pies}}{\text{min}}
 \end{aligned}$$

Factor dinámico  $K_v$

$$K_v = \frac{1200 + V}{1200} = 2,069 \quad (13)$$

$$Wt = \frac{33000 * H}{V} \quad (14)$$

Donde:

Wt = Carga Transmitida (Lbf)

H = Potencia (Hp)

V = Velocidad (Pies/min)

$$= \frac{33000 * 20}{1282,817} = 514,49 \text{ Lbf}$$

Esfuerzo de flexión permisible

$$\sigma_p = \frac{S_y}{n} = \frac{44}{8} = 5,5 \text{ Kpsi} \quad (15)$$

$$F = \frac{W_t * P * K_v}{Y * \sigma_p} \quad (16)$$

Donde:

F = Ancho neto de la cara (in)

Wt = Carga transmitida (Lbf)

P = Paso diametral (dientes/in)

Kv = Factor dinámico

Y = Factor de forma. (Norton, 2011)

$\sigma_p$  = Esfuerzo de flexión permisible (psi)

Si el factor de forma para 35 dientes Y= 0,371. (Norton, 2011)

$$F = \frac{514,49 * 5 * 2,069}{0,371 * 5500 \text{ psi}}$$

$$F = 2,6 \text{ in}$$

Se considera que **F** es aceptable si:

$$3p = \frac{3\pi}{5} = 1,88$$

$$5p = \frac{5\pi}{5} = 3,142$$

$$3p \leq F \leq 5p$$

$$1,88 \leq 2,6 \leq 3,142 \dots \text{OK}$$

Esfuerzo de Flexión  $\sigma$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{W_t * P * K_v}{F * Y} & (17) \\ &= \frac{514,49 * 5 * 2,069}{2,6 * 0,371} \\ &= 5517,73 \text{ psi.}\end{aligned}$$

Para comprobar la iteración a través del factor de seguridad, éste debe tener un rango similar o igual al factor de seguridad asumido, para lo cual:

$$n = \frac{Se}{\sigma} \quad (18)$$

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se \quad (19) \text{ (Shigley, 2008)}$$

Se = Resistencia a la fatiga.

$k_a$  = Factor para laminado en frío (**Anexo 9**)

$k_b$  = Factor de modificación del tamaño.

$k_c$  = Factor de modificación de la carga.

$k_d$  = Factor de modificación de la temperatura.

$k_e$  = Factor de confiabilidad.

$k_f$  = Factor de modificación de efectos varios.

$Se'$  = Límite de resistencia a la fatiga.

$$Se' = 0,5 * Sut = 0,5(53) = 26,5 \text{ Kpsi}$$

$$k_a = 2,7(53)^{-0,265} = 0,943 \quad (20)$$

$$k_b = 0,91 * de^{-0,157} \quad (21)$$

$$de = 0,808(F * t)^{\frac{1}{2}}$$

$$t = \sqrt[2]{4 * L * x}$$

$$x = \frac{3Y}{2P} = \frac{3(0,371)}{2 * 5} = 0,111$$

$$L = \frac{1}{P} + \frac{1,25}{P} = 0,45$$

$$t = 0,447 \text{ in}$$

$$de = 0,808(2,6 * 0,447)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0,871in$$

$$kb = 0,91 * de^{-0,157} = 0,93$$

$$kc = 1$$

$$kd = 1$$

$$ke = 1 \text{ confiabilidad del 50\% (Shigley, 2008)}$$

Factor kf

$$kf = kf1 + kf2 \quad (22)$$

Concentración de esfuerzos kf1

$$kf1 = 1 + q(kt - 1)$$

$$\text{Radio de entalle } rf = \frac{0,3}{P} = 0,06$$

$$\frac{r}{d} = \frac{rf}{t} = \frac{0,06}{0,447} = 0,134$$

$$\text{Si } \frac{D}{d} \rightarrow \infty; \frac{D}{d} = 3$$

Del (**Anexo 26**):

$$kt = 1,7$$

Del (**Anexo 27**):

$$q = 0,7$$

$$kf1 = 1 + 0,7(1,7 - 1)$$

$$kf1 = 1,49$$

Esfuerzos fluctuantes kf2

$$kf2 = \frac{1}{kf1} = 0,67$$

Entonces:

$$kf = 1,49 + 0,67$$

$$kf = 2,16$$

Insertando los valores en la ecuación (19) tenemos:

$$Se = 0,943 * 0,93 * 1 * 1 * 1 * 2,16 * 26,5 \text{ Kpsi}$$

$$Se = 50,199 \text{ Kpsi}$$

Al resolver la ecuación (18):

$$n = \frac{50,199 \text{ Kpsi}}{5,5177 \text{ Kpsi}} = 9$$

Da un factor de seguridad similar al asumido, por lo cual termina la iteración y aceptamos el acero AISI 1010 CD.

### **Masa del piñón**

Para el cálculo tenemos los siguientes datos:

$$De = 7,2 \text{ in} = 0,182 \text{ m}$$

$$\text{Espesor (h)} = 2,6 \text{ in} = 0,066 \text{ m}$$

$$\text{Densidad acero AISI 1010 } (\rho) = 7870 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{\text{piñón}} = \rho * V \tag{23}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad

V = Volumen teórico de un cilindro

$$\text{Si } V = \pi * r^2 * h \tag{24}$$

$$M_{\text{piñón}} = \rho * \pi * r^2 * h$$

$$M_{\text{piñón}} = (7870 \text{ Kg/m}^3) * \pi * (0,182/2 \text{ m})^2 * 0,066 \text{ m}$$

$$M_{\text{piñón}} = 13,63 \text{ Kg.}$$

#### 6.6.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE EJE

Para poder dimensionar el eje es necesario hacer ciertas consideraciones como:

1. Es un eje macizo  
2 apoyos en los extremos (chumaceras o rodamientos) y uno a una distancia de 3 in.  
La menor longitud posible para reducir la flexión  
Fuerza máxima de corte del PET que resiste el eje de 72 N por cuchilla.  
El cálculo servirá para el segundo eje.
2. Cantidad de cuchillas y separadores a soportar por eje, siendo:  
Cuchillas: 11 (Mendez & Solano, 2010)  
Separadores:11 (Mendez & Solano, 2010)



Figura 6-2: Disposición de cuchillas y separadores  
*Fuente: Autor*

3. Las cuchillas triturarán el material al mismo tiempo, por tal motivo existirán esfuerzos de cargas repetidas.

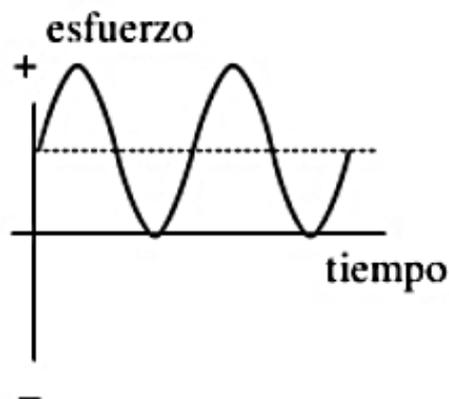


Figura 6-3: Ciclo de carga repetida  
( (Shigley, 2008), pag 234)

Por lo que se asume que:

$$\sigma_{\min} = 0$$

Componente Alternante

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{\sigma_{\max}}{2}$$

Componente Medio

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{\sigma_{\max}}{2}$$

Por lo tanto  $\sigma_a = \sigma_m$

De igual manera ocurriría con el torque medio ( $T_m$ ) y el torque alternante ( $T_a$ ) por no existir fluctuación, siendo  $T_m = T_a$ , por lo cual se usará el torque calculado de 9 N.m más el torque del motor de 100 N.m que nos da 109 N.m de torque final.

Se debe considerar que la carga del peso de cuchillas y de separadores, peso del piñón de movimiento y la fuerza resultante en Y por acción del torque sobre el piñón ( $FR_y$ ) están en el plano XY del eje, y la carga de la fuerza de corte máxima del PET junto a la fuerza resultante en Z por acción del torque sobre el piñón ( $FR_z$ ) se hallan en el plano XZ, por lo tanto se debe realizar los cálculos para hallar el momento flector máximo en base a los dos planos.

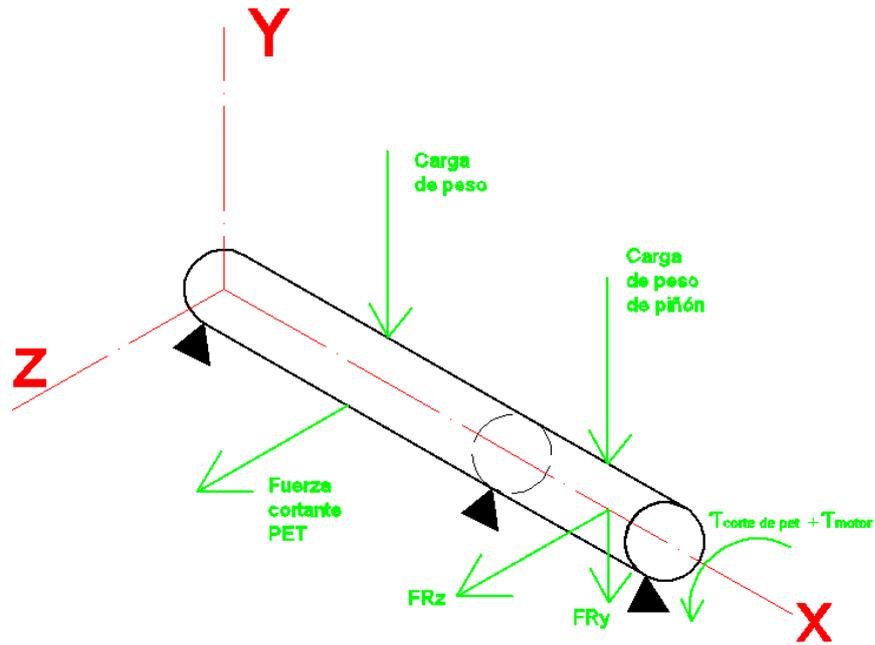


Figura 6-4: Distribución de cargas  
Fuente: Autor

- Por lo general el espesor de cuchillas para este tipo de maquinaria es de 25 mm y asumimos un diámetro de agujero de 50mm, el diámetro exterior sabemos que es de 250 mm, por lo que para cálculo interpretamos un disco macizo fabricado de Acero Bohler K-100 (AISI D3) de:  $\rho = 7700 \text{ kg/m}^3$  (Anexo 3)

### Cálculo de peso de cuchillas y separadores

Separadores

Dext = 100mm

Dint = 50mm

Nº espaciadores = 11

e = 25mm

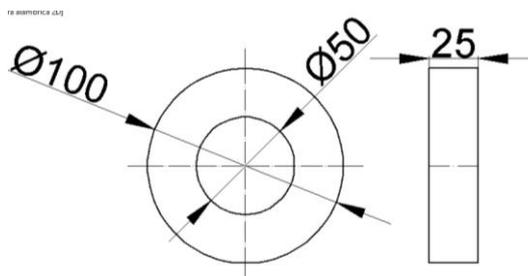


Figura 6-5: Separadores  
Fuente: Autor

$$Volumen\ espaciador = A_t * e \quad (25)$$

Donde:

$A_t$  = Área de un cilindro hueco ( $m^2$ )

$e$  = Espesor cuchilla (m)

$$= \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} * e$$

$$= 0,00014726\ m^3$$

$$Masa\ de\ espaciadores = \rho * V_{espaciador} \quad (26)$$

$$= 7700\ \frac{Kg}{m^3} * 0,00014726\ m^3$$

$$= 1,134\ Kg$$

$$Masa\ total\ de\ espaciadores = M.\ espaciadores * N^\circ \quad (27)$$

$$= 1,134\ Kg * 11$$

$$= 12,474\ Kg$$

Cuchillas:

Dext = 250mm

Dint = 50mm

$N^\circ$  espaciadores = 11

$e$  = 25mm

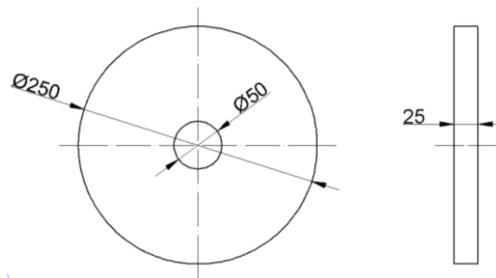


Figura 6-6: Geometría simple de cuchillas

Fuente: Autor

$$Volumen\ cuchillas = A_t * e \quad (28)$$

$$= \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} * e = 0,0011781\ m^3$$

$$\text{Masa de cuchillas} = \rho * V_{cuch} \quad (29)$$

$$= 7700 \frac{Kg}{m^3} * 0,0011781 m^3$$

$$= 9,0706 Kg$$

$$\text{Masa total de cuchillas} = M. \text{cuchillas} * N^\circ \quad (30)$$

$$= 9,0706 Kg * 11$$

$$= 99,7766 Kg$$

Peso Total Sobre el eje:

$$\text{Peso. } t = [(M_{cuch} + M_{esp}) * g] \quad (31)$$

$$= (99,7766Kg + 12,474Kg) * 9,81 m/s^2$$

$$= 1101,1784 N$$

### **Longitud del eje**

Ésta medida es la longitud efectiva donde se realiza todo el trabajo, es decir es la medida que contiene a cuchillas y espaciadores, por lo cual debe ser la menor posible para evitar grandes esfuerzos y deformaciones; entonces:

Cuchillas:  $11 * 0,025m = 0,275m$

Espaciadores:  $11 * 0,025m = 0,275m$

Dándonos una longitud efectiva de 0,55m.

Longitud de agarre al piñón = 3 in = 0,0762 m

*Nota: La medida para el agarre de chumaceras o rodamientos no será contemplada, debido a que se la tomará como apoyo.*

### Cálculo de fuerzas resultantes sobre el piñón por acción del torque total

Torque de arranque del motor = 100 N.m

Torque de corte para PET = 9 N.m

Torque Total = 109 N.m

Ángulo del paso diametral = 20°.

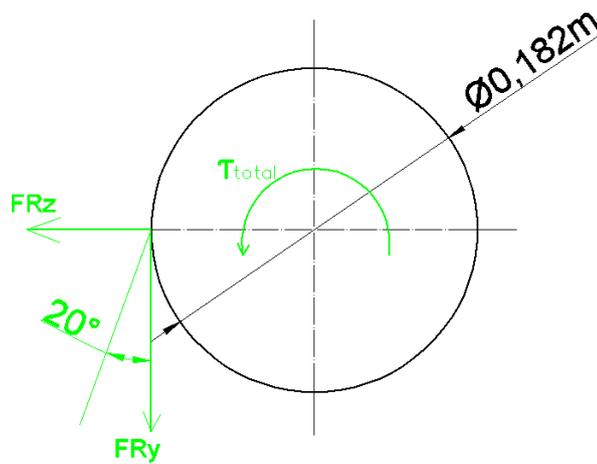


Figura 6-7: Fuerzas resultantes en piñón por acción del torque  
Fuente: Autor

$$T_{total} = FRy (0,182/2) \text{ m.} \quad (32)$$

$$FRy = \frac{109 \text{ N.m}}{0,091 \text{ m}} = 1197,8 \text{ N.}$$

$$\text{tg } 20^\circ = \frac{FRz}{FRy} \quad (33)$$

$$FRz = FRy * \text{tg } 20^\circ = 435,96 \text{ N.}$$

### Cálculo de Fuerzas Cortantes y Momento Flector Máximo sobre el eje

Determinación de los diagramas de fuerza cortante y momento flector, para las cargas indicadas al plano XY; se considerará el peso de cuchillas como carga puntual para analizar los esfuerzos en las peores condiciones.

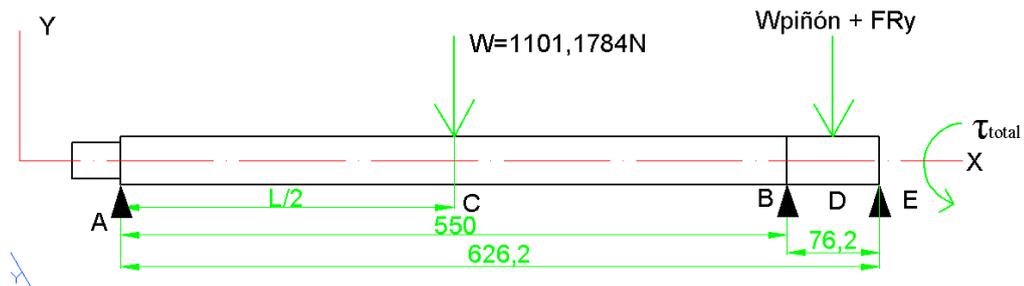


Figura 6-8: Ubicación de cargas para plano XY  
Fuente: Autor

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} + R_{Ey} - 1101,1784 \text{ N} - W_{\text{piñón}} - F_{Ry} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} + R_{Ey} = 1101,1784 \text{ N} + 133,71 \text{ N} + 1197,8 \text{ N}$$

$$R_{Ay} + R_{By} + R_{Ey} = 2432,69 \text{ N} \quad (1)$$

$$+ \curvearrowleft \Sigma M_A = 0$$

$$R_{By} (0,55) + R_{Ey} (0,6262) - 1101,1784 (0,55/2) - (133,71 + 1197,8)(0,5881) = 0$$

$$R_{By} (0,55) + R_{Ey} (0,6262) = 1085,89 \text{ N.m}$$

$$R_{By} = \frac{1085,89 \text{ N.m} - R_{Ey} (0,6262)}{0,55} \quad (2)$$

$$+ \curvearrowleft \Sigma M_B = 0$$

$$R_{Ey} (0,0762) + 1101,1784 (0,55/2) - R_{Ay} (0,55) - (133,71 + 1197,8)(0,0762/2) = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{252,1 + R_{Ey} (0,0762)}{0,55} \quad (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1), tenemos:

$$R_{Ey} = 0$$

$$R_{Ay} = 458,364 \text{ N.}$$

$$R_{By} = 1974,35 \text{ N.}$$

### Diagrama de fuerzas cortantes

$$V_A = 458,364$$

$$V_C = 458,364 - 1101,1784 = -642,8144$$

$$V_B = -642,8144 + 1974,35 = 1331,5356$$

$$V_D = 1331,5356 - 1331,5356 = 0$$

$$V_E = 0$$

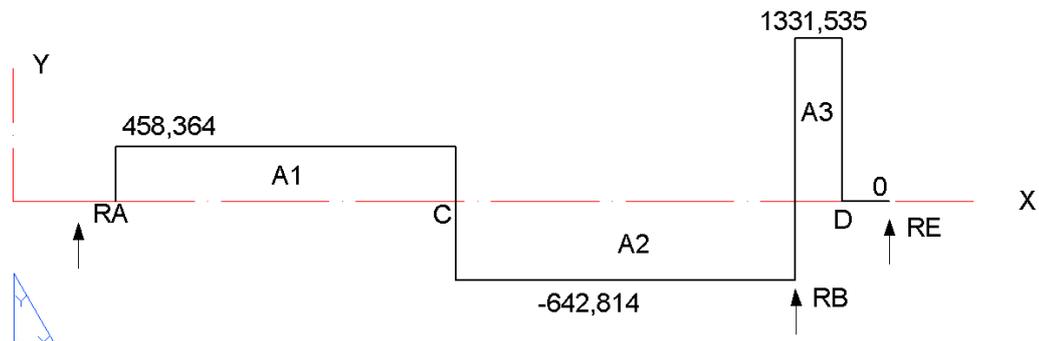


Figura 6-9: Diagrama de Fuerzas cortantes para plano XY  
Fuente: Autor

### Diagrama de momentos flectores

Por el método de áreas se tiene que:

$$A_1 = 126,05 \text{ N.m}$$

$$A_2 = 176,77 \text{ N.m}$$

$$A_3 = 50,732 \text{ N.m}$$

$$A_4 = 0$$

$$M_A = 0$$

$$M_C = 0 + 126,05 = 126,05$$

$$M_B = 126,05 - 176,77 = -50,732$$

$$M_D = -50,732 + 50,732 = 0$$

$$M_E = 0$$

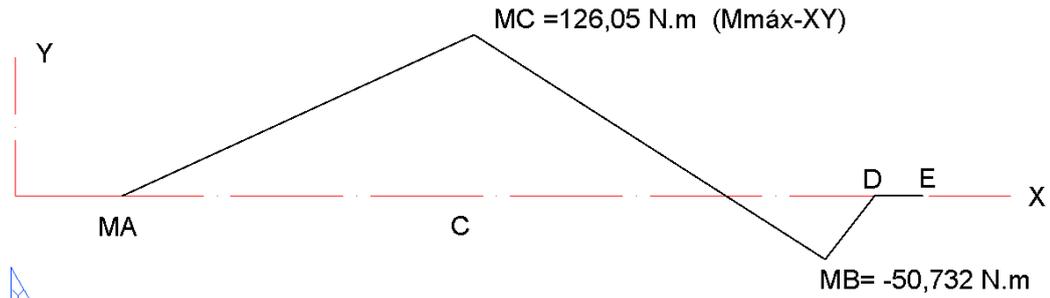


Figura 6-10: Diagrama de Momento flector para plano XY.  
Fuente: Autor

Dándonos como momento flector máximo en el plano XY un valor de 126,05 N.m en el punto C.

Determinación de los diagramas de fuerza cortante y momento flector, para las cargas indicadas para el plano XZ.

$$F_{\text{corte.total}} = F_{\text{corte}} \cdot N^{\circ} \text{ cuchillas} = 72\text{N} \cdot 11 = 792\text{N}$$

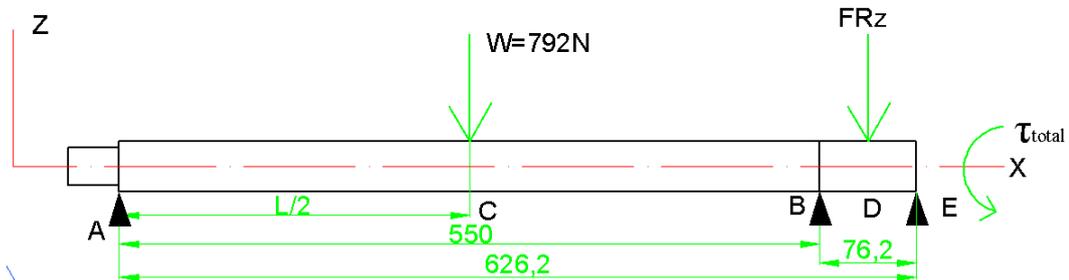


Figura 6-11: Ubicación de cargas para el plano XZ  
Fuente: Autor

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Az} + R_{Bz} + R_{Ez} - W_{\text{corte}} - FR_z = 0$$

$$R_{Az} + R_{Bz} + R_{Ez} = 792 \text{ N} + 435,96 \text{ N}$$

$$R_{Az} + R_{Bz} + R_{Ez} = 1227,96 \text{ N} \quad (1)$$

$$+ \curvearrowleft \sum M_A = 0$$

$$R_{Bz} (0,55) + R_{Ez} (0,6262) - 792 (0,55/2) - 435,96(0,5881) = 0$$

$$R_{Bz} (0,55) + R_{Ez} (0,6262) = 474,188 \text{ N.m}$$

$$R_{Bz} = \frac{474,188 \text{ N.m} - R_{Ez} (0,6262)}{0,55} \quad (2)$$

$$+ \curvearrowleft \Sigma M_B = 0$$

$$REz (0,0762) + 792 (0,55/2) - RAz(0,55) - 435,96(0,0762/2) = 0$$

$$RAz = \frac{201,227 + REz (0,0762)}{0,55} \quad (3)$$

Reemplazando (2) y (3) en (1), tenemos:

$$REz = 0$$

$$RAz = 365,867 \text{ N.}$$

$$RBz = 862,16 \text{ N.}$$

Diagrama de fuerzas cortantes

$$VA = 365,867$$

$$VC = 365,867 - 792 = -426,133$$

$$VB = -426,133 + 862,16 = 435,96$$

$$VD = 435,96 - 435,96 = 0$$

$$VE = 0$$

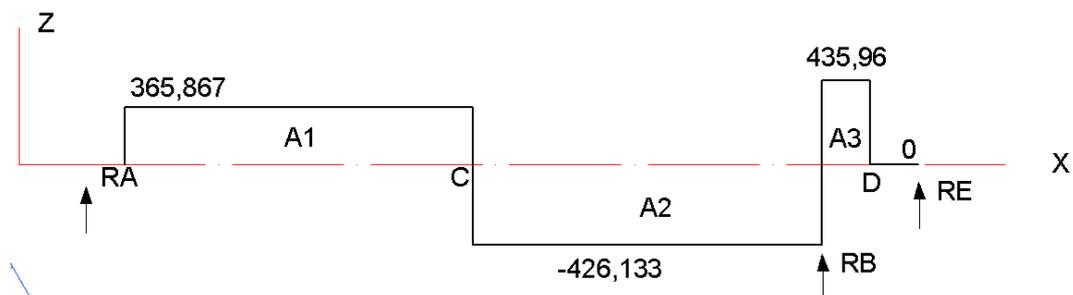


Figura 6-12: Diagrama de Fuerzas cortantes para plano XZ.

Fuente: Autor

Diagrama de momentos flectores

Por el método de áreas se tiene que:

$$A1 = 100,613 \text{ N.m}$$

$$A2 = 117,1866 \text{ N.m}$$

$$A_3 = 16,61 \text{ N.m}$$

$$A_4 = 0$$

$$M_A = 0$$

$$M_C = 0 + 100,613 = 100,613$$

$$M_B = 100,613 - 117,1866 = -16,61$$

$$M_D = -16,61 + 16,61 = 0$$

$$M_E = 0$$

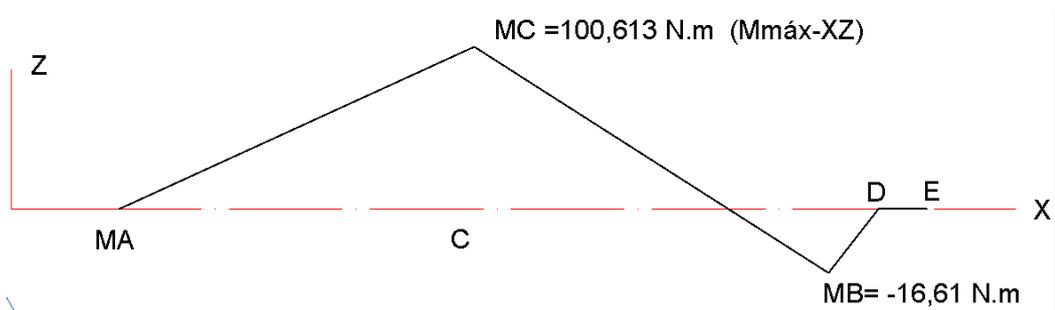


Figura 6-13: Diagrama de Momento flector para plano XZ.

Fuente: Autor

Dándonos como momento flector máximo en el plano XZ un valor de 100,613 N.m en el punto C.

Con la ayuda del teorema de Pitágoras hallamos el momento flector máximo total ejercido sobre el eje:

$$\vec{M}_c = (126,05 \vec{j} + 100,613 \vec{k}) \text{ N.m}$$

$$|M_c| = \sqrt{(126,05)^2 + (100,613)^2} = 161,281 \text{ N.m} \quad (34)$$

### Cálculo del Diámetro del eje

“Cuando la carga axial sobre el eje es cero, y se sustituyen ciertas ecuaciones, se obtiene la Ec de Goodman modificada” (Norton, 2011):

(35)

$$D = \sqrt[3]{\frac{32Nf}{\pi} * \left\{ \left[ \frac{\sqrt{(kf*Ma)^2 + \frac{3}{4}(kfs*Ta)^2}}{Sf} \right] + \left[ \frac{\sqrt{(kfm*Mm)^2 + \frac{3}{4}(kfsm*Tm)^2}}{Sut} \right] \right\}}$$

“Que se puede utilizar como una Ec de diseño para obtener el diámetro del eje para cualquier combinación de carga de flexión y de torsión con los supuestos adecuados, como la razón constante entre los valores alternante y medio de carga en el tiempo” ( Norton, 2011) pág. 422).

Donde:

Nf = Factor de seguridad.

kf = Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por flexión en componente alternante.

Ma = Momento alternante.

Mm = Momento medio.

kfsm = Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por torsión en componente medio.

kfm = Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por flexión en componente medio.

kfs = Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por torsión en componente alternante.

Ta = Torque alternante.

Tm = Torque medio.

Sf = Se = Resistencia a la fatiga.

Sut = Resistencia última a la tensión.

### Consideraciones:

Para poder hallar el diámetro adecuado, iniciaremos asumiendo ciertos datos para iterarlos, los cuales son:

Diámetro tentativo= 2in

Material: AISI 1018 HR con  $S_y = 32$  Kpsi

**(Anexo 4)**

$S_{ut} = 58$  Kpsi

Además por ser un ciclo de carga repetida usaremos:

$M_{c.máximo} = M_m = M_a = 161,281$  N.m = 1427,4 Lbf.in

$T = T_m = T_a = 9$  N.m + 100 N.m = 109 N.m = 964,73 Lbf.in

Factor  $k_f$

$$k_f = 1 + q(kt - 1) \quad (36)$$

Donde:

$q$  = Sensibilidad a la muesca por flexión.

$kt$  = Concentración de esfuerzos teórica normal

Para  $kt$

Si  $D = 2$ in y  $d_{min} = 1,9$ in; radio de la muesca ( $r$ ) = 0,05 in

$$\frac{D}{d} = 1,05 \quad \frac{r}{d} = 0,03 \quad (Anexo 5)$$

Tenemos que  $kt = 1,9$

Para  $q$

(37)

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

$\sqrt{a}$  = Constante de Neuber

**(Anexo 6)**

Si  $S_{ut} = 58 \text{ Kpsi}$   $\sqrt{a} = 0,108$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,108}{\sqrt{0,05}}} = 0,674$$

Con los datos hallados tenemos:

$$k_f = 1 + 0,108(1,8 - 1) = 1,6066$$

Factor  $k_{fs}$

$$k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1) \quad (38)$$

Donde:

$q$  = Sensibilidad a la muesca por torsión.

$k_{ts}$  = Concentración de esfuerzos teórica cortante

Para  $q$

Radio de la muesca ( $r$ ) = 0,05 in (Anexo 7)

Tenemos que  $q = 0,71$

Para  $k_{ts}$

Si  $D = 2 \text{ in}$  y  $d_{min} = 1,9 \text{ in}$ ; radio de la muesca ( $r$ ) = 0,05 in (Anexo 8)

$$\frac{D}{d} = 1,05 \quad \frac{r}{d} = 0,03$$

Tenemos que  $k_{ts} = 1,3$

Con los datos hallados entonces:

$$k_{fs} = 1 + 0,71(1,3 - 1) = 1,213$$

Factor Se

$$Se = ka * kb * kc * kd * ke * kf * Se' \quad (39)$$

Donde:

ka = Factor de modificación a la condición superficial.

kb = Factor de modificación del tamaño.

kc = Factor de modificación de la carga.

kd = Factor de modificación de la temperatura.

ke = Factor de confiabilidad.

kf = Factor de modificación de efectos varios.

Se' = Límite de resistencia a la fatiga en vigas rotatorias.

Para ka

$$ka = a Sut^b \quad (40)$$

$$ka = 14,4(58 \text{ kpsi})^{-0,718} = 0,78 \quad (\text{Anexo 9})$$

Para kb = 1; Ya que asumimos un diámetro inicial.

Para kc = 1; Debido a combinaciones de carga

Para kd = 1; Se trabaja a temperatura ambiente

Para ke = 1; Confiabilidad del 50%

Para kf = 1; efectos varios

$$\text{Para } Se' = 0,5 * Sut = 0,5 * 58 \text{ Kpsi} = 29 \text{ Kpsi}. \quad (41)$$

Entonces:

$$Se = 0,78 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 29 \text{ Kpsi}$$

$$Se = 22,62 \text{ Kpsi}$$

Factor Nf

“Los criterios de Gerber y Goodman modificado no protegen contra la fluencia, por lo que requieren una verificación adicional de este aspecto; para tal propósito, se calcula el esfuerzo máximo de von Mises”. ( Shigley, 2008); pág. 358).

$$Nf = \frac{Sy}{\sigma_{\text{máx}}} \quad (42)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{\left[ \left( \frac{32Kf(Mm+Ma)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16Kfs(Tm+Ta)}{\pi d^3} \right)^2 \right]} \quad (43)$$

Donde:

$$Mm = Ma = 1427,4 \text{ Lbf.in}$$

$$Tm = Ta = 964,73 \text{ Lbf.in}$$

$$kf = kfm = 1,6066$$

$$kfs = kfsm = 1,213$$

$$Sy = 32000 \text{ Lbf/in}^2$$

Entonces:

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{\left[ \left( \frac{32(1,6066)(1427,4 + 1427,4)}{\pi(2)^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16(1,213)(964,73 + 964,73)}{\pi(2)^3} \right)^2 \right]}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 6384,558 \text{ Lbf/in}^2$$

$$Nf = \frac{32000}{6384,558} = 5,01$$

Una vez obtenidos todos los valores calculamos el diámetro usando (35):

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(5,01)}{\pi} * \left\{ \left[ \frac{\sqrt{(1,6066*1427,4)^2 + \frac{3}{4}(1,213*964,73)^2}}{22620} \right] + \left[ \frac{\sqrt{(1,6066*1427,4)^2 + \frac{3}{4}(1,213*964,73)^2}}{58000} \right] \right\}}$$

Dándonos un diámetro final

$$D = 1,98385 \text{ in}$$

$$D \approx 2 \text{ in}$$

*\*Nota: Como el diámetro y materiales que asumimos resisten los esfuerzos y la fluencia generada, no se realiza otra iteración.*

### 6.6.3.5 SELECCIÓN DE CHAVETA PARA EJE PRINCIPAL

Seleccionamos las medidas de la chaveta en base al diámetro del eje de  $D = 2 \text{ in}$  y mediante (**Anexo 10**) obtenemos:

Base de chaveta (b): 16 mm

Altura de chaveta (h): 10 mm

Profundidad en el eje ( $t_1$ ): 6 mm

Profundidad en el cubo ( $t_2$ ): 4 mm

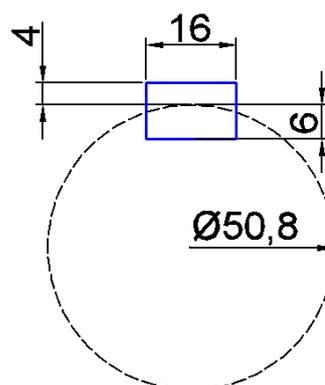


Figura 6-14: Dimensiones de Chaveta

Fuente: Autor

Tenemos los siguientes datos:

$$T_a = T_m = 964,73 \text{ Lbf.in}$$

$$D = 2 \text{ in}$$

$$L \text{ mínima} = 0,025 \text{ m} = 0,984 \text{ in}$$

$$b = 16 \text{ mm} = 0,629 \text{ in}$$

$$h = 10 \text{ mm} = 0,3937 \text{ in}$$

Supuestos para chaveta:

Material SAE 1010 CD (**Anexo 4**)

$$S_{ut} = 53 \text{ kpsi}$$

$$S_y = 44 \text{ kpsi}$$

$$S_e = 22,99 \text{ kpsi (Norton, 2011)}$$

Fuerzas media y alternante:

$$F_a = \frac{T_a}{r} = \frac{964,73}{1} = 964,73 \text{ Lbf.} \quad (44)$$

$$F_m = \frac{T_m}{r} = \frac{964,73}{1} = 964,73 \text{ Lbf.} \quad (45)$$

Componentes de esfuerzos cortantes medio y alternante:

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_{\text{cortante}}} = \frac{964,73 \text{ Lbf}}{(0,629)(0,984)} = 1558,69 \text{ psi} \quad (46)$$

$$\tau_m = \frac{F_m}{A_{\text{cortante}}} = \frac{964,73 \text{ Lbf}}{(0,629)(0,984)} = 1558,69 \text{ psi} \quad (47)$$

Esfuerzos equivalentes de Von misses:

$$\sigma'_a = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sqrt{3(1558,69)^2} = 2699,73 \text{ psi} \quad (48)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sqrt{3(1558,69)^2} = 2699,73 \text{ psi} \quad (49)$$

Factor de seguridad contra fatiga:

$$Nf = \frac{1}{\frac{\sigma' a}{S_e} + \frac{\sigma' m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{2699,73}{22990} + \frac{2699,73}{53000}} = 5,94 \quad (50)$$

Se calcula el esfuerzo máximo sobre la cuña:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Fm + Fa}{A_{\text{contacto}}} = \frac{964,73 + 964,73}{(0,3937/2)(0,984)} = 9961,05 \text{ psi} \quad (51)$$

Factor de seguridad para falla de presión por contacto:

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{44000}{9961,05} = 4,42 \quad (52)$$

Con lo cual se aprueba la selección de una chaveta para eje de 2 in de  $b = 16$  mm,  $h = 10$  mm y de material SAE 1010 CD, para una longitud total de 0,55 m.

### 6.6.3.6 CUCHILLAS Y ESPACIADORES

#### CUCHILLAS

Espesor

Para el diseño de las cuchillas nos hemos basado en diámetros y espesores estándar de herramientas de corte similares; al hacer un análisis de cuáles son los usillos más parecidos para la función requerida, se ha optado por basar nuestro diseño en los herramientas de disco de diente recto que son usados para desbastar o cilindrar. **(Anexo 12).**

Dándonos para el diámetro estándar usado con anterioridad de 250 mm (10 in) un:  $e$  (espesor máximo) = 1 in; que lo dejamos en 25 mm por trabajos de rectificación.

