



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

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

**AUTOR: GODOY CAMPOS, MARCO ANTONIO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO  
AUTOMÁTICO TRITURADOR DE PLÁSTICO CON SISTEMA  
DE CONTROL DE PESO PARA LA EMPRESA OTNISA S.A.**

**DIRECTOR: ING. MELTON TAPIA  
CODIRECTOR: ING. HERNÁN LARA**

**SANGOLQUÍ, JULIO 2014**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO AUTOMÁTICO TRITURADOR DE PLÁSTICO CON SISTEMA DE CONTROL DE PESO PARA LA EMPRESA OTNISA S.A.”, fue realizado en su totalidad por el señor Marco Antonio Godoy Campos, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

---

**Ing. Melton Tapia**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. Hernán Lara P.**  
**CODIRECTOR**

Sangolquí, 2014-07-09

## **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO AUTOMÁTICO  
TRITURADOR DE PLÁSTICO CON SISTEMA DE CONTROL DE PESO  
PARA LA EMPRESA OTNISA S.A”

**ELABORADO POR:**

---

Marco Antonio Godoy Campos

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

---

**Ing. Francisco Terneus**

**DIRECTOR DE CARRERA**

Sangolquí, 2014-07-09

# CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

Yo, Marco Antonio Godoy Campos

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO AUTOMÁTICO TRITURADOR DE PLÁSTICO CON SISTEMA DE CONTROL DE PESO PARA LA EMPRESA OTNISA S.A"

---

Marco Antonio Godoy Campos

Sangolquí, 2014-07-09

## **DEDICATORIA**

Gracias a Dios, por haberme dado la vida y superar dificultades para llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi Madre, por ser el pilar y la fuerza importante en mi existencia y mi carrera, con su apoyo y amor incondicional, en estos momentos especiales para mí como lo es para ella.

A mi Hermano, por siempre estar junto a mí, por darme su inmenso cariño e impulso, porque gracias este equipo que formamos, llegamos a la meta lograda.

Gracias de todo corazón a mis. Abuelitas, Tías, Tíos, primos, primas y demás familiares, quienes han velado por mí, durante este camino y con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

***Marco Antonio Godoy Campos***

## AGRADECIMIENTOS

A la Señorita Cecilia Montero – Secretaria del Vicerrectorado Académico de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por la confianza y el apoyo brindado por parte de nuestra amiga y sin duda alguna es parte de este éxito.

Un profundo agradecimiento a Operaciones Técnicas Navales e Industriales S.A., (ONITSA S.A.) por el apoyo brindado para llevar a cabo este proyecto.

Agradezco, Al Ing. Francisco Terneus – Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica, al Ing. Melton Tapia Director de Tesis e Ing. Hernán Lara – Codirector de Tesis, por la atención brindada.

*“Vemos en la preservación, tanto ambiental como social, un camino poderoso hacia la innovación y es una parte crucial de nuestras estrategias de crecimiento”*

**Mark Parker**

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	6
1.3.1. HIPÓTESIS .....	8
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	8
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	9
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO.....	10
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	10
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	12

2.2.	GENERACIÓN DE DESECHOS A BORDO DE UN CRUCERO ....	14
2.3.	TIPOS DE DESECHOS GENERADOS EN UN CRUCERO .....	15
2.4.	LEGISLACIÓN SOBRE DESECHOS GENERADOS EN CRUCEROS. ....	16
2.4.1.	LEGISLACIÓN NACIONAL .....	16
2.4.2.	LEGISLACIÓN INTERNACIONAL .....	18
2.5.	CRUCERO NAVEGABLE EN EL ARCHIPIÉLAGO DE GALAPAGOS .....	20
2.5.1.	NORMAS TÉCNICAS AMBIENTALES PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN. ....	22
2.5.2.	GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN GALÁPAGOS .....	22
2.5.3.	PROCESAMIENTO DE DESECHOS RECICLABLES .....	23
2.5.4.	DESECHOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS INORGÁNICOS.....	23
2.6.	DESECHOS PLÁSTICOS.....	25
2.7.	MATERIALES PLÁSTICOS .....	28
2.7.1.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS .....	29
2.7.2.	TIPOS DE PLÁSTICOS .....	29
2.7.2.1.	TERMOPLÁSTICOS.....	29
2.7.2.2.	TERMOESTABLES. ....	32
2.7.2.3.	ELASTÓMEROS. ....	32
2.7.3.	TIEMPO DE VIDA RESIDUAL DE LOS PLÁSTICOS .....	33
2.7.4.	PROBLEMAS AMBIENTALES ORIGINADOS CON EL USO MASIVO DEL PLÁSTICO .....	35
2.8.	RECUPERACION DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS.....	36
2.8.1.	RECICLAJE .....	37
2.8.1.1.	BENEFICIOS DEL RECICLAJE .....	37
2.8.2.	RECICLAJE DE PLÁSTICO .....	38
2.8.2.1.	ETAPAS PARA RECICLAR EL PLÁSTICO.....	39
2.8.3.	TIPOS DE RECICLAJE DE PLASTICOS.....	40
2.8.3.1.	RECICLAJE PRIMARIO O PRE-CONSUMO .....	40
2.8.3.2.	RECICLAJE SECUNDARIO O POST-CONSUMO .....	41
2.8.3.3.	RECICLAJE TERCARIO .....	42



2.8.3.4.	RECICLAJE CUATERNARIO .....	42
2.8.4.	PROCESO DE RECUPERACION DE DESECHOS PLÁSTICOS .....	43
2.9.	SISTEMAS DE MOLIENDA y TRITURACIÓN .....	44
2.9.1.	MOLIENDA .....	44
2.9.2.	TRITURACIÓN.....	44
2.9.3.	REDUCCIÓN DE VOLUMEN.....	44
2.9.4.	RECICLADO DE MATERIALES.....	45
2.9.5.	TRITURACIÓN Y MOLIENDA EN LA INDUSTRIA .....	45
2.9.5.1.	ETAPAS DE TRITURACIÓN .....	45
2.9.5.2.	EL PROCESO DE TRITURACIÓN DE PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA DE INYECCIÓN.....	47
2.9.6.	MOLINOS Y TRITURADORES .....	48
2.9.6.1.	MOLINOS A ALTAS REVOLUCIONES .....	49
2.9.6.2.	MOLINOS A BAJAS REVOLUCIONES .....	52
2.10.	SISTEMAS DE PESAJE.....	55
2.10.1.	CÉLULAS DE CARGA Y TRANSDUCTORES DE PRESIÓN.....	55
2.10.2.	ADQUISICIÓN DE DATOS Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE UNA CELDA DE CARGA.....	58
2.10.2.1.	EXCITACIÓN DEL PUENTE.....	59
2.10.2.2.	AMPLIFICACIÓN DE SEÑAL .....	59
2.10.2.3.	EQUILIBRACIÓN DEL PUENTE .....	59
<b>3.</b>	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>61</b>
3.1.	PROCESO DE DISEÑO MECATRÓNICO .....	61
3.1.1.	IDENTIFICAR LA NECESIDAD.....	62
3.1.2.	ANALIZAR EL PROBLEMA .....	62
3.1.3.	DETALLAR LAS ESPECIFICACIONES .....	65
3.1.4.	GENERAR POSIBLES SOLUCIONES .....	66
3.1.5.	SELECCIONAR UNA POSIBLE SOLUCIÓN .....	68
3.1.6.	CONSIDERACIONES FINALES DE DISEÑO.....	72
3.2.	DISEÑO MECÁNICO.....	74
3.2.1.	TRABAJO NECESARIO PARA EL CORTE DE PET .....	75

3.2.2.	DISEÑO DE PARTES Y PIEZAS .....	82
3.2.2.1.	ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MEDIANTE BANDAS.....	82
3.2.2.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MOLIENDA.....	87
3.3.	CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	135
3.3.1.	CONSTRUCCIÓN DE PARTES Y PIEZAS.....	135
3.3.2.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	144
3.4.	DISEÑO ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.....	144
3.4.1.	CONTROL ELÉCTRICO .....	145
3.4.1.1.	SELECCIÓN DEL MOTOR AC.....	145
3.4.1.2.	CÁLCULOS DE POTENCIA .....	146
3.4.1.3.	ARRANQUE .....	148
3.4.1.4.	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS .....	150
3.4.2.	ANÁLISIS DEL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN .....	153
3.4.2.1.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO .....	153
3.4.2.2.	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL.....	154
3.4.3.	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.....	161
3.4.4.	PROGRAMACIÓN .....	164
3.4.5.	DISEÑO ELECTRÓNICO Y SIMULACIONES .....	167
3.4.6.	DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS, PLACAS PCB.....	175
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>178</b>
4.1.	PRUEBAS DE CORTE .....	178
4.1.1.	ANÁLISIS DE LAS PARTÍCULAS DE PET TRITURADO .....	179
4.2.	DETECCIÓN DE PRESENCIA .....	181
4.3.	DETECCIÓN DE ATASCO .....	182
4.4.	CONTROL DE PESO .....	183
4.5.	RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO .....	185
4.6.	PRUEBAS EN VACÍO.....	191
4.6.1.	FUNCIONAMIENTO DE SENSORES.....	191
4.6.2.	FUNCIONAMIENTO DE ACTUADORES.....	192
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>193</b>
5.1.	COSTOS INDIRECTOS.....	193

5.1.1.	COSTOS MISCELÁNEOS .....	194
5.1.2.	MANO DE OBRA Y ASESORAMIENTO INDIRECTO .....	194
5.2.	COSTOS DIRÉCTOS .....	194
5.2.1.	ASESORAMIENTO PROFESIONAL.....	195
5.2.2.	DISEÑO E INGENIERÍA .....	195
5.2.3.	MATERIA PRIMA DIRECTA Y COSTOS DE FABRICACIÓN.....	196
5.2.4.	COSTOS DE ENSAMBLAJE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	199
5.2.5.	COSTOS DE ELEMENTOS ESTÁNDAR Y DE SUJECIÓN ..	199
5.3.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	200
5.3.1.	MINIMIZACIÓN DE COSTOS .....	200
5.3.2.	COSTO UTILIDAD .....	201
5.3.3.	COSTO EFECTIVIDAD.....	202
5.3.4.	COSTO BENEFICIO .....	202
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>204</b>
6.1.	CONCLUSIONES .....	204
6.2.	RECOMENDACIONES.....	205
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>206</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Logotipo de OTNISA S.A. ....	2
Figura 1.2	Componentes de una política para un enfoque integral.....	4
Figura 1.3	Provincias costeras del Ecuador. Fuente (CPPS, 2012).....	7
Figura 1.4	Desechos plásticos en el mar. Fuente (CEPAL, 2011) .....	7
Figura 2.1	Crecimiento de pasajeros en cruceros 1980-2011. ....	13
Figura 2.2	Incremento de desechos plásticos.....	25
Figura 2.3	Desechos plásticos afectan a la fauna marina.....	26

Figura 2.4 Ballena con 20 kilos de plástico en su estómago, encontrada muerta en las costas de Helling. ....	27
Figura 2.5 Desechos plásticos afectan a la fauna marina. ....	27
Figura 2.6 Productos fabricados en materiales termoplásticos. ....	30
Figura 2.7 Envase plástico. Fuente (Tomas en Línea, 2013)” ....	30
Figura 2.8 Recipiente para clasificar productos reciclables. ....	38
Figura 2.9 Botellas de plástico reciclables. ....	39
Figura 2.10 Flujograma general del aprovechamiento de residuos plásticos. ....	40
Figura 2.11 Proceso de recuperación de desechos plásticos. ....	43
Figura 2.12 Molino de altas revoluciones. Fuente (Durán, 2004).....	50
Figura 2.13 Molino de un solo eje. Fuente (Durán, 2004).....	50
Figura 2.14 Molino Desgarrador ZERMA. ....	51
Figura 2.15 Molino de altas revoluciones de gran capacidad. ....	51
Figura 2.16 Molino desgarrador dos ejes. ....	53
Figura 2.17 Molino desgarrador de cuatro ejes.....	54
Figura 2.18 Accesorios de almacenamiento para molinos.....	55
Figura 2.19 Varios tipos de celdas de carga. ....	56
Figura 2.20 Extensión de una galga. Fuente (NI, 2013) ....	57
Figura 2.21 Galga extensiométrica metálica adhesiva. Fuente (NI, 2013)...	57
Figura 2.22 Puente de Wheatstone. Fuente (NI, 2013) ....	58
Figura 3.1 Proceso de Diseño Mecatrónico. Fuente (Bagad, 2008) ....	61
Figura 3.2 Problemas a Resolver.....	62
Figura 3.3 Parámetros de selección. ....	68
Figura 3.4 Criterios de Ponderación. ....	73
Figura 3.5 Normas de Diseño. ....	73
Figura 3.6 Diagrama de sistema de corte. ....	75
Figura 3.7 Ensayo de impacto Izod. Fuente (Prospector, 2013).....	76
Figura 3.8 Ensayo de impacto Charpy. (Prospector, 2013) ....	76
Figura 3.9 Diagrama de par de rotación. ....	78
Figura 3.10 Diagrama de par de rotación. ....	79
Figura 3.11 Sección de banda tipo V. Fuente (OPTIBELT, 2012) ....	83

Figura 3.12 Sistema de molienda por cuchillas.....	87
Figura 3.13 Factor de seguridad mínimo de cuchilla fija.....	88
Figura 3.14 Factor de seguridad óptimo para cuchilla fija.....	89
Figura 3.15 Diseño de las cuchillas fijas. ....	89
Figura 3.16 Distribución de factor de seguridad en porta cuchilla.....	90
Figura 3.17 Factor de seguridad mínimo en porta cuchilla. ....	90
Figura 3.18 Diseño del porta cuchillas. ....	91
Figura 3.19 Factor de seguridad mínimo en cuchilla giratoria. ....	92
Figura 3.20 Diseño de las cuchillas giratorias.....	92
Figura 3.21 Diagrama de cuerpo libre. ....	93
Figura 3.22 Diagrama de cargas distribuidas estáticas sobre el eje rotor del molino. Simulación MD-Solid. ....	94
Figura 3.23. Diagrama de cortante producido por cargas estáticas en el eje rotor. Simulación MD-Solid.....	94
Figura 3.24 Diagrama de Momento Flector producido sobre el eje rotor. Simulación MD-Solid. ....	95
Figura 3.25 Volante sobre un eje de transmisión. (NORTON, 2004).....	96
Figura 3.26 Diseño del porta cuchillas. ....	97
Figura 3.27 Modelo sistema de cuchillas. ....	106
Figura 3.28. Restricciones de rodamiento, fuerza y torque en el sistema de cuchillas.....	107
Figura 3.29. Mallado del sistema de cuchillas. ....	107
Figura 3.30 Modelos generados del sistema de cuchillas a frecuencias naturales.....	108
Figura 3.31 Cordón de soldadura para la unión disímil entre eje y porta cuchilla.....	110
Figura 3.32 Composición química de los aceros inoxidable. ....	111
Figura 3.33 Composición química del acero inoxidable AISI 304. ....	111
Figura 3.34 Composición química del electrodo AWS E308L-16.....	112
Figura 3.35 Composición química del electrodo AWS E308L-16.....	112
Figura 3.36 Composición química del electrodo AWS E6013.....	112

Figura 3.37 Diagrama Schaeffler, análisis de soldadura con electrodo tipo E308L-16.....	114
Figura 3.38 Diagrama Schaeffler, análisis de soldadura con electrodo tipo E 312-16.....	115
Figura 3.39 Composición química del electrodo AWS E312-16. ....	116
Figura 3.40 Dimensiones estándar de cuña. ....	120
Figura 3.41 Cuñero de corredera deslizable. Fuente (NORTON, 2004) ....	121
Figura 3.42 Diseño de la caja de cámara de molienda. ....	123
Figura 3.43 Ensamble de la cámara de molienda.....	123
Figura 3.44 Esquema de una chumacera tipo brida. ....	124
Figura 3.45 Diagrama de dimensiones de pernos de sujeción. ....	127
Figura 3.46 Colocación de pernos de sujeción. ....	128
Figura 3.47 Diseño de la estructura base. ....	128
Figura 3.48 Dimensiones de ángulo estructural.....	129
Figura 3.49 Colocación de restricción y de cargas en la estructura.....	131
Figura 3.50 Tensiones de Von Mises.....	131
Figura 3.51 Desplazamientos en estructura .....	131
Figura 3.52 Cálculo de deformaciones en la estructura.....	132
Figura 3.53 Cálculo de factor de seguridad mínimo $F_s=2.5$ .....	132
Figura 3.54 Primera frecuencia natural. ....	133
Figura 3.55 Segunda frecuencia natural. ....	133
Figura 3.56 Tercera frecuencia natural. ....	133
Figura 3.57 Cuarta frecuencia natural. ....	134
Figura 3.58 Quinta frecuencia natural. ....	134
Figura 3.59 Porta cuchillas. . ....	136
Figura 3.60. Flujo másico y flujo tipo canal. Fuente (CRIBA, 2013).....	137
Figura 3.61 Diseño de la tolva de alimentación. ....	139
Figura 3.62 Diseño del tamiz. ....	141
Figura 3.63 Diseño de la tolva de descarga.....	143
Figura 3.64 Diseño de la carcasa de protección.....	143
Figura 3.65 Motor AC WEG W22. Fuente WEG .....	145
Figura 3.66 Conexión arranque Estrella Triángulo. Fuente WEG.....	148

Figura 3.67 Conexión arranque en caja de bornes. Fuente WEG .....	148
Figura 3.68 Arrancador botonera motor trifásico 220 V WEG. ....	149
Figura 3.69 Interruptor de protección de circuito eléctrico. ....	150
Figura 3.70 Contactor y relé térmico VOLTO. ....	151
Figura 3.71 Diagrama de flujo del proceso. ....	153
Figura 3.72 Molino para plásticos a controlar. ....	154
Figura 3.73 Diagrama de detección de presencia.....	155
Figura 3.74 Interruptor de presencia. Fuente (Tamiya USA, 2014) .....	156
Figura 3.75 Diagrama de detección de atasco.....	157
Figura 3.76 Elementos del control de peso.....	158
Figura 3.77 Diagrama general del control de peso. ....	159
Figura 3.78 Diagrama del sistema de control principal. ....	160
Figura 3.79 Diagrama señal de entrada y salida del sensor de peso. ....	161
Figura 3.80 Etapas del proceso de programación. ....	164
Figura 3.81 Diagrama general de programación. ....	165
Figura 3.82 Diagrama general del proceso de señales en el microcontrolador. ....	166
Figura 3.83 CCS Compilador C. (Solarbotics, 2014) .....	167
Figura 3.84 Configuración de ingreso de datos por teclado. ....	167
Figura 3.85 Pulsadores de control. ....	168
Figura 3.86 Configuración de cristal oscilador y RESET para el microcontrolador. ....	168
Figura 3.87 Utilización de puertos del microcontrolador. ....	169
Figura 3.88 Simulación del programa de control. ....	170
Figura 3.89 Activación de contactos para motor AC. ....	171
Figura 3.90 Diagrama típico del circuito integrado LM2907.....	172
Figura 3.91 Amplificación de señal de la galga extensiométrica.....	174
Figura 3.92 Diseño y ubicación de elementos del circuito impreso.....	177
Figura 3.93 Visualización en 3D de la placa PCB final. ....	177
Figura 4.1 Cámara de molienda y sistema de cuchillas. ....	179
Figura 4.2 Tolva de descarga y tamaño final de las partículas de PET triturado. ....	179

Figura 4.3 Tamiz. ....	180
Figura 4.4 Tolva de alimentación y control de presencia. ....	181
Figura 4.5 Mensaje de bienvenida e inicio del proceso. ....	181
Figura 4.6 Botonera y conexiones de activación de emergencia por atasco. ....	182
Figura 4.7 Control manual de parada de emergencia. ....	182
Figura 4.8 Tolva de descarga, bandeja de descarga. ....	183
Figura 4.9 Accionamiento de la compuerta.....	184
Figura 4.10 Comparación del espacio . ....	184
Figura 4.11 Alimentación de botellas plásticas. ....	186
Figura 4.12 Tolva de alimentación con botellas PET. ....	187
Figura 4.13 Partículas de plástico triturado. ....	188
Figura 4.14 Tolva de alimentación fuera de lugar. ....	188
Figura 4.15 Mensaje cierre la tolva para comenzar. ....	189
Figura 4.16 Ingreso de materiales metálicos. ....	189
Figura 4.17 Activación del servomotor. ....	190
Figura 4.18 Led indicador de presencia de tolva de alimentación. ....	191
Figura 4.19 Verificación de funcionamiento de galga. ....	192

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Crecimiento de pasajeros .....	12
Tabla 2.2 Desechos generados por los pasajeros abordo.....	15
Tabla 2.3 Crecimiento de la Flota CLIA .....	15
Tabla 2.4 Tipos de desechos generados en un crucero .....	16
Tabla 2.5 Tipos de termoplásticos reciclable .....	31
Tabla 2.6 Propiedades principales del PET .....	34
Tabla 3.1 Molinos en el mercado internacional.....	63
Tabla 3.2 Especificaciones de diseño .....	66
Tabla 3.3 Matriz de priorización .....	69
Tabla 3.4 Conclusiones de la Matriz de priorización.....	71



Tabla 3.5 Especificaciones finales de diseño .....	72
Tabla 3.6 Propiedades físicas de las cuchillas fijas .....	89
Tabla 3.7 Propiedades físicas del porta cuchillas .....	91
Tabla 3.8 características del acero A131 .....	91
Tabla 3.9 propiedades físicas de las cuchillas giratorias .....	92
Tabla 3.10 Características del Acero AISI D2.....	92
Tabla 3.11 Detalle de cargas efectuadas en el eje rotor.....	94
Tabla 3.12 Propiedades físicas del porta cuchillas .....	97
Tabla 3.13 Características del acero AISI 304.....	97
Tabla 3.14 Modelos y desplazamientos a frecuencias naturales .....	108
Tabla 3.15 Desplazamientos por la influencia de las cargas en el eje.....	109
Tabla 3.16 Frecuencias de resonancia y velocidad máxima de rotación ...	109
Tabla 3.17 Propiedades físicas de la caja cámara de molienda .....	123
Tabla 3.18 Características del Acero A36.....	129
Tabla 3.19 Resultados del análisis de frecuencias .....	134
Tabla 3.20 Propiedades físicas de la tolva de alimentación .....	139
Tabla 3.21 Características del Acero A 653.....	140
Tabla 3.22 Propiedades físicas de la tolva de descarga.....	143
Tabla 3.23 Características del motor AC WEG W22 .....	145
Tabla 3.24 Características del interruptor breaker .....	150
Tabla 3.25 Características del contactor y relé térmico VOLTO .....	151
Tabla 3.26 Criterios de selección del controlador .....	161
Tabla 3.27 Señales de entrada al sistema.....	162
Tabla 3.28 Señales de salida del sistema.....	162
Tabla 3.29 Señales agregadas al sistema .....	163
Tabla 3.30 Resumen de señales .....	163
Tabla 3.31 Características del Microcontrolador.....	164
Tabla 3.32 Análisis de consumo de corriente de los elementos .....	174
Tabla 4.1 Tamaño final de las partículas PET .....	180
Tabla 4.2 Plan de pruebas de funcionamiento.....	185
Tabla 4.3 Análisis de tiempos de producción del molino .....	186
Tabla 4.4 Rangos de producción del molino.....	187

Tabla 5.1 Costos misceláneos .....	194
Tabla 5.2 Costos de asesoramiento profesional directo .....	195
Tabla 5.3 Costos de diseño e ingeniería.....	195
Tabla 5.4 Costos de materia prima y fabricación.....	197
Tabla 5.5 Costos de asesoramiento profesional directo .....	199
Tabla 5.6 Costos de elementos estándar y de sujeción.....	199
Tabla 5.7 Resumen total de costos.....	200
Tabla 5.8 Comparación con molinos del mercado internacional.....	201

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A 1 .....	211
Anexo A 2 .....	212
Anexo A 3 .....	213
Anexo A 4 .....	214
Anexo A 5 .....	215
Anexo A 6 .....	216
Anexo A 7 .....	217

## RESUMEN

La constante necesidad de reducir los índices de contaminación en todo el mundo ha permitido el desarrollo de varias iniciativas de reciclaje de desechos plásticos, la mayor parte de la afectación el territorio ecuatoriano está en el medio ambiente, la biodiversidad de las especies que habitan en el mar y la extinción de especies animales de las Islas Galápagos. En muchos casos esta contaminación en el mar es causada por la excesiva acumulación de desechos plásticos a bordo de las navieras nacionales e internacionales, el crecimiento poblacional, el consumismo, etc. Es por ello que se presenta la necesidad de dar tratamiento a los desechos sólidos a bordo de las embarcaciones, reducir el tamaño de estos desechos PET para contrarrestar esta afectación. El presente proyecto hace referencia al diseño y construcción de un molino automático triturador de plástico que permita reducir el tamaño de los desechos plásticos producidos en las navieras, de 5 metros cúbicos de botellas plásticas hasta 2 metros cúbicos en hojuelas de PET triturado con dimensiones promedio de 8.76x8.03 mm. Mediante la implementación de un sistema de control de peso permitirá mantener un registro del PET triturado, un dato importante para los informes de tratamiento adecuado de desechos sólidos a bordo de las embarcaciones. Para la Empresa OTNISA S.A. representa una gran iniciativa y un proyecto de preservación ambiental para evitar la contaminación de plásticos en el mar y brinda grandes beneficios de optimización de espacios a bordo de las navieras así también incentiva las buenas prácticas ambientales.

**PALABRAS CLAVES: CONTAMINACIÓN, RECICLAJE, TRITURACIÓN, POLIETILEN TEREFALATO (PET), PRESERVACIÓN AMBIENTAL**

## **ABSTRACT**

The constant need to reduce pollution levels worldwide has enabled the development of several initiatives of plastic waste recycling, most of the affected Ecuadorian territory is in the environment, biodiversity of species that inhabit the sea and the extinction of animal species of the Galapagos Islands. In many cases this marine pollution is caused by the accumulation of plastic waste on board national and international shipping, population growth, consumerism, etc. That is why the need for treatment of solid waste on board, reduce the size of these PET waste to counter this involvement is presented. This project refers to the design and construction of an automatic grinder mill plastic that reduces the size of the plastic waste produced in shipping, 5 cubic meters of plastic bottles up to 2 cubic meters of crushed PET flakes with average dimensions of 8.76x8.03 mm. Through the implementation of a weight control system allow you to keep track of shredded PET, an important data for reports adequate solid waste treatment aboard ships. For OTNISA S.A. represents a great initiative and a draft environmental preservation to prevent plastic pollution at sea, and provides great benefits of optimizing space on board the shipping and also encourages good environmental practices.

**POLLUTION, RECYCLING, CRUSHING, POLYETHYLENE  
TEREPHTHALATE (PET), ENVIRONMENTAL PRESERVATION**

# **CAPÍTULO I**

## **1. GENERALIDADES**

En el presente capítulo se describe la iniciativa de desarrollar el proyecto de tesis. A continuación se presentan antecedentes de la empresa auspiciante, la problemática en la industria naviera del Ecuador, la importancia económica, ambiental y ecológica que generó la necesidad de diseñar y construir un molino automático triturador de plástico para la empresa OTNISA S.A. Se explican las contribuciones y el producto resultante obtenido. Finalmente se detalla la Hipótesis, el objetivo y la estructura del presente proyecto.

### **1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

OPERACIONES TECNICAS NAVALES E INDUSTRIALES OTNISA S.A. es una empresa que se crea con el objetivo de brindar servicio técnico en el área Naval como Industrial para lo que emplea a varios Ingenieros y Técnicos altamente calificados que llevan a cabo proyectos y servicios.

Los productos y servicios de OTNISA S.A. satisfacen las necesidades del mercado, entre las actividades principales está: montaje, diseño, asesorías, reparación y mantenimiento de todo tipo de máquinas y equipos, Navales e Industriales. Rebobinajes de motores eléctricos, diseño, construcción y reparación de tableros de control. Montaje de tableros, centrales telefónicas. Trabajos de soldadura, pintura, limpieza, etc.

La experiencia adquirida en el sector naval, e industrial, normas de alta calidad y tiempos cortos obliga a Armadores, Agencias Navieras y Gerentes a requerir asistencia inmediata. Proporcionar especialistas para satisfacer los diferentes requerimientos que se presentan en las navieras. La confianza confidencialidad y seguridad en la información ha permitido brindar un trabajo de calidad.

- Inspecciones Marítimas, Peritajes, Avalúos, Asesoría Técnica, Asesoría e Implementación de ISSO 9001:2000.
- Salvataje, reflotamiento de embarcaciones.
- Provisión de suministros y materiales.

El presente proyecto fue desarrollado en coordinación con la misión de la empresa de conocer las necesidades del entorno, actuar de manera original, creativa, responsable y con la visión de convertirse en la empresa líder en ofrecer servicios de reparaciones, mantenimiento, asesorías y suministros a navieras nacionales e internacionales.



**Figura 1.1 Logotipo de OTNISA S.A.**

“La Responsabilidad Social Empresaria o Corporativa (RSE o RSC) es una nueva disciplina que busca diseñar planes de acción desde empresas o corporaciones hacia la sociedad, aplicando programas y acciones de cuidado ambiental, desarrollo humano, impacto social y mejorar el propio valor añadido.” (Definición.mx, 2014).

## 1.2. ANTECEDENTES

Los problemas ambientales conciernen a las ciencias naturales, exactas y sociales. Pero fundamentalmente son problemas que involucran decisiones políticas, y por consiguientes muy difíciles de resolver.

La creciente inserción internacional de nuestras economías, las necesidades de competir en mercados globalizados, el atraso tecnológico, la falta de núcleos endógenos de ciencia y tecnología, la carencia de recursos humanos capacitados y, sobre todo, la necesidad de un desarrollo económico y social acelerado, que sirva a los propósitos de vencer el subdesarrollo, han llevado a la empresa OTNSA S.A. a diseñar propuestas innovadoras.

Los problemas asociados a la generación, manejo y eliminación final de los desechos urbanos e industriales nos han demostrado que sin políticas ambientales eficaces y sin una sociedad civil alerta, consciente, movilizadora y participativa, este desarrollo económico puede llevarnos a la pérdida de nuestro patrimonio natural y ambiental, base de muchas de nuestras fortalezas y posibilidades futuras.

Por otra parte, la CEPAL ha desarrollado un proyecto para la gestión ambientalmente adecuada de los desechos urbanos e industriales denominado: "política integral para la gestión ambientalmente adecuada de los desechos"; con énfasis en la política, abordando diversos aspectos relevantes para resolver los problemas de residuos propios de las ciudades modernas, donde estuviesen considerados diferentes aspectos políticos, legales, institucionales, técnicos, económicos, instrumentales, de ordenamiento territorial y espacial, así como los relativos a la sensibilización y educación de la población. (CEPAL, 2011)



**Figura 1.2 Componentes de una política para un enfoque integral.**

**Fuente (CEPAL, 2008)**

Los países latinoamericanos se han alineado hacia este enfoque para el análisis y gestión de los residuos sólidos. En Ecuador se considera que se generan 3.600 toneladas de basura, en Quito 1.800 y en Guayaquil 900 toneladas diarias de basura. En estas ciudades hay un sistema de recolección, procesamiento y destino de los desechos sólidos.

Entre los principales desechos inorgánicos están el plástico, tetra pak (polietileno, cartón y aluminio), papel, cartón, vidrio, aluminio y lata. En los últimos años, por las tendencias del mercado, los productos alimenticios usan envases de plástico que, por su menor costo, han sustituido al vidrio y al cartón.

Dentro de los desechos inorgánicos, la mayoría es de plásticos y de los cuales solo en Guayaquil se desechan 366 millones de botellas al año y otro tanto de fundas. Al no ser un material biodegradable, los plásticos se convierten en un serio problema de contaminación, pues duran muchos años. No se tiene un dato exacto de la cantidad de desechos plásticos en las Islas Galápagos, sin embargo los índices de contaminación marina continúan creciendo.



La ley especial de Galápagos (1998) detalla en las prohibiciones que:

“La descarga o arrojado a grietas, acuíferos al interior de las Islas, a las aguas interiores, reserva marina, costas o zonas de playas, desechos de lastre de sentinas, aguas servidas, basuras o desechos o cualquier otro elemento contaminante del medio acuático sin que tales elementos hayan sido tratados”. (Congreso Nacional, 1998)

En el período 2002–2003 el Gobierno Municipal de Santa Cruz (ISLAS GALAPAGOS) en conjunto con el Ministerio del Ambiente trabajaron en un Reglamento de manejo de desechos para las Islas Galápagos, el mismo que daría un marco jurídico a esta actividad y se plantea como objetivo prioritario tratar de reducir la cantidad de desechos generados.

“En el año 2004 se inaugura el Centro de Interpretación Ambiental de Desechos Sólidos orientado para que la comunidad de Santa Cruz así como los visitantes de las diferentes latitudes del planeta se informen y cambien su actitud frente a los problemas que acarrea el mal manejo o disposición inadecuada de los desechos.

Además se ha incorporado libremente a los programas de reciclaje algunas embarcaciones turísticas, muchas de ellas no se han incorporado aún, debido a la falta de información y difusión del programa, así como al interés de la tripulación y armadores turísticos.” (Gobierno Municipal Santa Cruz, 2003)

En adición para enfrentar el problema de los envases, se dicta la LEY DE FOMENTO AMBIENTAL Y OPTIMIZACIÓN DE INGRESOS DEL ESTADO en vigencia desde el 25 de noviembre de 2011 que detalla:

## CAPÍTULO II IMPUESTO REDIMIBLE A LAS BOTELLAS PLÁSTICAS NO RETORNABLES

Con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental y estimular el proceso de reciclaje, se establece el impuesto ambiental a las botellas plásticas no retornables.

El hecho generador de este impuesto será embotellar bebidas en botellas plásticas no retornables, utilizadas para contener bebidas alcohólicas, no alcohólicas, gaseosas, no gaseosas y agua. En el caso de bebidas importadas, el hecho generador será su desaduanización.

Por cada botella plástica gravada con este impuesto, se aplicará la tarifa de hasta dos centavos de dólar de los Estados Unidos de América del Norte (0,02 USD), valor que se devolverá en su totalidad a quien recolecte, entregue y retorne botellas, para lo cual se establecerán los respectivos mecanismos tanto para el sector privado como público para su recolección, conforme disponga el respectivo reglamento. (Asamblea Constitucional, 2011)

### **1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Hay evidencia que el vertido de desechos al mar es una práctica común. El principal problema de generación de basura marina por fuentes terrestres y de las embarcaciones, la insuficiente cobertura de los sistemas de recolección de desechos y la inadecuada disposición de los mismos por parte de los gobiernos municipales.

#### **Basura de Fuente Marina**

Se tiene conocimiento que las embarcaciones arrojan basura al mar, al momento no se ha logrado cuantificar sobre el volumen o el origen de estos desechos. El vertido de basura está prohibido por el código de Policía Marítima y la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de Recursos del Estado que mantienen sanciones al respecto. Ecuador ha ratificado el Anexo V de MARPOL para la prevención de contaminación por la basura de los buques y exige el cumplimiento del mismo.

Actualmente es muy deficiente el control de vertimiento de basuras desde embarcaciones menores en las provincias costeras del Ecuador y a

los buques de mayor calado se exige el cumplimiento de las disposiciones MARPOL. (CPPS, 2012)



**Figura 1.3 Provincias costeras del Ecuador. Fuente (CPPS, 2012)**

En la práctica las embarcaciones que operan en los mares y ríos del continente tienden a arrojar los desperdicios por la borda. Así también es común observar que las embarcaciones de pesca artesanal e industrial que operan en áreas costeras arrojan desperdicios y se ha identificado como desecho sólido más común los recipientes plásticos, principalmente botellas de refrescos, agua, botellas de aceite comestible, tarrinas de manteca, botellas de aceite de motor, vasos plásticos y tarrinas entre otros.



**Figura 1.4 Desechos plásticos en el mar. Fuente (CEPAL, 2011)**

### **1.3.1. HIPÓTESIS**

El adecuado diseño de un molino automático triturador de plástico con sistema de control de peso destinado para el uso en embarcaciones, es motivado por un interés genuino ante las posibles consecuencias o efectos adversos de la contaminación marina, además permitirá alcanzar un sistema de gestión de desechos plásticos con resultados eficientes y eficaces.

## **1.4. OBJETIVOS**

Los diferentes objetivos que se plantean tienen referencia a la iniciativa de preservación ambiental, necesidades de la empresa auspiciante y requerimientos de diseño.

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un molino automático triturador de plástico con sistema de control de peso para la empresa OTNISA S.A.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construir un molino automático triturador de plástico basado en la investigación de molinos existentes en el mercado y la información técnica proporcionada por la empresa auspiciante.

- Proveer de una tentativa solución al problema de espacio que se presenta actualmente a bordo de las navieras y a su vez se enfocará en prevenir la contaminación marina.
- Implementar un sistema de control de peso que permita el registro adecuado de la cantidad de plástico PET triturado, necesario para el posterior análisis de desechos plásticos responsabilidad ambiental que realizan las embarcaciones.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Los buques que rodean las costas del Ecuador, especialmente las navieras turísticas, producen grandes cantidades de desechos plásticos y no existe un adecuado proceso de gestión de los mismos, en su gran mayoría son botellas PET. El espacio muy reducido donde se acumulan las botellas representa un gran problema con el transcurso del tiempo.

Por ello se pretende reducir el tamaño de los desechos plásticos a partículas pequeñas que presentan menor complejidad en el transporte y espacio a bordo; facilitando el transporte para su posterior proceso de reciclaje y de esta manera evitar la contaminación del mar.

El plástico representa uno de los materiales de mayor demanda en el mercado industrial debido a sus propiedades físicas y químicas, que conjuntamente al marco legal de MARPOL se promueve el reciclaje como sanciones a quienes arrojan estos desechos al mar.