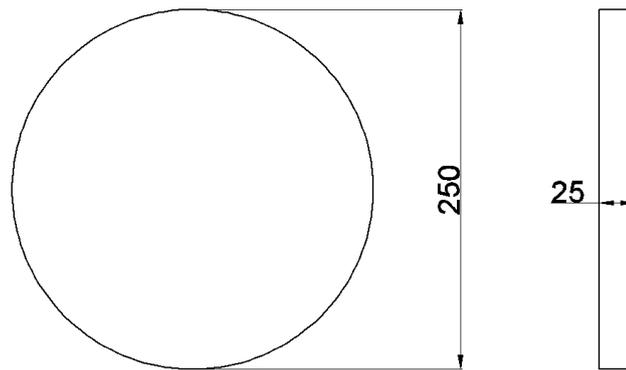


Figura 6-15: Espesor de cuchilla  
Fuente: Autor

*\*Nota: En caso de necesitar un espesor menor por razones constructivas, se lo realizaría de igual manera del **anexo 12** ya que nos permite seleccionar de varios rangos el espesor de la cuchilla.*

#### Agujero interno de cuchillas

Ahora seleccionamos el agujero interno basándonos de igual manera en el diámetro máximo de la cuchilla, mediante (**Anexo 12**).

Obteniendo para un  $D = 250$  mm un  $d$  (agujero) = 2 in.  
Ajustándose ésta medida al diámetro del eje ya calculado.

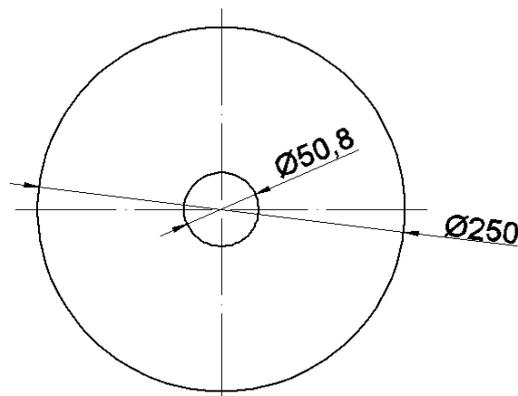


Figura 6-16: Agujero de cuchilla  
Fuente: Autor

#### Chaveta para cuchilla

Nos basaremos en la chaveta ya seleccionada para eje de 2 in, (**Anexo 10**) obteniendo:

$t_2 = 4 \text{ mm}$  y  $b = 16 \text{ mm}$

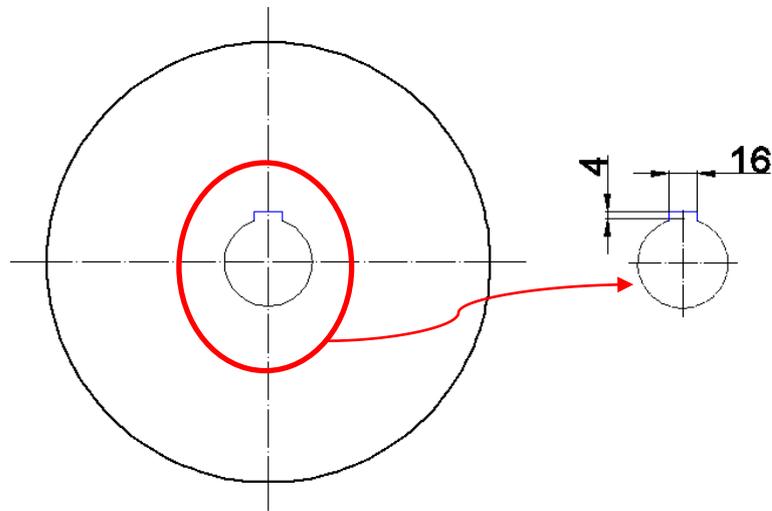


Figura 6-17: Chaveta de cuchilla  
Fuente: Autor

#### Número de Dientes

Por la función de picar o triturar el PET en pequeños pedazos que desempeñará la cuchilla, podemos asumir que es un trabajo similar al de desbaste o cilindrado que se realiza en los trabajos con fresadora; por lo cual nos basamos en el (Anexo 13) que nos indica que en su mayoría para este tipo de usillos se usan de 8 a 10 dientes, pero la complejidad constructiva optamos por un número de 8 dientes.

#### Ángulos de corte

Los ángulos de corte recomendados varían de acuerdo al proceso de trabajo y a la dureza del material que se va a trabajar; por lo tanto mediante (Anexo 14).

Entonces observamos que las angulaciones para materiales plásticos recomendadas son:

$\alpha = 8^\circ$  ángulo con respecto a la horizontal

$\gamma = 10^\circ$  ángulo con respecto a la vertical

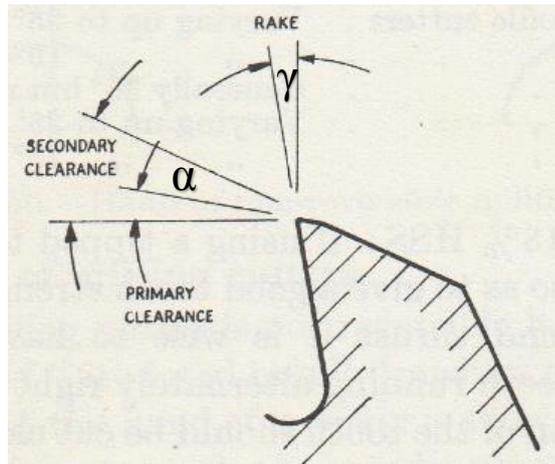


Figura 6-18: Ángulos de cuchilla  
Fuente: (Durney, 1985)

### Geometría de la cuchilla

Para lo cual nos ayudamos de 2 diseños geométricos de patentes estadounidenses (**Anexo 15**).

Los que nos permiten adaptar el diseño de la elipse de corte y el arco de pie del diente con el número de dientes y con los ángulos de corte seleccionados anteriormente, dejándonos la siguiente geometría (Plano N° 16).

### ESPACIADORES

#### Diseño geométrico

La función de los espaciadores es permitir que la punta de la cuchilla choque contra éste y se realice el corte frontal del material, cabe mencionar que debe tener el mismo espesor que las cuchillas para que sea un “sistema hermético” y el proceso se desarrolle correctamente.

La geometría del espaciador prácticamente quedó diseñado anteriormente en los cálculos realizados para las cuchillas, por lo cual se lo muestra en (Plano N° 15).

## MATERIAL

El material a seleccionar servirá tanto para las cuchillas como para los separadores, ya que deben ser de una misma dureza para evitar roturas y desgastes bruscos; para la selección adecuada del material debemos usar el esfuerzo máximo que se producen en los puntos extremos del disco, es decir el esfuerzo que se genera en la punta de la cuchilla al momento de cortar, entonces:

$$\sigma = \frac{T*c}{J} \quad (53)$$

Donde:

T = Torque máximo

c = Distancia desde el eje neutro hasta el punto exterior (c=d/2)

J = Momento polar de inercia ( $J = \frac{\pi*d^4}{32}$ )

El torque máximo que hallamos para el corte es de 9 N.m, pero ahora que conocemos la potencia del motor que es de 20 Hp, y que la velocidad a trabajar será de 700 rpm, por lo tanto debemos sumarla para albergar dentro del estudio las condiciones necesarias para una correcta selección, entonces verificamos haciendo una interpolación mediante (**Anexo 16**) por medio de la potencia y las revoluciones necesitadas, obteniendo un torque de 275,23 N.m; entonces:

$$\sigma = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$\sigma = \frac{16[9 + 275,23] N.m}{\pi * d^3}$$

$$\sigma = 92644,58 N/m^2$$

Teniendo presente que el esfuerzo al momento de cortar el PET no es muy alto tenemos una pauta de que podemos seleccionar varios materiales para que desempeñen éste trabajo, sin embargo la investigación nos muestra que los mejores materiales para reciclaje son los de un rango de dureza Rockwell C alta, de 55 a 67 Rc.

En base a esto seleccionaremos el acero AISI D3 o que comercialmente podemos hallarlo como Bohler K100 de dureza 66Hrc.(**Anexo 17**)

### 6.6.3.7 SELECCIÓN DE RODAMIENTO

Para la selección del rodamiento adecuado debemos tener presente que el rodamiento irá montado en los extremos del eje motriz de las cuchillas, por cual se usarán las reacciones resultantes en dichos puntos de apoyo, siendo:

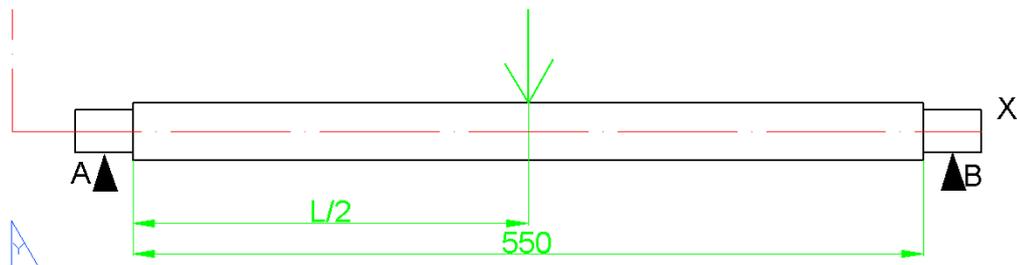


Figura 6-19: Ubicación de apoyos  
Fuente: Autor

$$R_{Ay} = 458,36 \text{ N}$$

$$R_{By} = 1974,35 \text{ N}$$

$$R_{Az} = 365,867 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 862,16 \text{ N}$$

Obteniendo por Pitágoras un  $R_A = 586,475 \text{ N}$  y un  $R_B = 2154,385 \text{ N}$

#### Consideraciones

- > Potencia del motor = 20HP
- > Revoluciones de giro del eje = 700 rpm.

- > Optaremos por trabajar en la selección de rodamientos rígidos de bolas.
- > Usaremos el catálogo de la compañía FAG (Catálogo WL 41 520/3 SB).

Entonces:

$$C_o = f_s * P_o \quad (54)$$

Donde:

$C_o$  = Capacidad de carga estática

$f_s$  = factor de esfuerzos estáticos

$P_o$  = Carga estática equivalente

Cuando la carga es radial pura  $P_o = F_r$  (Carga radial); usaremos solamente la carga  $R_R = 2,154 \text{ KN}$  ya que el rodamiento seleccionado servirá para la carga  $R_A$ .

$$P_o = F_r = R_A = 2,154 \text{ KN}$$

$$f_s = 2,5 \text{ (Exigencias elevadas)} \quad (\text{Anexo 18})$$

$$C_o = 2,5 * 2,154 \text{ KN}$$

$$C_o = 5,385 \text{ KN}$$

$$C = \rho * \sqrt[p]{\frac{Lh_{10} * n * 60}{10^6 * a_1 * a_{23}}} \quad (55)$$

Donde:

$C$  = Capacidad de carga dinámica (KN)

$P$  = Carga dinámica equivalente (KN)

$p$  = Exponente de vida (FAG, 2000)

$Lh_{10}$  = Vida Nominal (horas)

$n$  = rpm

$a_1$  = Factor de probabilidad de fallo

$a_{23}$  = Factor básico

Entonces:

$$P = 2,154 \text{ KN}$$

$$L_{h10} = (f_L)^P * 500 \quad (56)$$

$P = 3$  (para rodamientos de bolas)

$f_L =$  factor de esfuerzos dinámicos = 3,5 para trituradoras **(Anexo 19)**

$$L_{h10} = (3,5)^3 * 500 = 21437,5 \text{ horas}$$

$$a_1 = 1; \quad \text{(Anexo 20)}$$

Por ser la primera iteración nos imponemos el factor  $a_{23}$  para un  $K=1$  y  $k = 1$  por lo tanto obtenemos un factor  $a_{23} = 1,7$  **(Anexo 21)**

Ahora, aplicando los valores a la (55) obtenemos:

$$C = 2,154 * \sqrt[3]{\frac{21437,5 * 700 * 60}{10^6 * 1 * 1,7}}$$
$$C = 8,09 \text{ KN}$$

Una vez obtenido  $C$ , procedemos a seleccionar un rodamiento rígido de bolas con las condiciones calculadas y procedemos a iterar nuevamente basándonos en viscosidades verdaderas.

#### Selección de Rodamiento:

Mediante **(Anexo 22)** obtenemos:

-Rodamiento Rígido de bolas FAG 16010

$$D = 50 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$C_o = 13,2 \text{ KN}$$

$$C = 16 \text{ KN}$$

Obtenemos la viscosidad por (**Anexo 21.3**):

$$V \text{ (viscosidad relativa)} = 25 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Temperatura de servicio 72° C

ISO VG 100

$$k = \frac{v}{V_1} = \frac{23}{25} = 0,92$$

$$K = K_1 + K_2$$

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} = \frac{13,2 \text{ KN}}{2,154 \text{ KN}} = 6,128$$

Del (**Anexo 21.2**) se determina:

$$K_1 = 0$$

$$K_2 = 0$$

$$K = 0$$

$$a_{23} = 1,5$$

Usando (20):

$$C = 2,154 * \sqrt[3]{\frac{21437,5 * 700 * 60}{10^6 * 1 * 1,5}}$$

$$C = 8,43 \text{ KN} \dots \text{OK} \dots$$

Con lo cual termina la iteración con el mismo rodamiento seleccionado ya que el factor  $a_{23}$  asumido es prácticamente igual al factor  $a_{23}$  real.

### 6.6.3.8 SELECCIÓN DE CADENA Y CATARINAS

Se acoplará la catarina a uno de los ejes de trituración, para que por medio de la cadena transmita el movimiento a los ejes de las prensas de aplastamiento.

Conocemos:

Velocidad de catarina motriz ( $N_{motriz}$ ) = 700rpm

Velocidad de catarina conducida ( $N_{conducida}$ ) = 70rpm

Dientes Catarina motriz, asumimos ( $Z_{motriz}$ ) = 12 ; para usar una Catarina pequeña pero resistente.

Entonces:

$$i = \frac{N_{motriz}}{N_{conducida}} = \frac{700}{70} = 10$$

$$i = \frac{Z_{conducida}}{Z_{motriz}} \quad (57)$$

$$Z_{conducida} = i * Z_{motriz}$$

$$Z_{conducida} = 10 * 12 = 120 \text{dientes}$$

#### Selección de paso y número de cadena:

Por medio de (**Anexo 28 y 30**):

Catarina motriz de 12 dientes:

$$\text{Paso (P)} = 12,7\text{mm}$$

$$\text{Cos } \alpha = 3,864$$

$$\text{Número de cadena} = 7$$

Catarina conducida de 120 dientes:

$$\text{Paso (P)} = 12,7\text{mm}$$

$$\text{Cos } \alpha = 38,201$$

$$\text{Número de cadena} = 7$$

### **Cálculo de diámetros primitivos:**

Catarina motriz

$$D_{pm} = P \cdot \cos \alpha = 12,7 \cdot 3,864 = 49,073 \text{ mm} \quad (58)$$

Catarina conducida

$$D_{pc} = P \cdot \cos \alpha = 12,7 \cdot 38,201 = 485,1527 \text{ mm}$$

### **Cálculo de diámetros exteriores:**

Diámetro del rodillo = 8,51 mm **(Anexo 28)**

• Catarina motriz

$$D_{em} = D_{pm} + 0,8 \cdot d \quad (59)$$

Donde:

$D_{em}$  = Diámetro exterior catarina motriz. (mm)

$D_{pm}$  = Diámetro primitivo catarina motriz. (mm)

$d$  = Diámetro de rodillo. (mm)

$$D_{em} = 49,073 + 0,8 \cdot (8,51) = 55,881 \text{ mm}$$

• Catarina conducida

$$D_{ec} = D_{pc} + 0,8 \cdot d$$

Donde:

$D_{ec}$  = Diámetro exterior catarina conducida. (mm)

$D_{pc}$  = Diámetro primitivo catarina conducida. (mm)

$d$  = Diámetro de rodillo. (mm)

$$D_{ec} = 485,1527 + 0,8 \cdot (8,51) = 491,9607 \text{ mm}$$

### **Cálculo de diámetros de fondo:**

Catarina motriz

$$D_{fm} = D_{pm} - d \quad (60)$$

$$= 49,073 - 8,51$$

$$= 40,563 \text{ mm}$$

Catarina conducida

$$D_{fc} = D_{pc} - d$$

$$= 485,1527 - 8,51$$

$$= 476,6427 \text{ mm}$$

### **Distancia entre centros**

$$D_{em} = 55,881 \text{ mm}$$

$$D_{ec} = 491,9607 \text{ mm}$$

La distancia debe ser mayor que la sumatoria de los radios, entonces:

$$R_{em} = D_{em}/2 = 27,9405 \text{ mm}$$

$$R_{ec} = D_{ec}/2 = 245,98035 \text{ mm}$$

$$\text{Si, } R_{em} + R_{ec} = 273,92085 \text{ mm}$$

Para evitar complicaciones optamos por una distancia de centros (C) de 370 mm.

### **Número de eslabones de cadena**

$$N = \frac{2C}{P} + \frac{Z_m + Z_c}{2} + \frac{P * (Z_m + Z_c)^2}{40 * C} \quad (61)$$

Donde:

N = Número de eslabones

C = Distancia entre centros

P = Paso de cadena

Z<sub>m</sub> = Número de dientes catalina motriz

Z<sub>c</sub> = Número de dientes catalina conducida

El resultado se redondeará a un número entero

$$N = \frac{2(370)}{12,7} + \frac{12 + 120}{2} + \frac{12,7 * (12 + 120)^2}{40 * 370}$$

$$N = 139,8194 \cong 140 \text{ eslabones.}$$

Comprobación de la carga total que soporta la cadena

$$F_t = F_u + F_c \quad (62)$$

Donde:

$F_t$  = Carga total que soporta la cadena.

$F_u$  = Carga útil que desarrolla la cadena

$F_c$  = Carga de fuerza centrífuga

$$F_u = \frac{P}{v} \quad (63)$$

Donde:

$P$  = Potencia transmitida (W)

$V$  = Velocidad lineal de cadena

$$V = \frac{p \cdot Z_i \cdot N_i}{60} \quad (64)$$

Donde:

$p$  = paso de la cadena (m)

$Z_i$  = Número de dientes de Catarina motriz

$N_i$  = Revoluciones de giro (rpm)

$$V = \frac{0,0127 \cdot 12 \cdot 700}{60} = 1,778 \text{ m/s}$$

Entonces:

20 Hp = 14914Watts

$$F_u = \frac{14914}{1,778} = 8388,08N$$

$$F_c = m \cdot V^2 \quad (65)$$

Donde:

$m = \text{masa unitaria (Kg/m)} = 0,59$

$$F_c = 0,59 * 1,778^2 = 1,865 \text{ N}$$

Por lo tanto:

$$F_t = 8388,08 \text{ N} + 1,865 \text{ N} = 8389,945 \text{ N}$$

Factor de seguridad para la carga a rotura

Si Carga de rotura (R) = 1600Kp = 15690,64 N

$$N_s = \frac{R}{F_t} = \frac{15690,64 \text{ N}}{8389,945 \text{ N}} = 1,87 \dots \text{OK} \quad (66)$$

Presión máxima de contacto:

$$P_s = \frac{F_t}{d * l} \quad (67)$$

Donde:

$d = \text{Diámetro del bulón de la cadena} = 9,75 \text{ mm}$

$l = \text{Longitud del bulón de la cadena} = 10,5 \text{ mm}$

$$P_s = \frac{8389,945}{0,00975 * 0,0105} = 81,95 \text{ Mpa}$$

### **Agujeros y chavetas para catarinas**

Agujero para Catarina motriz

Tomamos un diámetro de agujero de 20mm para no afectar la medida del Dfm.

Dándonos por consiguiente una medida de chaveta de: **(Anexo 10)**

$h = 7\text{mm}$

$b = 8\text{mm}$

$t_1 = 4\text{mm}$

$$t_2 = 3 \text{ mm}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$T_a = T_m = 964,73 \text{ Lbf.in}$$

$$D = 20 \text{ mm}$$

$$L \text{ mínima} = 0,029 \text{ m} = 1,142 \text{ in}$$

$$b = 8 \text{ mm} = 0,315 \text{ in}$$

$$h = 7 \text{ mm} = 0,2756 \text{ in}$$

Supuestos para chaveta:

Material SAE 1010 CD (**Anexo 4**)

$$S_{ut} = 53 \text{ kpsi}$$

$$S_y = 44 \text{ kpsi}$$

$$S_e = 22,99 \text{ kpsi (Norton, 2011)}$$

Fuerzas media y alternante:

$$F_a = \frac{T_a}{r} = \frac{964,73}{1} = 964,73 \text{ Lbf.}$$

$$F_m = \frac{T_m}{r} = \frac{964,73}{1} = 964,73 \text{ Lbf.}$$

Componentes de esfuerzos cortantes medio y alternante:

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_{\text{cortante}}} = \frac{964,73 \text{ Lbf}}{(0,315)(1,142)} = 2681,82 \text{ psi}$$

$$\tau_m = \frac{F_m}{A_{\text{cortante}}} = \frac{964,73 \text{ Lbf}}{(0,315)(1,142)} = 2681,82 \text{ psi}$$

Esfuerzos equivalentes de Von misses:

$$\sigma'_a = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sqrt{3(2681,82)^2} = 4645,05 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sqrt{3(2681,82)^2} = 4645,05 \text{ psi}$$

Factor de seguridad contra fatiga:

$$Nf = \frac{1}{\frac{\sigma'a}{Se} + \frac{\sigma'm}{Sut}} = \frac{1}{\frac{4645,05}{22990} + \frac{4645,05}{53000}} = 3,45$$

Se calcula el esfuerzo máximo sobre la cuña:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Fm + Fa}{A_{\text{contacto}}} = \frac{964,73 + 964,73}{(0,2756/2)(1,142)} = 12260.85 \text{ psi}$$

Factor de seguridad para falla de presión por contacto:

$$Ns = \frac{Sy}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{44000}{12260.85} = 3,59 \dots \dots \text{OK}$$

Con lo cual se aprueba la selección de una chaveta para eje de 20 mm de  $b = 8$  mm,  $h = 7$  mm y de material SAE 1010 CD, para una longitud total de 29 mm.

Agujero para Catarina conducida

Tomamos un diámetro de agujero de 2 in para evitar el torneado del eje.

Dándonos por consiguiente para un agujero de 50.8 mm una medida de chaveta de:

**(Anexo 10)**

$h = 10$ mm

$b = 16$ mm

$t1 = 6$ mm

$t2 = 4$ mm

Tenemos los siguientes datos:

$Ta = Tm = 964,73$  Lbf.in

$D = 2$  in

$L$  mínima = 0,029 m = 1,142 in

$b = 16$  mm = 0,629 in

$h = 10$  mm = 0,3937 in

Supuestos para chaveta:

Material SAE 1010 CD (**Anexo 4**)

$S_{ut} = 53 \text{ kpsi}$

$S_y = 44 \text{ kpsi}$

$S_e = 22,99 \text{ kpsi}$  (Norton, 2011)

Fuerzas media y alternante:

$$F_a = \frac{T_a}{r} = \frac{964,73}{1} = 964,73 \text{ Lbf.}$$

$$F_m = \frac{T_m}{r} = \frac{964,73}{1} = 964,73 \text{ Lbf.}$$

Componentes de esfuerzos cortantes medio y alternante:

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_{\text{cortante}}} = \frac{964,73 \text{ Lbf}}{(0,629)(1,142)} = 1343 \text{ psi}$$

$$\tau_m = \frac{F_m}{A_{\text{cortante}}} = \frac{964,73 \text{ Lbf}}{(0,629)(1,142)} = 1343 \text{ psi}$$

Esfuerzos equivalentes de Von misses:

$$\sigma'_a = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sqrt{3(1343)^2} = 2326,14 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sqrt{3(1343)^2} = 2326,14 \text{ psi}$$

Factor de seguridad contra fatiga:

$$N_f = \frac{1}{\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{2326,14}{22990} + \frac{2326,14}{53000}} = 6,89$$

Se calcula el esfuerzo máximo sobre la cuña:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F_m + F_a}{A_{\text{contacto}}} = \frac{964,73 + 964,73}{(0,3937/2)(1,142)} = 8582,9 \text{ psi}$$

Factor de seguridad para falla de presión por contacto:

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{44000}{8582,9} = 5,12$$

Con lo cual se aprueba la selección de una chaveta para eje de 2 in de  $b = 16$  mm,  $h = 10$  mm y de material SAE 1010 CD, para una longitud total de 29 mm.

### 6.6.3.9 MORDAZAS DE APLASTAMIENTO

*Consideraciones:*

- > Serán montadas sobre ejes de un diámetro de 2 in.
- > El eje girará a una velocidad de 70 rpm.
- > En uno de los ejes será acoplada la catarina de 120 dientes.
- > Debido a que la distancia de centros será de 175 mm, se usará el mismo juego de piñones y rodamientos ya calculados para transmitir el movimiento.
- > Ya que serán ingresadas botellas de alturas que van de 500 mm a 190 mm, sobre los ejes serán soldadas 6 aletas distribuidas cada  $60^\circ$ , así:

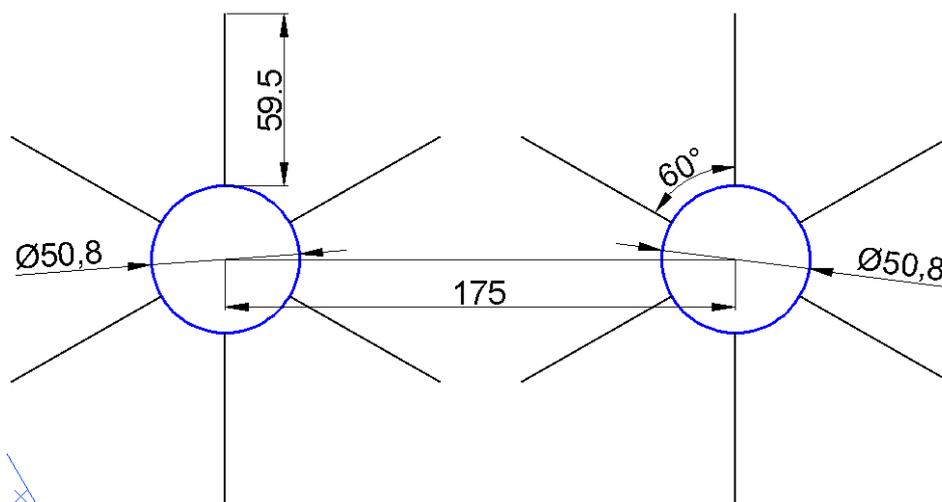


Figura 6-20: Distribución de mordazas sobre ejes.

Fuente: Autor

- > Como se puede observar cada mordaza de aplastamiento tendrá una longitud igual al eje, un ancho de 59.5 mm y un espesor de  $\frac{1}{4}$  in.

> Para que las mordazas de aplastamiento ofrezcan un buen agarre, tendrán la siguiente geometría (Plano N°9).

> Ya que no soportarán grandes esfuerzos y para reducir costos, serán fabricadas de pletina de acero de construcción AISI A36.

### 6.6.3.11 DISEÑO DE SOLDADURA DE MORDAZAS

#### Fresado de eje para soldadura

Se tomará en cuenta que el eje será fresado para darnos la geometría a continuación:

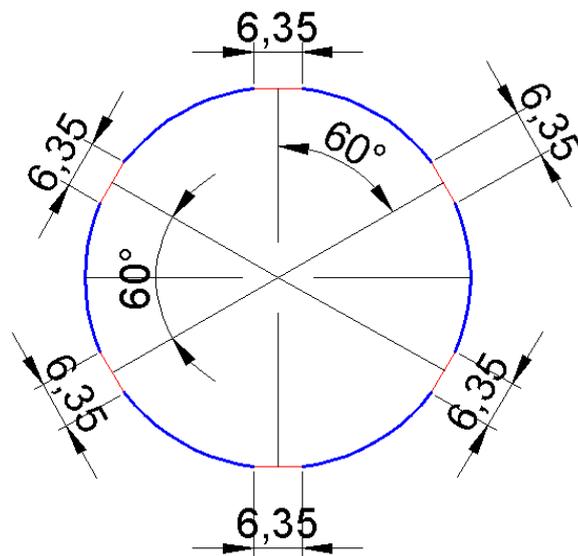


Figura 6-21: Distribución de fresado  
(Azul-eje; rojo-medida de fresado)  
Fuente: Autor

Esto se asume ya que si realizamos una soldadura en las partes planas, nos permite optar por una soldadura de placas a tope, según AWS D1.1

**Para la selección de las juntas nos basaremos en AWS D1.1 (Anexo 31)**

Dándonos:

Proceso de soldadura: SMAW

Detalle de unión: B-PLc

Espesores de placas máximos  $T1 = \frac{1}{4}$  in

Abertura de raíz máxima  $R = T/2 = 3,175 \text{ mm}$

Descripción de junta: Soldadura a tope de bordes derechos. Símbolo: | |

### Resistencia de la soldadura

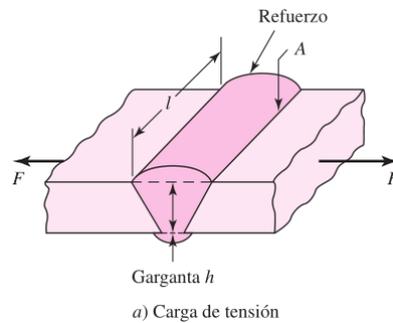


Figura 6-22: Soldadura sometida a tensión

Fuente: (Shigley, 2008)

Para cargas de tensión el esfuerzo normal medio es:

$$\sigma = \frac{F}{h * L} \quad (68)$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo axial en el cordón de soldadura

F = Fuerza axial

h = Ancho de la garganta de la soldadura

L = Largo del cordón de soldadura

La fuerza axial la calculamos asumiendo las peores condiciones posibles; es decir que la carga total de 350 Kg de las botellas esté sobre las aletas ejerciendo dicha fuerza, entonces:

$$F = 350 \text{Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 3433,5 \text{ N}$$

Entonces reemplazando en la (60):

$$\sigma = \frac{3433,5 \text{ N}}{0,003 \text{ m} * 0,55 \text{ m}} = 2,08 \text{ Mpa} = 301,68 \text{ psi}$$

Verificaremos el factor de seguridad según:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad (69)$$

Usando material ASTM A36  $S_y = 36000$  psi

$$nf = \frac{36000}{301,68} = 119,33$$

Resistencia permisible para electrodo E6011

$$\tau_{perm} = 0,3 (S_{y_{E6011}}) = 0,3(60) = 18 \text{ kpsi} \quad (70)$$

Área cortante necesaria en la garganta para limitar el esfuerzo.

$$\tau_{perm} = \frac{P}{A_{cortante}} \quad (71)$$

$$18 \text{ kpsi} = \frac{771,88 \text{ Lbf}}{A_{cortante}}$$

$$A_{cortante} = \frac{771,88 \text{ lbf}}{18000 \text{ psi}} = 0,042 \text{ in}^2$$

Dimensión de la garganta

$$A_{cortante} = 2 L * t$$

$$t = \frac{0,042 \text{ in}^2}{2 * 21,654 \text{ in}} = 9,69 \times 10^{-4} \text{ in}$$

Ancho de pierna

$$w = 0,125 \text{ in}$$

Resistencia contra falla cortante (72)

$$\tau_{xy} = \frac{P}{\text{Afusión}} = \frac{P}{2Lw} = \frac{771,88 \text{ Ldf}}{2 * 21,654 \text{ in} * 0,125 \text{ in}} = 142,58 \text{ psi}$$

$$Nfluencia = \frac{Ssy}{\tau_{xy}} = \frac{36000(0,577)}{142,58} = 145,69 \quad (73)$$

Lo que nos indica que la soldadura soportará con altas creces los esfuerzos a los que serán sometidas las aletas de aplastamiento.

### **Temperaturas de precalentamiento para evitar agrietamientos**

Una de las técnicas para evitar agrietamientos en la soldadura es el precalentamiento de los elementos a unir, por lo tanto nos basaremos en el método de Seferian, que nos brinda la posibilidad de hallar la temperatura buscada a través de la composición química del material (**Anexo 32**)

*Composiciones químicas:*

Acero AISI 1018

Acero AISI A36

C: 0,18%

C: 0,25%

Si: 0,25%

Mn: 0,8%

Mn: 0,7%

P: 0,04%

Si: 0,4%

S: 0,007%

Donde:

$[CE]_q$  = Cantidad de Porcentaje Carbono equivalente

$$[CE]_q = C + \frac{(Mn+Cr)}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13} \quad (74)$$

$$[CE]_{1018} = 0,257$$

$$[CE]_{A36} = 0,338$$

$[CE]$  = Carbono equivalente

$$[CE] = [CE]_q * (1 + 0,005e) \quad (75)$$

$$[CE]_{1018} = 0,2647$$

$$[CE]_{A36} = 0,3481$$

Temperatura de precalentamiento

$$Tp = 350\sqrt{[CE] - 0,25} \quad (76)$$

$$Tp_{1018} = 42,87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tp_{A36} = 109,567 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### **6.6.3.12 DIMENSIONAMIENTO DE PLACAS DE CARCASA**

Las placas serán el cuerpo fundamental de la maquinaria ya que aguantarán el peso de cada uno de los elementos conformantes, es decir que deben ser robustas y de un material adecuado para que soporten los esfuerzos a las que serán inducidas.

Por lo cual plantearemos ciertos diseños geométricos de las placas basándonos en fundamentos, criterios de la industria y medidas calculadas con anterioridad, que nos permitirán optimizar el cuerpo robusto de nuestro modelo; por lo tanto debemos tener las siguientes consideraciones:

- Las medidas entre centros de ejes principales, ejes porta cuchillas y ejes de zona de aplastamiento.
- La medida entre centros de la catarina conducida y la catarina conductora.
- El espesor de placa y el material deben ser idóneos para resistir los esfuerzos de trabajo.
- Todas las placas deben ser montadas y desarmadas con total facilidad.
- Los tamaños deben ser los más óptimos, para lograr la carcasa más compacta posible y así mejorar costos (Planos N° 3-4-5-6).

### **6.6.3.13 SELECCIÓN DE PERNOS**

#### **Placa empernada grande**

Mediante (**Anexo 33**) se seleccionada un grado de pernos SAE 8, el cual recomienda diámetros de trabajo entre  $\frac{1}{4}$  y  $1\frac{1}{2}$ .

Debido a que optaremos por un ajuste mediante pernos tipo allen, ya que brindan un agarre mayor y visualmente son mejor, usaremos un perno de  $\frac{1}{4}$ , y teniendo presente que la cabeza del perno es de diámetro  $\frac{3}{8}$  (9,525 mm) y el espesor de la

placa de 20 mm, nos brinda un juego de 5,238mm a cada lado de la cabeza, lo cual se acopla a las medidas.

Por ser un SAE grado 8, presenta las siguientes condiciones:

Sp = Resistencia límite máxima a la tensión	120 Kpsi
Sut = Resistencia última a la tensión	150 Kpsi
Sy = Resistencia de fluencia mínima a la tensión	130 Kpsi
E = Módulo de elasticidad	30x10 <sup>6</sup> psi (207 GPa)

Por medio de (**Anexo 34**) y rosca UNC se tiene:

Área del esfuerzo de tensión ( $A_t$ ) = 0,0318 in<sup>2</sup> (20,1 mm<sup>2</sup>)

Área de diámetro menor ( $A_r$ ) = 0,0269 in<sup>2</sup> (17,9 mm<sup>2</sup>)

Hallamos el área transversal del perno.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (77)$$

$$A = \frac{\pi * (0,00635m)^2}{4} = 3,167x10^{-5} m^2$$

Factor de Rigidez del perno Kb:

$$Kb = \frac{A * E}{L} \quad (78)$$

A = Área transversal

E = Módulo de Elasticidad

L = Longitud de agarre del perno

$$Kb = \frac{3,167x10^{-5}m^2 * 207GPa}{0,034m} = 192,81x10^6 \frac{N}{m}$$

Factor de rigidez del elemento Km

$$Km = \frac{\pi * E * D}{2 \ln \left[ \frac{5(L+0,5*D)}{L+2,5*D} \right]} \quad (79)$$

$$Km = \frac{\pi * 207 \text{ GPa} * 0,00635 \text{ mm}}{2 \ln \left[ \frac{5(0,034 \text{ m} + 0,5 * 0,00635 \text{ m})}{0,034 \text{ m} + 2,5 * 0,00635 \text{ m}} \right]}$$

$$Km = 1569,483 \times 10^6 \text{ N/m}$$

Coeficiente de carga C

$$C = \frac{Kb}{Kb + Km} \quad (80)$$

$$C = \frac{192,81 \times 10^6 \text{ N/m}}{(192,81 \times 10^6 + 1569,483 \times 10^6) \text{ N/m}} = 0,109$$

Carga de prueba Fp

$$Fp = A_t * S_p \quad (81)$$

$$Fp = 2,01 \times 10^{-5} \text{ mm}^2 * 827,27 \text{ MPa}$$

$$Fp = 16630,137 \text{ N}$$

Pre-carga del perno Fi

$$Fi = 0,8 * Fp \quad (82)$$

$$Fi = 0,8 * 16630,137 = 13304,11 \text{ N}$$

Entonces (Shigley, 2008) recomienda aprobar si:

$$0,6Fp \leq Fi \leq 0,9Fp \quad (83)$$

$$9978,1 \leq 13304,1 \leq 14967,1233 \dots \text{OK}$$

Fuerza de separación de la junta FT

$$F1 = A * Sy \quad (84)$$

$$F1 = 3,167 \times 10^{-5} \text{ m}^2 * 896,32 \text{ MPa}$$

$$F1 = 28386,45 \text{ N}$$

Peso de placa a soportar F2

$$F2 = 44,61 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F2 = 437,624 \text{ N}$$

$$FT = F1 + F2$$

$$FT = 28824,074 \text{ N}$$

Número de pernos a usarse

$$N = \frac{n * C * FT}{Fp - Fi} \quad (85)$$

Debemos asegurarnos que la placa resista las cargas asumiremos factor de seguridad de n=8

$$N = \frac{8 * 0,109 * 28824,074 \text{ N}}{16630,137 \text{ N} - 13304,11 \text{ N}}$$

$$N = 7,6 \text{ pernos}$$

$$N \approx 8 \text{ pernos.}$$

Separación de pernos S

$$S = \frac{\text{Longitud de placa}}{N+1} \quad (86)$$

$$S = 480 \text{ mm}/(8+1) = 53.3 \text{ mm}$$

Chequeo a corte

$$\tau = \frac{FT}{Ac} \quad (87)$$

Donde:

Ac = área total de corte (m<sup>2</sup>)

FT = Fuerza de separación del corte (N)

$$Ac = A * N$$

Donde:

A = Área transversal del perno (m<sup>2</sup>)

N = Número de pernos

$$Ac = 3,167 \times 10^{-5} \text{ m}^2 * 8 = 2,534 \times 10^{-4} \text{ m}^2.$$

$$\tau = \frac{28824,074 \text{ N}}{2,534 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 113,75 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad en perno FS.

$$FS = \frac{SSy}{\tau} \quad (88)$$

Donde:

SSy = Resistencia de fluencia cortante

$$SSy = 0,5 * Sy_{perno}$$

$$SSy = 0,5 * 896,32 \text{ Mpa} = 448.16 \text{ Mpa}$$

$$FS = 448,16 \text{ Mpa} / 113,75 \text{ Mpa}$$

$$FS = 3,9$$

Con lo cual se comprueba la resistencia del perno a las cargas expuestas en la placa emperrada grande.