Actualmente no existe a nivel nacional maquinaria a bordo destinada a la reducción del tamaño de desechos plásticos y se hace imprescindible dar una solución eficiente a los problemas de espacio y evitar sanciones ambientales.

El diseño y construcción de un molino automático triturador de plástico orienta su uso a las embarcaciones optimizando tanto la gestión de desechos plásticos a bordo como también el proceso de pesado del material molido para su transporte y posterior reciclaje. Representa una gran iniciativa de preservación ambiental para evitar la contaminación de plásticos en el mar.

El diseño de un sistema de control de Peso permitirá establecer cantidades de plástico molido que puede ser empacado y transportado con facilidad para su posterior reciclaje, de esta manera la máquina recuperará un porcentaje del valor de su inversión.

## **1.6. ALCANCE DEL PROYECTO**

Diseñar y construir un molino automático triturador de plástico con sistema de control de peso que permita reducir el tamaño de los desechos plásticos (PET) producidos en las embarcaciones, optimizando el espacio a bordo y facilitar un control de peso del plástico molido para su registro, análisis y posterior proceso de reciclaje.

## **1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

*EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO AUTOMÁTICO TRITURADOR DE PLÁSTICO CON SISTEMA DE CONTROL DE PESO PARA LA EMPRESA OTNISA S.A* comprende un sistema de reducción de tamaño de los desechos plásticos evitando su acumulación y control del peso facilitando el transporte de estos mismos.

El sistema comprende un diseño basado en las necesidades de espacio en las embarcaciones con la guía y experiencia de la empresa

auspiciante. Una pantalla LCD permitirá identificar cada una de las posibles situaciones del proceso: presencia/ausencia de material al ingreso, detección de atasco en la cámara de molienda, control del peso programado.

El operador tendrá la facilidad de programar el peso deseado de plástico molido a controlar, que a su vez será mostrado en la pantalla LCD.

Cabe mencionar que actualmente las embarcaciones no cuentan con un sistema automático de molienda de desechos plásticos y los diseños industriales no contemplan un sistema de control de peso.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presenta la información base de contaminación en los océanos producto del incremento de cruceros con fines turísticos; así como también del proceso de recuperación primaria y tipos de plásticos, procesos de reciclaje, análisis del sistema de molienda adecuado para los requerimientos de diseño; y culmina con la descripción de las partes del molino triturador.

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

(CLIA, 2012), La industria turística de cruceros ha experimentado un gran auge en los últimos treinta años. En estas décadas, el número de personas que han optado por pasar sus vacaciones a bordo de uno de estos buques se ha multiplicado, y consecuentemente los problemas asociados.

**Tabla 2.1**

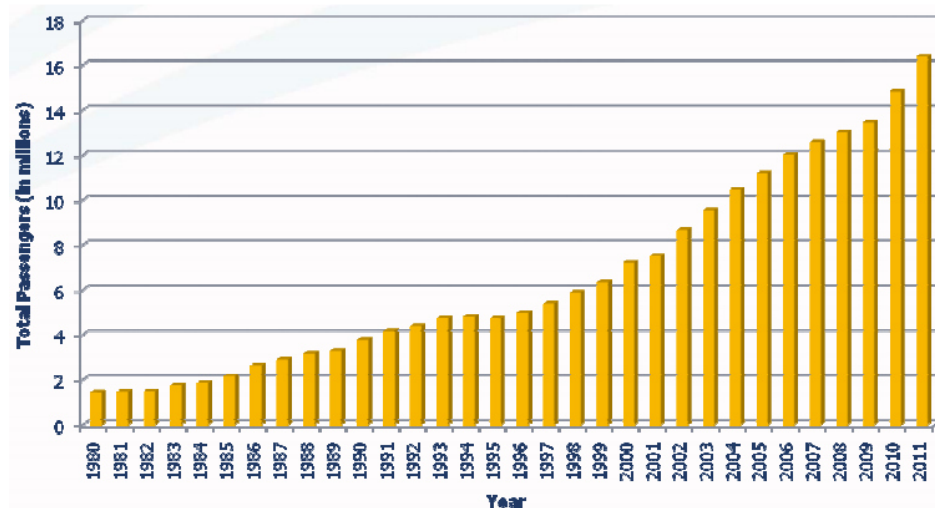
#### **Crecimiento de pasajeros**

<b>Crecimiento anual de pasajeros (CLIA 1980-2011)</b>	<b>Crecimiento de pasajeros en el tiempo (CLIA 1980-2012) Total de clientes/ N. estadounidenses</b>
Crecimiento de pasajeros promedio 7.5%	– 2000: 7.214 million (91%)
Promedio de ocupación superior al 100%	– 2002: 8.648 million (86%)
Ocupación de la flota (CLIA 2010) 103.2%	– 2004: 10.46 million (84.4%)
	– 2006: 12.01 million (83.9%)
	– 2008: 13.01 million (77.6%)
	– 2010: 14.82 million (72.8%)

**Fuente (CLIA, 2012)**



Los grandes buques de crucero pueden llegar a transportar unas 5.000 personas, incluyendo más de 1.000 de tripulación, lo que les convierte en auténticas ciudades flotantes.



**Figura 2.1 Crecimiento de pasajeros en cruceros 1980-2011.**

**Fuente (CLIA, 2012)**

Con una eslora que puede sobrepasar los 300 metros y un tonelaje de más de 100.000 TRB, a bordo de estos buques pueden encontrarse piscinas, teatros, cines, restaurantes, tiendas, saunas, pistas de tenis, revelado de fotos, lavanderías, tintorerías y todo aquello que un pasajero pueda desear durante su estancia en un “hotel” flotante. Pero todas estas actividades generan cientos de toneladas de desechos de todo tipo que, en parte, son vertidas a los mares y océanos por los que navegan.

La legislación internacional sobre el tratamiento y vertido de estos desechos apenas regula las actividades de estos cruceros, por lo que toneladas de desechos terminan en las aguas de los océanos sin apenas tratamiento. “El creciente problema creado por este aumento de cruceros en todo el mundo ha llevado a que algunos países, en especial en los destinos más visitados, empiecen a introducir normativas nuevas que intentan frenar su impacto. Pero en aguas internacionales la legislación es muy deficiente.” (CLIA, 2012)

## **2.2. GENERACIÓN DE DESECHOS A BORDO DE UN CRUCERO**

(CLIA, 2012) Afirma que un buque crucero con capacidad para unos 2.000-3.000 pasajeros puede llegar a generar cada día cerca de 1.000 toneladas de desechos que se dividen de la siguiente manera:

- 550.000-800.000 litros de aguas grises
- 100.000-115.000 litros de aguas negras
- 13.500-26.000 litros de aguas oleosas de sentinas
- 7.000-10.500 kilos de basura y desechos sólidos
- 60-130 kilos de desechos tóxicos

Esto representaría que la generación de desechos por pasajero y día sería de, al menos, 300 litros de aguas grises, 40 de aguas negras, 10 de sentinas, 3,5 kilos de basuras y 30 gramos de desechos tóxicos.

Teniendo en cuenta el número de pasajeros que utilizan estos cruceros al año, la cantidad de desechos generada por zonas en las que operan estos buques sería la siguiente tabla 2.2 (basado en datos del año 2000).

Ahora se debe considerar el crecimiento de la flota CLIA en los últimos años, un total de 13 buques en el año 2011 produjo un incremento de 14886 pasajeros, un total de 14 buques añadidos en el año 2012 produjo un aumento de pasajeros de 17984 y se proyecta que para el año 2012-2015 se añadan 25 buques más produciendo cantidades considerables de desechos.

Tabla 2.2

**Desechos generados por zonas en las que operan los buques.**

Zona	Pasajeros camas/día	Aguas grises	Aguas negras	Sentinas	Basura	Residuos tóxicos	Total
Caribe	21.510.142	6.453.042.600	860.405.680	215.101.420	75.285.497	645.304	7.604.480.501
Mediterráneo	6.277.064	1.883.119.200	251.082.560	62.770.640	21.969.724	188.312	2.219.130.436
Alaska	4.197.332	1.259.199.600	167.893.280	41.973.320	14.690.662	125.920	1.483.882.782
Europa	3.744.693	1.123.407.900	149.787.720	37.446.930	13.106.425	112.341	1.323.861.316
Bahamas	3.200.346	960.103.800	128.013.840	32.003.460	11.201.211	96.010	1.131.418.321
Pacífico México	2.680.934	804.280.200	107.237.360	26.809.340	9.383.269	80.428	947.790.597
Trans-Canal Panamá	2.573.444	772.033.200	102.937.760	25.734.440	9.007.054	77.203	909.789.657
Pacífico sur	1.155.217	346.565.100	46.208.680	11.552.170	4.043.259	34.656	408.403.865
Canadá	1.107.689	332.306.700	44.307.560	11.076.890	3.876.911	33.231	391.601.292
Trasatlántico	1.015.625	304.687.500	40.625.000	10.156.250	3.554.687	30.469	359.053.906
Bermuda	988.391	296.517.300	39.535.640	9.883.910	3.459.368	29.652	349.425.870
Hawai	857.390	257.217.000	34.295.600	8.573.900	3.000.865	25.722	303.113.087
África	502.773	150.831.900	20.110.920	5.027.730	1.759.705	15.083	177.745.338
Sudeste asiático	244.620	73.386.000	9.784.800	2.446.200	856.170	7.339	86.480.509
Oriente	201.582	60.474.600	8.063.280	2.015.820	705.537	6.047	71.265.284
<b>TOTAL</b>	<b>50.257.242</b>	<b>15.077.172.600</b>	<b>2.010.289.680</b>	<b>502.572.420</b>	<b>175.900.344</b>	<b>1.507.717</b>	<b>17.767.442.761</b>

Fuente (OCEANA, 2010)

Tabla 2.3

**Crecimiento de la flota CLIA.**

Crecimiento de la Flota (CLIA)	2011	2012
Nro. Buques	13	14
Nro. Pasajeros	14886	17984

Fuente (CLIA, 2012)

### 2.3. TIPOS DE DESECHOS GENERADOS EN UN CRUCERO

La generación de basuras es otro problema acuciante, ya que los cruceros generan el 24% de los desechos sólidos del tráfico marítimo mundial. Lamentablemente, muchos puertos carecen de instalaciones adecuadas para la recepción y tratamiento de éstos y otros desechos generados en los buques.

Tabla 2.4

## Tipos de desechos generados en un crucero.

Desecho	Procedencia	Contaminantes
<b>Aguas grises</b>	Agua procedente de las duchas, lavabos, piscinas, lavadoras, etc.	Contienen fosfatos y otros nutrientes de los detergentes y jabones, cloro o flúor de los dentífricos y piscinas, bacterias patógenas, así como cualquier otra sustancia potencialmente dañina utilizada para la higiene personal. También dentro de las aguas grises se encuentran aquellas procedentes de las instalaciones sanitarias del buque.
<b>Aguas negras</b>	De los cuartos de baños	Aguas fecales, bacterias, patógenos, restos orgánicos, papel, y cualquier otro producto tirado a los retretes.
<b>Sentina</b>	De los motores y turbinas para la propulsión y para abastecer de energía a todos los servicios de los buques	Aceites usados, hidrocarburos varios, etc.
<b>Tóxicos</b>	De los procesos fotográficos, de las tintorerías, pinturas, productos Farmacéuticos, tintas, material electrónico, etc.	Pueden contener sustancias tan tóxicas como el TBT (Tributil estaño como aditivo de las pinturas anti-incrustantes), metales pesados de pinturas y tintas, compuestos químicos de los fármacos, ácidos y metales pesados del material fotográfico, PVC y metales pesados de los cables, bombillas, fluorescentes, pilas, baterías, tolueno, xileno, benceno y organoclorados de disolventes, etc.
<b>Basuras</b>	De la comida y del consumo diario de productos de todo tipo.	Plásticos con hidrocarburos o compuestos clorados, desechos sólidos, restos orgánicos, etc.

Fuente (OCEANA, 2010)

## 2.4. LEGISLACIÓN SOBRE DESECHOS GENERADOS EN CRUCEROS.

### 2.4.1. LEGISLACIÓN NACIONAL

- (Asamblea Nacional, 2008). **Constitución de la República del Ecuador.** Publicada en el Registro Oficial No. 449 del 20 de octubre del 2008. Es la norma fundamental que contiene los principios, derechos y libertades de quienes conforman la sociedad ecuatoriana y constituye la cúspide de la estructura jurídica del Estado. En su art. 3 señala como deberes primordiales del Estado, la protección del patrimonio natural del país y la

promoción del desarrollo sustentable. De igual manera, se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano que garantice el buen vivir, considerándose la preservación del ambiente y la prevención del daño ambiental de interés público (art. 14).

- **Ley Orgánica de Régimen Especial para la Conservación y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Galápagos (LOREG)** prohíbe la descarga o arrojo a grietas, acuíferos al interior de las Islas, a las aguas interiores, reserva marina, costas o zonas de playas, desechos de lastre de sentinas, aguas servidas, basuras o desechos o cualquier otro elemento contaminante del medio acuático sin que tales elementos hayan sido tratados conforme se establece en el Reglamento. (Asamblea Nacional, 2001)
- (Gobierno Autónomo de San Cristobal, 2011) detalla que la **Resolución DPNG- N° 028 del 17 de abril de 2008 Emitida por la Dirección del Parque Nacional Galápagos** y publicada en el Registro Oficial Suplemento 386 del 22 de julio de 2008 tiene el objetivo de establecer los estándares ambientales para las embarcaciones de operación turística, en aplicación de las competencias y procedimientos a seguir para el cumplimiento de las disposiciones legales sobre la administración y manejo de las áreas protegidas del Archipiélago. Esta incluye áreas de gestión sobre las cuales se verifica el cumplimiento de los estándares operativos de la embarcación, que comprenden: o Sistemas de tratamiento de desechos sólidos: desarrollo de procedimientos que permitan la reducción, reutilización, reciclaje, recolección, clasificación, almacenamiento tratamiento y evacuación de los desechos sólidos generados. **Estándares Ambientales para la Operación de Embarcaciones de Turismo en las Áreas Protegidas del Archipiélago De Galápagos** Art. 3 / Ordenanza para la Gestión Integral de Desechos y Desechos en el Cantón Santa Cruz / Ordenanza Municipal que

reglamenta la Gestión Integral de Desechos Sólidos del Cantón San Cristóbal.

- (Gobierno Autónomo de San Cristobal, 2002) detalla en **Ordenanza Municipal que reglamenta la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Cantón San Cristóbal**. Publicada en el Registro Oficial No. 56 del 3 de Abril del 2007. Tiene por objeto la gestión integral, sostenible y equitativa de los residuos sólidos y garantiza niveles de calidad de vida a la población. Sus principios fundamentales son: contribución a la gestión integral en todas sus fases, promoción de la sostenibilidad del servicio, impulso de prácticas. Para el tratamiento de los residuos se construyó el Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos (CGRS), que fue inaugurado el 05 de junio del 2007, para que se transporte y almacene los residuos sólidos hasta su comercialización en el Ecuador Continental.
- **Ordenanza Municipal de creación orgánica de la Unidad de Gestión Ambiental y del Establecimiento del Proceso Ambiental en el cantón San Cristóbal**. Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 35 del 25 de marzo de 2008, tiene por objeto la constitución de la Unidad de Gestión Ambiental dentro del Gobierno Municipal del cantón.

#### **2.4.2. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL**

Gran parte de la legislación internacional sobre el vertido al mar desde buques se realizó durante las décadas en las que los buques cruceros eran sólo testimoniales dentro del grueso de la marina mercante y el transporte de pasajeros se realizaba como una actividad accesoria al transporte de mercancías. Por esta razón el incremento de la industria de cruceros se ha producido al margen y sin una evolución paralela de la legislación.

- (Organización Marítima Internacional OMI, 1973) detalla que el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, también

llamado Convenio MARPOL, es el instrumento jurídico internacional encargado de prevenir la contaminación del medio marino producida por buques ya sea en el normal transcurso de sus actividades económicas o por accidentes marítimos. Su redactado actual comprende los tratados adoptados en 1973 y 1978 junto a una serie de protocolos adoptados posteriormente a fin de adaptar jurídicamente la nueva realidad socioeconómica en el sector siempre bajo el auspicio de la Organización Marítima Internacional, OMI, con sede en Londres.

La Convención comprende una serie de reglas que tienden a prevenir a la vez que minimizar la contaminación de buques incluyendo seis diferenciados:

**ANEXO I:** Reglas para prevenir la contaminación por Hidrocarburos.

**ANEXO II:** Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Nocivas Líquidas Transportadas a Granel.

**ANEXO III:** Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Perjudiciales Transportadas por Mar en Bultos. Se trata de un anexo opcional ya que el transporte de mercancías peligrosas esta reglado por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas.

**ANEXO IV:** Reglas para prevenir la contaminación por las Aguas Sucias de los Buques.

**ANEXO V:** Basuras (31 de diciembre de 1988) Prohíbe el vertido al mar de plásticos y establece las zonas y distancia desde costa a la que pueden realizarse determinados vertidos de basura, tales como restos de comida, cristal, etc.

**ANEXO VI:** Contaminación atmosférica Se trata de un anexo que ni siquiera ha entrado en vigor por la falta de ratificaciones, ya que necesita que, al menos, 15 estados lo ratifiquen y que sus flotas combinadas representen, como mínimo el 50% de la flota mundial. Para algunas zonas consideradas como “áreas especiales” por sus características

ecológicas, se establecen criterios más estrictos para determinados anexos MARPOL sobre el vertido de desechos.

- (OMI, 1968) detalla en el **Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias –Convenio de Londres**. Tiene como finalidad promover el control efectivo de todas las fuentes de contaminación del medio marino y la adopción de todas las medidas posibles para impedir la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.

En 1996 se aprobó el “Protocolo relativo al Convenio de Londres”, con el objetivo de modernizar el Convenio, cuya entrada en vigor se produjo en marzo de 2006. El Convenio del 72 establece una lista de sustancias y productos que no pueden ser vertidos al mar pero, de conformidad con el nuevo Protocolo, se establece el procedimiento denominado como “lista inversa”, es decir, se prohíbe el vertimiento al mar de todos los desechos con la única excepción de los que se incluyen en la lista que constituye el anexo I del Protocolo.

Este protocolo de enmienda, recoge además los avances y prescripciones que tienen su origen en la Conferencia de Río de Janeiro (1992) y los principios de cautela y de quien contamina paga, además de prohibir la incineración en el mar y la exportación de residuos.

## **2.5. CRUCERO NAVEGABLE EN EL ARCHIPIÉLAGO DE GALAPAGOS**

Es la operación turística que realiza travesía por mar en embarcaciones acondicionadas para pasajeros, quienes pernoctan a bordo y están autorizados para desembarcar en sitios de visita establecidos en itinerarios determinados. (Gobierno Provincial de Galápagos, 2011)





### **2.5.1. NORMAS TÉCNICAS AMBIENTALES PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.**

(Asamblea Nacional, 2008) Detalla las normas:

- Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: recurso agua, cuyo objetivo es proteger la calidad de éste recurso para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, ecosistemas y ambiente en general, estableciendo los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descargas en cuerpos de aguas; criterios de calidad de aguas y métodos-procedimientos para determinar presencia de contaminantes. (Anexo 1, Libro VI, de la Calidad Ambiental).
- Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición final de desechos sólidos no-peligrosos, que estipula normas para prevenir la contaminación del agua, aire y suelo, en general. (Anexo 6, Libro VI, De la Calidad Ambiental).