### Placa empernada pequeña

Usaremos el mismo perno allen de ¼ por haber demostrado resistencia en la sección anterior, por lo tanto los factores y coeficientes serán los mismos; entonces tendremos que re calcular las fuerzas basándonos en el peso de la placa y el número de pernos a usarse basándonos en su longitud.

Fuerza de separación de la junta FT

$$F1 = A * Sy$$

$$F1 = 3,167 \times 10^{-5} m^2 * 896,32 MPa$$

$$F1 = 28386,45 N$$

Peso de placa a soportar F2

$$F2 = 12,41 Kg \times 9,81 m/s^2$$

$$F2 = 121,7421 N$$

$$FT = F1 + F2$$

$$FT = 28508,192 N$$

Número de pernos a usarse

$$N = \frac{n * C * FT}{Fp - Fi}$$

Con relación a la placa anterior su longitud es casi la mitad por ende, asegurarnos que la placa resista las cargas asumiremos factor de seguridad de n=4

$$N = \frac{4 * 0,109 * 28508,192 N}{16630,137 N - 13304,11 N}$$

$$N = 3.76 \text{ pernos}$$

$$N \approx 4 \text{ pernos.}$$

Separación de pernos S

$$S = \frac{\text{Longitud de placa}}{N + 1}$$

$$S = 128 \text{ mm} / (4+1) = 25.6 \text{ mm}$$

Chequeo a corte

$$\tau = \frac{FT}{Ac}$$

Donde:

A = Área transversal del perno ( $m^2$ )

N = Número de pernos

$$Ac = A * N$$

$$Ac = 3,167 \times 10^{-5} m^2 * 8 = 2,534 \times 10^{-4} m^2.$$

$$\tau = \frac{28508,192 \text{ N}}{2,534 \times 10^{-4} m^2} = 112,5 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad en perno FS.

$$FS = \frac{SSy}{\tau}$$

Donde:

SSy = Resistencia de fluencia cortante

$$SSy = 0,5 * Syperno$$

$$SSy = 0,5 * 896,32 \text{ Mpa} = 448.16 \text{ Mpa}$$

$$FS = 448,16 \text{ Mpa} / 112,5 \text{ Mpa}$$

$$FS = 3,98$$

Con lo cual se comprueba la resistencia del perno a las cargas expuestas en la placa emperrada pequeña.

#### 6.6.3.14 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL DIMENSIONAMIENTO DE PLACAS Y PERNOS DE CARCASA POR ANÁLISIS ESTÁTICO MEDIANTE SOFTWARE

Usando un software de análisis estático por elementos finitos comprobamos esfuerzos, desplazamientos y el factor de seguridad resultantes en base al modelo geométrico propuesto.

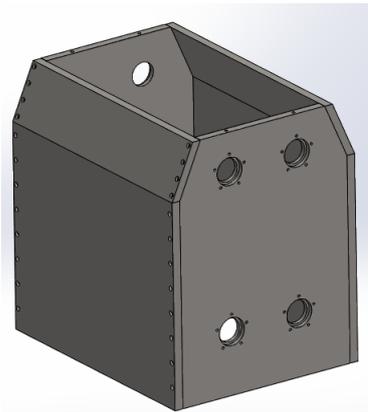


Figura 6-23: Modelación de carcasa  
Fuente: Autor

Procedemos a colocar las conexiones entre cada uno de los pernos y las placas.

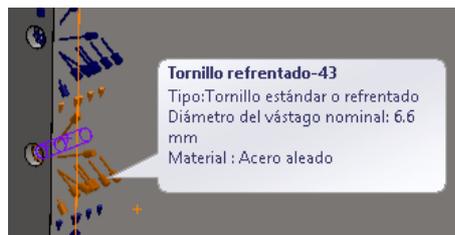


Figura 6-24: Aplicación de conexiones de pernos  
Fuente: Autor

Luego colocamos las sujeciones fijas en la base de la carcasa.

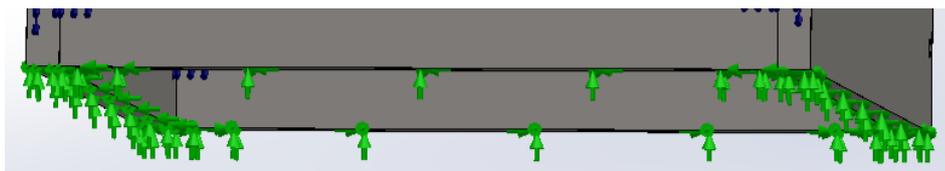


Figura 6-25: Sujeciones fijas de las placas  
Fuente: Autor

Colocamos la presión máxima al fallo que soportaría la carcasa, es decir la fuerza que ejercería los 350Kg de masa sobre el área interna de la carcasa:  

$$\text{Presión} = (350 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2) / (0,55 \text{ m} \times 0,435 \text{ m}) = 14306.25 \text{ N/m}^2.$$

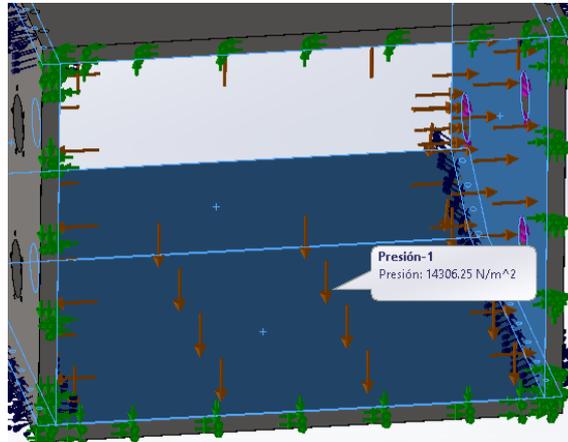


Figura 6-26: Inserción de presión interna  
**Fuente: Autor**

A continuación se colocarán cada una de las fuerzas que soportan las placas en los agujeros de apoyo de los ejes, las mismas que serán las resultantes de los pesos de cada uno de los elementos a soportar; para cada uno de los agujeros tendríamos las siguientes fuerzas:

**Agujero 1**

Masa de eje de prensas N°2 = 11,48 kg

Masa de piñón = 11,03 kg

Masa de aletas de aplastamiento = 8,16 Kg

Fuerza total = sumatoria de masas x gravedad = 300,87 N

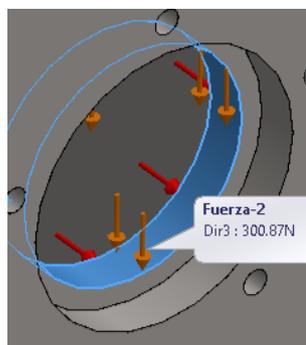


Figura 6-27: Fuerza en agujero 1  
**Fuente: Autor**

## Agujero 2

Masa de eje de prensas N°2 = 11,48 Kg

Masa de aletas de aplastamiento = 8,16 Kg

Fuerza total = 192,6684 N

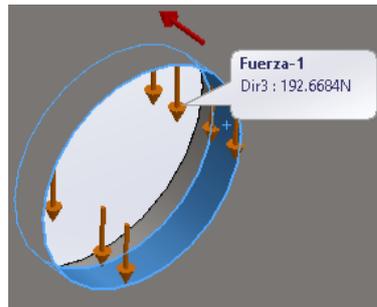


Figura 6-28: Fuerza en agujero 2

Fuente: Autor

## Agujero 3

Masa eje de prensas N°1 = 12,93 Kg

Masa de aletas de aplastamiento = 8,16 Kg

Masa de piñón = 11,03 Kg

Fuerza total = 315,1 N

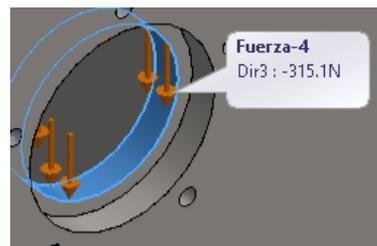


Figura 6-29: Fuerza en agujero 3

Fuente: Autor

## Agujero 4

Masa eje de prensas N°1 = 12,93 Kg

Masa de aletas de aplastamiento = 8,16 Kg

Masa de catalina 120 dientes = 13,352 Kg

Fuerza total = 337,88 N

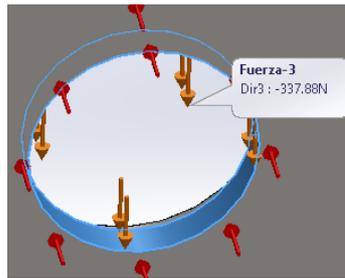


Figura 6-30: Fuerza en agujero 4  
Fuente: Autor

### Agujero 5

Masa de eje porta cuchillas N°1 = 12,63 Kg

Masa de piñón = 11,03 Kg

Masa de cuchillas = 73,48 Kg

Masa de separadores = 12,21 Kg

Fuerza total = 1072,72 N



Figura 6-31: Fuerza en agujero 5  
Fuente: Autor

### Agujero 6

Masa de eje porta cuchillas N°1 = 12,63 Kg

Masa de cuchillas = 73,48 Kg

Masa de separadores = 12,21 Kg

Fuerza total = 964,52 N

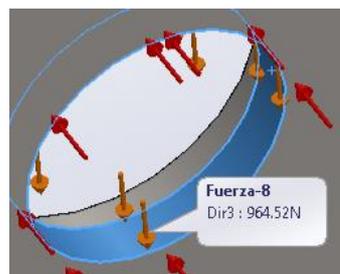


Figura 6-32: Fuerza en agujero 6  
Fuente: Autor

## Agujero 7

Masa de eje porta cuchillas N°2 = 11,46 Kg

Masa de cuchillas = 73,48 Kg

Masa de separadores = 12,21 Kg

Masa de piñón = 11,03 Kg

Fuerza total = 1061,25 N

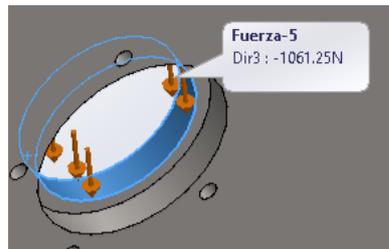


Figura 6-33: Fuerza en agujero 7  
Fuente: Autor

## Agujero 8

Masa de eje porta cuchillas N°2 = 11,46 Kg

Masa de cuchillas = 73,48 Kg

Masa de separadores = 12,21 Kg

Masa de catalina de 12 dientes = 0,19 Kg

Fuerza total = 954,91 N

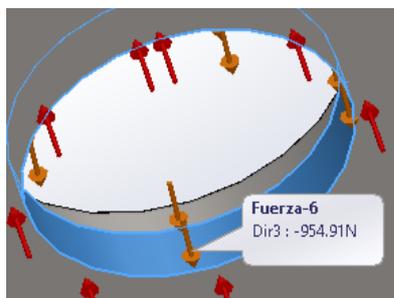


Figura 6-34: Fuerza en agujero 8  
Fuente: Autor

Una vez colocados todos los parámetros para el análisis, el software nos brinda los datos esperados:

## Factor de Seguridad

El programa nos muestra que la carcasa trabajará con un factor de seguridad de 2.7 lo que brinda con certeza que las placas soportarán las fuerzas y presión de trabajo.

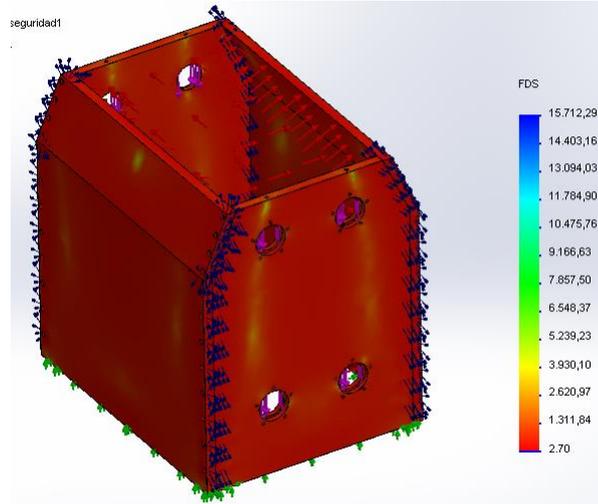


Figura 6-35: Factor de seguridad de placas  
Fuente: Autor

## Esfuerzo de von misses

Muestra que la carcasa trabajará en un esfuerzo no mayor a 21.506KN/m<sup>2</sup>, lo que indica que los materiales seleccionados son correctos para éste tipo de modelo.

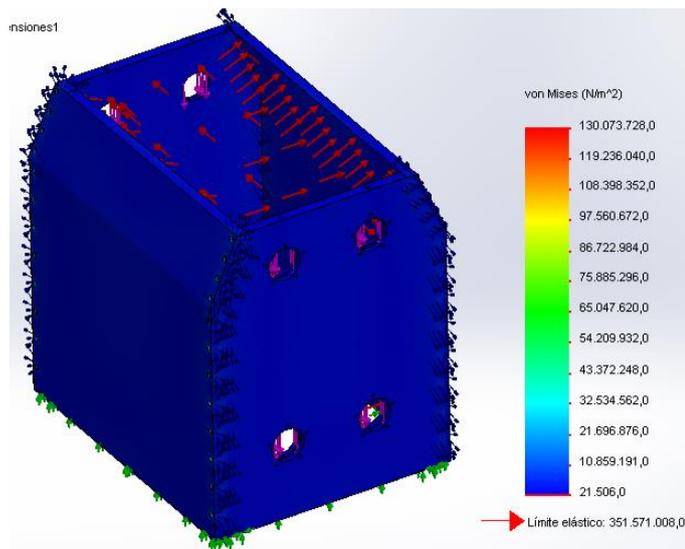


Figura 6-36: Esfuerzo de Von Misses  
Fuente: Autor

## Desplazamientos

Indica que las sujeciones realizadas por los pernos seleccionados son las adecuadas, trabajará con unos desplazamientos de un rango casi nulo, afirmando así que las dimensiones de la carcasa están diseñadas óptimamente.

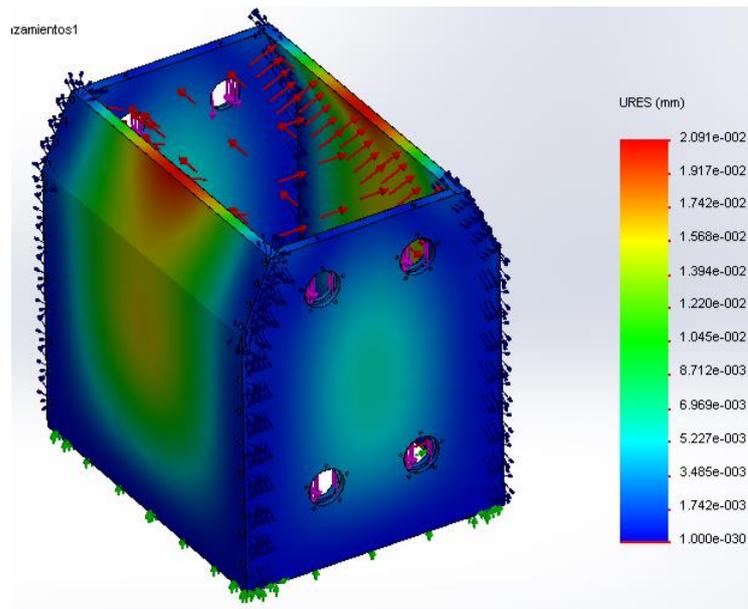


Figura 6-37: Desplazamientos de placas de carcasa

Fuente: Autor

### 6.6.3.15 SELECCIÓN DE ANILLOS DE SEGURIDAD

Para la selección de los anillos de seguridad solamente nos basaremos en el diámetro de eje seleccionado con anterioridad; guiándonos mediante (**Anexo 35**) obtenemos por norma DIN 471 las dimensiones necesarias para el anillo de seguridad. Observamos que por norma, no existe un anillo específico para el diámetro que requerimos, teniendo en cuenta que se realizarán destajes y reducciones de diámetro en el eje para que se ajuste el anillo, procedemos a seleccionar un anillo para el diámetro más cercano, el cual es de 50 mm; dándonos la siguiente configuración de dimensiones:

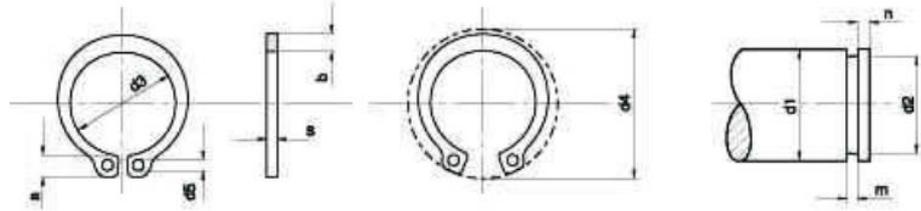


Figura 6-38: Dimensiones de anillo de seguridad  
Fuente: (Otia, 2015)

$d1 = 50\text{mm}$

$d3 = 45,8\text{mm}$

$d2 = 47\text{mm}$

$d4 = 64,5\text{mm}$

$m = 2,15\text{mm}$

Fuerza axial resistente = 55,9KN

Dureza de material = 49 HRc

#### 6.6.3.16 ESTRUCTURA o BANCADA

Se propone un modelo de estructura basada en las dimensiones totales y el peso del cuerpo de la máquina trituradora (Plano N° 19).

Por lo cual procederemos a calcular el número total de cargas que deberá soportar la estructura, para luego mediante software estructural comprobar la resistencia en base a los perfiles disponibles, y verificar el desplazamiento de los nodos o juntas.

#### Carga Muerta

Nos basamos en el peso total, es decir la sumatoria del peso de cada uno de los componentes:

Peso total =  $600,63 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 5892,18 \text{ N}$ .

### **Carga Viva**

La calcularemos mediante el peso crítico de trabajo de producto entrante que el modelo puede soportar por hora de trabajo, es decir 350 Kg.

$$W = 350 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 3433,5 \text{ N.}$$

### **Carga Sísmica**

Para evitar cualquier inconveniente en un caso fortuito, aumentamos por seguridad la carga sísmica que puede darse, así la estructura será analizada para todos los eventos posibles.

Carga sísmica para la zona centro, provincias: Cotopaxi-Tungurahua-Riobamba. (Jácome, 2010): 894,48 N

### **Carga Fuerza de Corte**

Solamente sumamos a todas las cargas anteriores la carga de fuerza necesaria que se produce al cortar las botellas pet, es decir: 72 N.

### **Carga Total a resistir por la estructura**

$C_t = \text{Carga muerta} + \text{carga viva} + \text{carga sísmica} + \text{carga de fuerza de corte.}$

$$C_t = 5892,18 \text{ N} + 3433,5 \text{ N} + 894,48 \text{ N} + 72 \text{ N.}$$

$$C_t = 10292,16 \text{ N.}$$

### **Creación de modelo 3D de la estructura**

Seleccionamos el sistema de unidades en N, mm, °C. Se grafica en el software el modelo 3D en base a las medidas necesitadas y se colocan los apoyos rígidos.

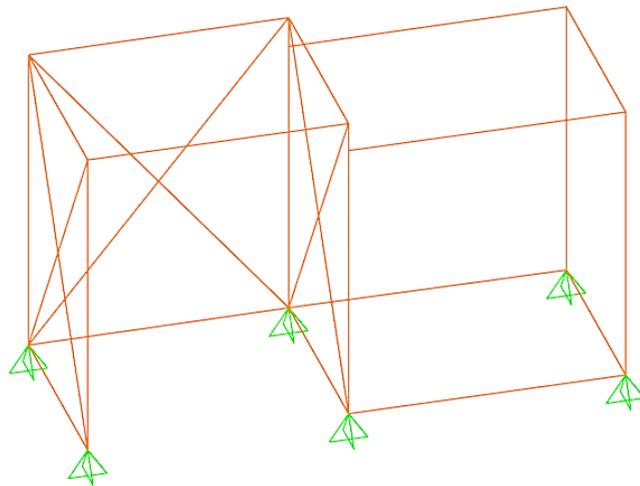


Figura 6-39: Modelo 3D de estructura  
Fuente: Autor

### Colocación de perfiles estructurales para análisis

Para el efecto usaremos perfiles estructurales que se pueden hallar con facilidad en el mercado.

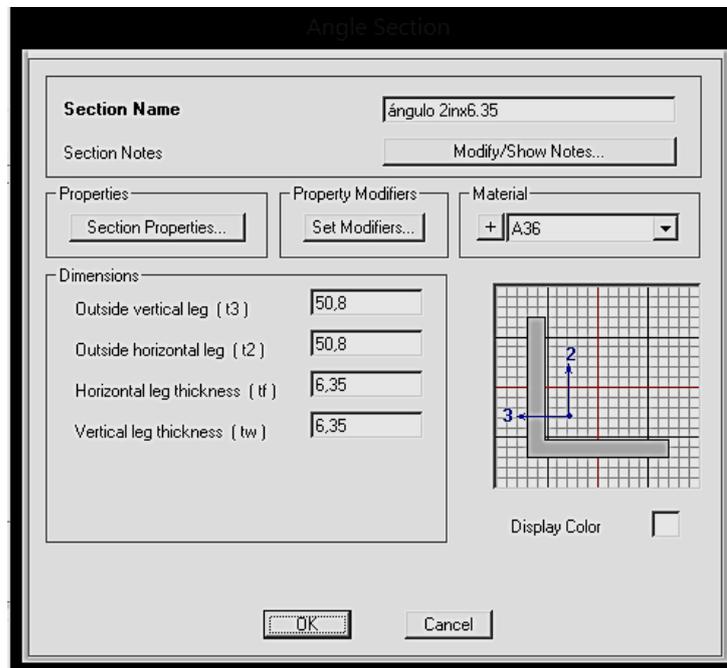


Figura 6-40: Propiedades de ángulo 2inx1/4  
Fuente: Autor

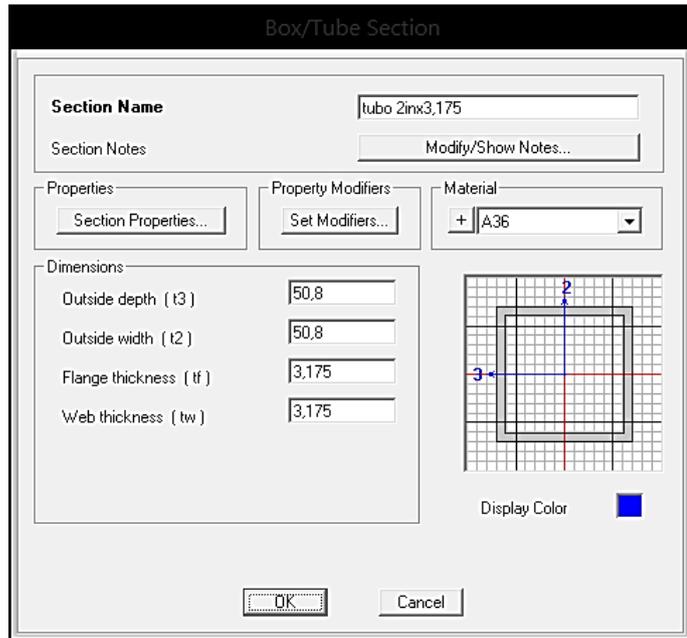


Figura 6-41: Propiedades de tubo estructural cuadrado 2inx1/8  
Fuente: Autor

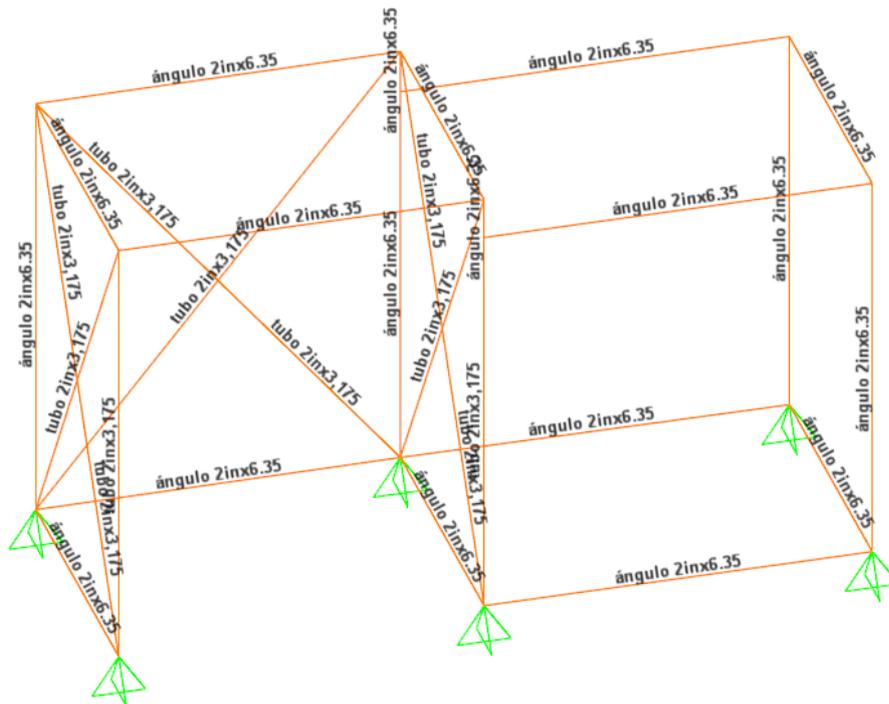


Figura 6-42: Colocación de perfiles sobre modelo 3D  
Fuente: Autor

## Parámetros de análisis

Definiremos los patrones de carga, el caso de carga y la combinación de carga para la simulación.

- Patrón de carga: Ubicamos la carga total como muerta ya que no es variable en todo el trabajo, y un valor de multiplicación de 1 para trabajar con los valores sin modificación.

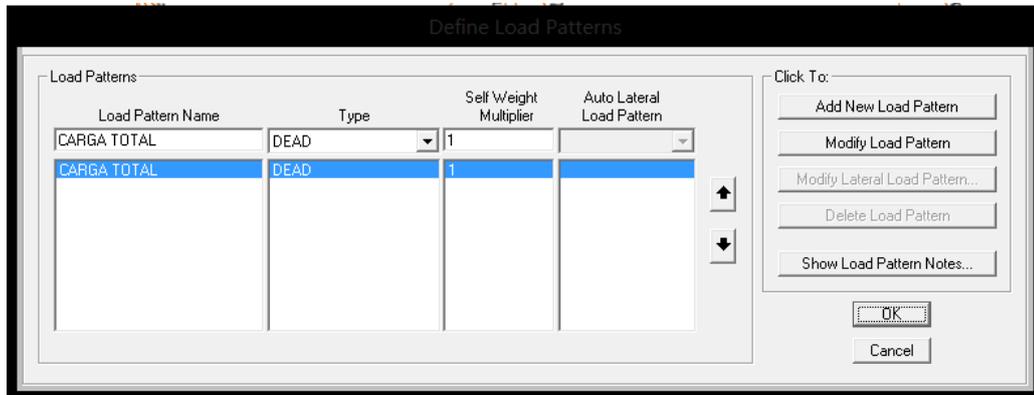


Figura 6-43: Patrón de carga

Fuente: Autor.

- Caso de Carga: Definimos el caso de carga a simular como estático por no haber cargas variables, con un factor de escala de 1 y de tipo lineal.

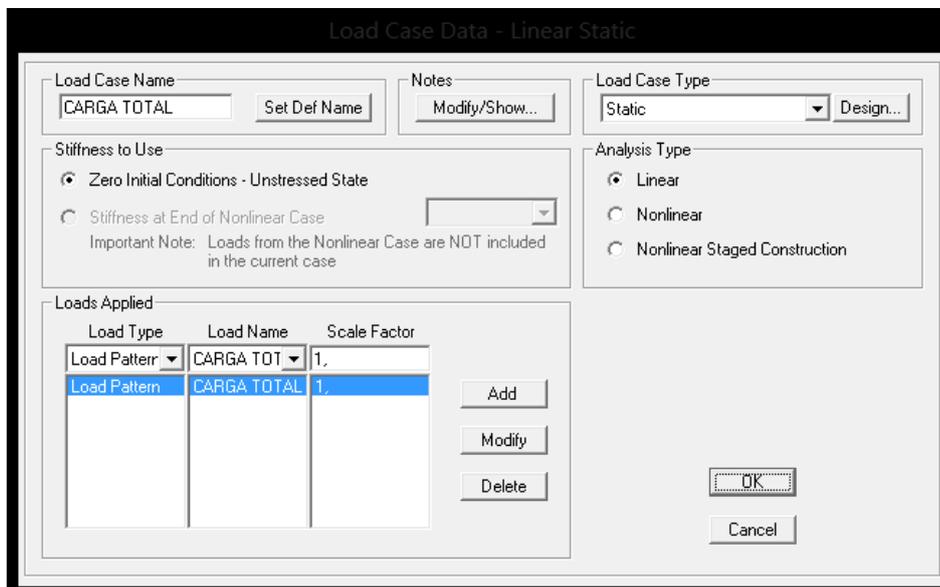


Figura 6-44: Caso de Carga

Fuente: Autor.

- Combinación de carga: Ubicamos la única combinación de carga a simular que es para la carga total.

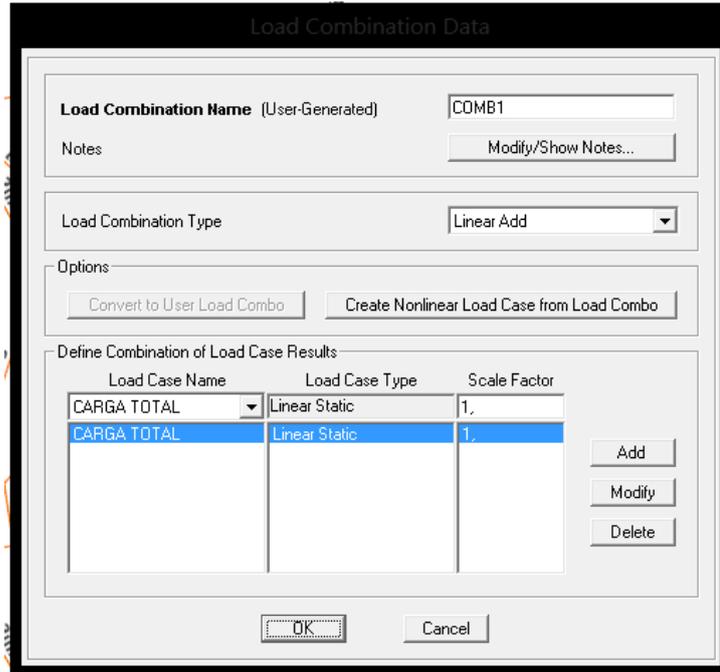


Figura 6-45: Combinación de carga a simular.  
Fuente: Autor

### Ubicación de carga sobre nodos de estructura para análisis

La carga total de 10292,16 N a resistir por la estructura se divide para 4, ya que son 4 los nodos principales de aguante; la resultante de: 2573,04 N, será ubicada en cada uno de ellos.

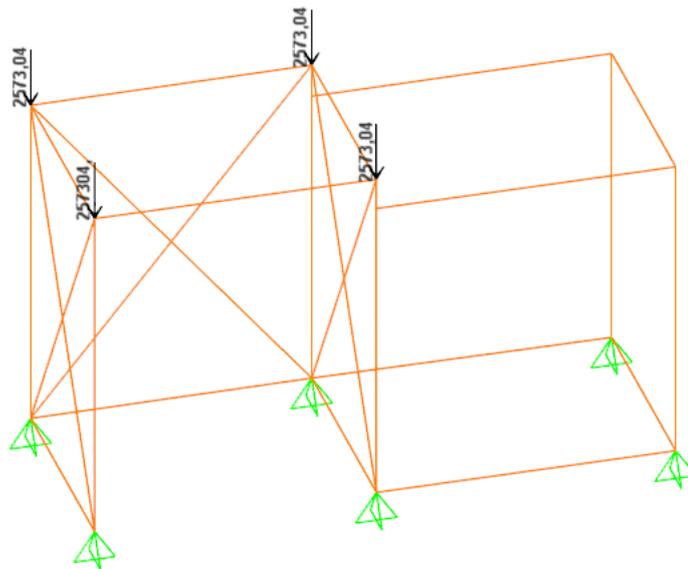


Figura 6-46: Ubicación de carga en nodos de apoyo  
Fuente: Autor

## Resultados de análisis

A continuación se mostrarán los desplazamientos que sufrirán los perfiles y de cada uno de los nodos o juntas de la estructura.

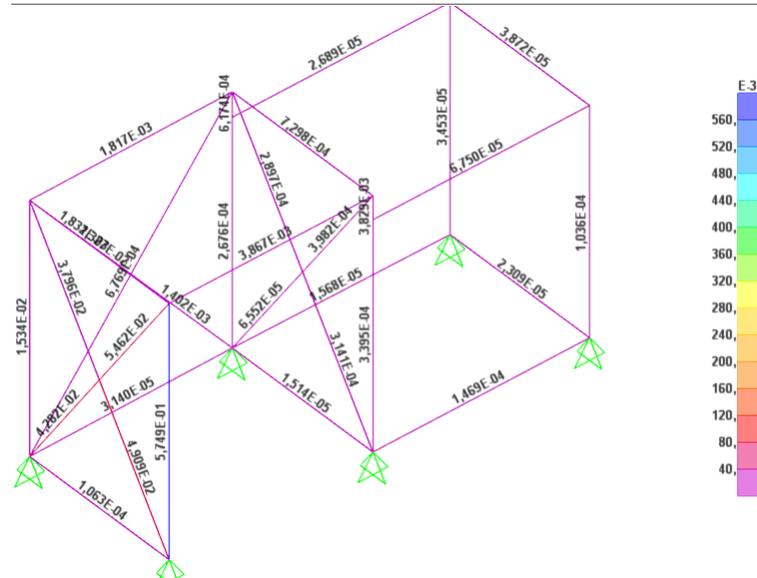


Figura 6-47: Deformación de perfiles

Fuente: Autor

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
4	COMB1	Combination	-1,175588	-0,311135	-1,270452	-0,000791	-0,003512	0,001057
19	COMB1	Combination	-0,008028	-0,167528	-0,246966	0,000352	-0,001507	0,000469
11	COMB1	Combination	-0,01487	-0,117179	-0,026165	0,000142	-0,000021	0,000758
10	COMB1	Combination	-0,016788	-0,11416	-0,023518	-0,000049	0,000012	0,000442

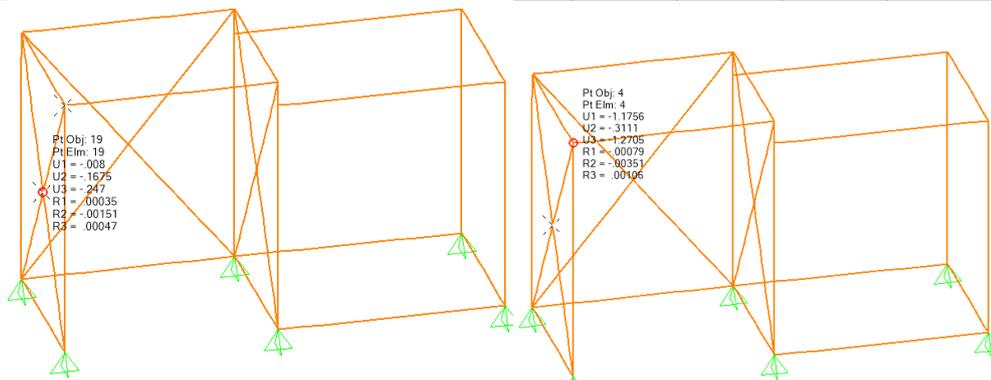


Figura 6-48: Desplazamientos de juntas

Fuente: Autor

Como se puede verificar las deformaciones de los perfiles y desplazamientos de las juntas son muy pequeños, como se observa en los nodos 4 y 19 los cuales presentan los mayores valores en deformación, siendo 1.27mm y 2.47 mm respectivamente, lo que nos muestra que la estructura soportará fácilmente las cargas.

### 6.6.3.17 SELECCIÓN DE MOTOR-REDUCTOR

Para reducir las revoluciones de entrada del motor (1750Rpm) a 700Rpm, hay varios métodos, como el de poleas, catalinas y cadena, el de variador de frecuencia y el de motor-reductor; sin dudas todos son usados en diferentes ámbitos, sin embargo cada uno es adecuado en una acción o aplicación específica, por el costo de implementación y funcionalidad.

Entendiendo esto y basándonos en lo investigado, optaremos por trabajar por el sistema de motor-reductor en línea, que nos permite mantener un torque adecuado, una baja pérdida de potencia y un costo reducido.

#### Cálculo de la potencia y torques requeridos para motor-reductor

$$P_{\text{mot-red}} = P_{\text{motor req}} * F_s \quad (89)$$

$$T_{\text{mot-red}} = T_{\text{req}} * F_s \quad (90)$$

Donde:

$P_{\text{mot-red}}$  = Potencia Motor-reductor

$P_{\text{motor req}}$  = Potencia neta del motor

$T_{\text{mot-red}}$  = Torque Motor-reductor

$T_{\text{req}}$  = Torque requerido (**Anexo 36**, más torque de trabajo de trituración).

$F_s$  = Factor de servicio (Mendez & Solano, 2010)

$$P_{\text{mot-red}} = 20 \text{ Hp} * 1,5$$

$$P_{\text{mot-red}} = 30 \text{ Hp.}$$

$$T_{\text{mot-red}} = (275,23 \text{ N.m} + 9 \text{ N.m}) * 1,5$$

$$T_{\text{mot-red}} = 426,345 \text{ N.m}$$

Teniendo éstos datos podemos seleccionar un motor-reductor coaxial de bloque sencillo, para un rango de trabajo medio mediante (**Anexo 37**).

### 6.6.3.18 SISTEMA DE ARRANQUE Y ELEMENTOS

#### Arranque directo

Se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla de forma directa a la red. El motor se basa en sus características naturales. A pesar de las ventajas que conlleva (sencillez, elevado par de arranque, rapidez, bajo coste), sólo es posible utilizar el arranque directo en los siguientes casos:

- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco,
- El par de arranque debe ser elevado.

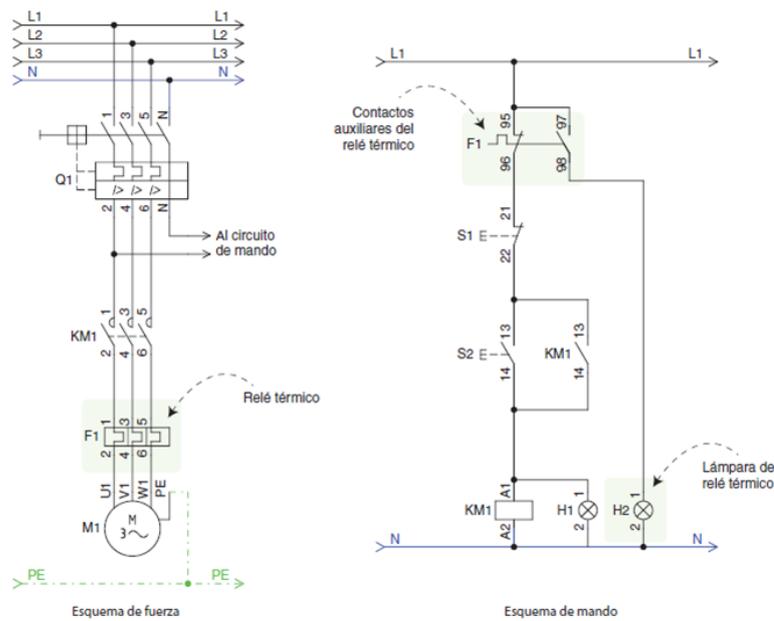


Figura 6-49: Esquemas de fuerza y mando para arranque directo  
Fuente: (WEG, 2015)

#### Cable Conductor

Seleccionaremos un cable para una temperatura de operación de 60 °C que es la más común, la resistencia a la corriente nominal del motor (49.4 A), debe ser dimensionada sobre el 125% según (NEC), por lo tanto:

$$\text{Corriente de diseño} = 1.25 \times 49.4 = 61,75 \text{ A.} \quad (91)$$

Mediante (**Anexo 38**) obtenemos un cable de las siguientes características:

Cable: AWG 6

Normas constructivas: NEMA WC-5; ASTM B172.

Espesor de aislamiento: 1,52 mm

Diámetro exterior: 8,38 mm

Capacidad de corriente: 80A

Tipo de cable: TW-F (Cobre de temple suave y recubrimiento de Cloruro de Polivinilo (PVC) resistente a la humedad).

Embalaje: A, E (Rollo de 100 m y carrete de 1000 m).

### **Protecciones para el motor**

Relé térmico y contactor

Se selecciona mediante los amperios de la carcasa del catálogo, que debe ser algo superior a la corriente nominal (49.4 A), y la potencia de trabajo. (**Anexo 39**):

Permite seleccionar un contactor WEG – CWM50, con corriente nominal de trabajo de 50 A y potencia de trabajo para 20 Hp.

Para obtener un trabajo eficiente, el catálogo muestra para contactor WEG – CWM50 el relé térmico WEG – RW67-2D.

Interruptor Termo-magnético

Para cual se lo selecciona mediante las curvas de disparo de corto circuito, las cuales se dividen en:

Curva B: Tiene como característica principal el disparo instantáneo para corrientes entre 3 a 5 veces la corriente nominal, siendo aplicados para lámparas, duchas, estufas, es decir circuitos de hogar.

Curva C: Tiene como característica el disparo instantáneo para corrientes entre 5 a 10 veces la nominal, siendo aplicadas para heladeras, máquinas, instalaciones industriales.

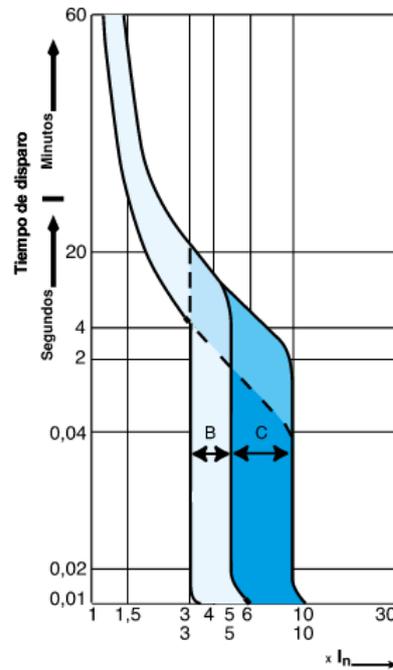


Figura 6-50: Curvas de disparo de corto circuito  
Fuente: Autor

Entonces se opta por la curva C para trabajos mayores, dándonos por **(Anexo 40)**:

Un interruptor Termo-magnético WEG-MDW-C50-4 tetrapolar.

Pulsadores

Mediante **(Anexo 41)**:

Se puede seleccionar cualquiera de la serie WEG-CSW-BF.

Como botón de paro se puede seleccionar de la serie WEG-CSW-BC.

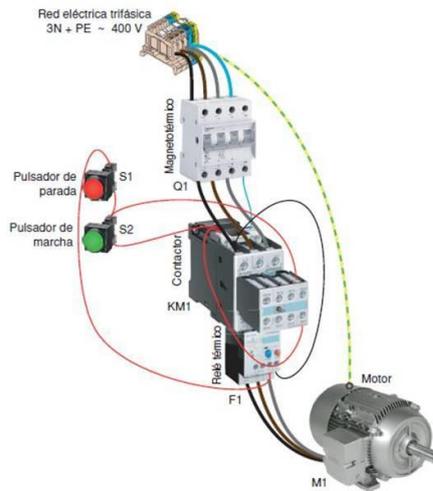


Figura 6-51: Conexión eléctrica para motor de 20 Hp  
Fuente: (WEG, 2015)

## 6.7 METODOLOGÍA

Concluido con el dimensionado de cada uno de los elementos que conforman la trituradora de botellas pet, citaremos sus características técnicas:

Tabla 6.37: Características técnicas de trituradora de botellas pet

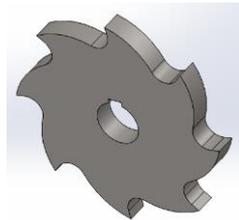
Capacidad de trituración	350Kg/h
Potencia de accionamiento	20Hp
Sistema de transmisión	Mecánico; Engranajes – Cadena catalina
Velocidad de trituración	700Rpm
Operación	Continua
Conexión de operación	Trifásica-220V
Alto	1,78m
Ancho	1,47m
Profundidad	0,71m
Peso Total	678.37Kg

Fuente: Autor

A continuación se describen los elementos principales de la máquina trituradora de botellas pet:

### 6.7.1 Cuchillas o disco de trituración

Las cuchillas van montadas sobre dos ejes, una montura en sentido contrario para producir el corte y cizalladura; es realizada sobre un acero AISI D3 de dureza HRc 66, la cual es obtenida al ser templada.

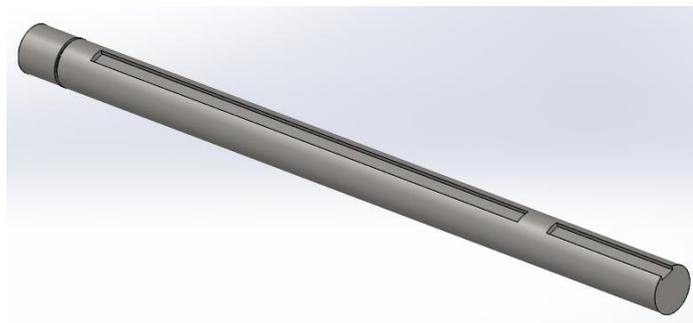


*Figura 6-52: Cuchilla de trituración*  
**Fuente:** Autor

Si se desea una intercalación en la línea de corte de las cuchillas, se puede realizar la construcción de la chaveta en distintos grados, esto no afectaría al trabajo individual de cada una.

### 6.7.2 Eje porta cuchillas n° 1

Fabricado de acero AISI 1018 HR, será el eje primordial que transmitirá el movimiento a la maquinaria ya que irá acoplado directamente con el mecanismo del moto-reductor.

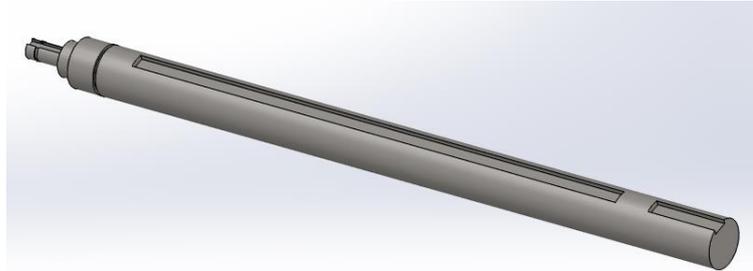


*Figura 6-53: Eje porta cuchillas N° 1*  
**Fuente:** Autor

Para su fijación y seguridad serán realizados canales donde se colocarán doubles anillos de retención.

### 6.7.3 Eje porta cuchillas n° 2

Fabricado de acero AISI 1018 HR, cuyas funciones serán, las de aguantar las cuchillas de corte y acoger a la catalina pequeña.

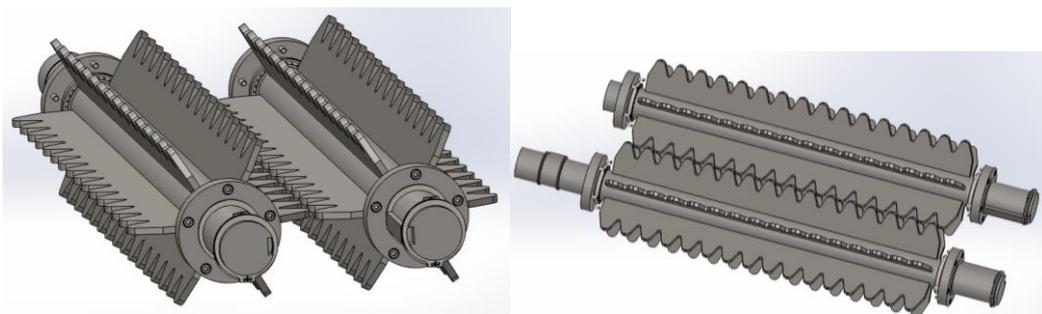


*Figura 6-54: Eje porta cuchillas N° 2*  
*Fuente: Autor*

Para su fijación y seguridad serán realizados canales donde se colocarán dobles anillos de retención.

### 6.7.4 Mecanismo de aplastamiento

Conformado por las aletas y sus ejes respectivos, giran a 70Rpm los que permite aplastar o simplemente quitar el aire a la botella que ingresa; en el eje de prensas N°1 irá acoplada la catalina conducida, que transmitirá el movimiento.



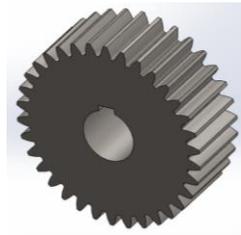
*Figura 6-55: Mecanismo de aplastamiento*  
*Fuente: Autor*

Para su fijación y seguridad serán realizados canales donde se colocarán dobles anillos de retención.

## 6.7.5 Mecanismos de transmisión de movimiento

### Engranaje

Formado por 34 dientes con un agujero interno de 2in, que se acoplará a cada uno de los ejes, será el encargado de transmitir el movimiento en cada una de las etapas del proceso de trituración.

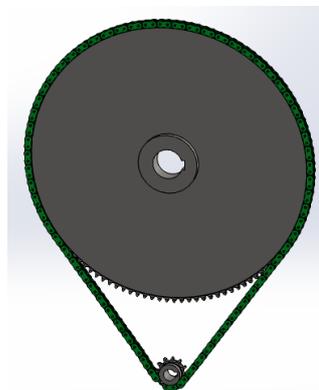


*Figura 6-56: Piñón de movimiento*  
*Fuente: Autor*

Será construido de acero AISI 1010 CD, y será montado con anillos de retención para evitar deslizamientos.

### Catalinas-Cadena

Permitirá transmitir el movimiento de un eje de trituración hacia un eje de etapa de aplastamiento, además que gracias a la relación de transmisión de 0,05 que nos ofrece, obtenemos las revoluciones adecuadas para el aplastamiento de la botella sin obtener grandes esfuerzos.

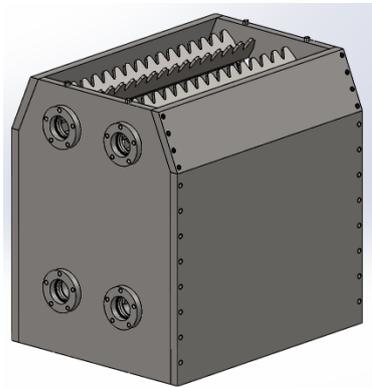


*Figura 6-57: Mecanismo Catalinas-Cadena*  
*Fuente: Autor*

Las catalinas podrán ser adquiridas, en caso de no hallarlas se las podrá construir de acero de transmisión típico, 1018 o 1020, teniendo en cuenta que se deberán templar los dientes para aumentar su rango de dureza.

### 6.7.6 Carcasa de placas atornilladas

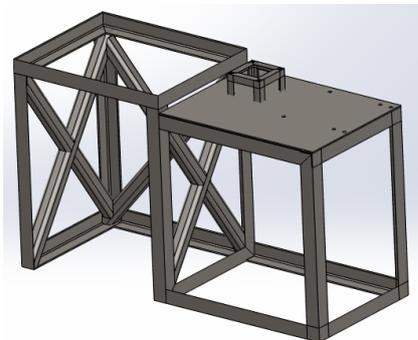
Cuya función es aguantar cada uno de los pesos de los componentes actuantes en cada etapa, por facilidad de ensamble y mantenimiento será armada a partir de pernos allen M6, brindándonos optimización para un re-diseño o mejoramiento.



*Figura 6-58: Carcasa de placas atornilladas*  
*Fuente: Autor*

### 6.7.7 Bancada

Encargada de soportar el peso de absolutamente todos los componentes incluyendo moto-reductor y el motor.



*Figura 6-59: Bancada*  
*Fuente: Autor*

Será construida mediante perfiles estructurales ASTM A36.

### 6.7.8 Criba

Permitirá la selección de grano adecuado a la salida de la etapa de trituración.



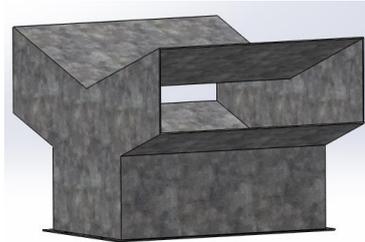
*Figura 6-60: Criba*

*Fuente: Autor*

Será construida mediante barolado en un acero galvanizado de espesor 3mm.

### 6.7.9 Tolva

Será de fácil montura mediante 4 pernos, permitirá el ingreso de las botellas.



*Figura 6-61: Tolva de ingreso*

*Fuente: Autor.*

### 6.7.10 Prototipo

Para poder comprobar que los resultados son los esperados, se procede a la construcción del sistema de corte por ser la parte fundamental de toda la maquinaria, por lo cual iremos detallando la construcción y ensamble de sus componentes.

> Montaje de motor y reductor de velocidad sobre la bancada.



*Figura 6-62: Montura de motor y reductor*

*Fuente: Autor*

> Construcción de los discos de trituración y separadores mediante fresadora hidro-copiadora.



*Figura 6-63: Discos de trituración y separadores*  
**Fuente: Autor**

> Construcción por fresadora y torno de los ejes porta cuchillas.



*Figura 6-64: Ejes porta cuchillas*  
**Fuente: Autor**

> Ubicación de las cuchillas y separadores sobre los ejes con chaveta de 10x10; Sujeción de los ejes sobre chumaceras.



*Figura 6-65: Cuchillas y separadores sobre eje.*  
**Fuente: Autor**

> Ensamble de las catalinas de movimiento en el reductor y en un eje.



*Figura 6-66: Ensamble de catalinas*  
**Fuente: Autor**

> Ensamble de los piñones de movimiento a los ejes.



*Figura 6-67: Piñones de movimiento*  
**Fuente: Autor**

> Mecanismo de trituración completamente ensamblado.



*Figura 6-68: Prototipo del mecanismo de trituración terminado*  
**Fuente: Autor**

> Colocación de Seguridades



*Figura 6-69 Seguridades de elementos*  
**Fuente:** Autor

> Trituración Obtenida



*Para una botella pequeña se obtiene un rango de granulometría de (6-8) mm*



*Para una botella mediana se obtiene un rango de granulometría de (6-12) mm.*



*Para una botella grande se obtiene un rango de granulometría de (8-12) mm.*

*Mostrándonos que cada una de las trituraciones logradas se hallan dentro del rango granulométrico correcto*

**Figura 6-70: Trituraciones Realizadas**

**Fuente: Autor.**

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

Se desarrollará la parte concerniente a costos constructivos, es decir costo de materiales y mano de obra, además con éste valor podremos calcular un estimado de cual será nuestra ganancia neta en el momento de poner en marcha nuestro modelo.

### 6.8.1 Costos de materiales y mano de obra

El costo de materiales y mano de obra necesarios para la fabricación del modelo se detallan a continuación:

Tabla 6.38: Costo de Materiales

Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Motor 20Hp	1	2500	2500
Motor-reductor	1	400	400
Cuchillas de trituración	11	140	1760
Separadores	11	15	165
Plancha AISI 1020 620x2080x20mm	1	200	200
Piñones AISI 1010	4	50	200
Eje AISI 1018 Ø2in L=2800mm	1	0.072\$/mm	201,6
Catalina 120 dientes paso 12,7mm	1	50	50
Catalina 12 dientes paso 12,7mm	1	8	8
Cadena 140 eslabones paso 12,7mm	1	30	30
Tubo cuadrado 2inx1/4 L=6000mm	1	17.17	17,17
Pletina 5inx1/4 L=3300mm	1	9.6	9,6
Ángulo estructural 2inx1/4	2	13.16	26,32
Plancha Tol galvanizado espesor=3mm	1	46.97	46,97
Rodamientos de pared rígidos de bolas para eje de 2in	4	2.70	10,8
Pernos allen M6	48	0.25	12
Pernos allen M5	40	0.25	10
Libra Electrodo E6011	2	5	10
TOTAL			5657,46

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que varias de partes serán adquiridas, se estimó un total de 200 horas de trabajo, siendo:

Tabla 6.39: Costo por mano de obra

Personal	Costo por hora \$	Horas de trabajo	Total \$
Mecánico	2.5	160	400
Ayudante	1.5	40	60
Costo total Mano de obra			460

Fuente: Autor

Por lo tanto el costo total de fabricación de la maquinaria será de:

Tabla 6.40: Costo total

	Costos \$
Materiales	5657,46
Mano de obra	460
Subtotal	6117,46
Varios 5%	305,873
<b>TOTAL</b>	<b>6423,33</b>

Fuente: Autor

Lo que nos muestra que su costo de construcción es reducido en alrededor de 4000\$ a los modelos hallados por fabricantes extranjeros sin contar precios de envío y desaduanización.

### 6.8.2 Recuperación de la inversión

El pet triturado procedente del reciclado mecánico es muy cotizado hoy en día, ya que permite su re-utilización para varios ámbitos comerciales, es decir su empleo tiene una infinidad de aplicaciones; por ende su costo trasciende a 85ctvs de dólar americano por kilogramo triturado de pet. Teniendo en cuenta esto, se puede realizar un análisis de ganancias previstas que produciría nuestro modelo en 1 año para recuperar la inversión inicial de 6423,33\$.

#### Utilidad por día

Optando por una margen de error, de 50Kg por pérdidas o falta de producto, y que solo se trabajarán 5 horas diarias (asumiendo los peores casos), tendríamos:

$$Ud1 = 300 \frac{Kg}{h} * 5 \text{ horas de trabajo diarias} * 0,85 \frac{\$}{Kg} = 1275\$.$$

Ahora, optaremos por asumir una gran falta de producto (botellas), por lo tanto tendríamos que comprar los kilogramos a terceras personas; el producto en bruto se comercializa a 35ctvs, lo que nos daría:

$$Ud2 = 300 \frac{Kg}{h} * 5 \text{ horas de trabajo diarias} * 0,35 \frac{\$}{Kg} = 525\$.$$

Entonces nuestra utilidad diaria total será:

$$UDT = Ud1 - Ud2 = 1275 - 525 = \$750$$

Debemos pensar en los peores casos, así que asumiremos que la máquina por falta de producto trabajará tan solo 2 días semanales, dándonos una utilidad semanal de:

$$US = UDT * \text{días de trabajo} = 750 * 2 = 1500\$$$

Ahora, suponiendo que se trabajarán solo 2 semanas durante el mes, tendríamos una utilidad mensual de:

$$UM = 1500 * 2 = 3000\$.$$

De lo cual deberemos restar el costo Kilovatio hora que deberemos pagar, por lo cual calcularemos el costo que provoca el uso del motor:

$$\text{Potencia} = 20HP * \frac{736Watts}{1Hp} = 14,72KWatts$$

$$\text{Consumo mensual} = 14,72KWatts * 20hrs = 294,4 KW.h$$

Considerando que en Ambato se cobra alrededor de 0,16 \$ por Kilovatio hora, tendríamos un costo de consumo mensual de:

$$\text{Consumo} = 294,4KW.h * 0,16\$/KW.h = 47,104\$.$$

Dádonos una utilidad mensual final de: 2952,9 \$

Y asumiendo que durante el año por circunstancias varias se trabajarán 8 meses, nos dará una utilidad anual de:

$$UA = 2952,9\$ * 8 = 23623,17 \$.$$

Dádonos a una tasa de descenso de 12% un VAN de:

$$\begin{aligned} VAN &= -P + \frac{UN_1}{(1+0,12)^1} \\ &= -6423,33 + \frac{23623,17}{(1+0,12)^1} = 14668,79\$ . \end{aligned}$$

Lo que nos muestra que en el primer año, aun teniendo una producción muy irregular lograríamos recuperar la inversión y obtener buenas ganancias

## **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

El sistema diseñado en este proyecto investigativo corresponde a las necesidades sanitarias del botadero de la ciudad relacionadas a desechos contaminantes de botellas pet.

Algo que se recomienda es realizar proyectos derivados de los pellets obtenidos en éste estudio ya que su campo de uso es demasiado amplio y los réditos económicos son considerables.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. *Aprendizaje*. (12 de Mayo de 2015). Obtenido de [aprendizaje.com](http://www.aprendizaje.com):  
[http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2\\_III\\_3.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_III_3.html)
- [2]. Arencón, D. (2009). *Fracture Toughness of Polypropylene-Based Particulate Composites.pdf*. Catalonia, España: Universidad Politécnica de Catalonia.
- [3]. Arias, D. E. (2012). *Estudio del Proceso de trituración de los residuos sólidos orgánicos para reducir la contaminación residual en el mercado mayorista de ambato*. Ambato, Ecuador.: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- [4]. Ayala, A. D. (2009). *Centro Móvil Triturador de PEt*. Culhuacán, México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- [5]. *Cero Grados*. (18 de septiembre de 2015). Obtenido de [0grados.com](http://www.0grados.com):  
<http://www.0grados.com/soldadura-metodos-y-fundamentos/>
- [6]. Corporation, P. (24 de Junio de 2015). *Polyram Corporation*. Obtenido de Polyram Products: <http://www.polyram.co.il/Polyram/Templates>
- [7]. Durney, C. (1985). *Machine Shop Practice* (Third ed.). Toronto: Pitman.
- [8]. *Ecured*. (20 de Noviembre de 2015). Obtenido de [ecured.com](http://www.ecured.com):  
[http://www.ecured.cu/index.php/Transmisi%C3%B3n\\_por\\_Engranaje](http://www.ecured.cu/index.php/Transmisi%C3%B3n_por_Engranaje)
- [9]. Engineers, S. o. (1962). *Fundamentals of tool Design* (Third ed.). New Jersey, United Estates: SME Publications.
- [10]. *Ensayo Izod*. (4 de Marzo de 2015). Obtenido de Scribd:  
<http://es.scribd.com/doc/99018034/Ensayo-Charpy-Izod#scribd>.
- [11]. Esposito, A. (1991). *Machine Design* (Second ed.). New York, United States: Delmar publishers Inc.

- [12].FAG, R. (2000). *Catálogo WL 41 520/3 sb*. Barcelona, España: FAG.
- [13].Goforth, B. (1994). *Close Tolerance Shredder*. United States: United States Patent.
- [14].GoodFellow. (1 de Mayo de 2015). *Grupo GoodFellow*. Obtenido de Grupo GoodFellow: <http://www.goodfellow.com/S/Politereftalato-de-Etileno.html>
- [15].Houghton, P. (1965). *The Milling Machine* (Third ed.). Birmingham: Crosby Lockwood ltd.
- [16].Jácome, J. L. (2010). *Estudio de métodos tecnológicos en el manejo adecuado de los desechos urbanos de polietileno (PE) para disminuir la contaminación ambiental en el cantón Píllaro*. Ambato, ECUADOR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- [17].Jaume, U. (15 de marzo de 2015). *Mecapedia*. Obtenido de Mecapedia.uji: [http://www.mecapedia.uji.es/transmision\\_por\\_cadena.htm](http://www.mecapedia.uji.es/transmision_por_cadena.htm)
- [18].Krar-Oswald. (1991). *Technology of Machine Tools* (Third ed.). Toronto, Canada: McGraw Hill.
- [19].Larburú, N. (1998). *Prontuario de Máquinas* (Décima ed.). Barcelona, España: Paraninfo.
- [20].Lee Whaley, R., & Zhao, H. (2013). *Plastic Waste Recycling Apparatus and System*. Michigan: United States Patent Application Publication.
- [21].Luna Puente, R., & Moreno Villanueva, E. (2009). *Diseño de Máquina Recicladora de PET*. Guanajuato, México: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL SUROESTE DE GUANAJUATO.
- [22].*M.Soldaduratechno*. (9 de Julio de 2015). Obtenido de Materias.fcyt: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-43.pdf>

- [23]. McCormac. (s.f.). *Diseño de estructuras Metálicas Métodos ASD* (Cuarta ed.). AlfaOmega.
- [24]. Mendez, C., & Solano, V. (2010). *Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad 1Ton/h para la empresa municipal de aseo de cuenca (EMAC)*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- [25]. Monge, J. (10 de Septiembre de 2015). *UOC*. Obtenido de UOC.edu: [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi\\_cuadrado.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf)
- [26]. Norton, R. (2011). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta ed.). México D.F, México: Pearson Education.
- [27]. Ortiz, A. V. (2013). *Diseño y simulación de una Máquina trituradora de plásticos de 15kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica*. Quito, Ecuador: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- [28]. Otia. (10 de Noviembre de 2015). Obtenido de Otia.com: <http://www.otia.com.ar/otia/CATALOGO%2006-2005.pdf>
- [29]. Pastor, M. (2000). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. Riobamba: FIM ESPOCH.
- [30]. Patters, R. (23 de Agosto de 2015). *Russian Patters*. Obtenido de Russian Patters: <http://russianpatents.com/catalog>
- [31]. Pozo, F., & Pilatasig, D. (2014). *Diseño y construcción de una máquina para moler plásticos P.E.T para la microempresa de reciclaje "Santa Anita" en el cantón Salcedo*. Salcedo: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
- [32]. Shigley, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica* (Octava ed.). (E. S.S, Ed.) México D.F., México: McGraw-Hill.

- [33]. *SMAW*. (4 de octubre de 2015). Obtenido de metfusion.wordpress.com: <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/posiciones-de-soldadura-smaw/>
- [34]. *solomantenimiento*. (25 de Junio de 2015). Obtenido de solomantenimiento.com: <http://www.solomantenimiento.com/articulos/m-reductores-motorreductores.htm>
- [35]. Stoff, Z. (1984). *Tablas para la industria metalúrgica* (Tercera ed.). Barcelona: Reverté.
- [36]. Vergara, M. (25 de Abril de 2015). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com): [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet)
- [37]. Welding, S. A. (2002). *Norma AWS D1.1*. ANSI.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### TABLA 3-Distribución Chi Cuadrado $\chi^2$

P = Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado, v = Grados de Libertad

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385

Fuente: (Monge, 2015)

## ANEXO 2

### Propiedades Físicas

Absorción de Agua - en 24 horas ( % )	0,1
Absorción de Agua - Equilibrio ( % )	<0,7
Densidad ( g cm <sup>-3</sup> )	1,3-1,4
Índice de Oxígeno Límite ( % )	21
Índice Refractivo	1,58-1,64
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Buena
Resistencia a los Ultra-violetas	Fair?

### Propiedades Mecánicas

Coefficient de Fricción	0,2-0,4
Dureza - Rockwell	M94-101
Módulo de Tracción ( GPa )	2-4
Relación de Poisson	0,37-0,44(oriented)
Resistencia a la Tracción ( MPa )	80, para filmes biax. 190-260
Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	13-35

Fuente: (GoodFellow, 2015)

## ANEXO 3

# BÖHLER K100

### Physikalische Eigenschaften

### Physical properties

Dichte bei / Density at .....	20°C .....	7,70 .....	kg/dm <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit bei / Thermal conductivity at .....	20°C .....	20,0 .....	W/(m.K)
Spezifische Wärme bei / Specific heat at .....	20°C .....	460 .....	J/(kg.K)
Spez. elektr. Widerstand bei / Electrical resistivity at .....	20°C .....	0,65 .....	Ohm.mm <sup>2</sup> /m
Elastizitätsmodul bei / Modulus of elasticity at .....	20°C .....	210 x 10 <sup>3</sup> .....	N/mm <sup>2</sup>

Wärmeausdehnung zwischen 20°C und ...°C, 10 <sup>-6</sup> mv/(m.K) bei  Thermal Expansion between 20°C and ...°C, 10 <sup>-6</sup> mv/(m.K) at	Temperatur / Temperature	10 <sup>-6</sup> mv/(m.K)
		100°C
	200°C	11,0
	300°C	11,0
	400°C	11,5
	500°C	12,0
	600°C	12,0

Fuente: (Bohler, 2015)

## ANEXO 4

**Tabla A-20**

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ( $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{4}$  pulg)]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

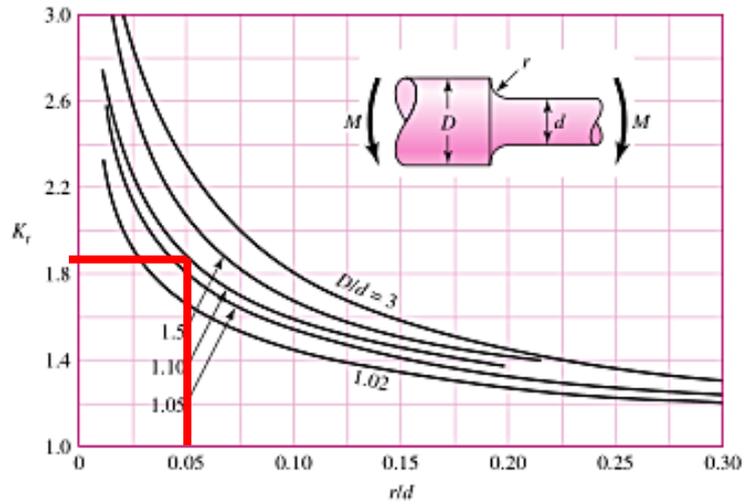
1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa- miento	Resistencia		Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
			a la tensión, MPa (kpsi)	la fluencia, MPa (kpsi)			
G10060	1006	HR	300 [43]	170 [24]	30	55	86
		CD	330 [48]	280 [41]	20	45	95
G10100	1010	HR	320 [47]	180 [26]	28	50	95
		CD	370 [53]	300 [44]	20	40	105
G10150	1015	HR	340 [50]	190 [27.5]	28	50	101
		CD	390 [56]	320 [47]	18	40	111
G10180	1018	HR	400 [58]	220 [32]	25	50	116
		CD	440 [64]	370 [54]	15	40	126
G10200	1020	HR	380 [55]	210 [30]	25	50	111
		CD	470 [68]	390 [57]	15	40	131
G10300	1030	HR	470 [68]	260 [37.5]	20	42	137
		CD	520 [76]	440 [64]	12	35	149
G10350	1035	HR	500 [72]	270 [39.5]	18	40	143
		CD	550 [80]	460 [67]	12	35	163
G10400	1040	HR	520 [76]	290 [42]	18	40	149
		CD	590 [85]	490 [71]	12	35	170
G10450	1045	HR	570 [82]	310 [45]	16	40	163
		CD	630 [91]	530 [77]	12	35	179
G10500	1050	HR	620 [90]	340 [49.5]	15	35	179
		CD	690 [100]	580 [84]	10	30	197
G10600	1060	HR	680 [98]	370 [54]	12	30	201
G10800	1080	HR	770 [112]	420 [61.5]	10	25	229
G10950	1095	HR	830 [120]	460 [66]	10	25	248

Fuente: (Shigley, 2008) Apéndice A; pág 1020

## ANEXO 5

**Figura A-15-9**

Eje redondo con filete en el hombro en flexión.  $\sigma_0 = Mc/I$ , donde  $c = d/2$  y  $I = \pi d^4/64$ .



Fuente: (Shigley, 2008) Apéndice A; pág 1008

## ANEXO 6

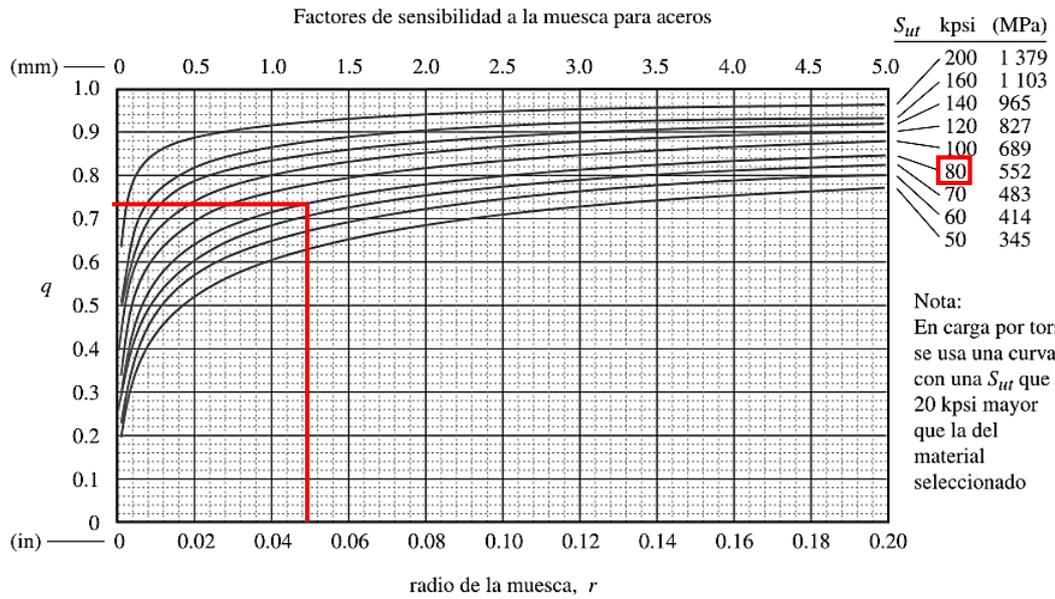
**Tabla 4-6**

Constante de Neuber para aceros

$S_{ut}$ (kspi)	$\sqrt{a}$ (in <sup>0.5</sup> )
50	0.130
55	0.118
60	0.108
70	0.093
80	0.080
90	0.070
100	0.062
110	0.055
120	0.049
130	0.044
140	0.039
160	0.031
180	0.024
200	0.018
220	0.013
240	0.009

Fuente: (Shigley, 2008) Tabla 4-6; pág 276

## ANEXO 7

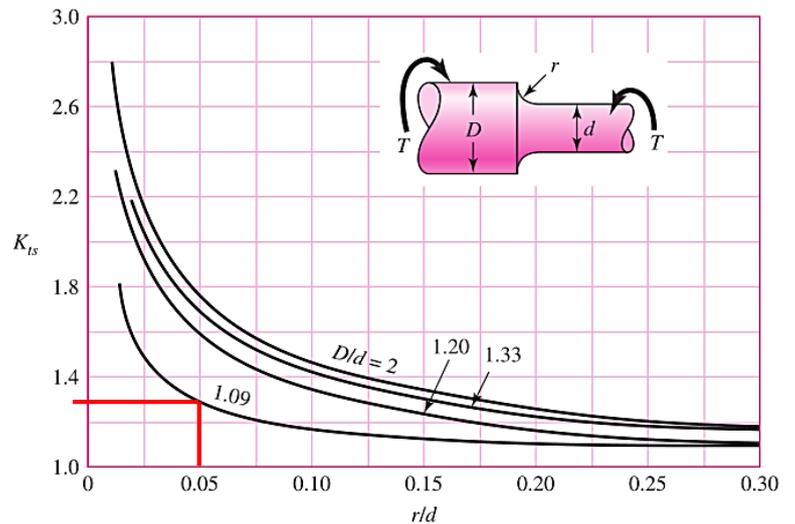


Fuente: (Shigley, 2008) Fig 4.36; pág 274

## ANEXO 8

### Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión.  $\tau_0 = Tc/J$ , donde  $c = d/2$  y  $J = \pi d^4/32$ .