### **2.5.2. GESTIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN GALÁPAGOS**

(C.LTDA & Galápagos Explorer II, 2012) Afirma que:

En el Cantón Santa Cruz se realiza un programa de gestión de desechos sólidos desde el año 2000 con el apoyo y soporte de varias instituciones y organizaciones. Un promedio de 45 toneladas de desechos orgánicos y de 40 toneladas de desechos reciclables son procesadas mensualmente, los mismos son enviados al Ecuador continental para su reciclaje en nuevos productos (plásticos, cartón, papel, tetra pack, latas, etc) o, como en el caso del vidrio, se reciclan en Santa Cruz para la producción de adoquines ornamentales.

En Puerto Ayora, se ha estimado que cada persona produce casi un kilo de basura por día (0,77 kilogramos diarios); mientras que un habitante de la parte alta produce menos de la mitad (0,28 kg por día).

Un turista en una embarcación genera 2,4 kg por día (esta cifra incluye la basura que genera la tripulación del barco).

Alrededor del año 2002 se generaban en Santa Cruz menos de 9 toneladas por día, mientras que para el 2009, se generan un total de 12 toneladas por día. Por tanto en un año se generan actualmente 4.380 toneladas de basura (igual a 1.460 volquetas de 6 m<sup>3</sup>), esto significa un crecimiento acelerado que es necesario disminuir.

### **2.5.3. PROCESAMIENTO DE DESECHOS RECICLABLES**

(Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Gobierno de Santa Cruz, 2011). Publicó que de todos los materiales que se procesan en el Centro de Reciclaje Fabricio Valverde en la Isla Santa Cruz – Galápagos; el plástico es el que se ha incrementado y procesado en mayores cantidades. En el 2006 se recicló 2,7 toneladas, mientras que en el 2008 fueron 39 toneladas. En un periodo de tres años, el reciclaje de plástico aumentó 14 veces.

Para enfrentar este problema, el Gobierno Municipal de Santa Cruz implementó en el 2006 un sistema de separación y reciclaje para disminuir la cantidad de desechos que se depositaban como basura en la isla. El objetivo es que los habitantes clasifiquen los desechos que generan durante el día en tres categorías (reciclable, orgánicos y no reciclable) en tachos de diferente color (azul: reciclable, verde: orgánicos y negro: no reciclable).

### **2.5.4. DESECHOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS INORGÁNICOS**

(C.LTDA & Galápagos Explorer II, 2012) Concluyó que durante sus actividades turísticas en la Reserva Marina de Galápagos, realizado en Febrero de 2012, se obtuvieron los siguientes datos:

Los desechos sólidos domésticos inorgánicos son generados en las diferentes instalaciones y departamentos de M/N GALAPAGOS EXPLORER II, desde el taller mecánico, oficinas y las diferentes cabinas de los turistas.

Los desechos que se encuentran en este grupo son: vidrio, plásticos, papel, cartón, metales, trapos, maderas y latas. Al igual que a los desechos orgánicos a algunos de los desechos inorgánicos tales como: vidrio, papel, cartón y madera (libre de desechos plásticos y pinturas) se les lleva a cabo un proceso de transformación según los requerimientos del servicio de recolección de basura de Puerto Baquerizo Moreno.

En el caso del vidrio que forma parte de botellas de gaseosas y licores éste es triturado en un equipo denominado triturador de vidrio, para posteriormente ser colectado y separado por colores, previo a su disposición temporal en fundas del color respectivo, en el centro de acopio ubicado en la cubierta 200-popa.

Los desechos tales como: papel, cartón y madera (libre de desechos plásticos y pinturas) son incinerados en un equipo denominado incinerador, cuyas cenizas producto de este proceso son almacenadas en fundas de color gris, las que son depositadas temporalmente en el cuarto donde se encuentra el incinerador previo a su descarga final.

En lo que respecta a los plásticos y latas, éstos se almacenarán en las fundas correspondientes (color azul) para posteriormente colocarlas en el centro de acopio situado en la cubierta 200-popa, previa su disposición final. Este proceso ocasiona la acumulación de los desechos plásticos de tal manera que **dificulta el libre desplazamiento de la tripulación en la popa de la embarcación**, cada vez se hace más importante el problema de espacio hasta que después de un tiempo se retire las fundas que se planifica entregar al servicio de recolección de basura del Gobierno Municipal de

Puerto Baquerizo Moreno hacia el botadero municipal, donde se disponen los vidrios triturados, las cenizas generadas, los plásticos y latas; quienes a su vez emiten un certificado con el que se corrobora la realización de esta actividad. De todo este proceso el crucero realiza un informe de análisis y de registro de desechos generados a bordo.

## 2.6. DESECHOS PLÁSTICOS

Los plásticos son un material común usado en muchos aspectos de nuestras vidas, los plásticos son también un componente común de los desechos marinos. Como el uso de plástico ha aumentado a lo largo de los años, también lo ha hecho la cantidad de plástico que entran en el flujo de desechos sólidos urbanos, más comúnmente llamado basura o basura.



**Figura 2.2 Incremento de desechos plásticos.**

**Fuente (DG Environment Alert Service, 2011)**

Además, el tiempo de vida cada vez más corto de los productos que utilizan plástico, especialmente, de mercancías electrónicas, significa que se producen más desechos de plástico. Un ejemplo clave de esto es el teléfono móvil: componentes plásticos contienen varias sustancias tóxicas. Aunque estas sustancias no se encuentran en niveles de causar riesgo inmediato; si se aumentan las cantidades o su gestión integral es inadecuada, como la quema a cielo abierto que a menudo se practica en los países en desarrollo,

existe la posibilidad de contaminación del medio ambiente y la salud humana.



**Figura 2.3 Desechos plásticos afectan a la fauna marina.**

**Fuente (VEOVERDE, 2012)**

La producción de plástico se ha estabilizado en los últimos años, sin embargo, no está disminuyendo y podría aumentar en el futuro, las solicitudes de aumento de plástico y su uso sigue creciendo. Sin una gestión adecuada de los desechos, este dará lugar a aumento de desechos de plástico que se acumulará a los desechos plásticos ya existentes. No se ha calculado el tiempo que se necesita para degradar todo el plástico, pero podría ser cientos o miles de años. Entre 1960 y 2007, la cantidad de plástico en el flujo de desechos sólidos totales aumentó de 1 a 12% (EPA, 2010). Los plásticos son un problema ambiental penetrante, pero son de un material que puede ser gestionado y un recurso que se puede conservar. La reducción del componente plástico de la basura marina depende de una mejor gestión de este recurso.



**Figura 2.4 Ballena con 20 kilos de plástico en su estómago, encontrada muerta en las costas de Helling.**

**Fuente (deutsche wirtschafts nachrichten, 2013)**

Los plásticos son un componente de una amplia gama de desechos marinos, en la corriente de desechos en tierra firme, la categoría más importante de los plásticos son los que se utilizan en los envases y embalajes, tales como botellas de refrescos, tapas y botellas de champú. Los plásticos se encuentra también en bienes duraderos (por ejemplo, electrodomésticos y muebles) y bienes no duraderos (por ejemplo, pañales, bolsas de basura, vasos y utensilios). Inevitablemente, algunos de estos productos terminan en el océano. (VEOVERDE, 2012)



**Figura 2.5 Desechos plásticos afectan a la fauna marina.**

**Fuente (Red Nacional de investigadores Escolar, 2012)**

En algunos casos, los plásticos de uso doméstico e industrial no pueden ser reutilizados o reciclados. La eliminación adecuada y la gestión de estos plásticos utilizados es necesario para evitar que se estén llevando a

las vías fluviales y el océano. Para los plásticos de los hogares utiliza esto puede incluir la garantía de que los plásticos se desechan en un recipiente cubierto que no se tropiecen. Para los plásticos de uso industrial, el control de plástico incluye la eliminación en recipientes debidamente cubiertos y plásticos que garanticen están asegurados y cubiertos cuando se transporta.

## **2.7. MATERIALES PLÁSTICOS**

La denominación de materiales plásticos, o simplemente plásticos, define genéricamente los productos obtenidos por medio de procesos de síntesis (resinas sintéticas) y las sustancias formadas por moléculas complejas de elevado peso molecular (macro-moléculas o polímeros). (Diccionario Motorgiga, 2013)

La característica más importante de los materiales plásticos es que se ablandan a determinada temperatura y permanecen plásticos durante un determinado período de tiempo. Esto los hace moldeables y estampables en las formas más diversas y complejas. Los materiales plásticos no tienen un punto de fusión definido: es decir, no pasan del estado sólido al líquido a una temperatura bien determinada, sino que, sometidos a calentamiento, pierden elasticidad y consistencia hasta convertirse en un fluido muy viscoso. El plástico ha sido uno de los desarrollos más importantes del siglo XX. Ha sustituido a otros materiales por ser económicos, livianos, de gran durabilidad, versátiles y resistentes a la humedad, químicos y no putrescibles. Sin embargo, algunas de estas virtudes pueden ser inconvenientes en determinadas circunstancias, como el caso de su baja degradabilidad cuando ya son considerados residuos (lo mismo sucede con el vidrio y los metales). (Diccionario Motorgiga, 2013)



### **2.7.1. PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS**

El material plástico se compone de grandes moléculas formadas por la unión de otras más sencillas y resulta muy útil en la producción, envase y embalaje de múltiples productos. El tamaño y la estructura de la molécula del polímero determinan las propiedades de los distintos plásticos. En su estado más básico, los plásticos se producen como polvos, gránulos, líquidos y soluciones.

Para la fabricación de plásticos es necesario que la industria petroquímica suministre los monómeros y junto con la adición de diversos tipos de aditivos, se logra modificar sus propiedades. El plástico se consigue a través de la reacción química de derivados del petróleo y se moldea mediante el calor o la presión. En el proceso de fabricación, unos se vierten en moldes, donde se endurecen, y otros se prensan cuando ya son rígidos. (Quiminet, 2007)

### **2.7.2. TIPOS DE PLÁSTICOS**

#### **2.7.2.1. TERMOPLÁSTICOS.**

(Tecmahplast S.A.C., 2010) Explica que los plásticos se caracterizan porque se ablandan al calentarse y pueden ser moldeados para darles distintas formas, sabiendo que al enfriarse volverán a endurecerse manteniendo sus características iniciales. Al calentarse, a las moléculas se les da la energía necesaria para que se separen, y esto les da libertad para cambiar su posición relativa y dar lugar a una nueva forma cuando están bajo presión. Este proceso de ablandamiento y endurecimiento puede volverse a repetir una y otra vez sin que el material modifique su aspecto o sus propiedades.



**Figura 2.6 Productos fabricados en materiales termoplásticos.**

**Fuente (DIP México, 2013)**








La separación de los diferentes plásticos por tipo de resina es un problema que no ha sido resuelto, siendo uno de los motivos que restringe el reciclaje de los plásticos. A pesar de los muchos estudios e investigaciones ya realizadas o en proceso, no se ha llegado hasta hoy, a un sistema que pueda, de manera rápida, automática y eficiente, realizar la perfecta separación de los plásticos. Muchos artículos se fabrican con más de un tipo de resina, lo cual complica aún más la separación. Buscando una rápida identificación, se ha diseñado una codificación de las resinas utilizadas en la fabricación de artículos de plástico. La idea es imprimir o marcar en el artículo, en su embalaje o en un rótulo, el código correspondiente a la resina utilizada, o a las dominantes en caso de que se trate de una mezcla. (CEMPRE)



**Figura 2.7 Envase plástico. Fuente (Tomas en Línea, 2013)”**

Tabla 2.5

Tipos de termoplásticos reciclables con sus correspondientes aplicaciones y usos después del reciclado.

TERMOPLASTICOS	ACRONIMO	SIMBOLO	CARACTERISTICAS	APLICACIONES	USOS DESPUES DEL RECICLADO
<u>Polietileno Tereftalato</u>	PET		<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta densidad (se hunde en el agua)</li> <li>- muy resistente.</li> <li>- se derrite a baja temperatura (80° C).</li> </ul>	Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
<u>Polietileno de alta densidad</u>	PEAD		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se derriten a baja temperatura de 120° C</li> <li>- se queman como una vela, y despiden olor a parafina.</li> </ul>	botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, láminas y tuberías	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
<u>Policloruro de vinilo</u>	PVC		<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta densidad (se hunde en el agua).</li> <li>- se derrite a baja temperatura (80° C).</li> <li>- se quema con gran dificultad, y despiden un olor acre.</li> <li>- se puede soldar mediante solventes (acetonas).</li> </ul>	Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores.
<u>Polietileno de baja densidad</u>	PEBD		<ul style="list-style-type: none"> <li>- se derriten a baja temperatura de 85° C.</li> <li>- se queman como una vela, y despiden olor a parafina.</li> </ul>	Film adhesivo, bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego.	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado.
<u>Polipropileno</u>	PP		<ul style="list-style-type: none"> <li>- baja densidad (flota en el agua).</li> <li>- se derrite a baja temperatura (150° C).</li> <li>- se quema como una vela, y despiden olor a parafina.</li> </ul>	Envases para productos alimenticios, cajas, tapones, piezas de automóviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas, textiles.
<u>Poliestireno</u>	PS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta densidad (se hunde en el agua).</li> <li>- es quebradizo.</li> <li>- se derrite a bajas temperatura (80 a 100° C).</li> <li>- se quema relativamente fácil, y despiden olor a "estireno".</li> <li>- es afectado por muchos solventes.</li> </ul>	Botellas, vasos de <u>yogourt</u> , <u>recubrimientos</u> .	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios de oficina.
<u>Otros</u>	-		-	-	-

Fuente (Casa Cohabitada, 2012)

### **2.7.2.2. TERMOESTABLES.**

Se comportan de forma muy diferente a los termoplásticos. Al calentarlos por primera vez el polímero se ablanda y se le puede dar forma bajo presión. Sin embargo, debido al calor, comienza una reacción química en la que las moléculas se enlazan permanentemente. Esta reacción se conoce con el nombre de degradación. Como consecuencia el polímero se hace rígido permanentemente y si se calienta no se ablandará sino que se destruirá.

### **2.7.2.3. ELASTÓMEROS.**

Las macromoléculas de los plásticos elastómeros forman una red que puede contraerse y estirarse cuando estos materiales son comprimidos o estirados. Pueden deslizarse unas cadenas sobre otras. No soportan bien el calor y se degradan a temperaturas medias.

En el mar, los desechos de plástico a menudo se clasifican en macro-(más de 20 mm de diámetro), meso-(5-20mm de diámetro) y micro-plásticos (menores de 5 mm de diámetro). Microplásticos muy pequeñas son apenas detectables, y para fines prácticos, microplásticos se definen generalmente como los que van de 5 mm a 333 micrómetros (micras). Macroplásticos pueden clasificarse según el tipo de objeto, por ejemplo, botella, bolsa o la tapa.

### **MICROPLÁSTICOS.**

Son un problema importante en los desechos de plástico, en parte porque son más difíciles de controlar, y en parte porque pueden tener un

mayor impacto en un nivel físico químicas y sobre los ecosistemas y la salud humana, debido a su tamaño y área de gran volumen-superficie proporción.

En el océano, así como en la tierra, los plásticos tienden a fragmentarse en partículas más pequeñas. Esto puede ser ayudado por la acción de radiación ultravioleta (UV), olas y al viento. En los vertederos los químicos pueden descomponer plásticos. En el mar, el agua absorbe y dispersa la radiación UV para plásticos que floten cerca de la superficie y se descomponen más rápidamente que los de profundidad. Para aquellos en el lecho marino, el desglose es significativamente más lento ya que no hay radiación UV y las temperaturas son más frías.

### **2.7.3. TIEMPO DE VIDA RESIDUAL DE LOS PLÁSTICOS**

(Cantos, 2005) Encontró que:

El tiempo de vida residual de los plásticos, depende de cada tipo de material debido a que varía de un género a otro.

Dentro del proceso de fabricación de los plásticos se incorporan sustancias que impiden, retardan o dificultan su deterioro. Sin embargo, en varios casos, puede ser que se busque el efecto contrario, a fin de controlar o acelerar el proceso degradativo.

Los plásticos no se pueden degradar por acción de la naturaleza pero si se pueden clasificar a los polímeros que se pueden degradar. En la mayoría de los casos se presentan los dos tipos de manera combinada.

**Fotodegradables.-** aquellos que se degradan por acción ultravioleta; la luz solar induce al desarrollo de una serie de procesos fotoquímicos que conducen a la ruptura de cadenas de los polímeros. El material puede fragilizarse con cierta facilidad y, bajo la acción erosiva del viento y la lluvia,

puede reducirse a pequeños trozos que finalmente son atacados por microorganismos.

**Biodegradables.-** se degradan bajo la acción de microorganismos, los cuales, en presencia de determinados polímeros, son capaces de segregar enzimas que atacan al material, reduciéndolo inicialmente a pequeños trozos para finalmente digerirlos y este proceso se realiza en muchos años. Así mismo existen polímeros biodegradables, tanto de origen natural (polipéptidos como la lana, seda, los polisacáridos como los dextranos, celulosa y el almidón), como de origen sintético (poliácido láctico, policaprolactona y algunos tipos de poliuretanos). El Poli Etilén Tereftalato (PET), se utiliza en botellas, láminas para el envasado de alimentos, cuerdas, cintas de grabación; con un tiempo de vida útil de 5 años y un tiempo de vida residual de unos 50-70 años. (p. 42).

**Tabla 2.6**

**Propiedades principales del PET**

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	1.3 - 1.4
Índice Refractivo	1.58 - 1.64
Inflamabilidad	HB
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	
Coefficiente de fricción	0.2 - 0.4
Dureza (Rockwell M)	94 - 101
Módulo de Elasticidad [GPa]	2 - 4
Resistencia a la Tracción [MPa]	80, 190 - 260 (film)
Resistencia al Impácto [J/m]	13 - 35
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>	
Calor Específico [J/(K.Kg)]	1200 - 1350
Conductividad Térmica [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	0.15 - 0.4
Temperatura máxima de utilización [°C]	115- 170
Temperatura mínima de utilización [°C]	-40 a -60

**Fuente “ (Centro Empresarial de plástico, 2000)”**

#### **2.7.4. PROBLEMAS AMBIENTALES ORIGINADOS CON EL USO MASIVO DEL PLÁSTICO**

(Instituto Villalba Hervas, 2010), en su estudio acerca de Materiales Plásticos y el Medioambiente encontró lo siguiente:

La industria del plástico, presenta unos problemas ambientales y para la salud, similares a los de la industria química.

La mayoría de los plásticos sintéticos no pueden ser degradados por el entorno; al contrario que la madera, el papel, las fibras naturales, o incluso el metal o el vidrio, no se oxidan ni se descomponen con el tiempo.

Se han desarrollado algunos plásticos degradables, pero a pesar de ellos siguen sin cumplir las condiciones óptimas para los vertederos de basura. El que sea degradable, no significa que los materiales desaparezcan, sino que se hacen física y químicamente más pequeños, dando lugar a sustancias que pueden ser más peligrosas aún que las iniciales.

La eliminación de los plásticos supone un problema ambiental. El método más eficiente para solucionar este problema es el reciclaje y la no generación de residuos.

A pesar de que el reciclaje se considera una buena opción, siempre supone un gasto energético que se puede minimizar si el residuo no ha sido generado, lo que se puede conseguir adquiriendo productos con el mínimo embalaje.

Muchos de los plásticos resisten poco la temperatura y pierden su forma o se destruyen totalmente. Muchos de ellos son inflamables y desprenden en algunos casos, a causa de la combustión, productos muy tóxicos que reciben el nombre de dioxinas (átomos de Cl, estables, resistentes al medio ambiente y al ser humano). La degradación excesivamente lenta que sufren hace que ocupen mucho espacio en los vertederos. (p.1).

## 2.8. RECUPERACION DE LOS DESECHOS PLÁSTICOS

Al igual que todos los desechos sólidos, las estrategias principales para la efectiva gestión de los plásticos son reducir, reutilizar y reciclar. Los desechos plásticos pueden ser recuperados de tres maneras:

Generalmente, los desechos plásticos recuperados son vueltos a usar o regenerados combinándolos con materia prima fresca en un índice correcto. Los productos hechos sólo con plásticos regenerados son productos de bajo nivel como por ejemplo platos, cuchillos y tenedores desechables y bolsas de plástico, aceptables sólo en países subdesarrollados o en proceso de desarrollo. Mientras que los productos hechos con plásticos regenerados y materias primas frescas incluyen productos como cascos de seguridad, aceptados en países desarrollados.

El hecho de que el plástico sea un material no biodegradable, hace que su disposición por enterramiento genere un pasivo ambiental muy importante, puesto que el periodo de tiempo necesario para su degradación es muy largo. Así mismo, la recuperación de estos materiales, permite el aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios actuales.

Se ha demostrado que el consumo de energía en el proceso de reciclaje de plástico es menor al necesario para la fabricación partiendo de material virgen. A partir de ello, utilizar materia prima reciclada en los procesos productivos del plástico, contribuye a alcanzar las metas medioambientales de desarrollo sostenible.

**Reutilización** de elementos previene el desperdicio ya que retrasa o evita la entrada de un elemento en el flujo de desechos y, potencialmente, el océano.



**Reciclaje** de plásticos también evita el exceso de desechos girando materiales que de otro modo podrían convertirse en desechos marinos en recursos valiosos.

### **2.8.1. RECICLAJE**

(Organización El Reciclaje , 2013). El reciclaje transforma materiales usados en recursos muy valiosos, que de otro modo serían simplemente desechos. La recolección de botellas usadas, latas, periódicos, etc. Llevarlos a una instalación o punto de acopio, será el primer paso para una serie de procesos generadores de recursos financieros, ambientales y de beneficios sociales. Algunos de estos beneficios se acumulan tanto a nivel mundial como a nivel local.

#### **2.8.1.1. BENEFICIOS DEL RECICLAJE**

- Reduce la necesidad de vertederos y del proceso de incineración.
- Evita la contaminación causada por la fabricación de productos de materiales vírgenes.
- Ahorra energía.
- Reduce las emisiones de Gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y global.
- Ahorra en Recursos naturales como son el uso de la madera, el agua y los minerales.
- Ayuda a mantener y proteger el medio ambiente para las generaciones futuras.



**Figura 2.8 Recipiente para clasificar productos reciclables. Fuente (Organización El Reciclaje , 2013)**

### **2.8.2. RECICLAJE DE PLÁSTICO**

(Organización El Reciclaje , 2013). Los plásticos juegan un papel importante en casi todos los aspectos de nuestras vidas. Los plásticos se utilizan para la fabricación de productos de uso cotidiano, tales como envases de bebidas, juguetes y muebles. El uso generalizado de plásticos exige una buena gestión de vida del producto hasta su fin. Plásticos representan más del 12 % de la cantidad de residuos sólidos urbanos, un aumento espectacular desde 1960, cuando los plásticos fueron menos del 1% del flujo de residuos.

La categoría más amplia de plásticos no sólo se encuentra en envases y embalajes (por ejemplo, botellas de refrescos, tapas, botellas de champú), sino que también se encuentran en los bienes duraderos (por ejemplo, electrodomésticos, muebles) y no duraderos (por ejemplo, pañales, bolsas de basura, vasos y utensilios, dispositivos médicos).

Los plásticos se suelen recoger en recipientes específicos de reciclaje en la acera o en los sitios destinados a ser recogidos. Entonces, van a un centro de recuperación de materiales, donde los materiales se clasifican en categorías generales (plásticos, papel, vidrio, etc.)



**Figura 2.9 Botellas de plástico reciclables.**

**Fuente (Organización El Reciclaje , 2013)**

(Organización El Reciclaje , 2013). Los plásticos mezclados resultantes se ordenan por tipo de plástico, embalado y son enviados a un centro de recuperación. En la instalación, la basura y la suciedad se desechan, el plástico se lava y se muele en pequeños copos. Un depósito de flotación entonces separa más si caben los residuos contaminantes, en base a sus diferentes densidades. Los copos se secan a continuación, se funden, son filtrados, y se transformados en gránulos. Estos se envían a las plantas de fabricación de productos, en los que se transforman en nuevos productos de plástico.

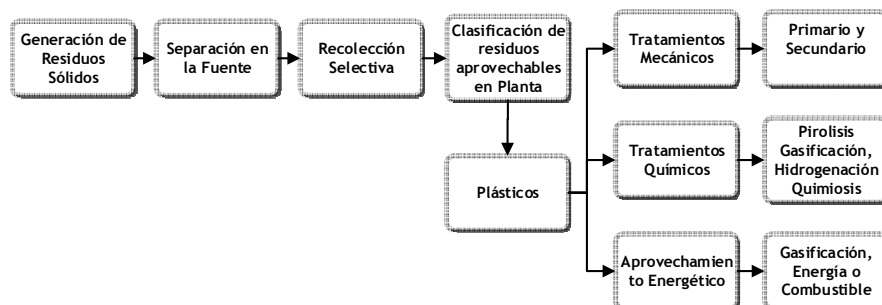
### **2.8.2.1. ETAPAS PARA RECICLAR EL PLÁSTICO**

(EPAM S.A., 2012) Describe las siguientes etapas:

**a) Recolección:** Todo sistema de recolección diferenciada que se implemente descansa en un principio fundamental, que es la separación, en el hogar, de los residuos en dos grupos básicos: residuos orgánicos por un lado como los restos de comida, de jardín, e inorgánicos por otro cuyos residuos son los metales, madera, plásticos, vidrio, aluminio. Estas dos bolsas se colocarán en la vía pública y serán recolectadas en forma diferenciada, permitiendo así que se encaucen hacia sus respectivas formas de tratamiento.

**b) Centro de reciclado:** Aquí se reciben los residuos plásticos mixtos compactados en fardos que son almacenados a la intemperie. En estas condiciones no pueden estar por más de tres meses ya que la radiación ultravioleta puede afectar a la estructura del material.

**c) Clasificación:** Luego de la recepción se efectúa una clasificación de los productos por tipo de plástico y color. Si bien esto puede hacerse manualmente, se han desarrollado tecnologías de clasificación automática, que se están utilizando en países desarrollados. Este proceso se ve facilitado si existe una entrega diferenciada de este material, lo cual podría hacerse con el apoyo y promoción por parte de los municipios.



**Figura 2.10** Flujograma general del aprovechamiento de residuos plásticos.

Fuente EPAM S.A.

### 2.8.3. TIPOS DE RECICLAJE DE PLASTICOS

#### 2.8.3.1. RECICLAJE PRIMARIO O PRE-CONSUMO

(CEMPRE). Describe en el Manual de Gestión Integral de Desechos Sólidos lo siguiente:

El reciclaje primario es la recuperación de estos residuos, efectuada en la propia industria generadora o por otras empresas transformadoras. Consiste en la transformación de los materiales termoplásticos provenientes de residuos industriales limpios y de fácil identificación, no contaminados por

partículas extrañas, mediante tecnologías convencionales de procesamiento, en productos con características equivalentes a las de productos fabricados a partir de resinas vírgenes. Esos residuos están constituidos por artículos defectuosos, descartes provenientes de moldes o de sectores de corte y procesamiento. Se puede afirmar que en la práctica, el 100% de estos residuos se recupera, y la calidad de los artículos producidos con este material es en esencia la misma que la obtenida utilizando resinas vírgenes.

### **2.8.3.2. RECICLAJE SECUNDARIO O POST-CONSUMO**

(Gobierno de Uruguay, 2011). Detalla que el reciclaje:

Es la transformación de residuos plásticos de productos descartados en los residuos sólidos urbanos. Los materiales que entran en este grupo provienen de plantas de clasificación, sistemas de recolección selectiva, depósitos, clasificación informal. Están constituidos por los más diferentes tipos de material y de resinas, lo cual exige una buena separación para que puedan ser reaprovechados.

Cuando se habla en general de reciclado de plásticos de residuos sólidos urbanos, se entiende este reciclaje post-consumo. Debido a la mezcla con otros materiales, como restos de alimentos, tierra, trapos, metales, vidrios, papel, etc., se hace necesario realizar la separación de esos materiales en la mejor forma posible. Este problema se reduce cuando se aplica un sistema de recolección selectiva de residuos sólidos en origen, mediante el cual las personas mismas separan los diversos tipos de materiales en las propias residencias y empresas comerciales, con lo cual se evita la contaminación con otros materiales.

Este tipo de reciclado presenta dos problemas fundamentalmente; el primero es que el plástico ya utilizado pierde parte de sus propiedades, lo

que obliga a emplearlos en la fabricación de otro tipo de productos con menos exigencias; el segundo, es la dificultad para separar los distintos tipos de plásticos. El proceso de reciclado se puede realizar varias veces, pero se debe tener en cuenta que cada vez que se lleva a cabo, el material tiende a perder entre los 5 y 10% de sus propiedades mecánicas, que con el agregado de ciertos aditivos se pueden restituir.

#### **2.8.3.3. RECICLAJE TERCIARIO**

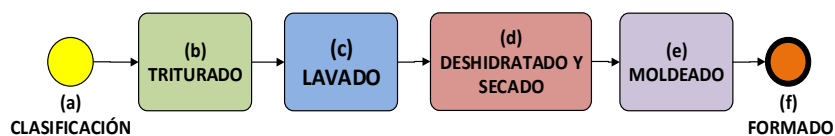
El polímero se degrada en compuestos químicos básicos y combustibles. Se diferencia de los anteriores en que además de un cambio físico hay un cambio químico. Los métodos más usados son pirólisis y gasificación. En el primero se recuperan las materias primas de los plásticos, de manera que se pueden rehacer polímeros puros con otras propiedades y menos contaminación y, en el segundo se obtiene gas que puede ser usado para producir electricidad, metanol o amoníaco.

#### **2.8.3.4. RECICLAJE CUATERNARIO**

Es el proceso en el cual se utiliza la energía térmica liberada mediante el calentamiento del plástico para llevar a cabo otros procesos, en otras palabras, se usa como combustible para la obtención de energía; en este proceso se genera contaminantes gaseosos y cenizas altamente contaminantes.

## 2.8.4. PROCESO DE RECUPERACION DE DESECHOS PLÁSTICOS

El proceso de recuperación de desechos plásticos comprende los siguientes pasos: (a) clasificación, (b) triturado, (c) lavado, (d) deshidratado y secado, (e) moldeado en comprimidos, (f) formado en productos.



**Figura 2.11** Proceso de recuperación de desechos plásticos.

Fuente (TPCC ORG, 2012)

La clasificación de los desechos plásticos es un paso importante y crítico en la recuperación de desechos plásticos, estos son clasificados tipo por tipo, tales como Polietileno tereftalato (PET), Polipropileno (PP), y Policloruro de vinilo (PVC). Una elevada homogeneidad de los desechos plásticos es muy importante para los procesos posteriores.

En el caso de clasificaciones de desechos plásticos con materiales laminados como hojas de aluminio o papel kraft, el proceso de producción no será el adecuado. (Taiwantrade, 2011)

## **2.9. SISTEMAS DE MOLIENDA y TRITURACIÓN**

### **2.9.1. MOLIENDA**

El término molienda es de uso común, se refiere a la pulverización y a la dispersión del material sólido. Pueden ser minerales, materiales industriales, también pueden ser piedras o cualquier otro material sólido.

### **2.9.2. TRITURACIÓN**

La trituración es un proceso de reducción de materiales comprendido entre los tamaños de entrada de 1 metro a 1 centímetro (0,01m), diferenciándose en trituración primaria (de 1 m a 10 cm) y trituración secundaria (de 10 cm a 1 cm). (Waganoff, 1956)

Los medios de trituración tienen 3 tipos de movimientos:

- Rotación alrededor de su propio eje.
- Caída en catarata en donde los medios caen rodando por la superficie de los otros cuerpos.
- Caída en cascada que es la caída libre de los medios sobre el pie de la carga. Las fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño son: la compresión, el cizallamiento, la percusión o impacto y la abrasión.

### **2.9.3. REDUCCIÓN DE VOLUMEN**

(Durán, 2004) Menciona que:

Una de las principales aplicaciones de los sistemas de trituración en la industria del plástico, es la reducción de volumen. Tanto coladas, sobrantes



como piezas defectuosas, independientemente del tamaño y forma que presenten en origen; tras pasar por un sistema de trituración se convierten en material de un tamaño uniforme que puede fácilmente ser transportado, almacenado o dosificado. En ocasiones esto facilita su eliminación a través de una empresa de gestión de residuos, siendo más rentable transportar y/o almacenar material triturado.

#### **2.9.4. RECICLADO DE MATERIALES**

La gran mayoría de aplicaciones de trituración de materiales plásticos; tiene como finalidad el reciclado de este material; sea añadiéndolo en un porcentaje variable al material virgen; o como material principal en otras piezas cuyas características físicas y apariencia lo permitan. Con ello se consigue un ahorro en la gestión de los materiales que pueden aprovecharse al máximo, rentabilizando en poco tiempo la inversión en este tipo de sistemas. (Durán, 2004)

#### **2.9.5. TRITURACIÓN Y MOLIENDA EN LA INDUSTRIA**

Las operaciones mediante las que se efectúan dichas reducciones de tamaño por medios físicos se denominan trituración y molienda. Estas operaciones son de aplicación habitual en los procesos industriales. Las operaciones citadas se realizan con el objeto de facilitar el transporte de los materiales.

##### **2.9.5.1. ETAPAS DE TRITURACIÓN**

La desintegración se realiza en distintas etapas y en una gran diversidad de máquinas.

Así el material principal se trata en una trituradora, en esa etapa se realizara la trituración primaria. Si de allí el material producido pasa a una segunda trituradora, en esta se efectuara la trituración secundaria. Si sigue triturándose en otra máquina, la terciaria, etc. (Universidad de Buenos Aires, 2011)

### **Tamaños de Partículas**

En la industria en general, los materiales que sufrieron una o más etapas de reducción, se los puede clasificar de acuerdo al tamaño. En general, se clasifican de la siguiente forma:

- Material grueso: trozos de un tamaño mayor a 75 cm (30").
- Material mediano: trozos de un tamaño de 10 a 75 cm (4" a 30").
- Material fino: trozos de un tamaño menor a 10 cm (4")

Por otra parte, según el tamaño que tienen las partículas a la salida de las máquinas de desintegración, se pueden distinguir las distintas etapas de trituración y molienda.

Seguidamente se detallan las mismas:

#### **a) Trituración (desintegración grosera)**

- Trituración gruesa – tamaños de partículas de salida: 15 cm (6").
- Trituración mediana – tamaños de partículas de salida: entre 3 y 15 cm (1¼" a 6").
- Trituración fina – tamaños de partículas de salida: entre 0.5 y 3 cm (1/5" a 1¼").

#### **b) Molienda (desintegración fina)**

- Molienda grosera – tamaños de partículas de salida: entre 0.1 y 0.3 mm.
- Molienda fina – tamaños de partículas de salida: menores de 0.1 mm.

La trituración grosera, mediana y fina corresponden, prácticamente, a la primera, segunda y tercera etapa de trituración; mientras que la molienda grosera y fina corresponden a las etapas primaria y secundaria de la molienda. Los tamaños de partículas se establecen en base a los diámetros de las mismas.

En la industria, lo que se hace es clasificar los trozos con una serie de tamices (o zarandas) y, de acuerdo a los tamaños de los agujeros de los tamices, se le equiparan a las partículas dichos tamaños según pasen o no cada tamiz. (Universidad de Buenos Aires, 2011)

#### **2.9.5.2. EL PROCESO DE TRITURACIÓN DE PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA DE INYECCIÓN**

(Durán, 2004) Afirma:

El proceso consiste en reducir el volumen de coladas (bebederos) y sobrantes generados durante el proceso de moldeo de las piezas inyectadas; así como la eliminación de las ocasionales piezas defectuosas. Para ello pueden utilizarse diferentes tipos de equipo, cuyas características vendrán marcadas por los siguientes condicionantes:

- Dimensiones de la colada, sobrante o pieza a triturar.
- Tipo de material del cual está compuesto.
- Capacidad de producción necesaria del equipo (Kilos de material por hora)
- Tamaño necesario del material triturado.
- Destino del material triturado.
- Las dimensiones de la colada, sobrante o pieza a triturar, marcarán las dimensiones necesarias de la cámara de trituración del equipo; que generalmente coincide con las dimensiones de la boca de entrada del material en el equipo de trituración.

- El tipo de material termoplástico a triturar nos definirá si el equipo debe incorporar un tratamiento especial anti-desgaste (cámara de trituración); en los casos de tratarse de materiales cargados (por ejemplo PA + FV) que son altamente abrasivos.
- A la hora de definir el equipo, deberemos considerar la producción horaria que esperamos de este; para calcular el tamaño y potencia del mismo.
- El tamaño deseado del material triturado, vendrá marcado por el destino final del mismo. Los equipos pueden entregar un tamaño u otro; pero esto afectará a su capacidad horaria.
- El material triturado, puede emplearse directamente en máquina, almacenarse, ser transportado a distancia, etc. esto marcará los accesorios que complementen al triturador.

### **2.9.6. MOLINOS Y TRITURADORES**

Existen diferentes tipos de molinos y trituradores que se utilizan para la reducción de tamaños de diversos materiales: granos, cargas, pigmentos y otros. Existe un tamaño óptimo de partícula a obtener, los tamaños inferiores y el polvo que se genere no son en todos los casos directamente aprovechables.

Una característica importante de estos equipos es la capacidad de disipación de calor, puesto que la energía cinética del corte resulta de un incremento excesivo de la temperatura del polímero, éste se degrada y puede producir partes defectuosas.