Fuente: (Shigley, 2008) Apéndice A; pág 1008

## ANEXO 9

**Tabla 6-2**

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S<sub>ult</sub></i> kpsi	<i>S<sub>ult</sub></i> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Shigley, 2008) Tabla 6-2; pág 280

## ANEXO 10

Chavetas y lengüetas									
Chavetas y chavetas embutidas Unión de presión por cuña				Chaveta de disco Unión de arrastre sin apriete					
DIN 6886 (Dic. 67)				DIN 6888 (Agos.56)					
A extremos redondos (chaveta engastada)		B extremos rectos (chaveta de arrastre)							
Inclínación 1:100				Inclínación 1:100					
h es el extremo grueso de la chaveta				Designación de una lengüeta de $b = 4$ , $h = 5$ : Chaveta de disco 4 x 5 DIN 6888					
Design. d. una chaveta: forma A; ancho $b = 20$ mm; altura $h = 12$ mm; long. $L = 125$ mm; material St 60 Chav. A 20x12x125 DIN 6886				Designación de una lengüeta de $b = 4$ , $h = 5$ : Chaveta de disco 4 x 5 DIN 6888					
Para ejes de	Chaveta anch. x alt.	Profund. del chavetero del eje	Profund. del chavetero del cubo	Para ejes de	Lengüeta			Prof. chavetero eje	Profund. chav. cubo
$\varnothing D$	$b \times h$	$t_1$	$t_2$	$\varnothing D$	Ancho $b$	Altura $h$	Longitud $l$	$D_2$	$t_1$
10...12	4 x 4	2,5 + 0,1	1,2 + 0,1	6...8	2	2,6	6,76	7	1,8
12...17	5 x 5	3 + 0,1	1,7 + 0,1	8...10	3	3,7	9,66	10	2,9
17...22	6 x 6	3,5 + 0,1	2,2 + 0,1	10...12	4	5	12,65	13	3,8
22...30	8 x 7	4 + 0,2	2,4 + 0,2	12...17	5	6,5	15,72	16	5,3
30...38	10 x 8	5 + 0,2	2,4 + 0,2	17...22	6	7,5	18,57	19	6,0
38...44	12 x 8	5 + 0,2	2,4 + 0,2	22...30	7	8,5	21,63	22	7,0
44...50	14 x 9	5,5 + 0,2	2,9 + 0,2						
50...58	16 x 10	6 + 0,2	3,4 + 0,2						
58...65	18 x 11	7 + 0,2	3,4 + 0,2						
65...75	20 x 12	7,5 + 0,2	3,9 + 0,2						

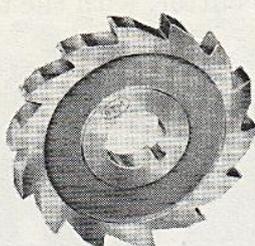
Fuente: (Stoff, 1984) DIN 6886; pág 139

## ANEXO 11

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción en el área, %	Dureza Brinell
1030	TyR*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	TyR*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	TyR*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	TyR*	540 (1 000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	TyR*	650 (1 200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalizado	925 (1 700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Recocido	870 (1 600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	TyR	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	TyR	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	TyR	650 (1 200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalizado	900 (1 650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Recocido	790 (1 450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149
1050	TyR*	205 (400)	1 120 (163)	807 (117)	9	27	514
	TyR*	425 (800)	1 090 (158)	793 (115)	13	36	444
	TyR*	650 (1 200)	717 (104)	538 (78)	28	65	235
	Normalizado	900 (1 650)	748 (108)	427 (62)	20	39	217

Fuente: (Shigley, 2008)Tabla A-21; pág 1021

## ANEXO 12



*By courtesy of The Brooke Tool Manufacturing Co., Ltd., Birmingham.*

Dia. of cutter.	Thickness.	Bore.
2½	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2	1.000
3	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4	1.250
3½	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8	1.250
4	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1	1.250
5	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1	1.500
5	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1	1.750
6	1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1	2.000

Fuente: (Houghton, 1965) pág 77

## ANEXO 13

**Número de dientes**

Para el fresado de metales ligeros y de baja resistencia se dispondrán fresas de número de dientes reducido y diámetro pequeño con ángulo de la hélice ( $\lambda$ ) grande; para materiales duros y tenaces las fresas serán de un número de dientes elevado y de gran diámetro; para el fresado de materiales de dureza media se tomarán fresas de número de dientes y diámetros medios o normales.

**FRESAS DE ACERO RÁPIDO. – VALORES INFORMATIVOS**

Número de dientes de la fresa		10	20	30	40	50	63	80	100	125	160
Metales de baja resistencia	Fresas de cilindrar				8	8	8	10			
	Fresas de refrentar				8	8	8	10			
	Fresas de ranurar						16	18	20	22	
	Fresas de mango	4	4	6	8						
Metales de dureza media	Fresas de cilindrar						8	10	12	14	
	Fresas de refrentar						8	10	12	14	
	Fresas de ranurar							20	22	24	28
	Fresas de mango		6	8	10	12					
Metales duros y tenaces	Fresas de cilindrar							10	12	14	16
	Fresas de refrentar							10	12	14	16
	Fresas de ranurar								22	24	28
	Fresas de mango		8	10	12	14					

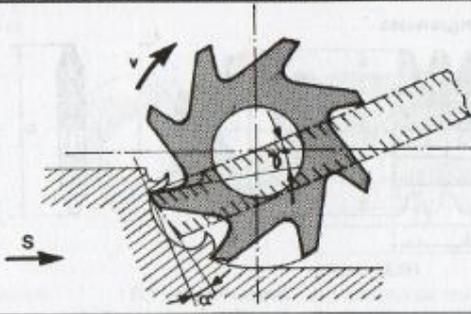
Fuente: (Larburú, 1998) pág 432

## ANEXO 14

**DENTADO DE LAS FRESAS**  
**ÁNGULOS DE CORTE Y NÚMERO DE DIENTES**

TABLA 17 . 11

**Ángulos de los dientes**

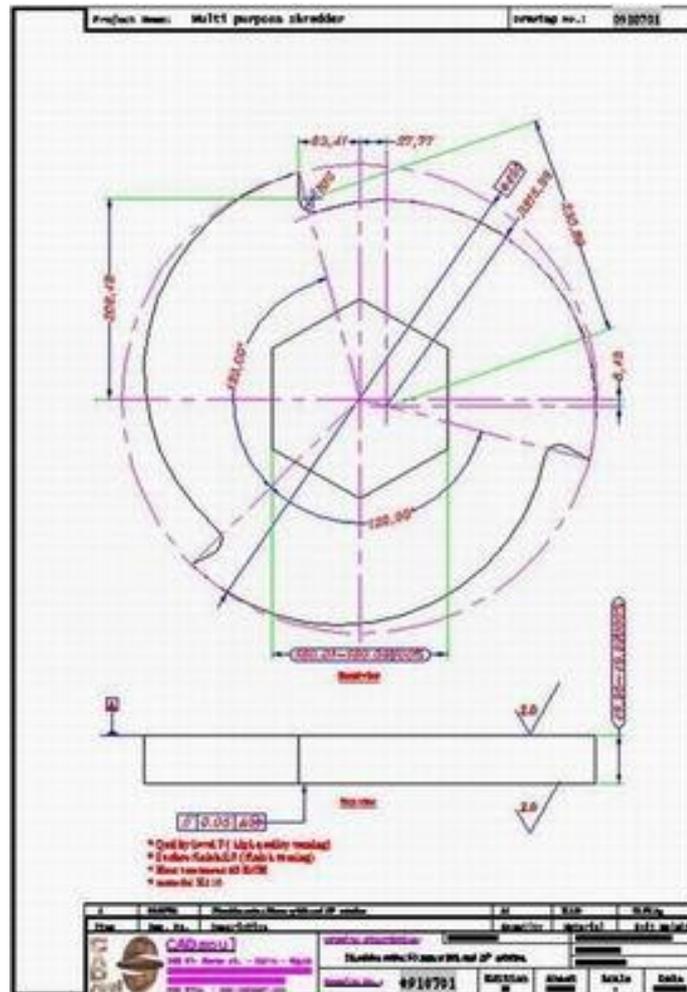
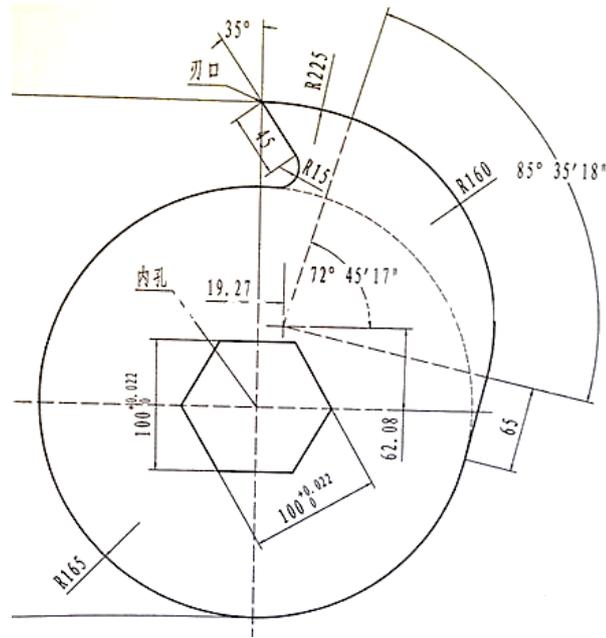


**FRESAS DE ACERO RÁPIDO. – VALORES INFORMATIVOS**

Materiales	Fresas de cilindrar		Fresas de refrentar		Fresas de ranurar		Fresas de manguito		Fresas con dientes de metal duro	
	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$
Acero 60-85 kg/mm <sup>2</sup>	6°	12°	6°	12°	6°	12°	6°	12°	12°	4°
Acero 90-110 kg/mm <sup>2</sup>	5°	8°	5°	8°	5°	8°	5°	8°	12°	8°
Acero 150 kg/mm <sup>2</sup>	6°	8°	6°	8°	6°	8°	6°	8°	6°	0°
Acero fundido 50 kg/mm <sup>2</sup>	6°	8°	6°	8°	5°	6°	5°	6°	6°	0°
Acero fundido 50-80 kg/mm <sup>2</sup>	6°	8°	6°	8°	6°	6°	6°	6°	4°	0°
Fundición gris 180 HB	6°	8°	6°	8°	5°	8°	6°	6°	6°	10°
Fundición dura 250 HB	5°	6°	5°	6°	4°	5°	4°	5°	4°	0°
Cobre 60-80 HB	8°	20°	8°	20°	8°	15°	8°	15°	8°	20°
Bronce 100 HB	6°	12°	6°	15°	6°	15°	6°	10°	10°	8°
Latón 80-120 HB	6°	8°	6°	8°	6°	6°	6°	6°	8°	16°
Aluminio 20 kg/mm <sup>2</sup>	8°	25°	8°	25°	8°	20°	8°	20°	10°	30°
Aluminio aleado 20-25 kg/mm <sup>2</sup>	6°	20°	6°	20°	6°	16°	6°	16°	10°	18°
Aleaciones de magnesio 20 kg/mm <sup>2</sup>	8°	20°	8°	20°	6°	16°	6°	16°	8°	18°
Plásticos	8°	10°	8°	10°	6°	10°	6°	10°	8°	16°
Plásticos prensados	6°	20°	6°	20°	6°	16°	6°	16°	8°	18°

Fuente: (Larburú, 1998) pág 432

# ANEXO 15



Fuentes: (Lee Whaley & Zhao, 2013); (Goforth, 1994); (Patents, 2015)

## ANEXO 16

Power versus torque and motor velocity in electric motors are indicated below:

Power		Motor Velocity (rpm)														
		3450			2000			1750			1000			500		
hp	KW	Torque														
		(in lbf)	(ft lbf)	(Nm)	(in lbf)	(ft lbf)	(Nm)	(in lbf)	(ft lbf)	(Nm)	(in lbf)	(ft lbf)	(Nm)	(in lbf)	(ft lbf)	(Nm)
1	0.75	18	1.5	2.1	32	2.6	3.6	36	3.0	4.1	63	5.3	7.1	126	10.5	14.2
1.5	1.1	27	2.3	3.1	47	3.9	5.3	54	4.5	6.1	95	7.9	10.7	189	15.8	21.4
2	1.5	37	3.0	4.1	63	5.3	7.1	72	6.0	8.1	126	10.5	14.2	252	21.0	28.5
3	2.2	55	4.6	6.2	95	7.9	10.7	108	9.0	12	189	15.8	21.4	378	31.5	42.7
5	3.7	91	7.6	10	158	13.1	18	180	15	20	315	26.3	36	630	52.5	71
7.5	5.6	137	11	15	236	20	27	270	23	31	473	39	53	945	79	107
10	7.5	183	15	21	315	26	36	360	30	41	630	53	71	1260	105	142
15	11	274	23	31	473	39	53	540	45	61	945	79	107	1891	158	214
20	15	365	30	41	630	53	71	720	60	81	1260	105	142	2521	210	285
25	19	457	38	52	788	66	89	900	75	102	1576	131	178	3151	263	356
30	22	548	46	62	945	79	107	1080	90	122	1891	158	214	3781	315	427
40	30	731	61	83	1260	105	142	1441	120	163	2521	210	285	5042	420	570
50	37	913	76	103	1576	131	178	1801	150	204	3151	263	356	6302	525	712
60	45	1096	91	124	1891	158	214	2161	180	244	3781	315	427	7563	630	855
70	52	1279	107	145	2206	184	249	2521	210	285	4412	368	499	8823	735	997
80	60	1461	122	165	2521	210	285	2881	240	326	5042	420	570	10084	840	1140
90	67	1644	137	186	2836	236	321	3241	270	366	5672	473	641	11344	945	1282
100	75	1827	152	207	3151	263	356	3601	300	407	6302	525	712	12605	1050	1425
125	93	2283	190	258	3939	328	445	4502	375	509	7878	657	891	15756	1313	1781
150	112	2740	228	310	4727	394	534	5402	450	611	9454	788	1069	18907	1576	2137

Fuente: (engineeringtoolbox,2015)

## ANEXO 17



**aceroscol** s.a.s.  
la compañía de sus aceros

**ACEROS PARA HERRAMIENTAS**  
**SAE D3**

SAE D3	COMPOSICIÓN QUÍMICA								PROPIEDADES MECÁNICAS		
	C	Mn	P	S	Si	Cr	V	W	DUREZA HRC	Resistencia a la Tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/mm <sup>2</sup>
	2.00/2.35	0.25/0.45	0.04 max.	0.04 max.		11.0 / 13.0	1.00 max.	1.00 max.			
									62 60 55 50 45	309 294 261 228 190	224 204 180 156 128
TRATAMIENTO TÉRMICO											
TRATAMIENTO		TEMPERATURA °C		ENFRIAMIENTO		DUREZA		RC		HBN	
Recocido		870-900°C		Horno						255 max.	
Temple		925-980°C		Aire/Sales						66 max.	
Revenido		200-540°C								56-62	
CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES											
<b>CARACTERÍSTICAS:</b> Posee gran resistencia al desgaste, alta dureza superficial, gran estabilidad dimensional y resistencia a la compresión. Alta templabilidad aunque menor a la del AISI D2.											
<b>APLICACIONES:</b> Herramientas para corte de piezas (punzonado, cizallado etc.) cizallas circulares, fresas para madera, brocas, buriles, dados para extrusión en frío; rodillos para formar tubos y perfiles, matricería y troquelaría. Dureza obtenida después de tratamiento térmico 61 - 63 HRC.											
NORMAS EQUIVALENTES											
Afnor(Fr.)M Z200 C12 - BS (Ingl) BD3 - Din (Alem)...12080 - Jis (Jap)...S KD1 - UNI (ITAL) X210 Cr13 KU - AISI / SAE... D3											

Fuente: (aceroscol, 2015)

## ANEXO 18

precisar con los siguientes valores:

$f_s = 1,5 \dots 2,5$  para exigencias elevadas

$f_s = 1,0 \dots 1,5$  para exigencias normales

$f_s = 0,7 \dots 1,0$  para exigencias reducidas

Fuente: (FAG, 2000); pág 30

## ANEXO 19

<b>Transmisiones de maquinaria en general</b>	
Transmisiones universales	2 ... 3
Motoreductores	2 ... 3
Grandes transmisiones estacionarias	3 ... 4,5
<b>Manutención</b>	
Cintas transportadoras para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5,5
Rodillos de cintas transportadoras para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5
Rodillos para cintas transportadoras en general	2,5 ... 3,5
Tambores para cinta transportadora	4 ... 4,5
Excavadoras de rotopalas, accionamiento	2,5 ... 3,5
Excavadoras de rotopalas, rotopalas	4,5 ... 6
Excavadoras de rotopalas, accionamiento de la rueda	4,5 ... 5,5
Poleas de extracción	4 ... 4,5
Poleas de cable	2,5 ... 3,5
<b>Bombas, ventiladores, compresores</b>	
Ventiladores, soplantes	3,5 ... 4,5
Grandes soplantes	4 ... 5
Bombas de émbolo	3,5 ... 4,5
Bombas centrifugas	3 ... 4,5
Bombas hidráulicas de émbolo, axiales y radiales	1 ... 2,5
Transmisiones de bombas	1 ... 2,5
Compresores	2 ... 3,5
<b>Centrifugadoras, batidoras</b>	
Centrifugadoras	2,5 ... 3
Grandes batidoras	3,5 ... 4
<b>Machacadoras, molinos, cribas, etc.</b>	
Machacadoras de mandíbulas	3 ... 3,5
Trituradoras, machacadoras de rodillos	3 ... 3,5
Molinos de mandíbulas, de impacto y	

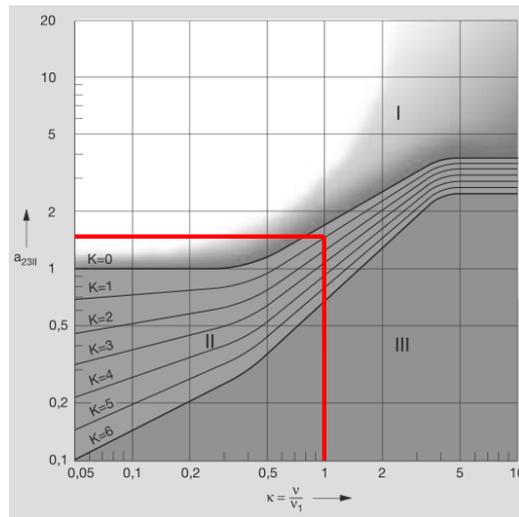
Fuente: (FAG, 2000), pág 38

## ANEXO 20

▼ Factor $a_1$						
Probabilidad de fallo %	10	5	4	3	2	1
Vida a fatiga	$L_{10}$	$L_5$	$L_4$	$L_3$	$L_2$	$L_1$
Factor $a_1$	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

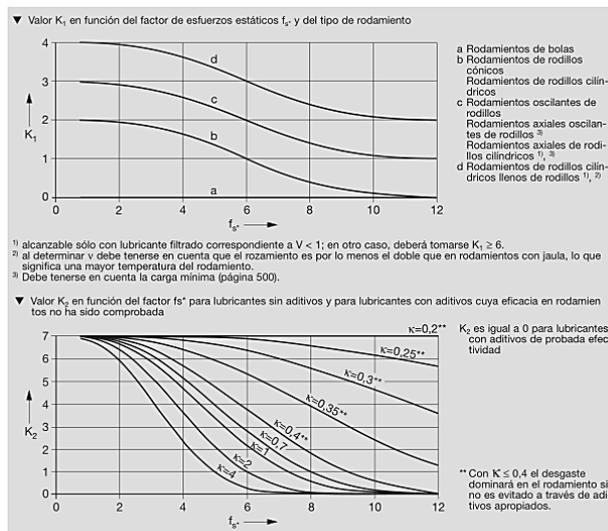
Fuente: (FAG, 2000), pág 40

## ANEXO 21



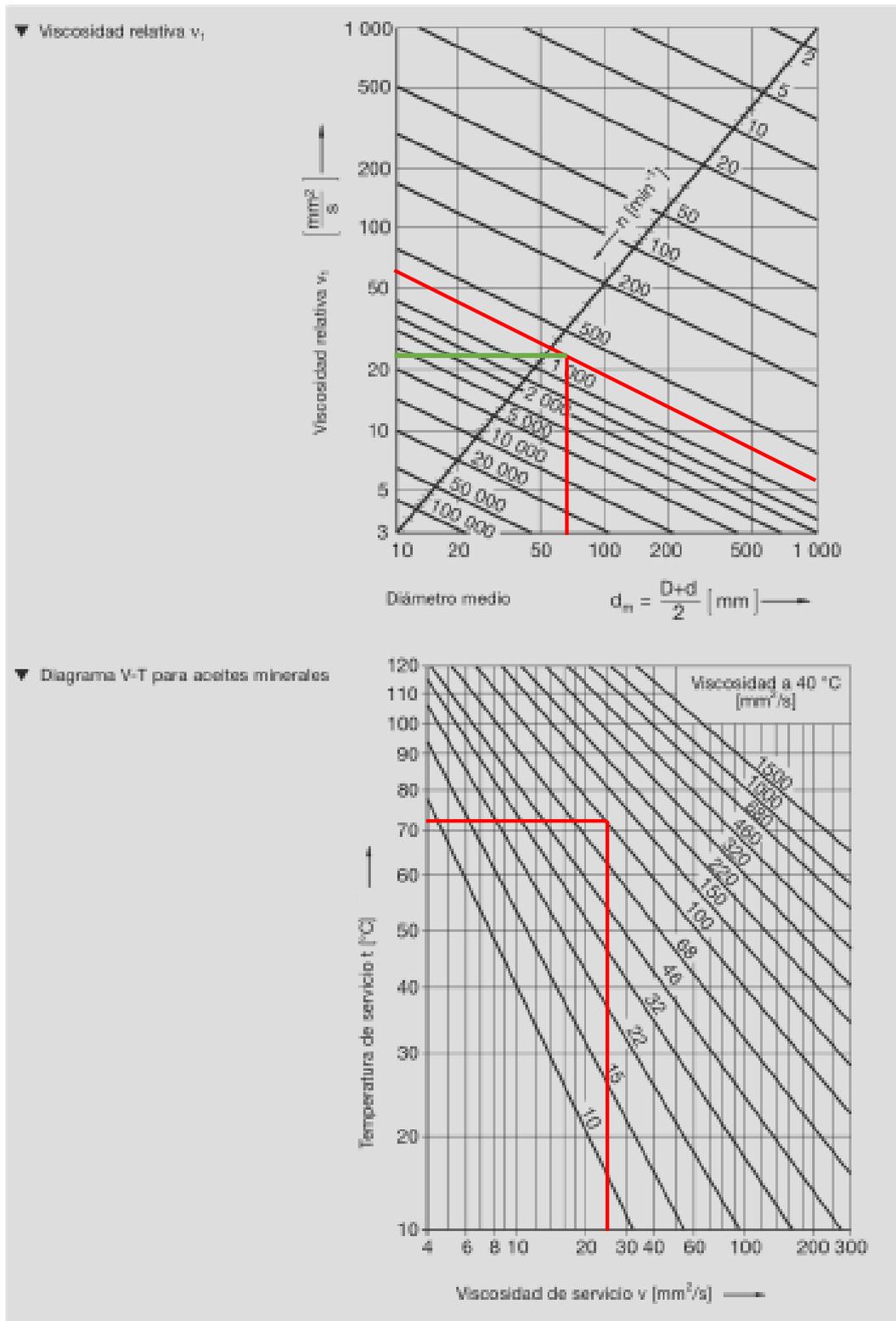
Fuente: (FAG, 2000), pag 45

### 21.2



Fuente: (FAG, 2000), pág 44

### 21.3

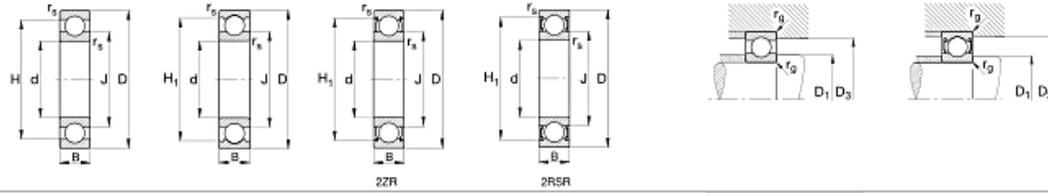


Fuente: (FAG, 2000), 43

## ANEXO 22

### Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera

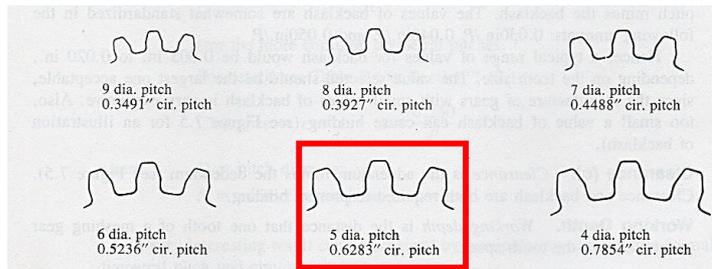
Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si  $C_u/P_2 \leq 8$ , ver Pág.41.



Eje	Dimensiones							Peso ~ kg	Capacidad de carga		Velocidad límite min <sup>-1</sup>	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG	Medidas auxiliares			
	d	D	B	r <sub>s</sub> min	H	H <sub>1</sub>	J		dyn. C	stat. C <sub>0</sub>				D <sub>1</sub> min mm	D <sub>3</sub> max	r <sub>s</sub> max	
	mm								kN								
40	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,371	29	18	20000	11000	6208	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,371	29	18	20000	11000	6208.W203B	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,382	29	18	8500	11000	6208.2ZR	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,384	29	18	5600		6208.2RSR	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,384	29	18	5600		6208.2RSR.W203B	47	73	1	
	40	80	23	1,1	67,5	70,4	53	0,477	29	18	5600		62208.2RSR	47	73	1	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,64	42,5	25	18000	11000	6308	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,641	42,5	25	18000	11000	6308.W203B	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,654	42,5	25	7500	11000	6308.2ZR	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,654	42,5	25	5000		6308.2RSR	49	81	1,5	
	40	90	33	1,5	74,6	76,5	55,5	0,903	42,5	25	5000		62308.2RSR	49	81	1,5	
	40	110	27	2	91,6	95,1	68	1,12	62	38	14000	10000	6408	53	97	2	
45	45	75	10	0,6	65,6		55	0,167	15,6	12,2	22000	8500	16009	48,2	71,8	0,6	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,247	20	14,3	22000	11000	6009	49,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	67,9	54,2	0,234	20	14,3	22000	11000	6009.W203B	49,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,253	20	14,3	8000	11000	6009.2ZR	49,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,257	20	14,3	6000		6009.2RSR	49,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	67,9	54,2	0,244	20	14,3	6000		6009.2RSR.W203B	49,6	70,4	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,429	31	20,4	18000	10000	6209	52	78	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,429	31	20,4	18000	10000	6209.W203B	52	78	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	31	20,4	8000	10000	6209.2ZR	52	78	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	31	20,4	5300		6209.2RSR	52	78	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	31	20,4	5300		6209.2RSR.W203B	52	78	1	
	45	85	23	1,1	71,8	74,6	57,2	0,522	31	20,4	5300		62209.2RSR	52	78	1	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,847	53	31,5	18000	10000	6309	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,859	53	31,5	18000	10000	6309.W203B	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,869	53	31,5	6700	10000	6309.2ZR	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,867	53	31,5	4500		6309.2RSR	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,879	53	31,5	4500		6309.2RSR.W203B	54	91	1,5	
	45	100	38	1,5	83,3	85,6	62	1,2	53	31,5	4500		62309.2RSR	54	91	1,5	
	45	120	29	2	100,9	104,3	75,2	1,97	76,5	47,5	13000	9500	6409	58	107	2	
	50	50	80	10	0,6	70,5		60,1	0,181	18	13,2	20000		16010	53,2	76,8	0,6
		50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,272	20,8	15,6	20000	10000	6010	54,6	75,4	1
		50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,276	20,8	15,6	20000	10000	6010.W203B	54,6	75,4	1

Fuente: (FAG, 2000), pág 162

## ANEXO 23



Fuente: (Esposito, 1991), pág 207

## ANEXO 24

Engranajes cilíndricos	<b>DIMENSIONES DE LOS DIENTES NORMALES DE PISO DIAMETRAL</b>							TABLA 22
Paso diametral P	Dimensiones en pulgadas							Módulo m
a	b	c	p	h <sub>t</sub>	t	p <sub>b</sub>	m	
1/2	2,0000	2,5000	0,5000	6,2832	4,5000	3,1416	5,9042	50,80
3/4	1,3333	1,6666	0,3333	4,1888	3,0000	2,0944	3,9362	33,86
1	1,0000	1,2500	0,2500	3,1416	2,2500	1,5708	2,9521	25,40
1 1/4	0,8000	1,0000	0,2000	2,5132	1,8000	1,2566	2,3617	20,32
1 1/2	0,6666	0,8333	0,1666	2,0944	1,5000	1,0472	1,9681	16,51
1 3/4	0,5714	0,7143	0,1428	1,7952	1,2857	0,8976	1,6869	14,51
2	0,5000	0,6250	0,1250	1,5708	1,1250	0,7854	1,4760	12,70
2 1/4	0,4444	0,5555	0,1111	1,3962	1,0000	0,6981	1,3120	11,29
2 1/2	0,4000	0,5000	0,1000	1,2566	0,9000	0,6283	1,1808	10,16
2 3/4	0,3636	0,4545	0,0909	1,1424	0,8182	0,5712	1,0735	9,23
3	0,3333	0,4166	0,0833	1,0472	0,7500	0,5236	0,9840	8,47
3 1/2	0,2857	0,3571	0,0714	0,8976	0,6428	0,4488	0,8434	7,26
4	0,2500	0,3125	0,0625	0,7854	0,5625	0,3927	0,7386	6,35
5	0,2000	0,2500	0,0500	0,6283	0,4500	0,3141	0,5904	5,08
6	0,1666	0,2083	0,0416	0,5236	0,3750	0,2618	0,4920	4,23
7	0,1428	0,1786	0,0357	0,4488	0,3214	0,2244	0,4217	3,63
8	0,1250	0,1562	0,0312	0,3927	0,2812	0,1963	0,3690	3,17
9	0,1111	0,1389	0,0277	0,3490	0,2500	0,1745	0,3280	2,82
10	0,1000	0,1250	0,0250	0,3141	0,2250	0,1571	0,2952	2,54
12	0,0833	0,1041	0,0208	0,2618	0,1875	0,1309	0,2460	2,11
14	0,0714	0,0893	0,0178	0,2244	0,1607	0,1122	0,2108	1,81
16	0,0625	0,0781	0,0156	0,1963	0,1406	0,0982	0,1845	1,59
18	0,0555	0,0694	0,0139	0,1745	0,1250	0,0872	0,1640	1,41
20	0,0500	0,0625	0,0125	0,1571	0,1125	0,0785	0,1476	1,27
24	0,0416	0,0521	0,0104	0,1309	0,0937	0,0654	0,1230	1,06
28	0,0357	0,0446	0,0089	0,1122	0,0803	0,0561	0,1054	0,907
30	0,0333	0,0416	0,0083	0,1047	0,0750	0,0523	0,0984	0,846
32	0,0312	0,0390	0,0078	0,0982	0,0703	0,0491	0,0922	0,794
36	0,0278	0,0347	0,0069	0,0872	0,0625	0,0436	0,0820	0,705
40	0,0250	0,0312	0,0062	0,0785	0,0562	0,0392	0,0738	0,635
48	0,0208	0,0260	0,0052	0,0654	0,0469	0,0327	0,0615	0,529
56	0,0178	0,0223	0,0044	0,0561	0,0402	0,0280	0,0527	0,453
64	0,0156	0,0195	0,0039	0,0491	0,0351	0,0245	0,0461	0,397

Fuente: (Larburú, 1998), pág 326

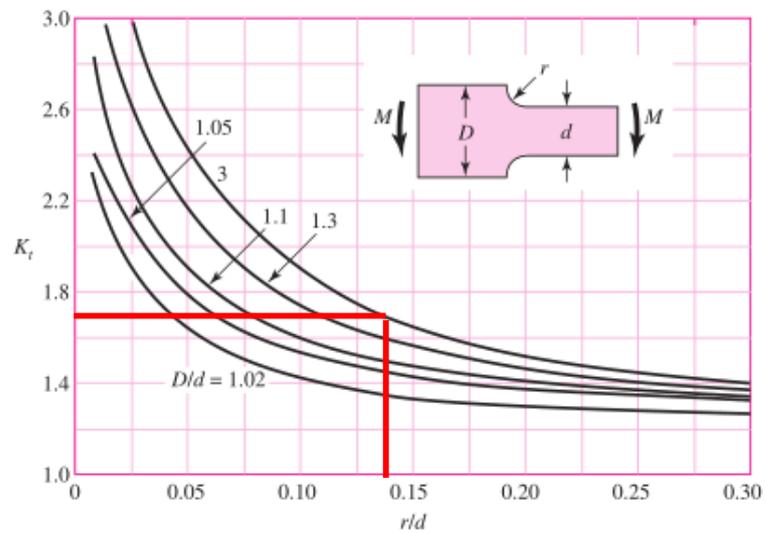
## ANEXO 25

elementos mecánicos

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409

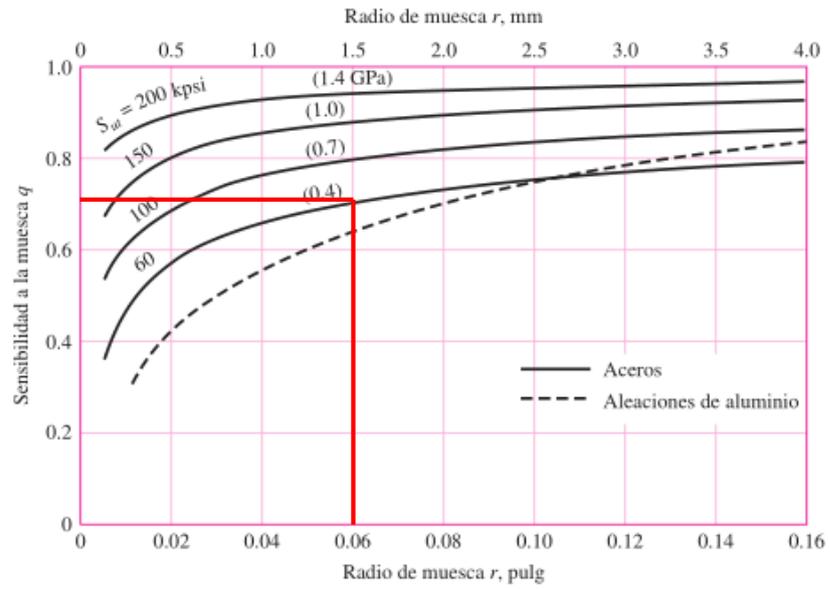
Fuente: (Shigley, 2008) Tabla 14-2 Pág 718.