No debe tener rozamiento de las partes o trozos de material alimentado en movimiento con las partes estáticas de la máquina, que provocaría un exceso de calor.

Los molinos de cuchillas en el reciclaje de plástico es una de las mejores opciones para llevar a cabo el proceso de molienda de los desechos de plástico para el reciclaje es el uso de molinos de cuchillas.

Los molinos de cuchillas se encargan de triturar y moler los desechos de plástico con la ayuda de sus cuchillas. Al tener la capacidad de variar su velocidad de molienda ofrecen la ventaja de aumentar la cantidad de desechos triturados en menos tiempo, acelerar el proceso y dar resultados óptimos.

En sus cámaras de molienda, que es el lugar donde se lleva a cabo todo el proceso, el giro constante de las cuchillas mezcla, tritura y muele los residuos de plástico. De esta manera se obtienen mezclas homogéneas que facilitan el resto del proceso de reciclaje de plástico reduciendo costos de operación. (Quimnet, 2011)

#### **2.9.6.1. MOLINOS A ALTAS REVOLUCIONES**

(Durán, 2004) Aclara que el tipo de equipo para trituración más extendido en la industria de los plásticos, es el denominado molino a altas revoluciones. Se trata del tipo de equipo más simple, económico y fácil de utilizar; especialmente destinado a materiales estándar y capaz de producir. Por el contrario es el que más mantenimiento requiere, su limpieza es más difícil, el consumo energético mayor y genera más ruido.

El molino a altas revoluciones tiene una boca de entrada; que generalmente tiene las mismas dimensiones que la cámara de trituración del equipo; y que limitará el tamaño máximo de la pieza a introducir. Esta boca se sitúa en una tolva de caída a la cámara de trituración, cuya longitud responde a las medidas de seguridad que impiden el acceso de la

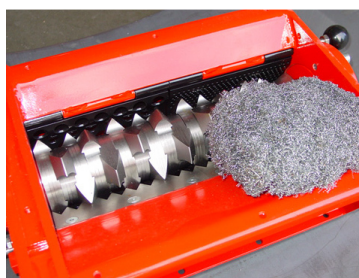
extremidad del operario a la cámara de trituración y evita al máximo la proyección de trozos de plástico hacia el exterior, durante la trituración.



**Figura 2.12 Molino de altas revoluciones. Fuente (Durán, 2004)**

En la cámara de trituración encontramos un rotor central, que puede ser abierto o cerrado; e incorporar 3 o más cuchillas que giran solidarias al rotor y en los extremos una o más cuchillas fijas, graduadas para que al paso de las cuchillas giratorias produzca un efecto de tijera que corta el material. El rotor está movido por un motor eléctrico, cuya potencia es determinante para el tipo de pieza a triturar, forma, material y producción horaria necesaria. En estos equipos, el rotor gira entre 250 y 700 R.P.M.

El Molino de un solo eje es el más convencional de los mejores tipos de trituración, utiliza cuchillas tradicionales de romper las partículas hacia un lado.



**Figura 2.13 Molino de un solo eje. Fuente (Durán, 2004)**

Molino rotatorio de velocidad media de un solo eje. Recomendado para la madera no contaminada, papel, plásticos duros y materiales frágiles donde se requiere el tamaño uniforme de partículas.



**Figura 2.14 Molino Desgarrador ZERMA. Fuente** (ZERMA Recycling & Granulators Technology, 2013)

Bajo el rotor existe una rejilla o tamiz, con forma curvada y que rodea el paso de las cuchillas giratorias, este marcará el tamaño del material triturado que son partículas muy pequeñas conocidas como “escamas u hojuelas”. A mayor tamaño de los orificios de la rejilla, mayor tamaño del triturado y mayor producción horaria del equipo.

Bajo la rejilla existe, por lo general un cajón de recogida del triturado que puede incorporar una boca para instalar un sistema de extracción neumático del material. (Durán, 2004)



**Figura 2.15 Molino de altas revoluciones de gran capacidad.**

**Fuente (Durán, 2004)**

Estos equipos pueden ser pequeños y compactos de entre 5 y 15 Hp de potencia, o de mucho mayor tamaño para trabajar en sala a parte por el gran ruido generado y espacio necesario (50 a 100 Hp de potencia). (Durán, 2004)

### **2.9.6.2. MOLINOS A BAJAS REVOLUCIONES**

(Durán, 2004) Escribió que la tecnología de la trituración a bajas revoluciones, nace como respuesta a la necesidad del transformador de materiales técnicos, que premian la calidad del triturado frente a la cantidad del mismo. Los conceptos de boca de entrada y tolva de alimentación es coincidente, pero a diferencia de los molinos a altas Revoluciones; estos trituradores giran tan sólo a 25 R.P.M.

No existen cuchillas rotativas ni fijas, ni tampoco rejilla. El rotor incorpora una serie variable de palas rompedoras, que pre-cortan en trozos las coladas y piezas introducidas y una serie de rodillos dentados y a modo de fresa van mordiendo literalmente el material, generando un triturado uniforme exento de polvo.

Esta tecnología emplea una potencia instalada mucho menor, ya que emplea un conjunto de motor eléctrico y reductor, proporcionando un alto par a baja velocidad. Con ello se minimiza no sólo el consumo energético sino también el ruido y las necesidades de mantenimiento. Al estar destinados a materiales técnicos suelen venir tratados con materiales anti-desgaste, pudiendo trabajar con materiales abrasivos sin problema. Por ello suelen suponer un mayor coste a la hora de adquirirlos, sin descartar que aportan



ventajas en cuanto a consumo energético, facilidad de limpieza y mínimo mantenimiento necesario.

Los trituradores a bajas revoluciones existen desde modelos realmente pequeños para micro-inyección, modelos para pie de máquina, silenciosos y de reducidas dimensiones; con gran capacidad de trituración; y sistemas de gran tamaño para piezas voluminosas, que por su silenciosidad pueden trabajar siempre en planta de inyección. No obstante, ni los equipos mayores, pueden producir gran cantidad de Kg./h. (Durán, 2004)

#### **a) DESGARRADORES**

(Durán, 2004) Aclara que los desgarradores o cizallas rotativas, son equipos que sólo permiten la reducción de volumen de grandes piezas en recortes más o menos grandes para un proceso posterior de trituración o simplemente destruir las piezas o reducir su tamaño.



**Figura 2.16 Molino desgarrador dos ejes.**

**Fuente (Gestión de Termoplásticos SLU, 2013)**

Son equipos bastante voluminosos, donde 2 o más ejes dotados de discos de corte trocean las piezas introducidas. Son equipos para trabajar en sala aparte por su volumen aunque el ruido generado no es muy alto.

Este molino de dos ejes, una versión avanzada de la trituradora de un solo eje, lleva a cabo su labor a través de forzar residuos con respecto a las hojas o entre ellos.

Con características de baja velocidad y alto par, dos ejes de trituración recomendados para metales, plásticos blandos, neumáticos, y destrucción de productos.



**Figura 2.17 Molino desgarrador de cuatro ejes.**

**Fuente (ERDWICH, 2013)**

## **b) SISTEMAS COMBINADOS**

Son equipos que incorporan 2 tecnologías diferentes. Se trata de un desgarrador, que pre-corta las piezas y bajo este se sitúa un molino de altas revoluciones que genera un triturado utilizable en máquina. Esto permite triturar piezas de gran volumen en un equipo relativamente compacto, con una potencia instalada no muy alta, consiguiéndose una producción horaria alta. Son equipos que suelen situarse en sala aparte por su tamaño; aunque al no ser ruidosos, podrían trabajar sin problema en planta. (Durán, 2004)

### c) ACCESORIOS

(Durán, 2004) Explica que en los sistemas de trituración pueden incorporar diferentes accesorios que el fabricante entregaría con el equipo; tales como cintas transportadoras de alimentación; sistemas de extracción del material triturado u otros.

Las cintas permiten alimentar de forma dosificada el equipo, a un operario atender a varios equipos a la vez o realizar otras funciones. Los sistemas de extracción del triturado trasladan el material de forma neumática hasta un punto determinado para llenar un depósito, silo, saco, etc. Otra opción son aspiradores neumáticos, situados sobre máquina; que mediante una válvula controladora dosifican el porcentaje exacto de material triturado con el virgen.



**Figura 2.18 Accesorios de almacenamiento para molinos. Fuente (ZERMA Recycling & Granulators Technology, 2013)**

## 2.10. SISTEMAS DE PESAJE

### 2.10.1. CÉLULAS DE CARGA Y TRANSDUCTORES DE PRESIÓN

(NI, 2013) Describe como una célula de carga es un transductor que convierte la fuerza mecánica en señales eléctricas. Hay muchos tipos diferentes de células de carga que operan de formas diferentes, pero la célula de carga más comúnmente utilizada hoy en día es la galga

extensométrica. Como su nombre implica, las células de carga mediante galgas extensiométricas utilizan una matriz de galgas para medir la deformación de un componente de una estructura y convertirla en una señal eléctrica.

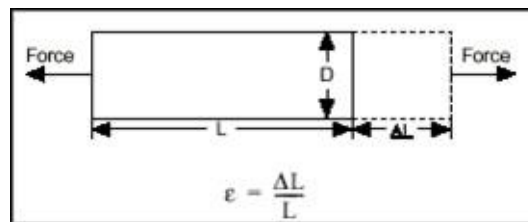


**Figura 2.19 Varios tipos de celdas de carga. Fuente (Auditorías y Consultorías, 2013)**

Los transductores de presión funcionan bajo el mismo principio. Son galgas extensiométricas montadas sobre un diafragma, de forma que, cuando se aplica presión miden una deformación del diafragma que es proporcional a la presión. Las siguientes secciones describen el principio de funcionamiento de las células de carga mediante galgas extensiométricas.

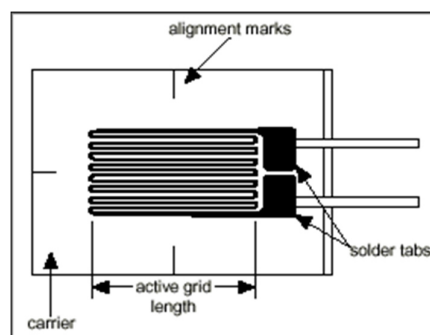
Las galgas extensiométricas miden la deformación, o la tensión, para determinar la fuerza (carga) aplicada. La extensión se define como el porcentaje del cambio de la longitud. Más concretamente, la extensión es el cambio de longitud,  $\Delta L$ , dividida por la longitud,  $L$ , y que varía de forma directamente proporcional a la carga aplicada. La figura 2.20 ilustra este concepto.

Al detectar la extensión y conociendo las características físicas del componente de la estructura a la que se aplica la carga, se puede calcular con precisión la fuerza. (NI, 2013)



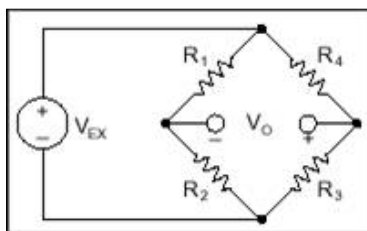
**Figura 2.20 Extensión de una galga. Fuente (NI, 2013)**

Si bien hay varios métodos de medición de la tensión, el más común es con una galga extensiométrica, un dispositivo cuya resistencia eléctrica varía en proporción a la cantidad de tensión en el dispositivo. El dispositivo más utilizado es la galga extensiométrica metálica adhesiva.



**Figura 2.21 Galga extensiométrica metálica adhesiva. Fuente (NI, 2013)**

Debido a que los cambios en la extensión y, por lo tanto, de la resistencia, son muy pequeños, se tienen que utilizar circuitos adicionales para amplificar los cambios de la resistencia. La configuración del circuito más común en una célula de carga se llama puente de Wheatstone. El puente de Wheatstone, se compone de cuatro ramas resistivas con una tensión de excitación VEX, que se aplica a los extremos del puente. (NI, 2013)



**Figura 2.22** Puento de Wheatstone. Fuente (NI, 2013)

La tensión de salida del puente,  $V_O$ , es igual a:

$$V_O = \left[ \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot V_{EX} \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

Las células de carga en general, utilizan cuatro galgas extensiométricas en una configuración de puente de Wheatstone, lo que significa que cada rama resistiva del circuito está activa. Esta configuración se conoce como puente completo. El uso de una configuración de puente completo aumenta enormemente la sensibilidad del circuito a los cambios de deformación, proporcionando unas medidas más precisas. Los fabricantes de las células de carga proporcionan la curva de calibración de cada célula de carga, lo cual permite correlacionar la tensión de salida con una cantidad específica de la fuerza. (NI, 2013)

### 2.10.2. ADQUISICIÓN DE DATOS Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE UNA CELDA DE CARGA

(NI, 2013) Detalla que los requisitos básicos para hacer una medida de una célula de carga / transductor de presión son la excitación, la amplificación de la señal y el equilibrado del puente.

### **2.10.2.1. EXCITACIÓN DEL PUENTE**

(NI, 2013) Detalla que los acondicionadores de señal de las células de carga proporcionan normalmente una fuente de tensión constante para alimentar el puente. Si bien no existe un nivel de tensión estándar que sea reconocido ampliamente en la industria, la tensión de excitación está generalmente en torno a unos niveles de 3 a 10V. Si bien, una mayor tensión de excitación genera proporcionalmente una mayor tensión de salida, una tensión mayor puede causar también mayores errores debidos al auto-calentamiento. Es muy importante que la tensión de excitación sea muy precisa y estable.

### **2.10.2.2. AMPLIFICACIÓN DE SEÑAL**

(NI, 2013) Detalla que la salida de las células de carga y de los puentes es relativamente pequeña. En la práctica, la mayoría de células de carga y de los transductores basados en células de carga proporcionan una salida de menos de 10mV/V (10mV de salida por voltio de tensión de excitación). Con una tensión de excitación de 10V, la señal de salida es de 100mV. Por lo tanto, un acondicionador de señal de una célula de carga incluye generalmente un amplificador para amplificar la señal y así incrementar el nivel de resolución de la medida y mejorar la relación señal-ruido.

### **2.10.2.3. EQUILIBRACIÓN DEL PUENTE**

Cuando se instala un puente es muy poco probable que el puente de cómo salida exactamente 0V cuando no se aplica tensión. Por el contrario, ligeras variaciones en la resistencia entre las ramas del puente y la resistencia de los cables pueden generar una tensión inicial distinta de 0V (tensión de 'offset'). Existen distintos modos en que un sistema puede manejar esta tensión inicial de 'offset'. (NI, 2013)

- a) Compensación por Software.-** El primer método compensa la tensión inicial de 'offset' mediante software. Con este método, se toma una medida inicial antes de aplicar la tensión de entrada. Esto también se conoce como auto-cero. Este método es simple, rápido y no requiere ajustes manuales. La desventaja del método de compensación por software es que no se eliminará la tensión real de 'offset' del puente. Si el 'offset' es lo suficientemente grande, se limitará la ganancia que el amplificador puede aplicar a la tensión de salida, por lo tanto limitará el rango dinámico de la medida.
- b) Circuito de anulación del 'offset'.-** El segundo método de equilibrado utiliza una resistencia regulable, o potenciómetro, para ajustar físicamente la salida del puente a 0V. Al variar la posición del potenciómetro se puede controlar el nivel de la salida del puente – ajuste inicial de la salida a 0V.
- c) Anulación del 'offset' mediante 'buffer'.-** El tercer método, al igual que el método de equilibrado por software, no afecta al puente directamente. Con un buffer de anulación, un circuito de anulación añade una tensión ajustable a la salida del amplificador de instrumentación. (NI, 2013)



## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En el presente capitulo se detalla todo lo referente al diseño de ingeniería, basado en consideraciones, normas de diseño y necesidades del proyecto, señalando para cada caso los materiales y elementos utilizados, desde el software de diseño hasta las especificaciones de materiales y normas de construcción.

#### 3.1. PROCESO DE DISEÑO MECATRÓNICO

El presente proyecto realizó de la siguiente manera:



Figura 3.1 Proceso de Diseño Mecatrónico. Fuente (Bagad, 2008)

### 3.1.1. IDENTIFICAR LA NECESIDAD

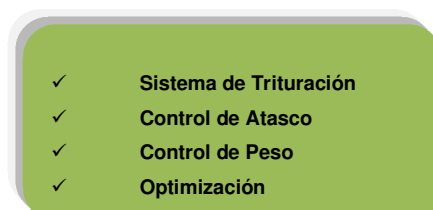
De acuerdo la situación actual que se encuentran los buques y cruceros en las costas ecuatorianas y en las Islas Galápagos, analizada en el segundo capítulo se puede identificar lo siguiente:

La contaminación por plásticos en el mar continúa creciendo junto con el incremento de pasajeros en los cruceros y el consumo de bebidas con envases plásticos PET. Se ha identificado que la falta de un tratamiento adecuado de desechos plásticos a bordo de un crucero ocasiona problemas de espacio para los tripulantes; bajo esta premisa se presume que los desechos son arrojados al mar contaminando los mares. Se requiere una solución que permita reducir el tamaño de estos desechos plásticos acumulados a bordo de un crucero y un registro adecuado de estos desechos, insumo que servirá de base para los informes periódicos de análisis y registro de desechos generados en las embarcaciones.

En este sentido el Departamento de Proyectos de la Empresa OTNISA S.A. motivado en la preservación ambiental, expuso la iniciativa del diseño de un equipo de molienda para plásticos PET que cumpla los requerimientos presentados.

### 3.1.2. ANALIZAR EL PROBLEMA

Después de la identificación de las necesidades, la Empresa OTNISA.S.A., resaltó los factores que influyen en la solución son: ambiental, económico, y tecnológico. Mediante un Sistema Mecatrónico se pretende abarcar estos factores brindar soluciones a los siguientes problemas:





**Figura 3.2 Problemas a Resolver**

Se realizó un análisis y comparación de los equipos similares en el mercado internacional.