## ANEXO 26



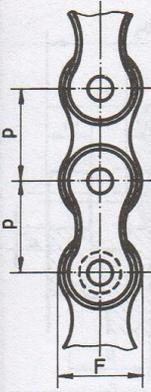
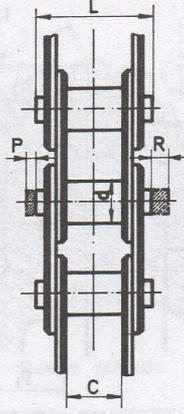
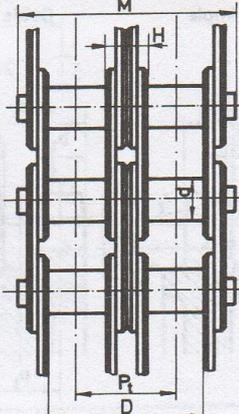
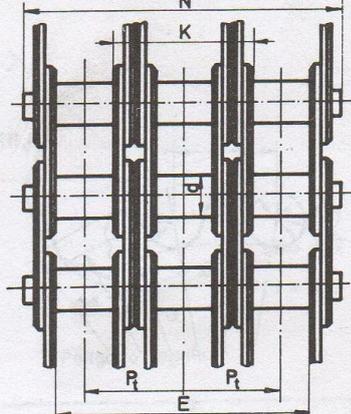
Fuente: (Shigley, 2008) Fig A-15-6 pág 1007

## ANEXO 27



Fuente: (Shigley, 2008) Fig 6-20 pág 287

## ANEXO 28

Órganos de tracción y de sustentación		<b>CADENAS DE RODILLOS DIMENSIONES</b>										TABLA 8 · 9			
															
		Sencilla			Doble				Triple						
DIMENSIONES															
Cadena nº	Paso p	Diámet. rodillo d	Ancho interior			Ancho malla F	Paso transv. P <sub>t</sub>	Grupo de mallas		Ancho de la cadena			Espesores		
			Sencilla C	Doble D	Triple E			H	K	Sencilla L	Doble M	Triple N	Cabeza P	Tuerca R	
1	8,00	5,00	3,00	8,64	14,27	8,37	5,64	2,64	8,28	8,13	13,97	19,56	1,27	3,05	
2	9,525	6,35	3,94	—	—	8,51	—	—	—	11,18	—	—	1,27	3,30	
3	9,525	6,35	5,72	15,95	26,19	8,51	10,24	4,52	14,76	12,95	23,37	33,53	1,27	3,30	
(4)	12,70	7,75	3,30	—	—	10,16	—	—	—	10,16	—	—	1,40	3,81	
5	12,70	7,75	4,88	—	—	10,16	—	—	—	11,68	—	—	1,40	3,81	
6	12,70	8,51	5,21	—	—	12,07	—	—	—	13,97	—	—	1,40	3,81	
7	12,70	8,51	7,75	21,67	35,59	12,07	13,92	6,17	20,09	16,51	30,46	44,45	1,46	3,81	
(8)	15,875	7,75	3,30	—	—	10,16	—	—	—	10,16	—	—	1,40	3,81	
(9)	15,875	7,75	4,88	—	—	10,16	—	—	—	11,68	—	—	1,40	3,81	
10	15,875	10,16	6,48	—	—	14,73	—	—	—	16,00	—	—	1,52	4,06	
11	15,875	10,16	9,65	26,24	42,82	14,73	16,59	6,93	23,52	19,05	35,81	52,32	1,52	4,06	
12	19,05	12,07	7,87	—	—	16,38	—	—	—	18,29	—	—	1,65	4,57	
13	19,05	12,07	11,68	31,14	50,60	16,38	19,46	7,77	27,23	22,10	41,66	61,21	1,65	4,57	
14	25,40	15,88	12,70	—	—	20,83	—	—	—	31,75	—	—	2,03	5,33	
15	25,40	15,88	17,02	48,90	80,77	20,83	31,88	14,86	46,74	36,07	68,07	99,82	2,03	5,33	
(16)	31,75	19,05	14,22	—	—	25,40	—	—	—	37,85	—	—	—	6,10	

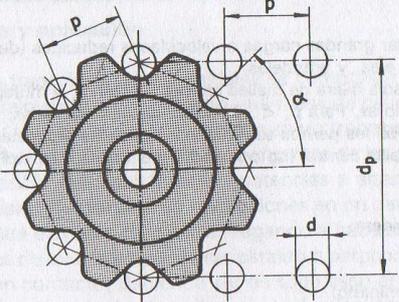
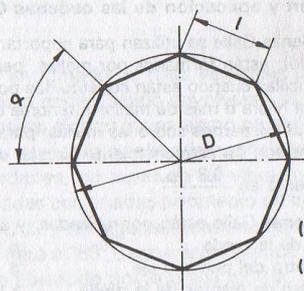
Fuente: (Larburú, 1998), pág 311

### ANEXO 29

Órganos de tracción y de sustentación	<b>DENTADO DE LAS RUEDAS PARA CADENAS DE RODILLOS</b>						TABLA 9 · 9			
Concuerda con UNE-18011										
Cadena nº	b <sub>1</sub>		b <sub>2</sub>		b <sub>3</sub>		Alturas		Radios	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>
1	2,69	2,54	8,33	8,18	13,97	13,82	1,27	2,16	0,76	8,00
2	3,58	3,40	-	-	-	-	1,52	2,03	0,76	9,53
3	5,33	5,11	15,57	15,34	25,81	25,58	1,52	2,03	0,76	9,53
(4)	2,97	2,79	-	-	-	-	2,92	2,16	0,76	12,70
5	4,47	4,27	-	-	-	-	2,92	2,16	0,76	12,70
6	4,80	4,60	-	-	-	-	2,03	2,79	0,76	12,70
7	7,24	6,99	21,16	20,90	35,08	34,82	2,03	2,79	0,76	12,70
(8)	2,97	2,79	-	-	-	-	3,56	2,16	0,76	12,70
(9)	4,47	4,27	-	-	-	-	3,56	2,16	0,76	12,70
10	6,02	5,79	-	-	-	-	2,54	3,30	0,76	15,88
11	9,04	8,76	25,63	25,35	42,21	41,95	2,54	3,30	0,76	15,88
12	7,37	7,09	-	-	-	-	3,05	3,81	1,27	19,05
13	11,00	10,67	30,45	30,12	49,91	49,58	3,05	3,81	1,27	19,05
14	11,99	11,63	-	-	-	-	4,06	4,19	1,27	25,40
15	16,13	15,70	48,01	47,57	79,88	79,45	4,06	4,19	1,27	25,40
(16)	13,46	13,06	-	-	-	-	4,95	4,83	1,27	31,75
17	18,57	18,08	55,02	54,53	91,47	90,98	4,95	4,83	1,27	31,75
18	24,18	23,57	72,54	71,93	120,90	120,29	5,97	5,72	1,27	38,10
(19)	21,13	20,57	-	-	-	-	6,99	6,10	2,54	44,45
20	29,54	28,83	89,10	88,39	148,67	147,96	6,99	6,10	2,54	44,45
(21)	21,13	20,57	-	-	-	-	8,00	8,89	2,54	50,80
22	29,54	28,83	88,09	87,38	146,63	145,92	8,00	8,89	2,54	50,80
23	36,37	35,51	108,66	107,80	180,95	180,09	10,03	10,16	2,54	63,50
24	43,69	42,67	134,90	133,88	226,11	225,09	11,94	11,43	2,54	76,20
25	51,00	49,83	157,61	156,44	-	-	13,97	18,80	5,08	88,90
26	58,29	57,02	178,18	176,91	-	-	16,00	21,08	5,08	101,60
27	65,53	64,26	201,80	200,53	-	-	18,03	22,61	5,08	114,30
28	72,77	71,50	223,27	222,00	-	-	20,07	25,15	5,08	127,00
29	87,25	85,98	267,34	266,07	-	-	23,88	28,70	5,08	152,40
30	101,73	100,46	311,28	310,01	-	-	27,94	32,26	5,08	177,80
31	116,21	114,94	356,24	354,97	-	-	31,75	35,56	5,08	203,20
<b>DISTANCIA ENTRE CENTROS</b>										
			<p>N = Número de eslabones                      p = Paso de la cadena                      A = 2N - (z<sub>2</sub> + z<sub>1</sub>); B = z<sub>2</sub> - z<sub>1</sub>  <math display="block">N = \frac{2 \cdot C}{p} + \frac{z_2 + z_1}{2} + \frac{p \cdot (z_2 - z_1)^2}{40 \cdot C} \text{ (aprox.)}</math> <math display="block">C = \frac{p}{8} \left[ A + \sqrt{(A + 0,9 \cdot B) \cdot (A - 0,9 \cdot B)} \right]</math></p>							

Fuente: (Larburú, 1998), pág 312

### ANEXO 30

Órganos de tracción y de sustentación	<b>DIÁMETRO PRIMITIVO DE LAS RUEDAS PARA CADENAS</b>								TABLA 10 · 9
	<i>Valores de la cosec. <math>\alpha</math></i>								
 <p style="text-align: center;">Rueda dentada</p>	 <p style="text-align: center;">Polígono regular</p> <p style="text-align: right;">(D = d<sub>p</sub>) (l = p)</p>								
z	cosec $\alpha$	z	cosec $\alpha$	z	cosec $\alpha$	z	cosec $\alpha$	z	cosec $\alpha$
6	2,000	36	11,474	66	21,016	96	30,563	126	40,111
7	2,306	37	11,792	67	21,334	97	30,881	127	40,429
8	2,613	38	12,109	68	21,653	98	31,200	128	40,748
9	2,924	39	12,427	69	21,971	99	31,518	129	41,066
10	3,236	40	12,745	70	22,289	100	31,836	130	41,384
11	3,549	41	13,063	71	22,607	101	32,154	131	41,702
12	3,864	42	13,381	72	22,925	102	32,473	132	42,021
13	4,197	43	13,699	73	23,244	103	32,791	133	42,339
14	4,494	44	14,017	74	23,562	104	33,109	134	42,657
15	4,810	45	14,335	75	23,880	105	33,427	135	42,925
16	5,126	46	14,654	76	24,198	106	33,746	136	43,294
17	5,442	47	14,972	77	24,517	107	34,064	137	43,612
18	5,759	48	15,290	78	24,835	108	34,382	138	43,930
19	6,075	49	15,608	79	25,135	109	34,701	139	44,249
20	6,392	50	15,926	80	25,471	110	35,019	140	44,567
21	6,709	51	16,244	81	25,789	111	35,337	141	44,885
22	7,027	52	16,562	82	26,108	112	35,655	142	45,203
23	7,344	53	16,880	83	26,426	113	35,974	143	45,522
24	7,661	54	17,198	84	26,744	114	36,292	144	45,840
25	7,979	55	17,516	85	27,062	115	36,610	145	46,158
26	8,296	56	17,835	86	27,381	116	36,928	146	46,477
27	8,614	57	18,153	87	27,699	117	37,247	147	46,795
28	8,931	58	18,471	88	28,017	118	37,565	148	47,113
29	9,249	59	18,789	89	28,335	119	37,883	149	47,432
30	9,567	60	19,101	90	28,654	120	38,201	150	47,750
31	9,884	61	19,425	91	28,972	121	38,520	151	48,068
32	10,202	62	19,744	92	29,290	122	38,838	152	48,387
33	10,520	63	20,062	93	29,608	123	39,156	153	48,705
34	10,838	64	20,380	94	29,927	124	39,474	154	49,023
35	11,156	65	20,698	95	30,245	125	39,793	155	49,341
<p>Ejemplo.- Diámetro primitivo de una rueda de 25 dientes para paso de 25,4mm.  <math>\text{cosec } \alpha = 7,979</math>; <math>d_p = 25,4 \times 7,979 = 202,67 \text{ mm.}</math></p>									

Fuente: (Larburí, 1998), pág 313

## ANEXO 31

Soldadura de ranura cuadrada(1)  
Unión a tope (B)

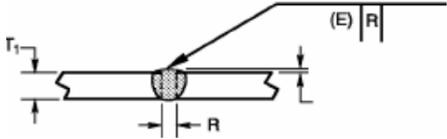


Fig. no tolerancia al refuerzo de 1/32 a 1/8

Proceso de Soldadura	Designación de la unión	Espesor del metal base (U= ilimitado)		Penetración de la ranura		Posiciones de soldaduras permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas	
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según detalle (Ver 3.12.3)				Según tal como queda (Ver 3.12.3)
SMAW	B-P1a	1/8	-	R= 0 a 1/16	+1/16, -0	+1/16	Todas	T <sub>1</sub> -1/32	2,5
	B-P1c	1/4 max	-	R= $\frac{T_1}{2}$ min	+1/16, -0	±1/16	Todas	$\frac{T_1}{32}$	2,5

Fuente: (Welding, 2002); pág 87

## ANEXO 32

**BÖHLER E 920 TRANSMISIÓN**

**Tipo de aleación:** C 0.18 Si 0.25 Mn 0.70 %

Color de identificación: Naranja  
Estado de suministro: Trefilado h 11

**PROPIEDADES:**

Acero para cementación no aleado para piezas pequeñas exigidas principalmente al desgaste, donde la tenacidad del núcleo no sea importante. Buena soldabilidad.

AISI: 1018  
DIN: ---  
No. Mat. ---

Fuente: (Bohler, 2015)

**Planchas de Acero Carbono**

ASTM A36



**Estado de Suministro**  
Laminado.

**Tolerancia**  
ASTM A6.

**Características**  
Acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.

**Aplicaciones**  
Construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.

Composición Química (Valores Típicos)				
%C	%Mn	%Si	%P	%S
≤ 0.26	0.60-1.20	≤ 0.40	≤ 0.04	≤ 0.05

Fuente: (acerosotero,2015)

## ANEXO 33

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, de inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Especificaciones SAE para pernos y tornillos

**Fuente:** (Shigley, 2008), pág 418

## ANEXO 34

Designación de tamaño	Serie gruesa-UNC				Serie fina-UNF		
	Díámetro nominal pulg	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{3}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

Diámetros y áreas de roscas unificadas

Fuente: (Shigley, 2008) pág 399

## ANEXO 35



# ANILLO DE SEGURIDAD PARA EJES

**Tipo: A**  
**DIN 471**

Med. Nom. d1	ANILLO							RANURA				Fuerza Axial KG. $\leq$	
	s h11	a max.	b $\approx$	d3	Toler.	d4	d5	Peso Kgs. x 1000 Pz.	d2	Toler.	m H13		n min.
36	1,75	5,6	4	33,2	+0,25 -0,50	47,8	2,5	5,000	34	h12 +0 -0,25	1,85	3	2760
37		5,7	4,1	34,2		48,6		5,260	35				2835
38		5,8	4,2	35,2		50,2		5,360	36				2910
39		5,9	4,3	36	51,5	5,620		37	3360				
40		6,0	4,4	36,5	52,6	6,030		37,5	3810				
41		6,2	4,5	37,5	54	6,440		38,5	3905				
42		6,5	4,5	38,5	55,7	6,500		39,5	4000				
44		6,6	4,6	40,5	58	6,910		41,5	4200				
45		6,7	4,7	41,5	59,1	7,500		42,5	4300				
46		6,8	4,8	42,5	60,5	7,650		43,5	4400				
47		6,8	4,9	43,5	61	7,840		44,5	4500				
48		6,8	5	44,5	62,5	7,900		45,5	4600				
50		7,0	5,1	45,8	64,5	10,200		47	5700				
52		7,1	5,2	47,8	66,7	10,360		49	5950				
54	7,1	5,3	49,8	69	10,990	51	6185						
55	7,2	5,4	50,8	70,2	11,400	52	6300						
56	2,00	7,3	5,5	51,8	71,6	11,800	53	6400					
57			5,6	52,8	72,2	12,060	54	6525					
58		5,6	53,8	73,6	12,600	55	6650						
60		7,4	5,8	55,8	75,6	12,900	57	6900					
62		7,5	6	57,8	77,8	14,300	59	7100					
64		7,6	6,2	60,2	80,2	15,000	61	7300					

Catálogo de anillos de seguridad

Fuente: (Otia, 2015)

## ANEXO 36

Home ▶ Catalog ▶ Products ▶ Motors ▶ AC Motors ▶ General Purpose ▶ Three Phase Open

### EFM2515T

20HP, 1765RPM, 3PH, 60HZ, 256T, 3944M, OPSB, F2

Product Information Packet PDF



List Price	2,597.00 USD
Multiplier Symbol	L1
Ship Weight	226 LB
UPC	781568173541

SPECS DRAWINGS NAMEPLATE **PERFORMANCE** PARTS ACCESSORIES

#### PERFORMANCE AT 460 V, 60 HZ, 20 HP

*Typical performance; not guaranteed values.*

General Characteristics

Full Load Torque	0 LB-FT	Start Configuration	DOL
No-Load Current	0 A	Break-Down Torque	203 LB-FT
Line-Line Res. @ 25° C	0.437 Ohms A Ph / 0 Ohms B Ph	Pull-Up Torque	73.8 LB-FT
Temp. Rise @ Rated Load	33° C	Locked-Rotor Torque	115 LB-FT
		Starting Current	160.8 A

Motor 20Hp

Fuente: (la-llave,2015)

## ANEXO 37

### MOTORREDUCTORES COAXIALES MONOBLOQUE INFORMACIÓN DEL PRODUCTO



DESCRIPTION DOCUMENTACIÓN SOFTWARE PETICIÓN

Tamaños:	16
Posición de montaje:	M1 - M6
Rango de pares:	10 - 26.000 Nm
Prestaciones:	0,12 - 160 kW
Relación:	1,35:1 - 14,340,31:1
Rendimiento:	>%95

Fuente: (nord,2015)

## ANEXO 38

CALIBRE AWG 6 MCM	SECCION mm <sup>2</sup>	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	TIPO CABLE	ALTERNAT. DE EMBALAJE.
24	0,205	7 x 0,20	0,51	1,63	5,14	---	FXT	A,E
22	0,324	11 x 0,20	0,51	1,78	7,62	---	FXT	A,E
20	0,519	17 x 0,20	0,76	2,47	9,98	5	FXT	A,E
18	0,823	12 x 0,30	0,76	2,72	13,43	7	TFF	A,E
16	1,310	19 x 0,30	0,76	3,02	18,93	10	TFF	A,B
14	2,08	30 x 0,30	1,14	4,17	32,30	25	TW-F	A,B
12	3,31	25 x 0,41	1,14	4,67	46,50	30	TW-F	A,C
10	5,26	40 x 0,41	1,14	5,26	67,90	40	TW-F	A,D
8	8,37	7 x (17x0,30)	1,52	7,31	119,70	60	TW-F	A,B,E
6	13,30	7 x (27x0,30)	1,52	8,38	174,50	80	TW-F	A,E
4	21,15	7 x (24x0,41)	1,52	9,80	269,90	105	TW-F	A,E
2	33,62	7 x (18x0,60)	1,52	11,55	402,90	140	TW-F	A,E
1	42,36	7 x (21x0,60)	2,03	13,62	521,30	165	TW-F	A,D,E

**Fuente:** (Electro-cables, 2015)

## ANEXO 39

Referencia	3 polos	CWM32	CWM40	CWM50	CWM65	CWM80
Potencia nominal de operación <sup>1)</sup>						
220/230 Vca	(kW / HP)	9,2 / 12,5	11 / 15	15 / 20	18,5 / 25	22 / 30
380 Vca	(kW / HP)	15 / 20	18,5 / 25	22 / 30	30 / 40	37 / 50
400/415 Vca	(kW / HP)	15 / 20	18,5 / 25	22 / 30	30 / 40	45 / 60
440 Vca	(kW / HP)	15 / 20	22 / 30	30 / 40	37 / 50	45 / 60
500 Vca	(kW / HP)	15 / 20	22 / 30	30 / 40	37 / 50	45 / 60
660/690 Vca	(kW / HP)	18,5 / 25	22 / 30	30 / 40	37 / 50	45 / 60
Corriente nominal de operación I <sub>n</sub> AC-3 (U <sub>n</sub> ≤440 V)	(A)	32	40	50	65	80
Corriente térmica convencional I <sub>n</sub> = I <sub>n</sub> AC-1	(A)	60	60	90	110	110
Corriente nominal de operación I <sub>n</sub> AC-4 (U <sub>n</sub> ≤440 V)	(A)	16	18,5	23	30	37
Relé de sobrecarga	(A)	RW67-1D 		RW67-2D 	25..40 32..50 25..40 40..57 50..63 57..70 63..80	

**Fuente:** (WEG; 2015)

## ANEXO 40

### Interruptores Termomagnéticos Tetrapolares

Referencia	Corriente	Curva	IEC 60898 230/400 V ca Icn (kA)	IEC 60947-2 230/400 V ca Icu (kA)
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
MDW-C6-4	6 A	C	3	5
MDW-C10-4	10 A	C	3	5
MDW-C16-4	16 A	C	3	5
MDW-C20-4	20 A	C	3	5
MDW-C25-4	25 A	C	3	5
MDW-C32-4	32 A	C	3	5
MDW-C40-4	40 A	C	3	5
MDW-C50-4	50 A	C	3	5
MDW-C63-4	63 A	C	3	5
MDW-C70-4	70 A	C	3	5
MDW-C80-4	80 A	C	3	5
MDW-C100-4	100 A	C	3	5
MDW-C125-4	125 A	C	3	5

Fuente: (WEG, 2015)

## ANEXO 41

Botones Pulsadores - No Iluminados - Ø22 mm - IP66

### Rasante

Foto ilustrativa	Color		Referencia
 0,021 kg		Blanco	CSW-BF0 WH
		Rojo	CSW-BF1 WH
		Verde	CSW-BF2 WH
		Amarillo	CSW-BF3 WH
		Azul	CSW-BF4 WH
		Negro	CSW-BF5 WH

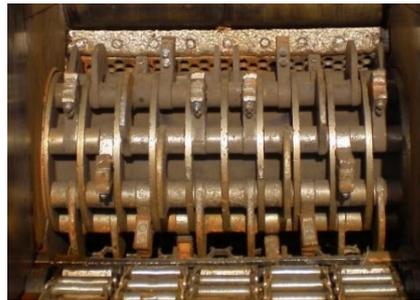
### Hongo - Diámetro Externo: Ø40 mm<sup>1)</sup>

Foto ilustrativa	Color		Referencia
 0,024 kg		Blanco	CSW-BC0 WH
		Rojo	CSW-BC1 WH
		Verde	CSW-BC2 WH
		Amarillo	CSW-BC3 WH
		Azul	CSW-BC4 WH
		Negro	CSW-BC5 WH

Fuente: (WEG, 2015)

## ANEXO 42

### Modelos Empíricos para trituración y molienda



Maquinaria usada para observar variaciones

Fuente: Autor

**ANEXO 43**  
**Trituraciones logradas**



Trituración de Botella pequeña

**Fuente:** Autor



Trituración de botella mediana

**Fuente:** Autor



Trituración de botella grande

**Fuente:** Autor

## **ANEXO 44**



Masa de trituración de botella pequeña

**Fuente:** Autor



Masa de trituración de botella mediana

**Fuente:** Autor



Masa de trituración de botella grande

**Fuente:** Autor

## ANEXO 45

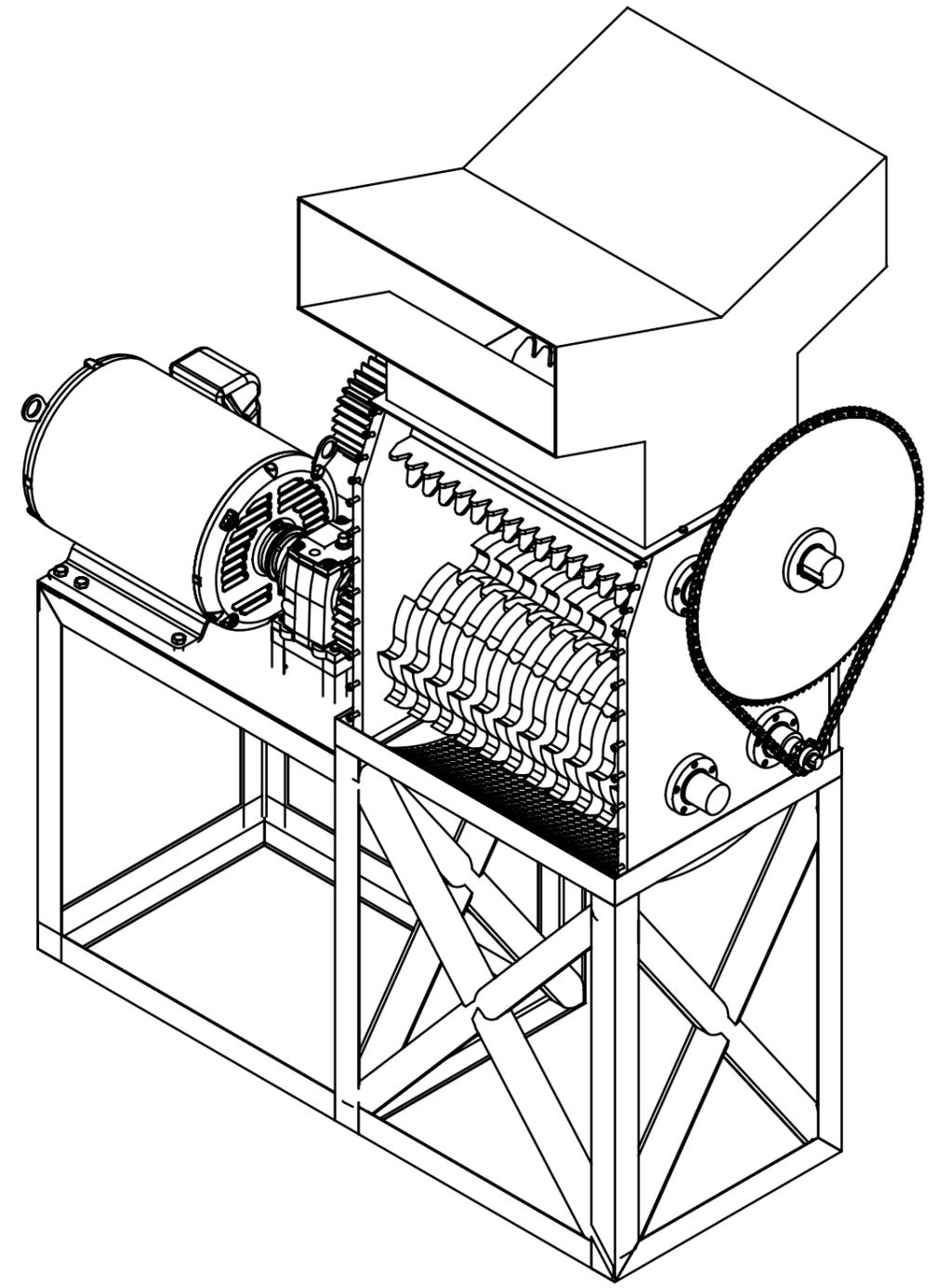
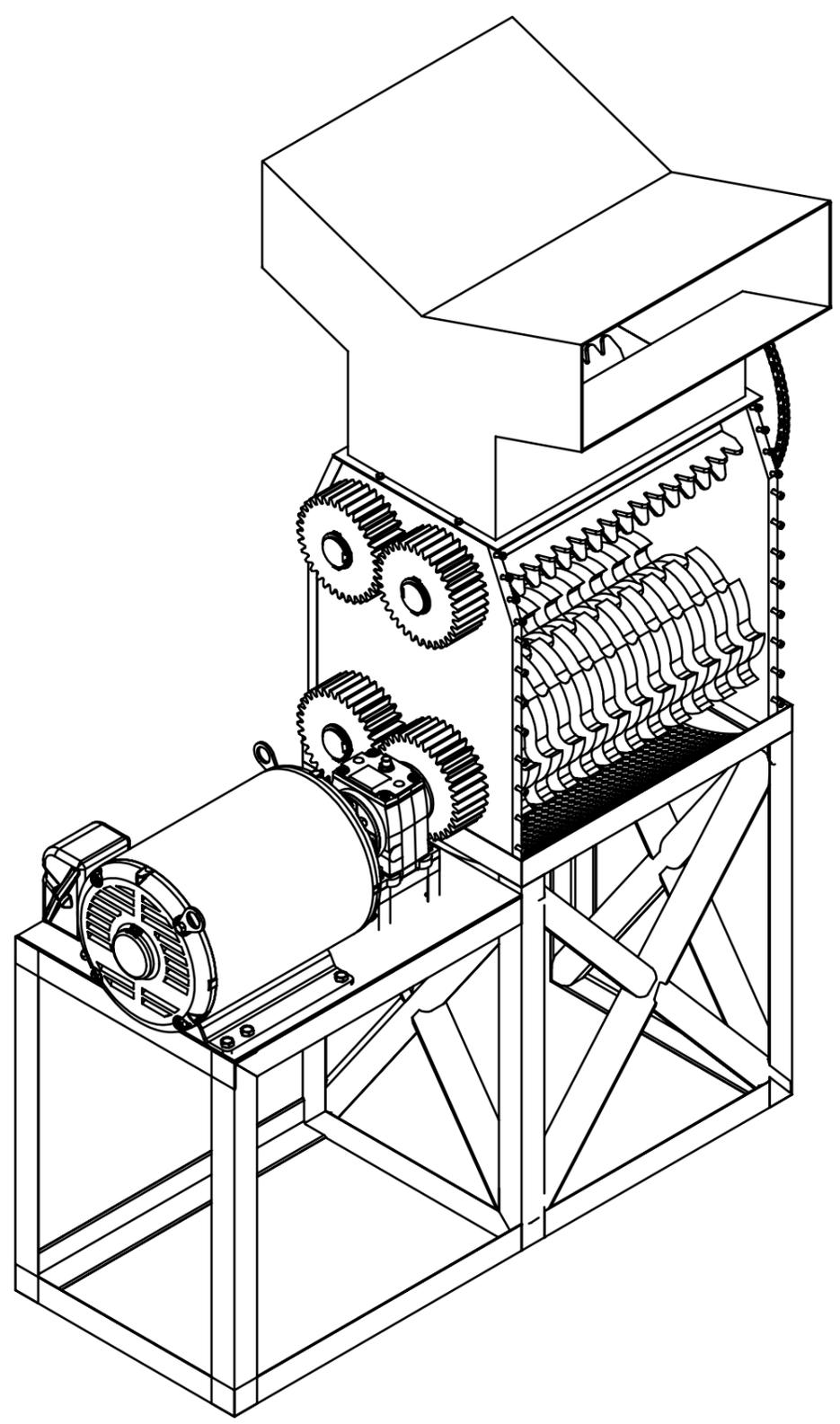


Medición de granulometría obtenida

**Fuente:** Autor

**ANEXO 46**

**PLANOS**



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	678.37Kg	VARIOS	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.	Trituradora de Botellas PET
				Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	
				UTA		Número del dibujo: 1 de 22	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 1:10	

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

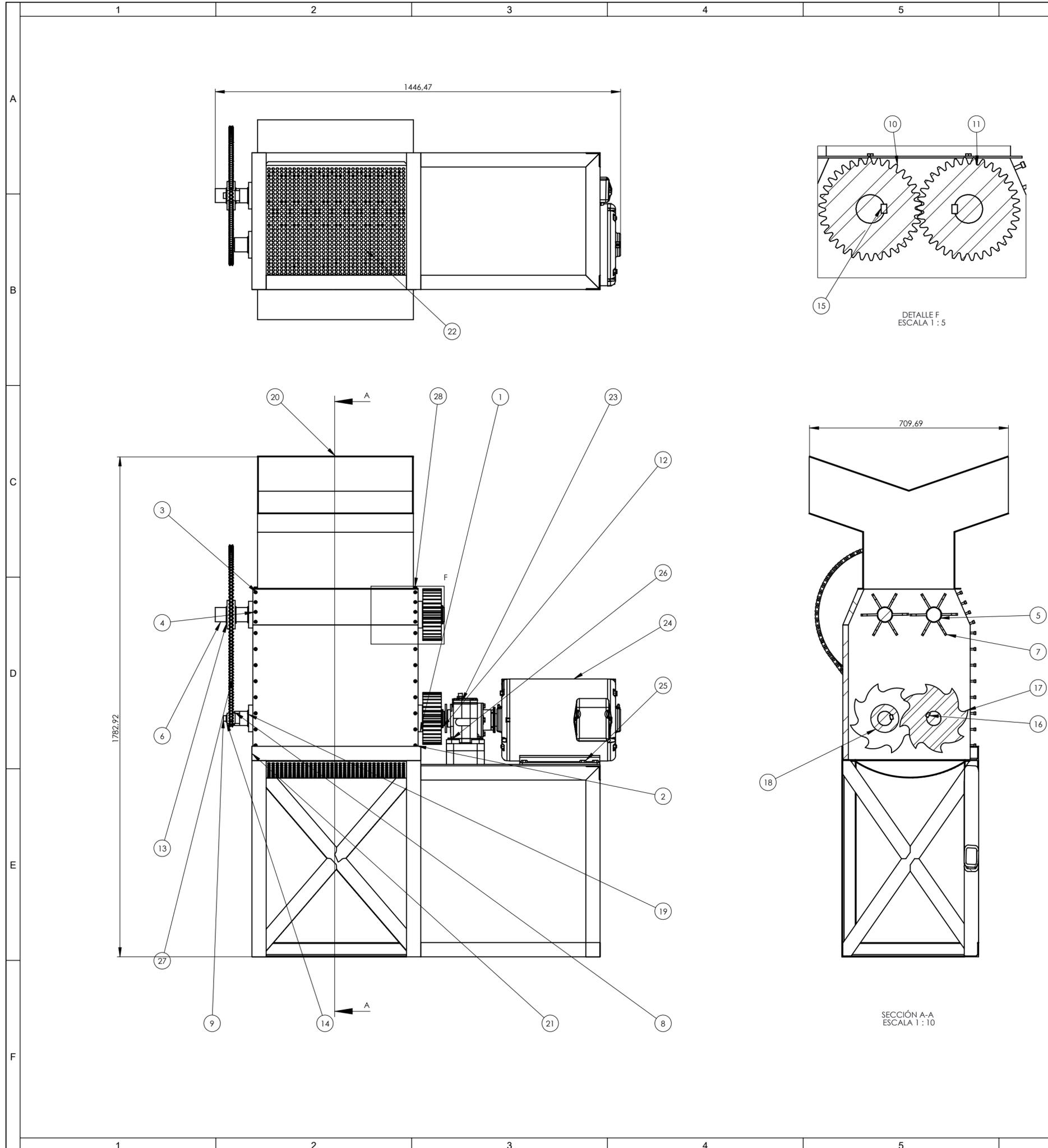
C

D

E

F

1 2 3 4



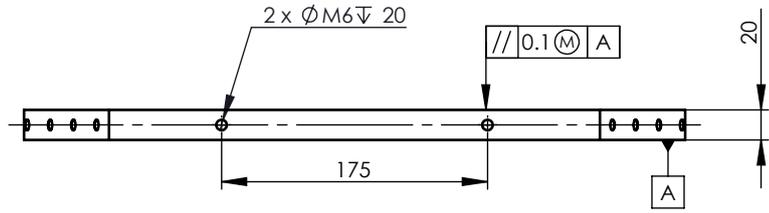
Nº de pieza	Denominación	No. Norma Dibujo	Material	N.º de Orden	Peso (kg)	Observaciones
4	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M6 x 1.0 x 20 --20WN	SAE GR 8		28	0.001	Adquirido
1	MECANISMO CADENA-CATALINA	UNE 18011	Material <sin especificar>	27	13.66	Plasma-Fresado
4	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M8 x 1.25 x 40 --22WN	SAE GR 8		26	0.001	Adquirido
6	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M12 x 1.75 x 40 --40WN	SAE GR 8		25	0.001	Adquirido
1	Reductor	IEC-NEMA	VARIOS	23	25	Adquirido
1	Motor 20Hp	IEC-NEMA	VARIOS	23	1500	Adquirido
1	criba	N/A	ASTM A653	22	4.70	Barolado-taladrado
1	bancada	N/A	ASTM A36 Acero	21	77.74	Soldado
1	Tolva de ingreso libre	N/A	ASTM A653	20	30.76	Soldado
8	C-RINGS B18.27.2 NA6-200			19	0.001	Adquirido
22	Separador para corte	N/A	AISI D3	18	1.11	Torneado-Fresado-rectificado
22	Disco-Cuchilla de Trituración	N/A	AISI D3	17	6.68	Torneado-Fresado-rectificado
2	chaveta para eje de cuchillas	DIN 6886	AISI 1010 CD	16	0.69	Rectificado
4	chaveta para agarre de piñones	DIN 6886	AISI 1010 CD	15	0.08	Rectificado
3	B27.1 - NA1-75			14	0.001	Adquirido
4	B27.1 - NA1-196			13	0.001	Adquirido
16	B27.1 - NA1-212			12	0.001	Adquirido
2	piñón-1	AGMA	AISI 1010 Barra de acero laminada en frío	11	11.03	Fresado
2	piñón-2	AGMA	AISI 1010 Barra de acero laminada en frío	10	11.03	Fresado
1	eje porta cuchillas-2	Ø 2in	AISI 1018	9	11.46	Torneado
1	eje porta cuchillas-1	Ø 2in	AISI 1018	8	12.63	Torneado
12	Prensas de aplastamiento	N/A	ASTM A36	7	1.36	Corte-rectificado
1	eje de prensas 1	Ø 2in	AISI 1018	6	12.93	Torneado
1	eje de prensas 2	Ø 2in	AISI 1018	5	11.48	Torneado
48	B18.3.1M - 6 x 1,0 x 30 Hex SHCS -- 30NHX	SAE GR 8		4		Adquirido
2	placa emperrada pequeña	N/A	AISI 1020	3	12.41	Plasma-taladrado-rectificado
2	placa emperrada grande	N/A	AISI 1020	2	44.61	Plasma-taladrado-rectificado
2	conjunto placa lateral montada		AISI 1020	1	40.82	Plasma-fresado-rectificado

Tolerancia		(Peso)	Materiales:	
±0,1		678.37Kg	VARIOS	
Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
Dibujó: 22/11/15	Daniel Chimbarazo L.	Trituradora de Botellas PET		1:10
Revisó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Número del dibujo: 2 de 22		
Aprobó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	
			UTA Ing. Mecánica	

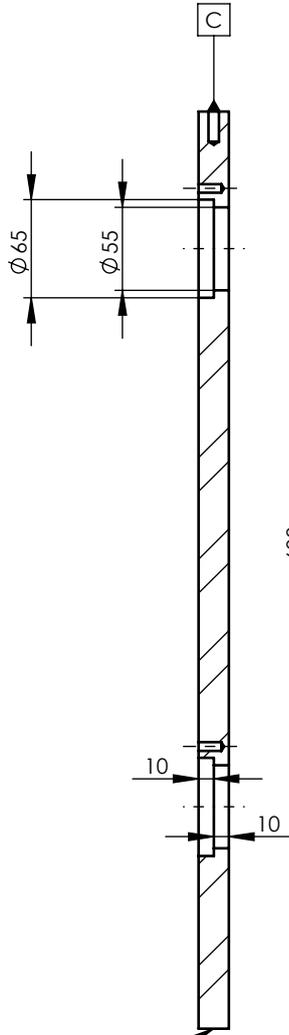
(N7/√=)

A

Los agujeros para rodamiento pueden ser modificables de acuerdo a las dimensiones del rodamiento a montar



B

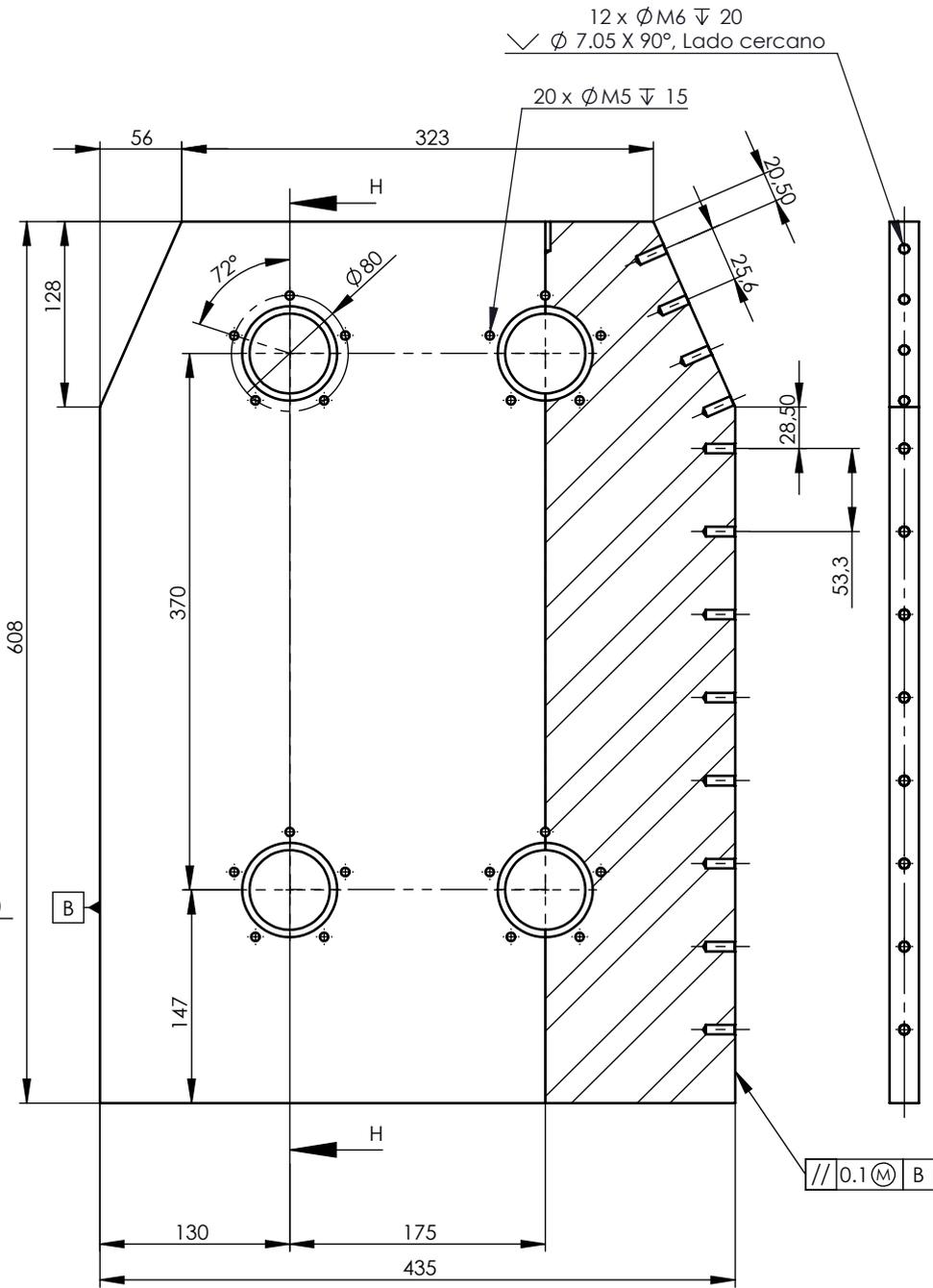


// 0.1 (M) c

SECCIÓN H-H  
ESCALA 1 : 5

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	38.64Kg	AISI 1020	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.	Placa Lateral	1:5
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
			Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 3 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

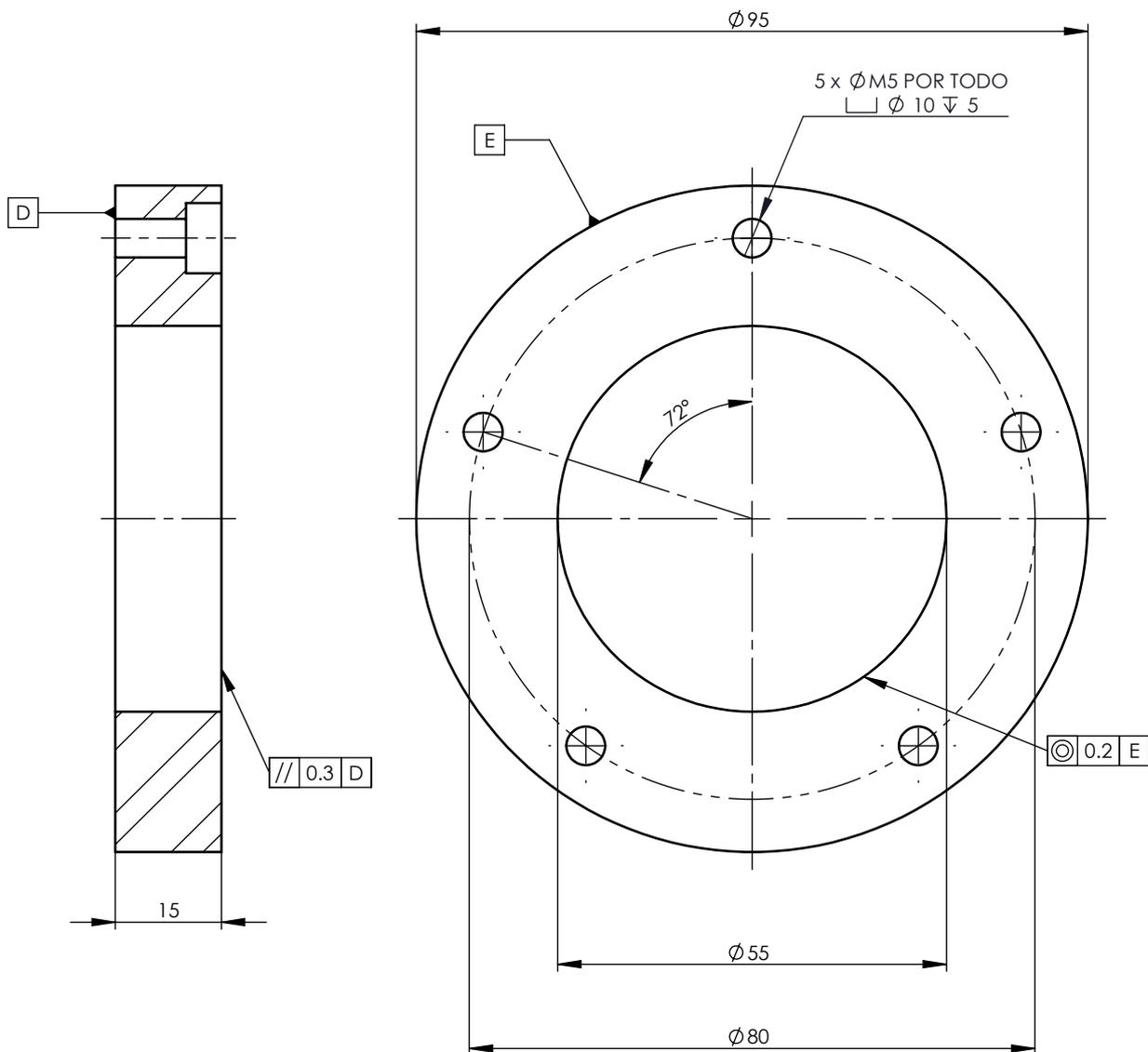
 $(\frac{N7}{\sqrt{C}})$ 

B

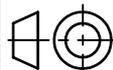
C

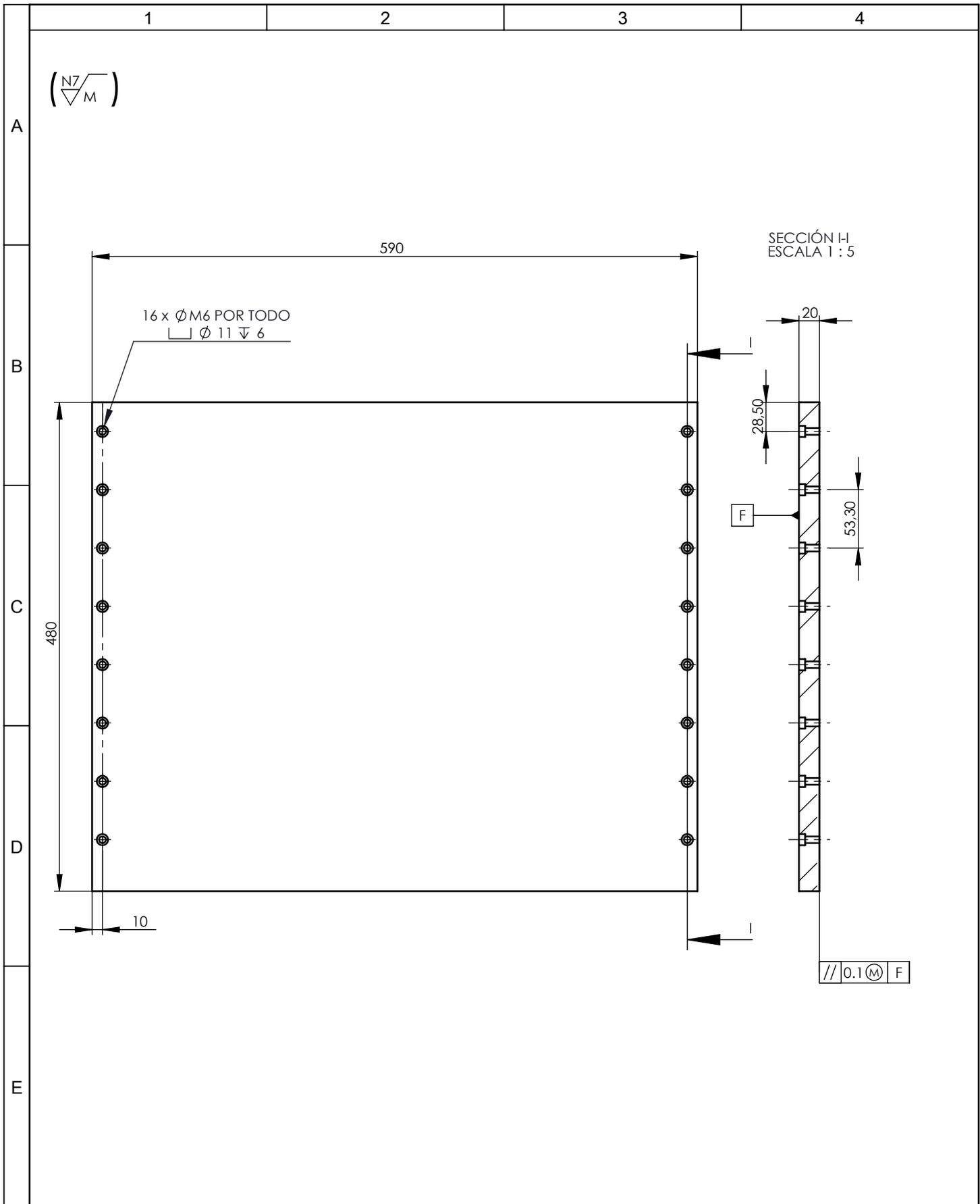
D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.53Kg	AISI 1020	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:1
				UTA		Número del dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		(Sustitución)	





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	44.61Kg	AISI 1020	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 5 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

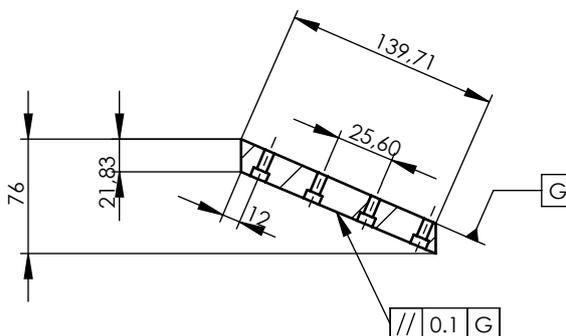
4

 $\left( \frac{NZ}{M} \right)$ 

A

Los agujeros para pernos allen serán realizados perpendicularmente al plano horizontal de trabajo

SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 : 5

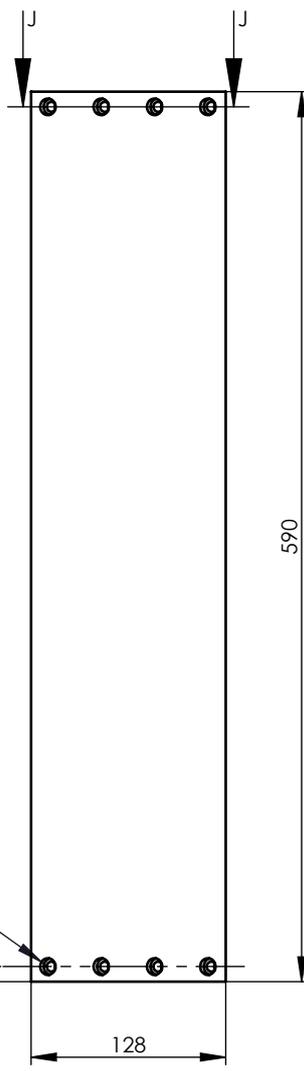


B

C

D

E

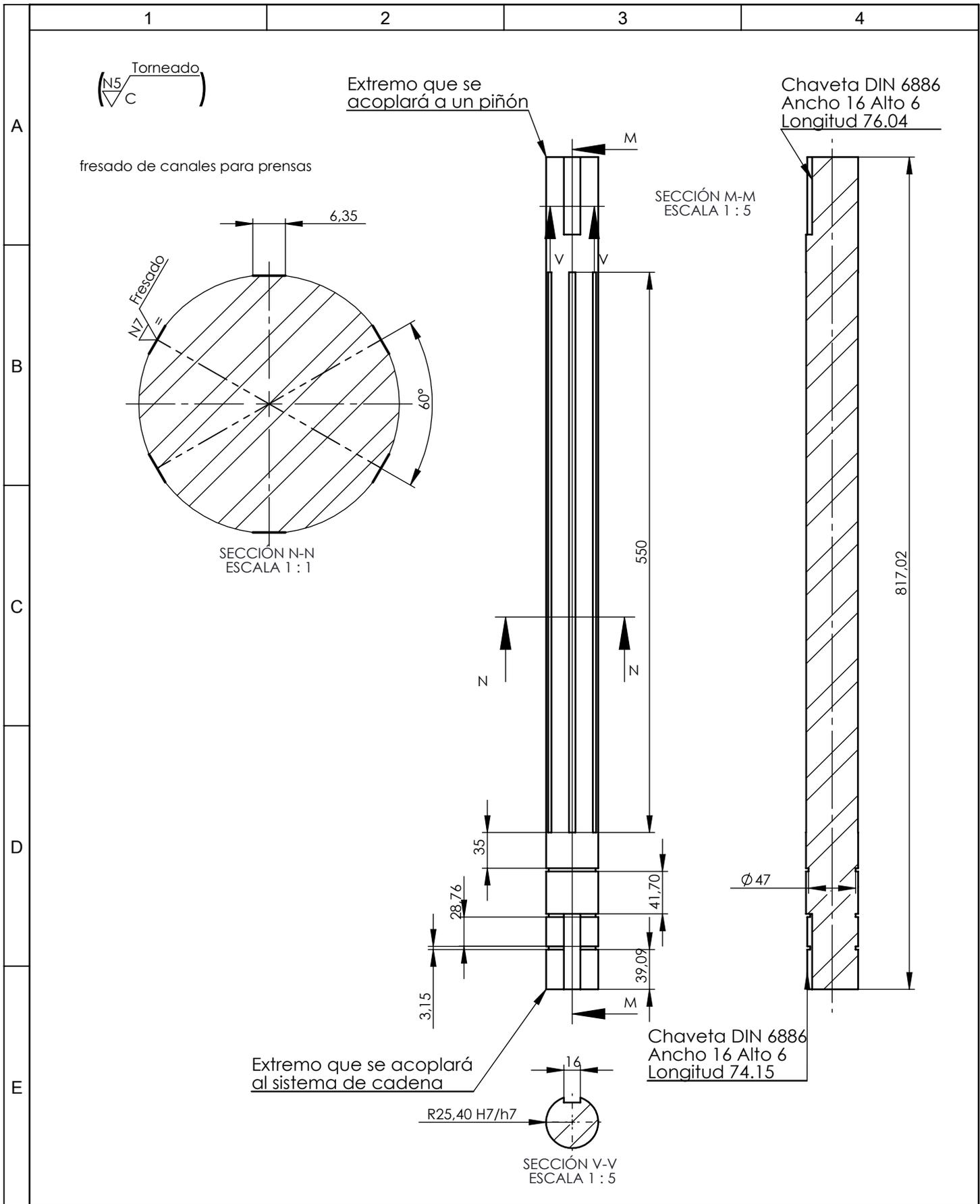


8 x ØM6 PORTODO  
□ Ø 11 ∇ 6

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	12.41Kg	AISI 1020	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 6 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Placa empernada pequeña





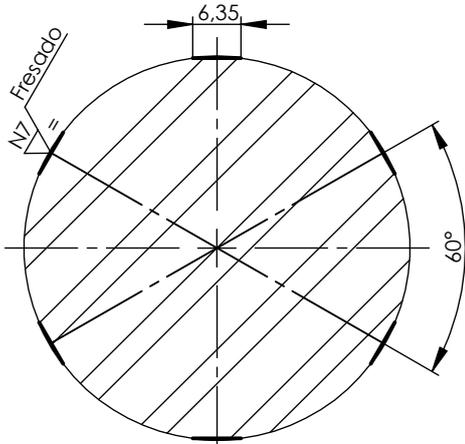
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	12.93Kg	AISI 1018		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.			
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.			
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5	
				UTA		Número del dibujo:		
				Ing. Mecánica		7 de 22		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

Eje de prensas N°1

Torneado  
 $\left( \frac{N5}{\sqrt{C}} \right)$

A

fresado de canales para prensas



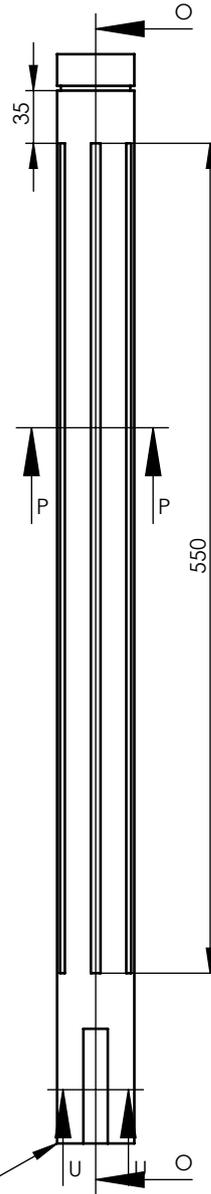
SECCIÓN P-P  
 ESCALA 1 : 1

B

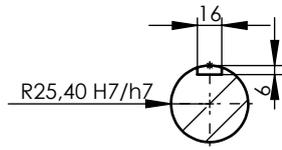
C

D

E

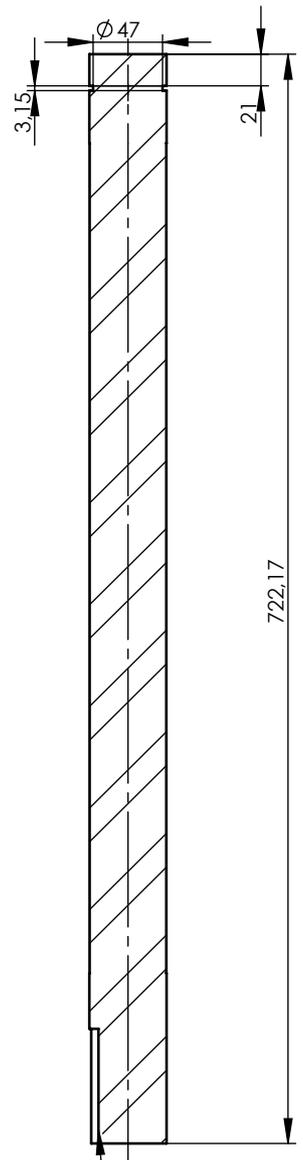


Extremo que se  
 acoplará a un piñón



SECCIÓN U-U  
 ESCALA 1 : 5

SECCIÓN O-O  
 ESCALA 1 : 5



Chaveta DIN 6886  
 Ancho 16 Alto 6  
 Longitud 76.04

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	11.48Kg	AISI 1018	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Eje de prensas N° 2
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 8 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

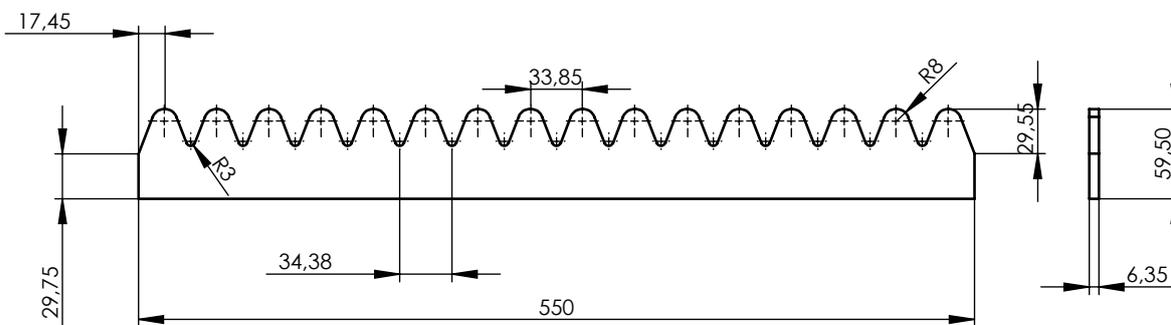
4

A

Sierra-Esmeril  
 (N9 / M)

B

C

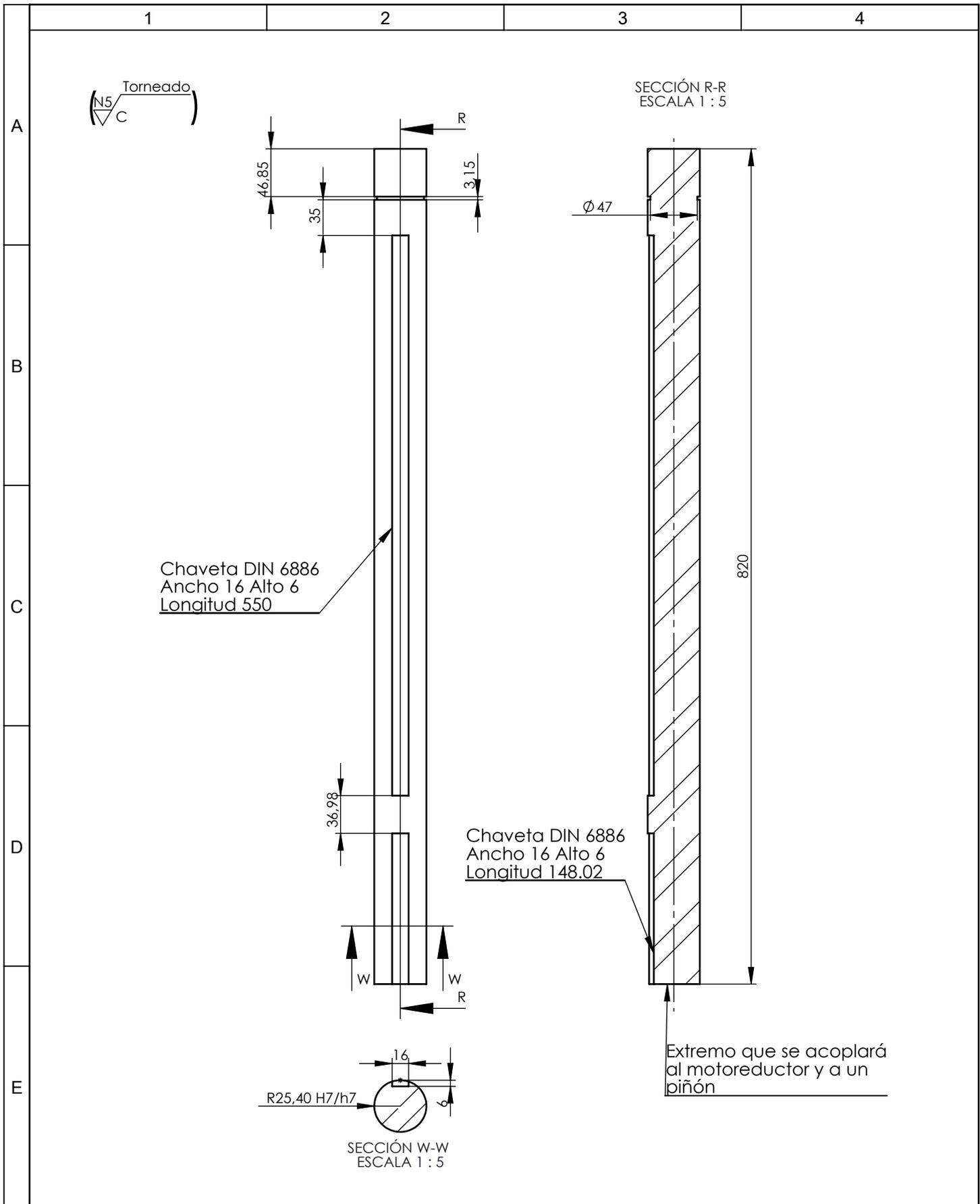


D

E

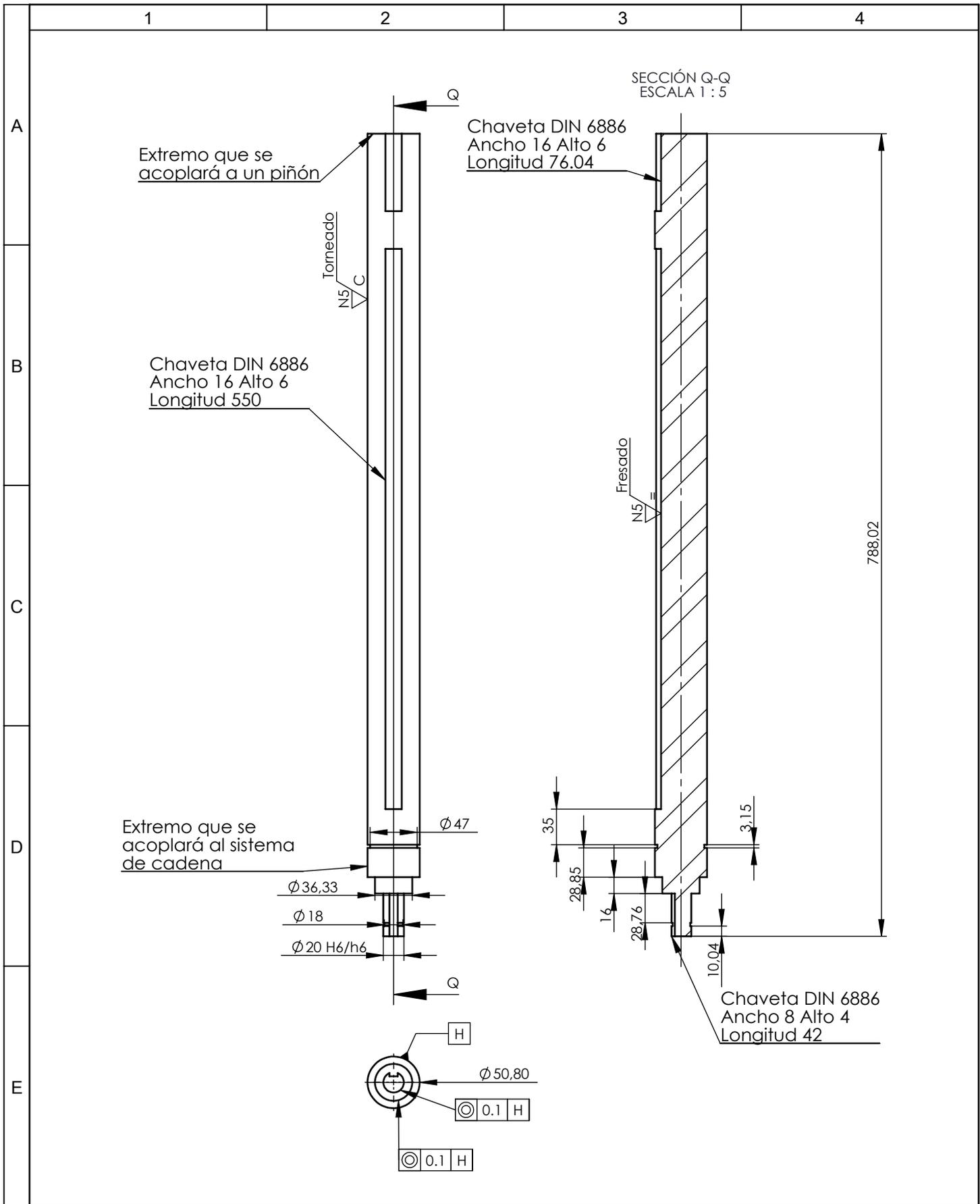
Se usa pletina de 1/4 in

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.36Kg	ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
				Revisó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Prensas de aplastamiento	1:5
				UTA Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



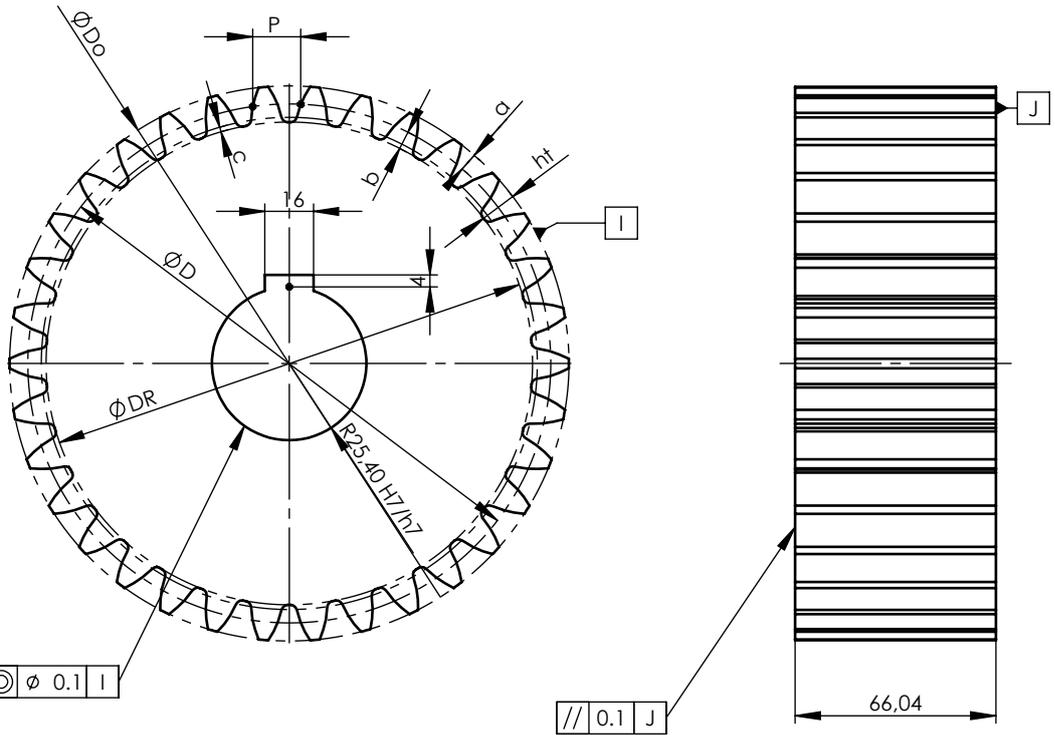
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	12.63Kg	AISI 1018	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5
				UTA		Número del dibujo: 10 de 22	
				Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Eje porta cuchillas N°1



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	11.46Kg	AISI 1018	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 11 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

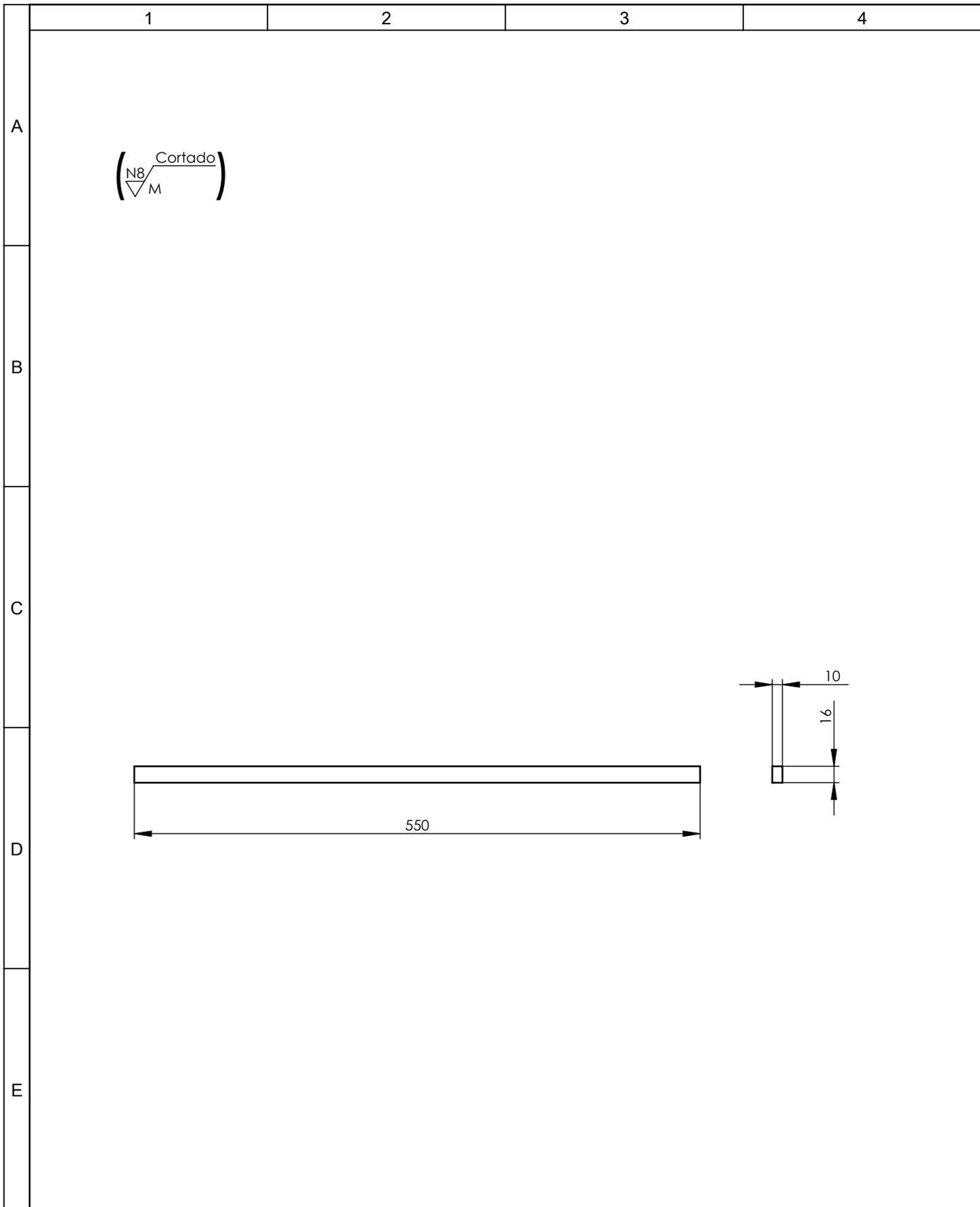
( $\frac{N5}{\nabla M}$  Fresado-Tornedado)



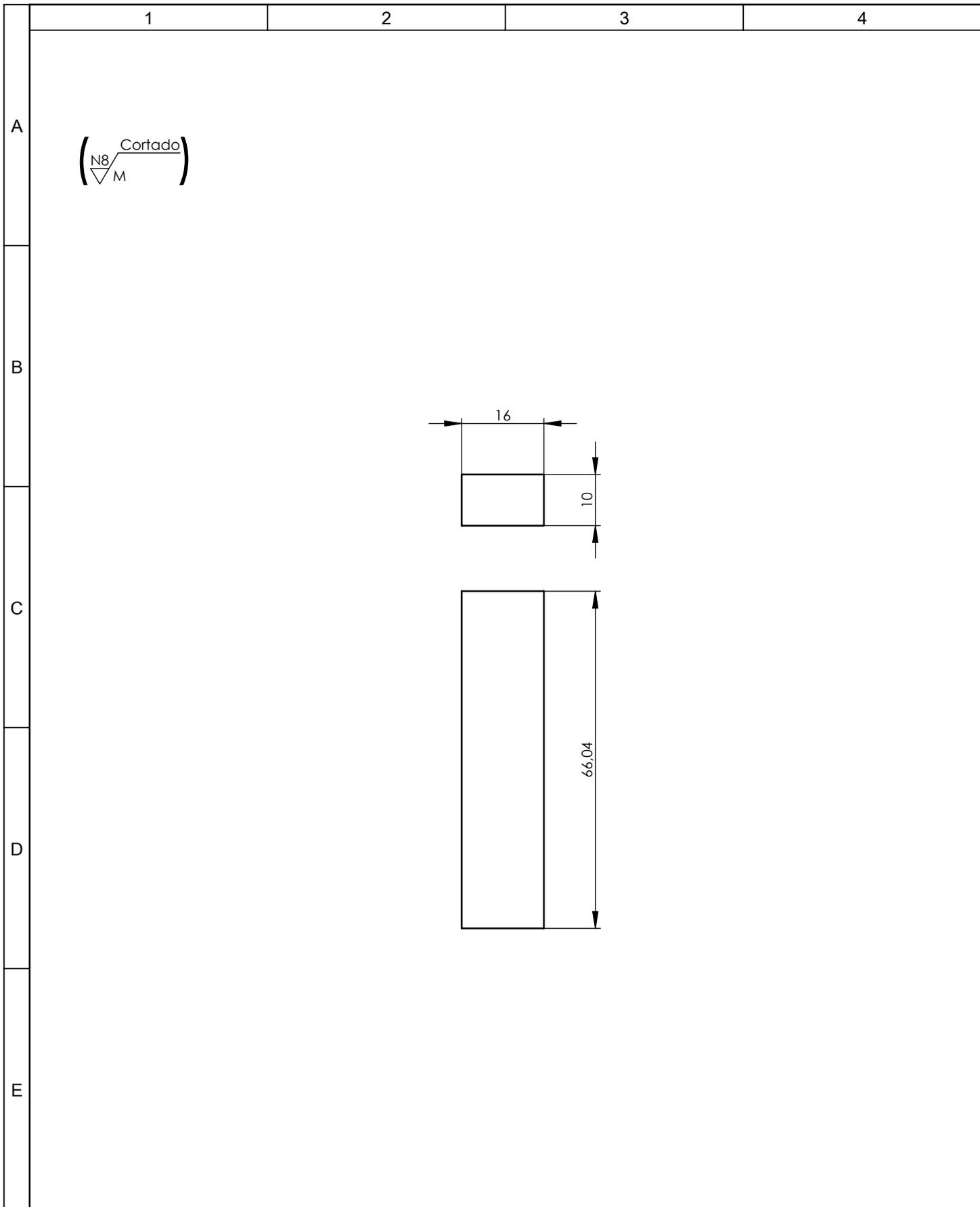
Piñón N°1 de 34 dientes  
 Construcción mediante paso  
 diametral 5 (Larburú, 1998, Anexo 24)  
 Chaveta según DIN 6886 para eje  
 interno 50,8mm

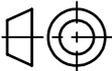
El piñón N°2 será exactamente igual;  
 con exclusión de la chaveta, que  
 tendrá un giro de 2° con respecto a  
 la vertical para evitar choque e  
 interferencias entre los dientes.