**Tabla 3.1**

**Molinos en el mercado internacional.**

MOLINO PARA PLÁSTICO #1		
FABRICANTE	GRANULATOR BLADE MAN	<b>IMAGEN</b> 
PROCEDENCIA	SUDÁFRICA	
MODELO	WS300	
POTENCIA (Kw)	5.5	
VOLTAJE	220 TRIFASICO	
DIMENSIONES (mm)	1000x720x1290	
DIMENSIONES DE LA ENTRADA (mm)	310x200	
CAPACIDAD (Kg/h)	50-100	
# CUCHILLAS GIRATORIAS	9	
# CUCHILLAS FIJAS	2	
FUENTE:	<a href="http://www.gbman.co.za/granulator_ws.asp">http://www.gbman.co.za/granulator_ws.asp</a>	
PRECIO APROXIMADO (USD), NO INCLUYE TRANSPORTE E IMPUESTOS	7800	
MOLINO PARA PLÁSTICO #2		
FABRICANTE	MAQUINARIA INDUSTRIAL CHAVITO	<b>IMAGEN</b> 
PROCEDENCIA	MEXICO	
MODELO	CHAV5	
POTENCIA (Kw)	3.75	
VOLTAJE	220 TRIFASICO	
DIMENSIONES (mm)	1000x700x1400	
DIMENSIONES DE LA ENTRADA (mm)	40x30	
CAPACIDAD (Kg/h)		
# CUCHILLAS GIRATORIAS	3	
# CUCHILLAS FIJAS	3	
FUENTE:	<a href="http://molinosparaplastico.blogspot.com/p/tipos-de-molinos.html">http://molinosparaplastico.blogspot.com/p/tipos-de-molinos.html</a>	
PRECIO APROXIMADO (USD), NO INCLUYE TRANSPORTE E IMPUESTOS	4300	

MOLINO PARA PLÁSTICO #3		
FABRICANTE	MACCAD	
PROCEDENCIA	MEXICO	
MODELO	MAC5	
POTENCIA (Kw)	3.75	
VOLTAJE	220 TRIFASICO	
DIMENSIONES (mm)	420x860x1500	
DIMENSIONES DE LA ENTRADA (mm)	480x300	
CAPACIDAD (Kg/h)	20-60	
# CUCHILLAS GIRATORIAS	3	
# CUCHILLAS FIJAS	2	
FUENTE:	<a href="http://www.molinoparaplasticos.com/Molino5HP.jpg">http://www.molinoparaplasticos.com/Molino5HP.jpg</a>	
PRECIO APROXIMADO (USD), NO INCLUYE TRANSPORTE E IMPUESTOS	4121.87	

Fuente varios internet

En el Mercado internacional se puede identificar una variedad en diseños para la fabricación de molinos de plástico, utilizando los sistemas de cuchillas para el proceso de molienda (sistema diseñado para reducir el consumo de energía y la formación de calor y polvo).

Este sistema puede variar en la cantidad de cuchillas que se utilizan para el corte, optimizando la cantidad de cortes que se realizan por revolución, considerando las características de potencia de cada molino para la aplicación industrial deseada.

Las capacidades de cada molino oscilan entre 20 y 100 kg/h de acuerdo a las necesidades de producción y tamaño del equipo. La mayoría de molinos operan con un motor trifásico y los voltajes varían de acuerdo a las necesidades para un menor consumo energético.

El precio de cada molino varía en referencia al país de fabricación para lo cual se han detallado precios aproximados que no incluyen el transporte ni los impuestos generados en el proceso de importación.

Los equipos identificados presentan características de un control eléctrico para su funcionamiento, no cuentan con un sistema de identificación de fallas, visualización y protección de la máquina.

El diseño que se plantea realizar contará con un sistema de control y automatización del equipo que permita identificar el peso del material molido así también la programación del mismo, este sistema contará con un facilitará al operador la visualización de las etapas del proceso de molienda mediante una pantalla indicadora. Incluye también la detección de atascos en la cámara de molienda realizando una parada de emergencia con la finalidad de proteger el equipo.

### **3.1.3. DETALLAR LAS ESPECIFICACIONES**

De acuerdo a las necesidades y el análisis realizado la Empresa OTNISA S.A. se presenta la siguiente tabla de especificaciones técnicas de la máquina a diseñar.

Tabla 3.2

## Especificaciones de diseño

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
<b>Partes y Funcionamiento</b>	Tolva de entrada, Cámara de molienda y Tolva de salida del material molido
	La tolva de entrada permitirá el ingreso de las botellas plásticas conduciéndolas hasta la cámara de molienda.
	La cámara de molienda consta de tres cuchillas giratorias y dos cuchillas fijas.
<b>Dimensiones</b>	La tolva de salida permitirá la salida del material plástico molido
	El molino medirá 62 cm de ancho X 82 cm largo x 150 cm de alto.
<b>Capacidad</b>	40 kg/h
<b>Movimientos</b>	El eje de cuchillas girará a 450 rpm. El inicio y fin de giró estará controlado por el control eléctrico
<b>Energía</b>	Alimentación de corriente alterna de 220 V con componentes eléctricos y motor seleccionados con grado de protección IP55
<b>Materiales</b>	La estructura base será de acero estructural A36, el recubrimiento será con plancha galvanizada.
	El sistema de eje y portacuchilla será de Acero AISI 304 y Acero Naval ASTM A131 Gr A, respectivamente.
<b>Señales y control</b>	Las cuchillas de corte serán de acero AISI D2
	El control de la maquina se lo realizará mediante un microcontrolador PIC 16F877A
<b>Fabricación y montaje</b>	Se colocará un sensor de peso a la salida del material molido a fin de controlar la cantidad de material producido e indicar al operador el momento para retirar las hojuelas de plástico.
	Se realizará localmente.
<b>Vida útil y mantenimiento</b>	Se preverá un tiempo de vida útil de al menos 15 años, con una frecuencia de trabajo de 2 horas por día.
	Manual de partes y mantenimiento preventivo de la máquina.

Fuente OTNISA S.A.

## 3.1.4. GENERAR POSIBLES SOLUCIONES

Considerando las especificaciones presentadas por la empresa OTNISA S.A. Se identificó varios equipos en el mercado internacional para trituración del PET, de los cuales su funcionamiento general se basa en los

sistemas de molienda por cuchillas, presentando varias alternativas para la aplicación como son el número de ejes y velocidades de operación.

Se generaron posibles soluciones a los problemas planteados en el diseño; estos equipos tienen el mismo principio de funcionamiento de trituración y molienda, cada una de las alternativas con una característica singular se detallan a continuación:

- **Molino triturador de altas revoluciones (un eje)**

Este equipo presenta alta viabilidad de diseño y fabricación, capacidad de producción considerable, es el molino más utilizado para aplicaciones de trituración de plástico, menor coste de fabricación, alta disponibilidad en el mercado internacional, el más eficiente de los molinos de cuchillas, no genera gases ni contaminación para el medio ambiente.

- **Molino triturador de altas revoluciones (dos ejes)**

Este equipo presenta baja viabilidad de diseño y fabricación por su alto coste de fabricación, capacidad de producción alta, baja disponibilidad en el mercado internacional, consumo energético alto y no genera gases ni contaminación para el medio ambiente.

- **Molino triturador de bajas revoluciones (un eje)**

Este equipo presenta baja viabilidad de diseño y fabricación por su baja capacidad de producción, alto coste de fabricación y el complejo sistema de transmisión de potencia, regular disponibilidad en el mercado internacional, consumo energético alto y no genera gases ni contaminación para el medio ambiente.

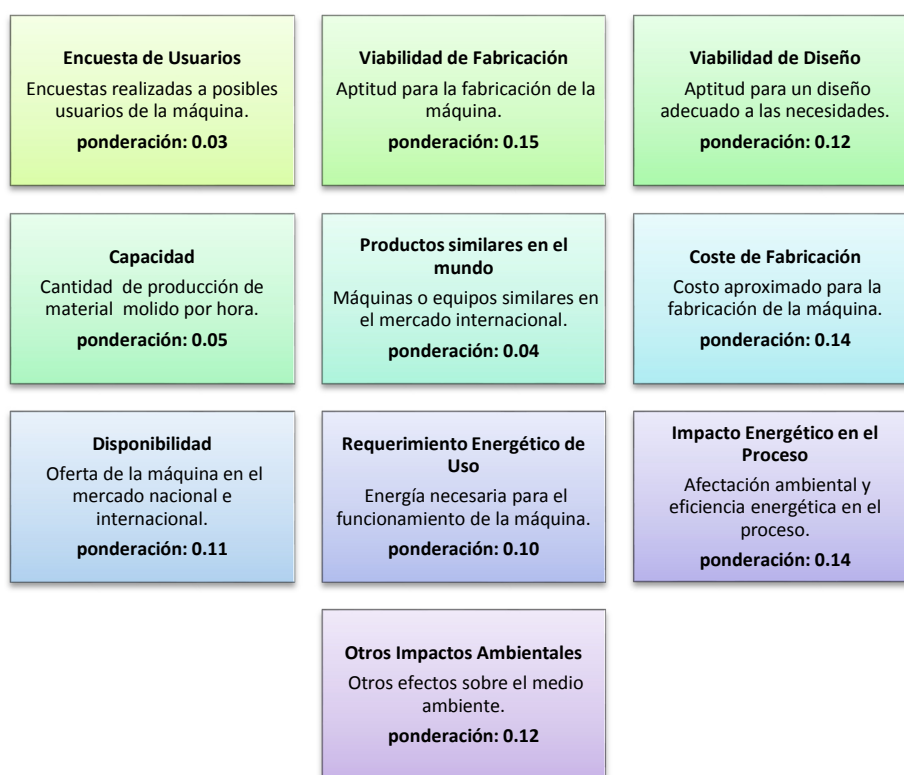
- **Molino triturador de bajas revoluciones (dos ejes)**

Este equipo presenta alta viabilidad de diseño y fabricación por su alta capacidad de producción y bajo consumo energético, presenta un alto coste de fabricación por su complejo sistema de transmisión de potencia, baja

disponibilidad en el mercado internacional y no genera gases ni contaminación para el medio ambiente.

### 3.1.5. SELECCIONAR UNA POSIBLE SOLUCIÓN

Se determinó la solución idónea mediante la comparación y análisis de los parámetros de selección y aplicación de criterios mediante el uso de la Matriz de Ponderación. Los criterios utilizados se detallan a continuación:



**Figura 3.3 Parámetros de selección.**

Mediante una matriz tipo-L se ponderó los distintos criterios, confrontándolos con los demás. Se comparó el primer criterio con los restantes, esto para cada una de las posibles soluciones planteadas.



Tabla 3.3

## Matriz de priorización

	ENCUESTA DE USUARIOS	VIABILIDAD, FABRICAC.	VIABILIDAD, DISEÑO	CAPACIDAD (Kg/h)	PROD. SIMILARES MUNDO	MEJOR COSTE DE FABRICACIÓN	DISPONIBILIDAD	REQU. ENERGÉTICO DE USO	IMPACTO ENERGÉTICO EN EL PROCESO	OTROS IMPACTOS AMBIENTALES	S+1	Pondera.
ENCUESTA DE USUARIOS		0	0	2.5	2.5	0	0	0	0	0	6	0.03
VIABILIDAD FABRICACIÓN	5		2.5	5	5	5	5	5	2.5	0	36	0.15
VIABILIDAD DISEÑO	5	2.5		5	5	0	2.5	5	0	2.5	28.5	0.12
CAPACIDAD (Kg/h)	2.5	0	0		2.5	0	2.5	0	0	2.5	11	0.05
PRODUCTOS SIMILARES MUNDO	2.5	0	0	2.5		0	0	0	0	2.5	8.5	0.04
MEJOR COSTE DE FABRICACIÓN	5	0	5	5	5		5	2.5	2.5	2.5	33.5	0.14
DISPONIBILIDAD	5	0	2.5	2.5	5	0		5	2.5	2.5	26	0.11
REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DE USO	5	0	0	5	5	2.5	0		2.5	2.5	23.5	0.10
IMPACTO ENERGÉTICO EN EL PROCESO	5	2.5	5	5	5	2.5	2.5	2.5		2.5	33.5	0.14
OTROS IMPACTOS AMBIENTALES	5	5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		28.5	0.12
									Suma		235	
<b>ENCUESTA DE USUARIOS</b>		Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)					S+1		Pondera.
Molino de altas revoluciones			5	5	0				11		0.32	
Molino de altas revoluciones		0		5	0				6		0.18	
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)		0	0		5				6		0.18	
		5	5	0					11		0.32	
									34			
<b>VIABILIDAD FABRICACIÓN</b>		Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)					S+1		Pondera.
Molino de altas revoluciones			5	2.5	5				13.5		0.40	
Molino de altas revoluciones		0		0	2.5				3.5		0.10	
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)		2.5	5		0				8.5		0.25	
		0	2.5	5					8.5		0.25	
									34			
<b>VIABILIDAD DISEÑO</b>		Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)					S+1		Pondera.
Molino de altas revoluciones			5	5	5				16		0.47	
Molino de altas revoluciones		0		5	2.5				8.5		0.25	
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)		0	0		0				1		0.03	
		0	2.5	5					8.5		0.25	
									34			
<b>CAPACIDAD (Kg/h)</b>		Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)					S+1		Pondera.
Molino de altas revoluciones			0	5	5				11		0.32	
Molino de altas revoluciones		5		2.5	0				8.5		0.25	
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)		0	2.5		0				3.5		0.10	
		0	5	5					11		0.32	
									34			

Continúa →

<b>PRODUCTOS SIMILARES MUNDO</b>	Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	S+1	Pondera.
Molino de altas revoluciones		5	5	5	16	0.47
Molino de altas revoluciones	0		0	0	1	0.03
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	0	5		2.5	8.5	0.25
	0	5	2.5		8.5	0.25
					34	
<b>MENOR COSTE DE FABRICACIÓN</b>	Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	S+1	Pondera.
Molino de altas revoluciones		5	5	5	16	0.47
Molino de altas revoluciones	0		5	2.5	8.5	0.25
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	0	0		5	6	0.18
	0	2.5	0		3.5	0.10
					34	
<b>DISPONIBILIDAD</b>	Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	S+1	Pondera.
Molino de altas revoluciones		5	5	2.5	13.5	0.40
Molino de altas revoluciones	0		0	0	1	0.03
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	0	5		0	6	0.18
	2.5	5	5		13.5	0.40
					34	
<b>REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DE USO</b>	Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	S+1	Pondera.
Molino de altas revoluciones		5	5	5	16	0.47
Molino de altas revoluciones	0		2.5	2.5	6	0.18
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	0	2.5		5	8.5	0.25
	0	2.5	0		3.5	0.10
					34	
<b>IMPACTO ENERGÉTICO EN EL PROCESO</b>	Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	S+1	Pondera.
Molino de altas revoluciones		5	0	0	6	0.18
Molino de altas revoluciones	0		0	0	1	0.03
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	5	5		5	16	0.47
	5	5	0		11	0.32
					34	

Continúa →

<b>OTROS IMPACTOS AMBIENTALES</b>	Molino de altas revoluciones (un eje)	Molino de altas revoluciones (dos ejes)	Molino de bajas revoluciones (un eje)	Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	S+1	Pondera.
Molino de altas revoluciones		2.5	2.5	2.5	8.5	0.25
Molino de altas revoluciones	2.5		2.5	0	6	0.18
Molino de bajas revoluciones	2.5	2.5		2.5	8.5	0.25
(dos ejes)	2.5	5	2.5		11	0.32
					34	

Se compararon todas las opciones entre sí en función de cada uno de los criterios. Se crearon para ello tantas matrices tipo-L como criterios definidos y finalmente se procede a la selección de la mejor alternativa para el diseño y construcción de un equipo caracterizado por su viabilidad de construcción, que no genere impactos ambientales, menor coste de fabricación y menor consumo energético; un molino triturador de altas revoluciones con un solo eje finalizó el análisis con un valor final de ponderación de 0.68.

**Tabla 3.4**

**Conclusiones de la matriz de priorización**

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>S+1</b>	<b>Prioritat</b>
Molino de altas revoluciones (un eje)	0.0083	0.0608	0.0571	0.3235	0.0170	0.0671	0.0439	0.0471	0.0252	0.0303	0.68	1
Molino de altas revoluciones (dos ejes)	0.0045	0.0158	0.0303	0.2500	0.0011	0.0356	0.0033	0.0176	0.0042	0.0214	0.38	3
Molino de bajas revoluciones (un eje)	0.0045	0.0383	0.0036	0.1029	0.0090	0.0252	0.0195	0.0250	0.0671	0.0303	0.33	4
Molino de bajas revoluciones (dos ejes)	0.0083	0.0383	0.0303	0.3235	0.0090	0.0147	0.0439	0.0103	0.0461	0.0392	0.56	2

### 3.1.6. CONSIDERACIONES FINALES DE DISEÑO

Para este proyecto se investigó sobre los desechos plásticos producidos a bordo de un crucero como se demuestra en el segundo capítulo, lo que permitió identificar el tamaño máximo de botellas plásticas que van a ser trituradas, botellas de 500 ml tipo piña de 115 mm de diámetro y 137 mm de alto, esta medida tiene relación directa con las dimensiones de la cámara de molienda a diseñar; considerando varias posiciones de ingreso de este envase a través de la tolva de alimentación se define las dimensiones de la cámara de molienda en 390mm x 280mm.

El tamaño deseado del material triturado, vendrá marcado por el destino final del mismo. Siendo el problema principal la acumulación de botellas PET en los cruceros, el destino será la reducción de tamaño de este material y entregado posteriormente a los centros de acopio terrestres.

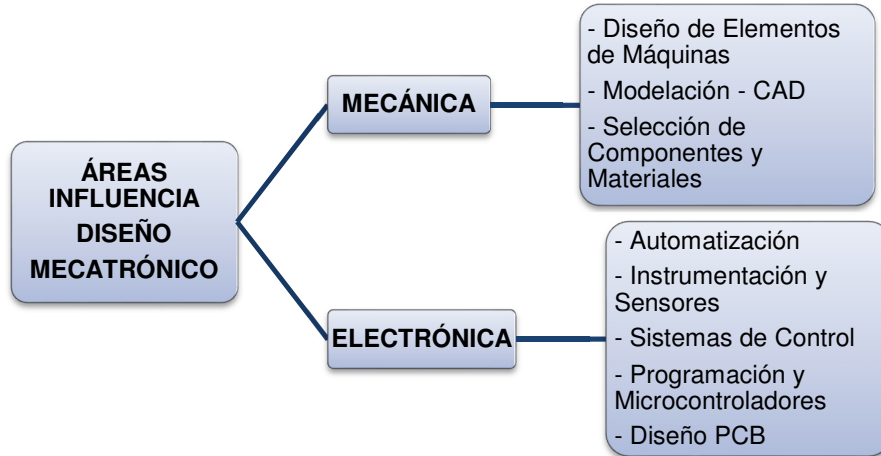
En este proceso no requerirá de accesorios adicionales al equipo ya que solo se requiere proporcionar a la embarcación una solución a la falta de espacio o acumulación de desechos plásticos mediante el proceso de reducción de tamaño.