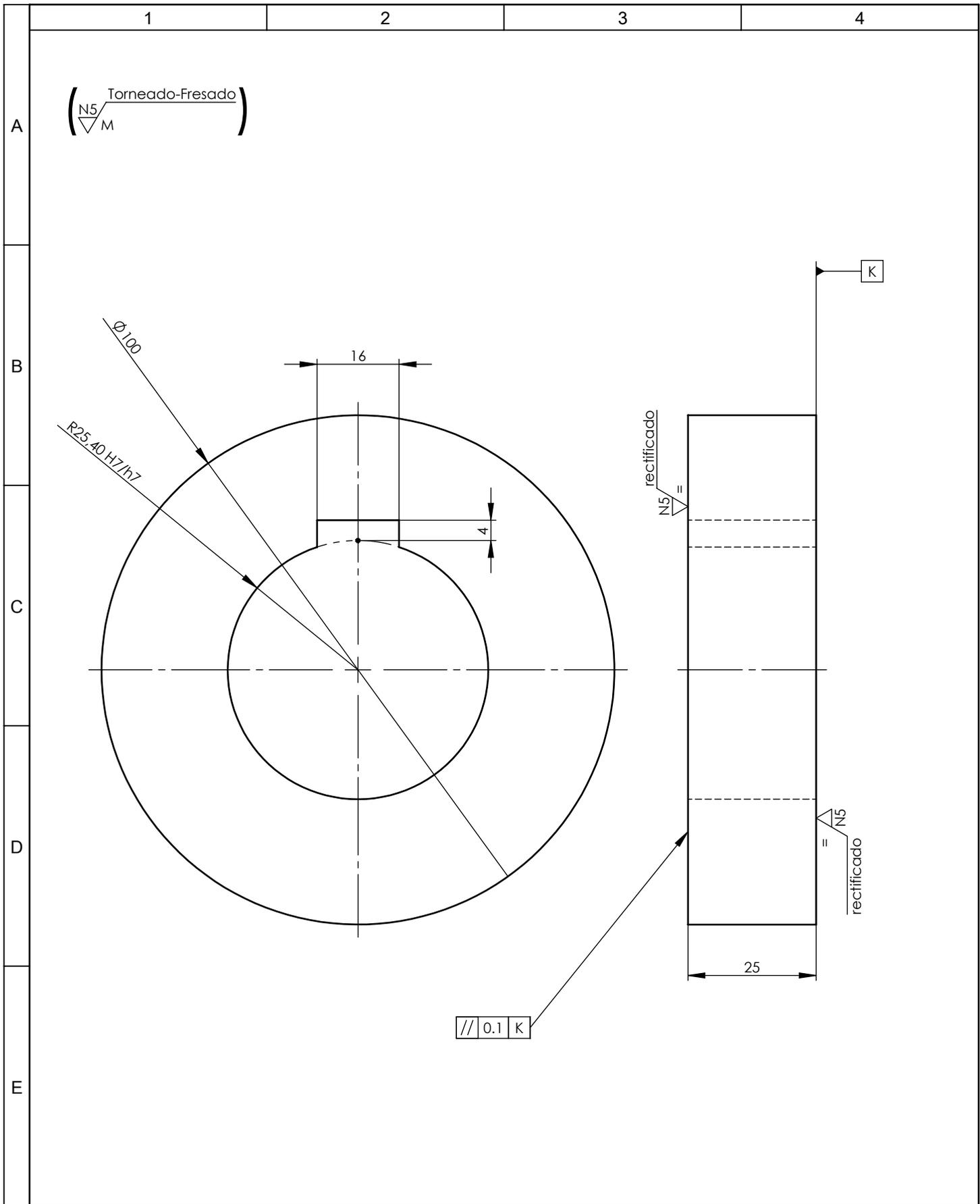
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	11.03Kg	AISI 1010	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:2.5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 12 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.69Kg	AISI 1010		
					Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
				Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	<b>Chaveta para eje de cuchillas</b>	1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 13 de 22		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

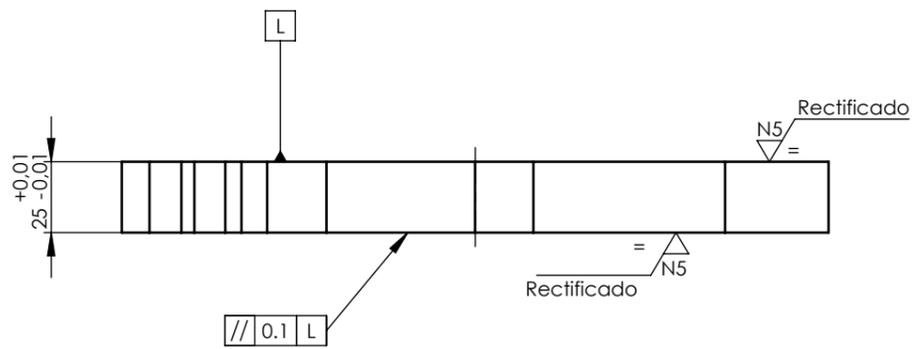
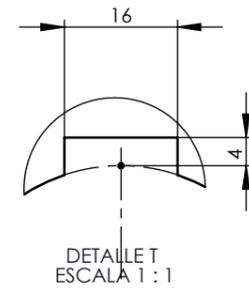
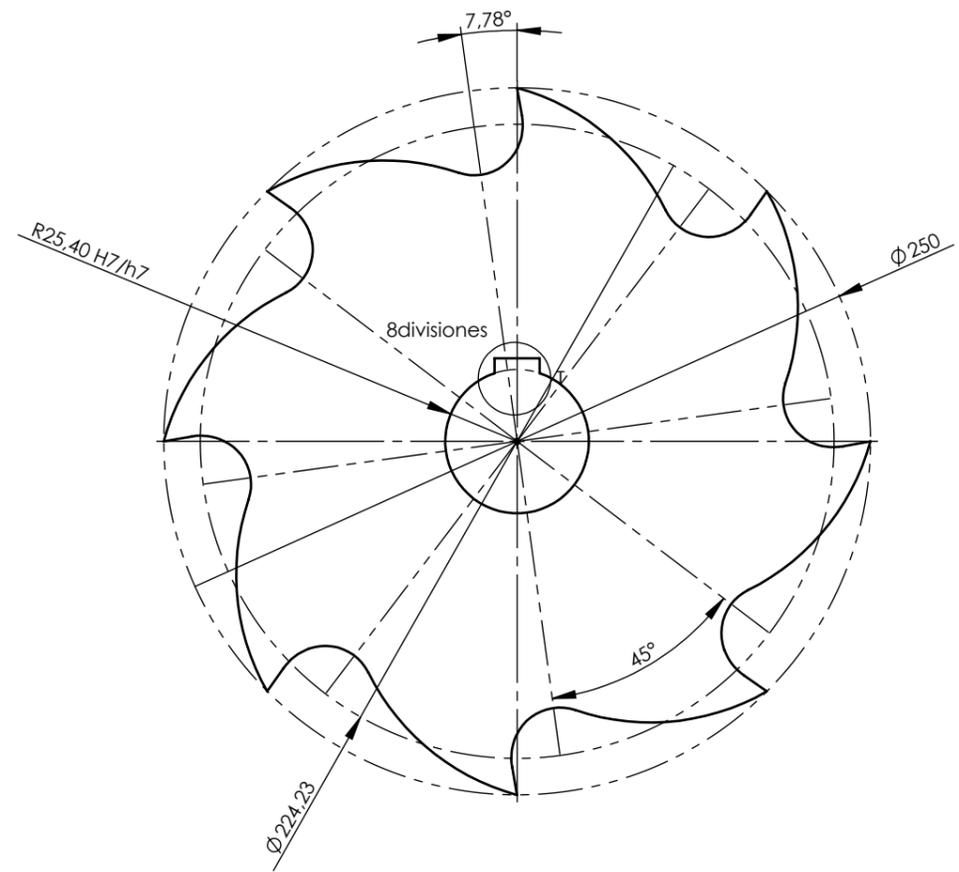
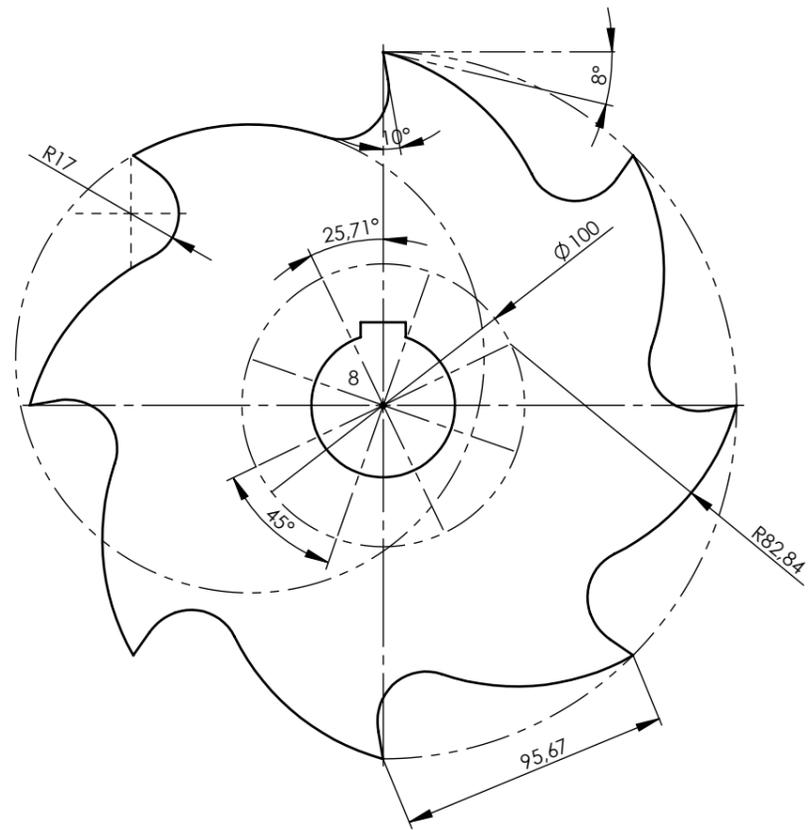


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.08Kg	AISI 1010		
					Fecha	Nombre	Denominación: <h2 style="margin: 0;">Chaveta para agarre de piñones</h2>	Escala: 1:1
				Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
				Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 14 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	

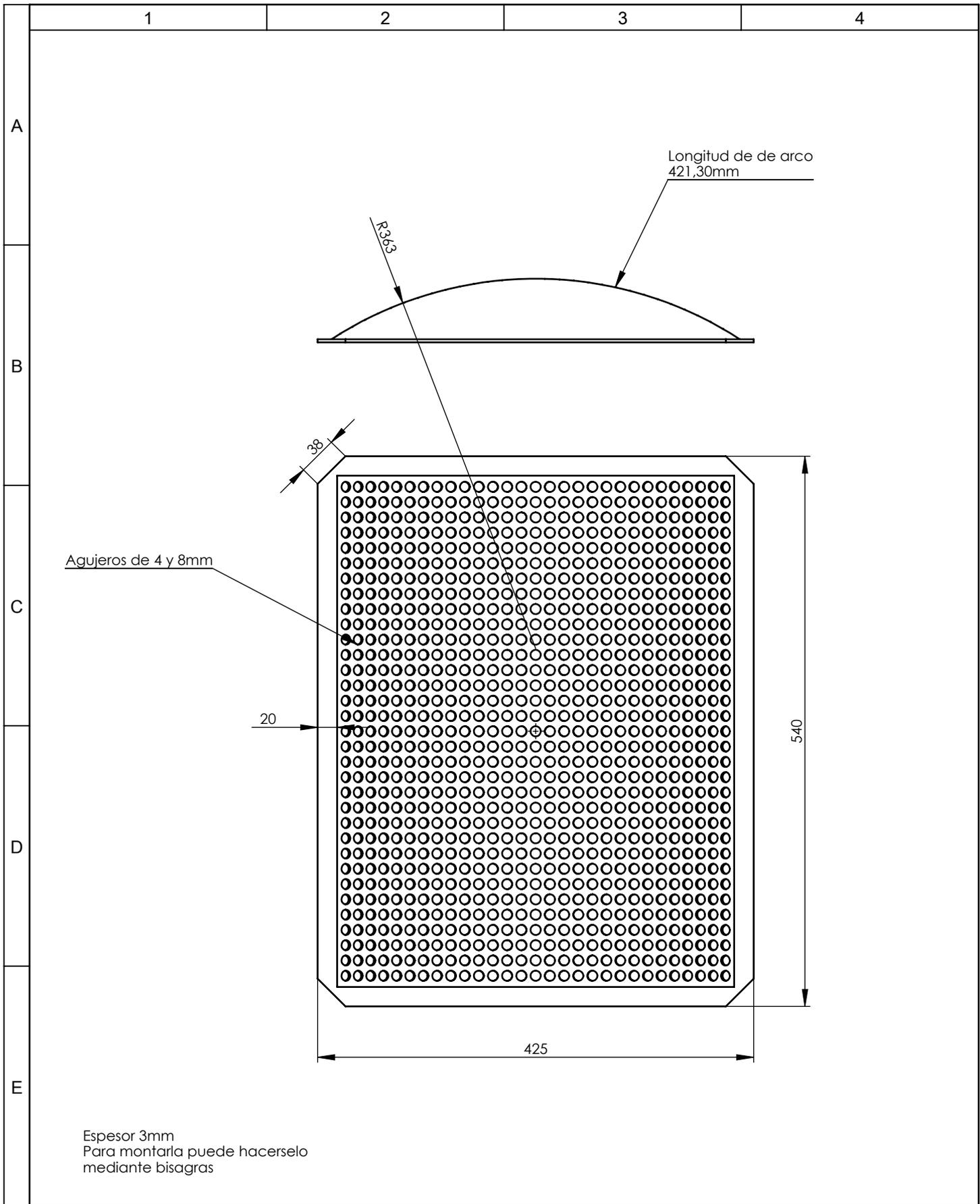


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	1.11Kg	AISI D3	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/11/15	Daniel Chimborazo L.	<b>Separador para corte</b>	1:1
				Revisó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 15 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

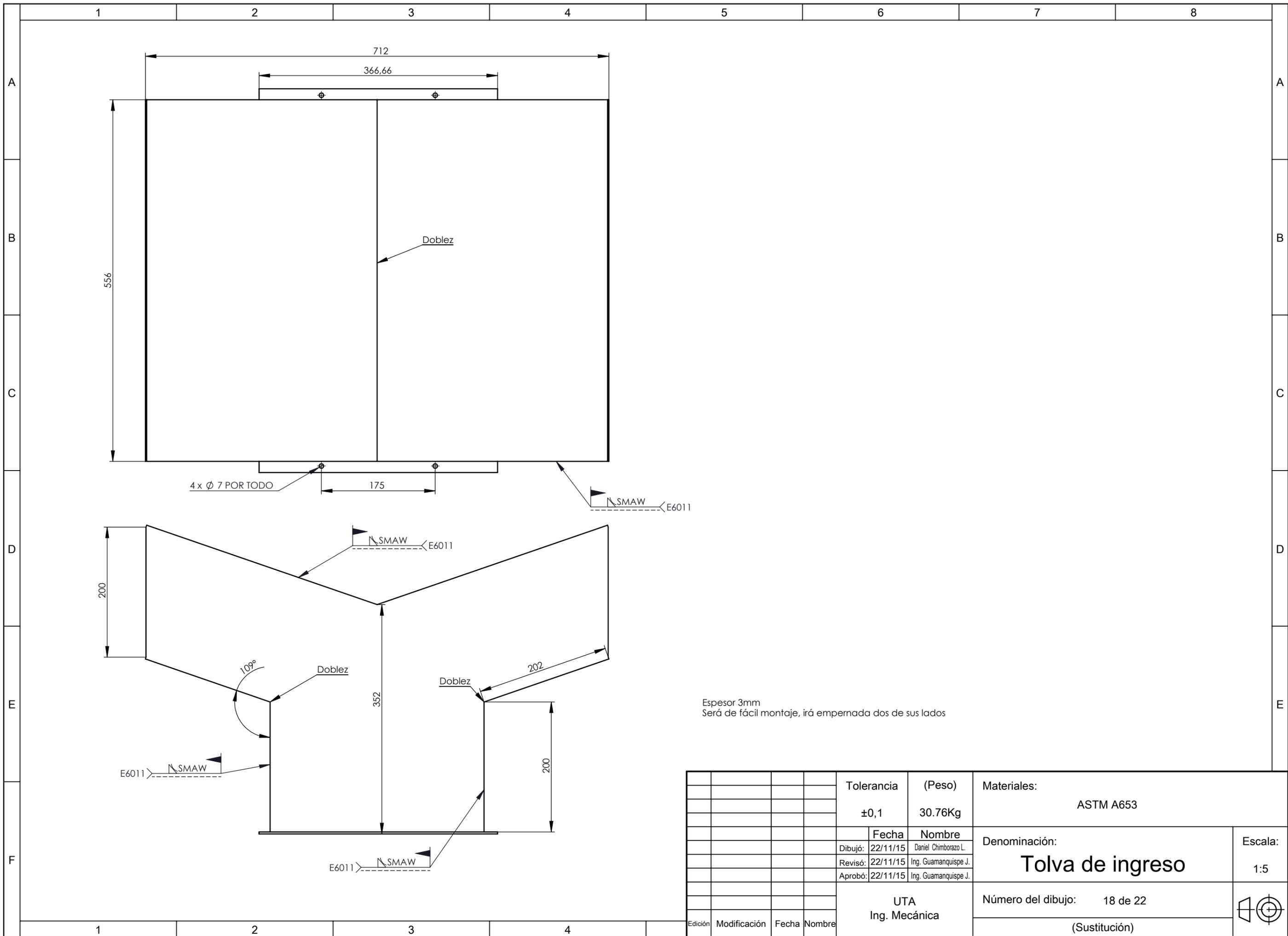
(N8 Fresado)  
C



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	6.68Kg	AISI D3	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 22/11/15	Daniel Chimborazo L.	Disco-Cuchilla de trituración	
				Revisó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Escala:	
				Aprobó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:2.5	
				UTA		Número del dibujo: 16 de 22	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

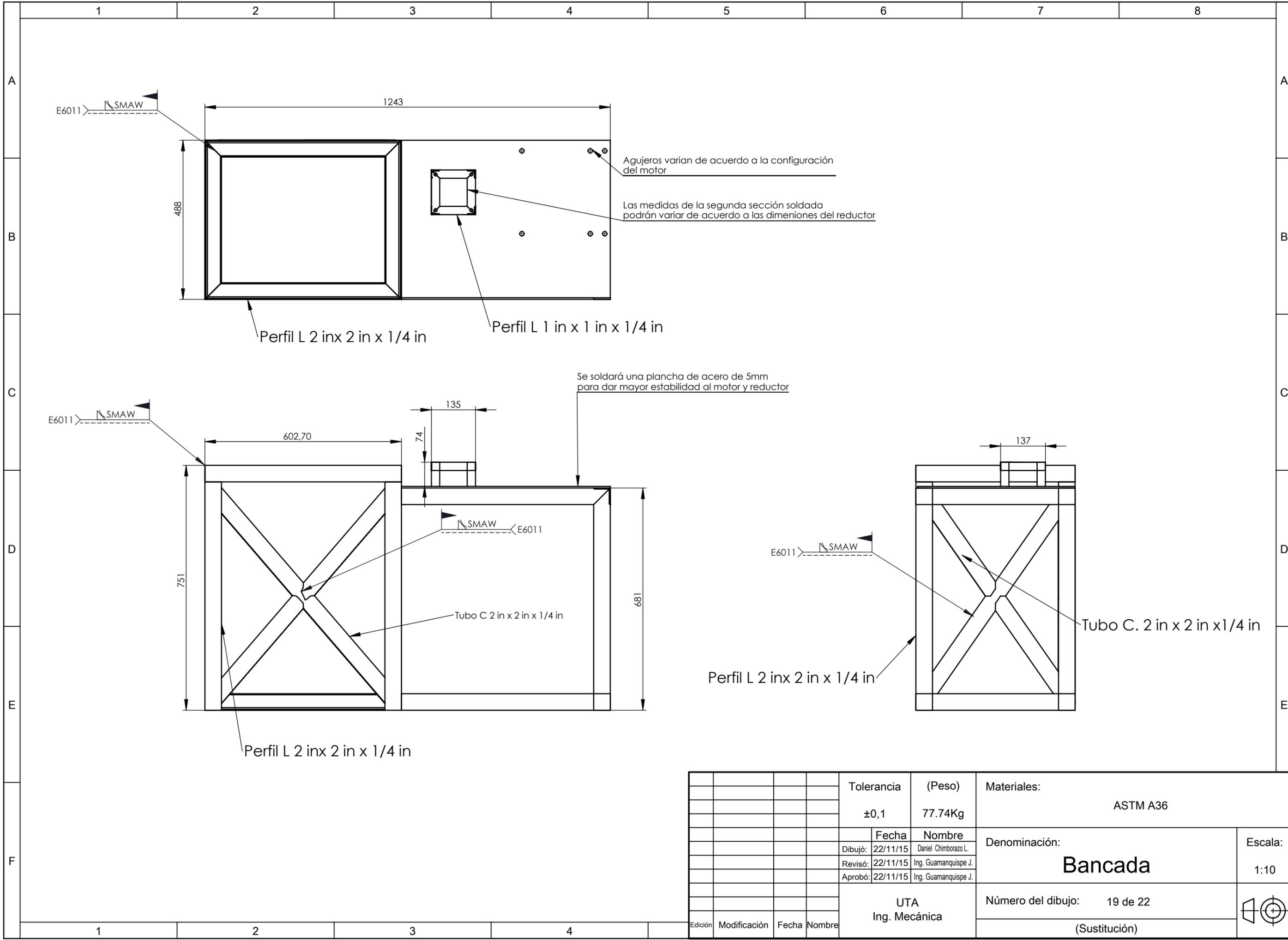


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	4.70Kg	ASTM A653	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 17 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



Espesor 3mm  
Será de fácil montaje, irá empernada dos de sus lados

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	30.76Kg	ASTM A653	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.	
				Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Escala:
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 18 de 22	
						(Sustitución)	1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



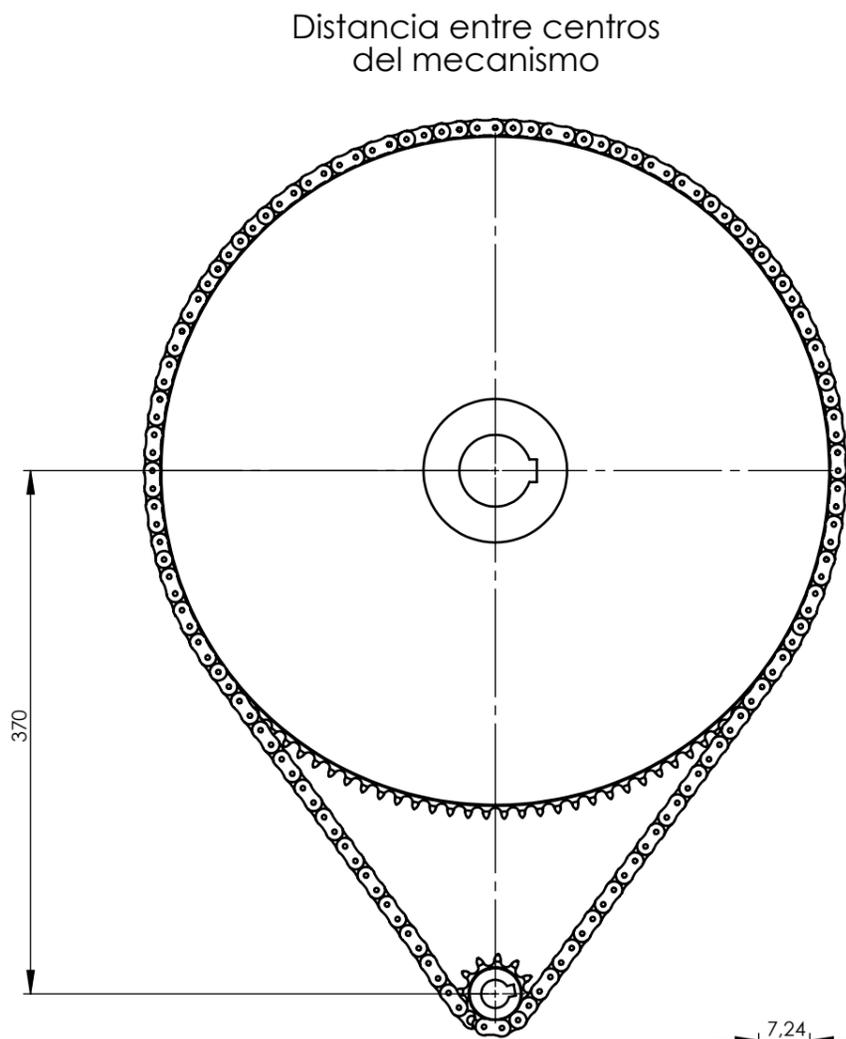
Agujeros varían de acuerdo a la configuración del motor

Las medidas de la segunda sección soldada podrán variar de acuerdo a las dimensiones del reductor

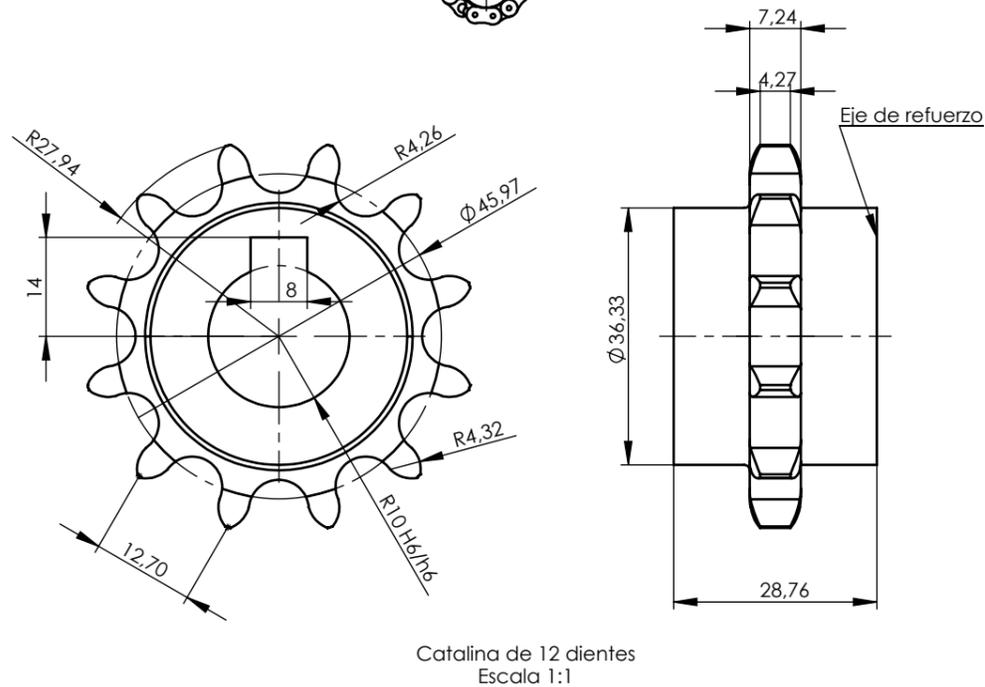
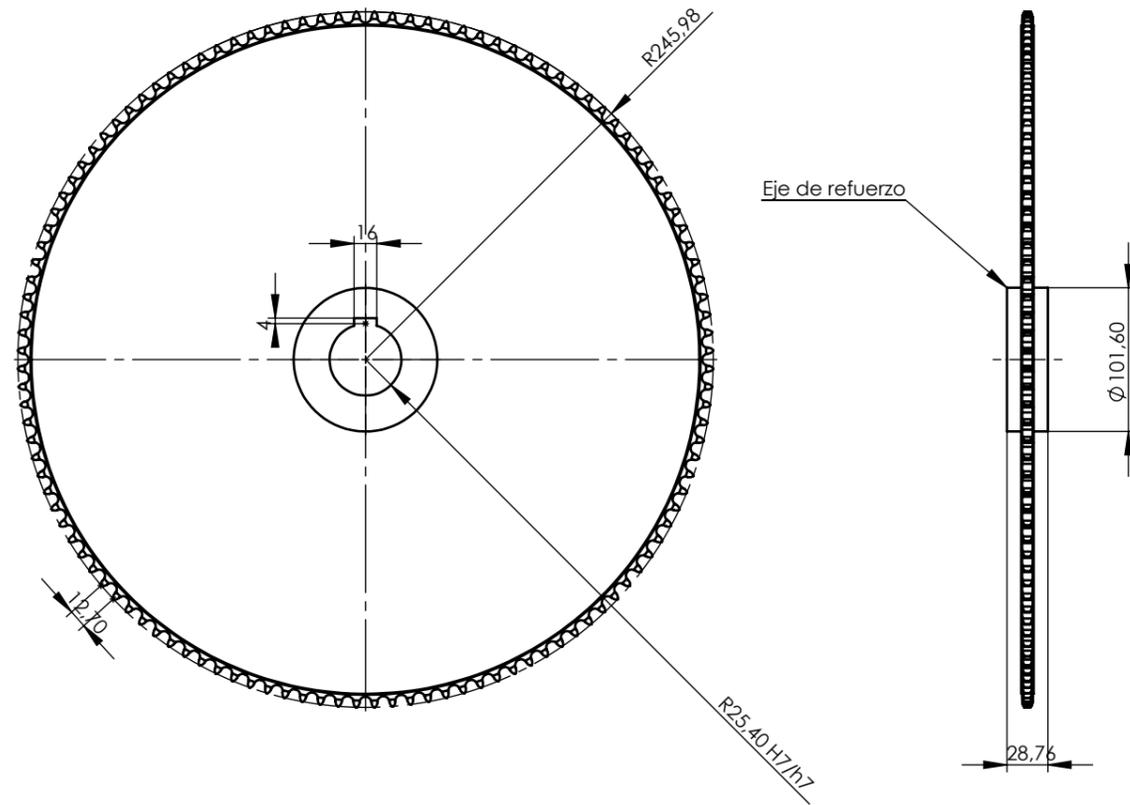
Se soldará una plancha de acero de 5mm para dar mayor estabilidad al motor y reductor

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	77.74Kg	ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.	
				Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Escala:
				UTA		Número del dibujo: 19 de 22	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	1:10
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

**Bancada**

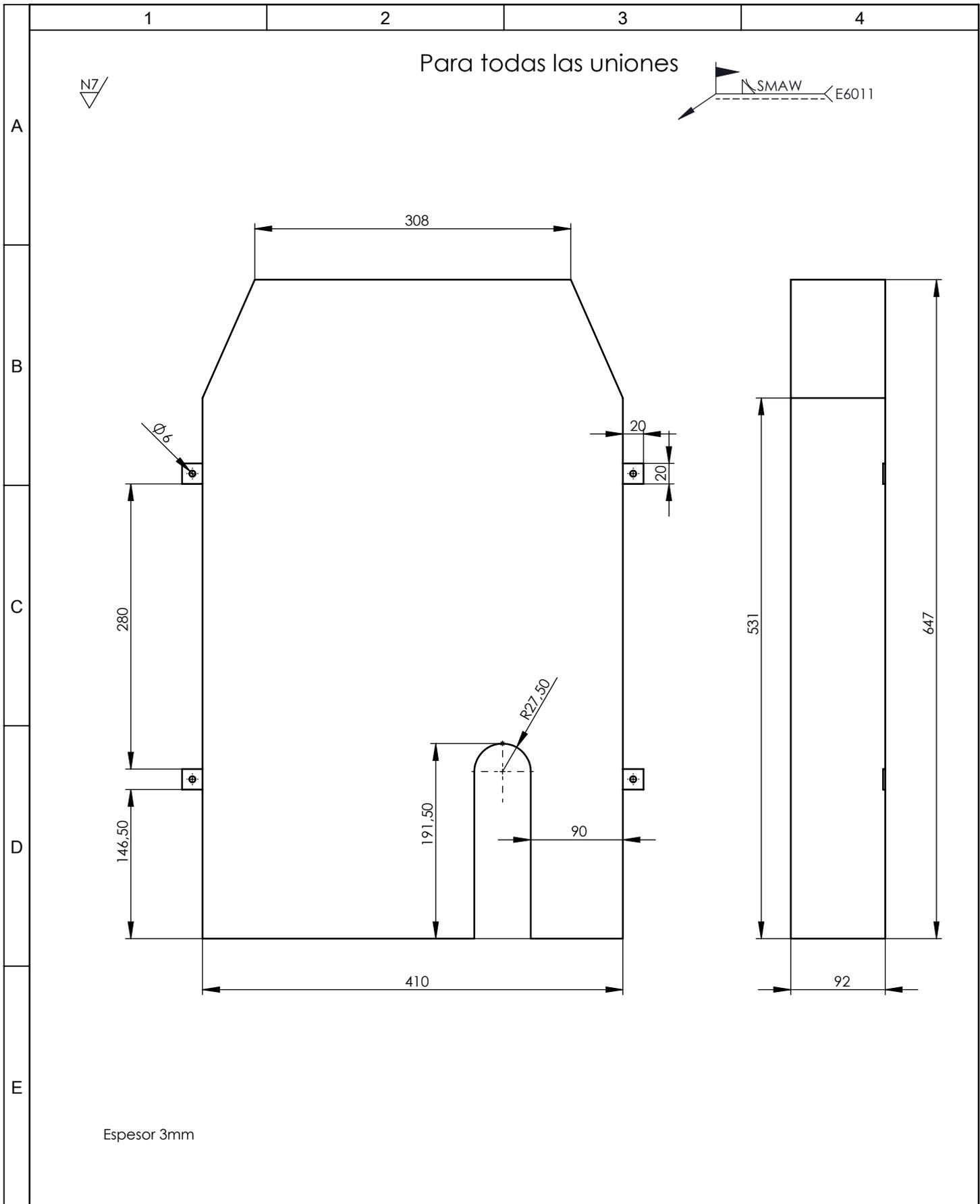


Catalina de 120 dientes



- En caso de no poder ser adquiridas, las medidas nos darán la posibilidad de construirlas.  
 - En caso de ser adquiridas, algunas medidas variarán, como el espesor del eje de refuerzo.  
 - La cadena será una N° 7 de paso 12,7mm de 140 eslabones para una distancia entre centros de 370mm  
 Dimensiones de acuerdo a UNE 18011 (Anexo 29)

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	13.66Kg	AISI 1045	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 22/11/15	Daniel Chimborazo L.	Mecanismo Cadena-Catalinas	
				Revisó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	Escala:	
				Aprobó: 22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5	
				UTA		Número del dibujo: 20 de 22	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	6.24Kg	ASTM A653	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/11/15	Daniel Chimborazo L.		
			Revisó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.		
				Aprobó:	22/11/15	Ing. Guamanquispe J.	1:5
				UTA		Número del dibujo:	
				Ing. Mecánica		21 de 22	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