**Tabla 3.5**

#### Especificaciones finales de diseño

CARACTERÍSTICAS	DETALLE
Dimensiones máximas de botellas a triturar. [mm]	Desde 500ml [115 diám. 237 alto] hasta 2000 ml
Tipo de material a triturar	PET
Capacidad de producción necesaria del equipo [Kg/h]	40
Tamaño necesario del material triturado. [mm]	10
Destino del material triturado.	entrega a centros de acopio
Las dimensiones de la cámara de molienda [mm]	280 x 390

Estas especificaciones como parte fundamental para el proceso de diseño Mecatrónico se detallan las áreas de influencia:

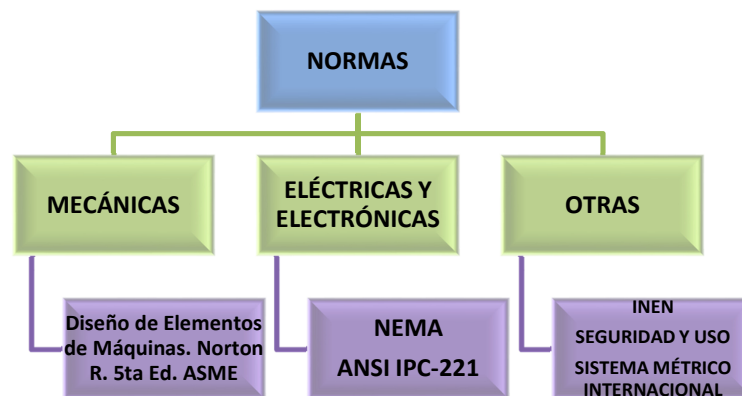


**Figura 3.4 Criterios de Ponderación.**

Las Herramientas computacionales CAD a utilizarse son:

- SolidWorks 2013
- AutoCAD 2013

Las consideraciones de diseño y normas utilizadas son:



**Figura 3.5 Normas de Diseño.**

### 3.2. DISEÑO MECÁNICO

El diseño de este equipo se realizó partiendo de los datos proporcionados por las embarcaciones; cada turista en las islas Galápagos a bordo de un crucero consume alrededor entre 2 y 4 litros de líquidos en bebidas con envases plásticos por persona, esto debido a las diversas actividades de turismo entre otras de trabajo de los tripulantes, los envases desechados en su gran mayoría son PET de 500 ml, 1000 ml y 2000 ml que pesa aproximadamente 21, 28 y 50 gr respectivamente sin considerar el peso de la tapa debido a que es de Polipropileno, material que será clasificado por separado. Entonces la producción diaria de desechos de PET por persona es de:

$$P = (2 \cdot 21[gr]) + 28 [gr] + 50 [gr]$$

$$P = 120 \frac{gr}{día}$$

Donde:

$P$  = Producción diaria de desechos PET por persona.

Para el análisis se ha considerado una embarcación con una capacidad máxima de 200 personas a bordo, entre estos 150 representan a turistas, entonces la producción diaria de botellas plásticas es:

$$P_{diaria} = 120 [gr] \cdot 200 \text{ personas}$$

$$P_{diaria} = 24000 [gr] \approx 24 \frac{kg}{día}$$

Entre otros desechos PET producidos en la embarcación se estiman 6 kg; entonces la producción diaria de desechos plásticos a bordo de un crucero es aproximadamente de 30 kg, y el acumulado de desechos plásticos en una semana de trabajo del crucero es de 210 kg/día

Las actividades realizadas por la tripulación bordo del crucero son extensas y en consideración a esto se planifica que un operador encienda la máquina durante dos horas diarias en tres días a la semana bajo disposiciones de las autoridades de la embarcación y el personal de turno.

$$C = \frac{210 [kg]}{3 \text{ días}} = 70 \left[ \frac{kg}{\text{día}} \right]$$

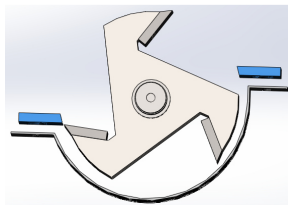
Donde:

$C$  = Capacidad de producción diaria

Bajo esta premisa se diseñará el equipo para funcionar dos horas diarias lo que nos da una producción de 40 [Kg/h] para solventar las necesidades del crucero.

### 3.2.1. TRABAJO NECESARIO PARA EL CORTE DE PET

El funcionamiento de los molinos de cuchillas se basa en el giro continuo del eje rotor al que se encuentran sujetas las cuchillas móviles; al momento que cada cuchilla móvil se encuentra con una cuchilla fija se genera una carga de impacto, esta carga es súbita y ocurre en un pequeño intervalo de tiempo.



**Figura 3.6 Diagrama de sistema de corte.**

Para el análisis de este tipo de carga se realizan estudios y pruebas periódicamente en varios laboratorios a nivel mundial obteniendo resultados similares.

Estos ensayos condujeron al desarrollo de métodos estandarizados conocidos como Izod y Charpy bajo la norma ASTM D 256-88 (Prospector, 2013)

### RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD (ISO 180)

La muestra se coloca en el aparato de ensayo, con una entalladura en la parte superior. Se suelta el péndulo desde una altura determinada. Se repite el ensayo hasta que se rompa la muestra.

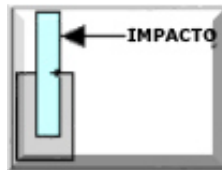


Figura 3.7 Ensayo de impacto Izod. Fuente (Prospector, 2013)

### RESISTENCIA AL IMPACTO CHARPY (ISO 179)

El ensayo es similar al anterior, pero la muestra con la entalladura en el lado contrario al del impacto, o sin entalladura.

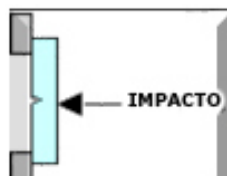


Figura 3.8 Ensayo de impacto Charpy. (Prospector, 2013)

La fuerza de Impacto es la energía absorbida por unidad de área, el PET tiene una resistencia al impacto de  $16 \left[ \frac{KJ}{m^2} \right]$  a la temperatura de 23°C de acuerdo a los catálogos de materiales plásticos más comunes. (Europec, 2013)



De acuerdo al tipo de geometría que tienen las botellas PET se puede establecer un balance de energía al momento del corte, partiendo del análisis de fractura rápida o fractura por impacto (Ashby & Jones, 2012)

$$\delta W \geq \delta U^{el} + G_c t \delta a \quad \text{Pag. 183 ASHBY} \quad \text{Ecuación 3.1.}$$

Donde:

$\delta W$ : Trabajo realizado por la cuchilla

$\delta U^{el}$ : Cambio de energía elástica

$G_c$ : Energía absorbida para generar la unidad de área (tenacidad)

$t\delta a$ : Área del plástico cortado

El valor de  $\delta U^{el}$  se puede despreciar comparado al trabajo realizado por la cuchilla.

Entonces:  $\delta W = G_c t \delta a$

$$\int \delta W = G_c t \int_0^e \delta a$$

$$W = G_c t a \Big|_0^e$$

$$W = G_c t e;$$

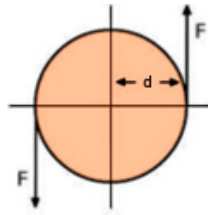
$$\text{Si: } G_c = 16 \left[ \frac{KJ}{m^2} \right] \quad \text{y} \quad t e = \text{área de corte}$$

El área representada por la longitud de la cuchilla y el espesor de las botellas plásticas, se ha considerado un espesor de 0.002m entre los envases de PET más comunes y a las diferentes formas rígidas para la boquilla roscada y rugosidades de diseños de botellas.

$$W = \left( 16000 \frac{J}{m^2} \right) \cdot (0.25m) \cdot (0.002m)$$

$$W = 8 J$$

Este trabajo representa el par de rotación necesario para el corte.



**Figura 3.9 Diagrama de par de rotación.**

$$d = (\text{radio porta cuchilla}) \cdot (\text{filo de cuchilla movil})$$

$$d = (0.1m) \cdot (0.01m)$$

$$F \cdot d = 8 Nm$$

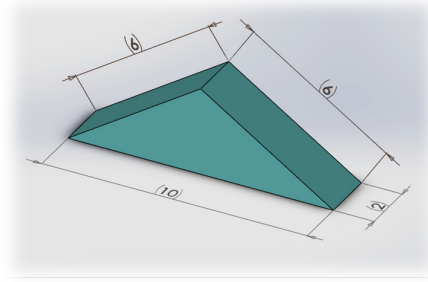
$$F = \frac{8 Nm}{0.11 m}$$

$$F = 72.72 N$$

Este valor representa la fuerza requerida para el corte de una lámina de PET para la longitud determinada por las cuchillas y la cámara de molienda; este valor se duplicará debido a la forma cilíndrica de cada botella atrapada en las cuchillas  $F = 145.45 N$ .

El ingreso de las botellas en la cámara de molienda será a través de la tolva de alimentación y en función de la gravedad, entonces cada cuchilla giratoria arrastrará el material y realizará el corte de al menos 6 botellas de 500 ml en diversas posiciones en las cuales ingresan a la cámara de molienda triplicando la fuerza de corte en  $F_c = 436.36 N$ .

La forma final obtenida del plástico triturado es irregular por lo que se determinó experimentalmente por medio del tamiz utilizado para el proceso de reducción de tamaño, con agujeros de 10 mm de diámetro las dimensiones generales son de (6x10x6) en mm, obteniendo así partículas de tamaño ideal para el almacenamiento en pequeños sacos y acomodarlos en lugares de espacio reducido.



**Figura 3.10 Diagrama de par de rotación.**

La energía total es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$E_T = \frac{E_i A_t}{n} \quad \text{Ecuación 3.2.}$$

Donde:

$E_T$ : Energía Total [KJ]

$E_i$ : Energía por unidad de área obtenida  $\left[\frac{KJ}{m^2}\right]$

$A_t$ : Área total obtenida [ $m^2$ ]

$n$ : Eficiencia del molino

Los molinos de cuchillas para plástico tienen una eficiencia de 20 a 30%, esto debido a la cantidad de cortes que se realizan para la obtención de la hojuela final; dependerá también de un diseño adecuado de un porta cuchilla que permita realizar varios cortes por revolución, el material seguirá girando en la cámara de molienda hasta un corte total y finalmente caer por los agujeros del tamiz.

El área total de corte de cada partícula se define:

$$A_t = A_u \cdot n$$

Donde:

$A_u$ : Área unitaria

$n$ : Número de partículas en una hora

$$A_u = (6 + 10 + 6)(2mm)$$

$$A_u = 44 mm^2$$

El número de partículas producidas en una hora se define:

$$n = \frac{M_T}{M_U} \quad \text{Ecuación 3.3.}$$

Donde:

$M_T$ : Masa Total

$M_U$ : Masa Unitaria

La masa unitaria será determinada sabiendo que la densidad del PET es de

$$1400 \frac{Kg}{m^3}$$

$$M_U = \rho_{PET} \cdot V_u \quad \text{Ecuación 3.4.}$$

Donde:

$V_u$ : Volumen unitario

$\rho_{PET}$ : Densidad del PET

$$V_u = \frac{b \cdot h}{2} \cdot e = \frac{(10) \cdot (3.32)}{2} \cdot 2 = 33.2 mm^3$$

$$M_U = \left( \frac{1400 Kg}{m^3} \right) \cdot (33.2 \times 10^{-9})$$

$$M_U = 46.48 \times 10^{-6} Kg$$

Se desea triturar el PET a una capacidad real de 40 Kg/h que representará un molino con una eficiencia de producción al 20%, el número total de partículas obtenidas será:

$$n = \frac{200 \frac{Kg}{h}}{46.48 \times 10^{-6} Kg} = 4.303 \times 10^6 \text{ particulas}$$

Entonces:

$$A_t = A_u \cdot n$$

$$A_t = (44 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (4.303 \times 10^6 \text{ particulas})$$

$$A_t = 189.33 \text{ m}^2$$

La energía total será:

$$E_T = \frac{\left(16 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2}\right) (189.33 \text{ m}^2)}{0.20}$$

$$E_T = 15146.3 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Entonces la potencia de diseño será:

$$P = \frac{15146.3 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{3600 \text{ s}}$$

$$P = 4.208 \text{ KW}$$

Para la selección de motores se recomienda considerar las posibles sobrecargas en el proceso con un factor de seguridad de 1.5, por lo tanto:

$$PI = 4.208 \cdot 1.5 = 6.312 \text{ KW}$$

$$PI = 8.46 \text{ Hp}$$

## PARÁMETROS DE DISEÑO

El molino triturador que se diseñará tendrá la capacidad de producción de 40 Kg/h considerando que la alimentación del material plástico a triturar es continua y el equipo trabajará sin realizar paros innecesarios del proceso.

Los parámetros de diseño son:

- Tiempo de funcionamiento: 3 días/semana

- Horas de funcionamiento: 2 horas/día
- Potencia del motor: 10 Hp
- Capacidad de producción: 40 kg/día
- Sistema de transmisión: bandas y poleas
- Número de cuchillas fijas: 2
- Número de cuchillas giratorias: 3

### **REQUISITOS MÍNIMOS**

- Capacidad de producción mínima de: 35 kg/h
- Tamaño de hojuela aproximada: 10 mm
- Dimensiones máximas el molino: 62 cm de ancho X 82 cm largo x 150 cm de alto.
- Control del peso mediante ingreso por teclado
- Ergonomía: apariencia atractiva y adecuada a la aplicación

### **3.2.2. DISEÑO DE PARTES Y PIEZAS**

#### **3.2.2.1. ANALISIS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MEDIANTE BANDAS**

Para este análisis necesitaremos los siguientes datos iniciales del diseño:

Horas de servicio: 2

Potencia de entrada PI: 8.46 Hp

Velocidad de giro del motor n1: 1750 RPM

Velocidad de giro del eje rotor n2: 450 RPM

Factor de servicio Kd: 1.0 (dato fabricante motores WEG)

Efectos externos y ambientales Ef: 0.1

Factor de servicio total Ks: 1.1 (ANEXO 3.1.)

Potencia de diseño:

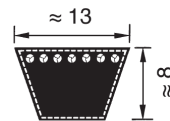
$$Pd = PI \cdot Ks \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

$$Pd = 8.46 Hp \cdot 1.1$$

$$Pd = 9.306 \approx 10 Hp \text{ o } 7.46 Kw$$

Con el valor obtenido de potencia de diseño corregida y con el número de revoluciones efectivas en la polea motriz del sistema de transmisión de potencia se puede determinar el tipo de banda a utilizarse.

El estándar seleccionado fueron bandas tipo V, asignada con la letra A para los tamaños en pulgadas comúnmente utilizados en el mercado. (ANEXO 3.2.)



**Figura 3.11 Sección de banda tipo V. Fuente (OPTIBELT, 2012)**

Relación de transmisión

$$i = \frac{n1}{n2} \quad \text{Ecuación 3.6.}$$

$$i = \frac{1750}{450} = 3.8$$

Selección de las poleas

El diámetro mínimo de polea motriz recomendado para bandas tipo A es de 3 pulgadas como se muestra en (ANEXO 3.3.)

$$D_{pm} = 3 \text{ in} = 76.2 \text{ mm}$$

Diámetro de la polea conducida

$$D_{pc} = D_{pm} \cdot i$$

$$D_{pc} = (3 \text{ in}) \cdot (3.8)$$

$$D_{pc} = 11.4 \text{ in} \approx 12 \text{ in} = 304.8 \text{ mm}$$

Relación de transmisión real

$$i_R = \frac{D_{pc}}{D_{pm}}$$

$$i_R = \frac{12}{3}$$

$$i_R = 4$$

Velocidad de la banda

$$V_b = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot D_{pm}}{60000} \quad \text{Ecuación 3.7.}$$

$$V_b = \frac{\pi \cdot (1750 \text{ rpm}) \cdot (76.2 \text{ mm})}{60000}$$

$$V_b = 6.98 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1374.016 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

**Distancia mínima entre centros**

$$D_{pc} < C < 3(D_{pc} + D_{pm})$$

$$C_{min} = \frac{D_{pc} + 3(D_{pc} + D_{pm})}{2} \quad \text{Ecuación 3.8.}$$

$$C_{min} = \frac{304.8 + 3 \cdot (304.8 + 76.2)}{2}$$

$$C_{min} = 342.9$$

El valor ideal de la distancia entre centros deberá estar entre estos valores:

$$304.8 \text{ mm} < C < 1143 \text{ mm}$$

Se asumió una distancia entre centros de 500 mm de bajo las recomendaciones de la empresa auspiciante, considerando las dimensiones totales del molino.



$$C = 500 \text{ mm}$$

**Longitud de paso de la banda** (Shigley, 2006)

$$L_p = 2 \cdot C + \frac{\pi}{2} \cdot (D_{pc} + D_{pm}) + \frac{(D_{pc} - D_{pm})^2}{4 \cdot C}$$

Pág. 880 SHIGLEY

Ecuación 3.9.

$$L_{pt} = 2 \cdot (500) + \frac{\pi}{2} \cdot (304.8 + 76.2) + \frac{(304.8 - 76.2)^2}{4 \cdot (500)}$$

$$L_{pt} = 1624.6 \text{ mm}$$

La longitud de polea estándar aproximada a este valor teórico es A64, con una longitud de paso real de:

$$L_{pr} = 1625 \text{ mm}$$

Con una longitud exterior total de 1650 mm, datos que se pueden apreciar en (Anexo 3.5.).

Distancia real entre centros

$$C_R = C + \frac{L_{pr} - L_{pt}}{2} \quad \text{Ecuación 3.10.}$$

$$C_R = 500.2 \text{ mm}$$

### Factor de corrección

Se determinaron factores de corrección respecto al ángulo de contacto de la banda con la polea y su longitud de paso real.

Factor de corrección de ángulo

$$\frac{D_{pc} + D_{pm}}{C_R} = \frac{304.8 - 76.2}{500.2} = 0.4$$

Factor de corrección por arco de contacto ANEXO 3.6.

$$K\theta = 0.94$$

Factor de corrección de longitud de banda ANEXO 3.8.

$$KL = 1$$

### Potencia de cada banda

De acuerdo a los valores de la tabla presentada como ANEXO 3.9 para poleas de diámetro menores a 118 mm la potencia básica de cada banda es:

$$P_b = 2.75 \text{ Kw}$$

La potencia adicional generada para relaciones de transmisión mayores a 2 y a velocidades de 1750 rpm (ANEXO 3.10.), es:

$$P_a = 0.61 \text{ Kw}$$

Entonces la potencia total de cada banda será:

$$PB = P_b + P_a = 3.36 \text{ Kw}$$

La potencia real de la banda multiplicada por los factores de corrección es:

$$PB_R = PB \cdot K\theta \cdot KL = 3.095 \text{ Kw} \quad \text{Ecuación 3.11.}$$

### Número de poleas necesario

$$NB = \frac{P_d}{PB_R} = \frac{7.46 \text{ Kw}}{3.095 \text{ Kw}} \quad \text{Ecuación 3.12.}$$

$$NB = 2.4 \text{ Kw} \approx 2 \text{ bandas}$$

La selección de poleas se realizó en base a este análisis y de acuerdo a la disponibilidad del mercado:

1 polea doble motriz de diámetro  $D_{pm} = 76.2 \text{ mm} \approx 3 \text{ in}$

1 polea doble conducida  $D_{pc} = 304.8 \text{ mm} \approx 12 \text{ in}$

2 bandas tipo A64

### 3.2.2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MOLIENDA

#### EJE ROTOR

Tomando en cuenta que se requiere determinar las concentraciones de tensión en el eje rotor se estableció un conjunto de valores preliminares de diseño para cada una de las piezas que intervienen en el sistema de molienda por cuchillas, con la finalidad de determinar un factor de seguridad ideal para su análisis.

El sistema de molienda de cuchillas es una parte importante del molino conformado por eje rotor, cuchillas y porta cuchillas.

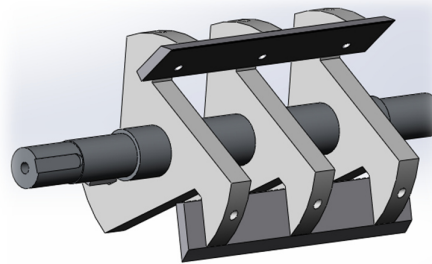
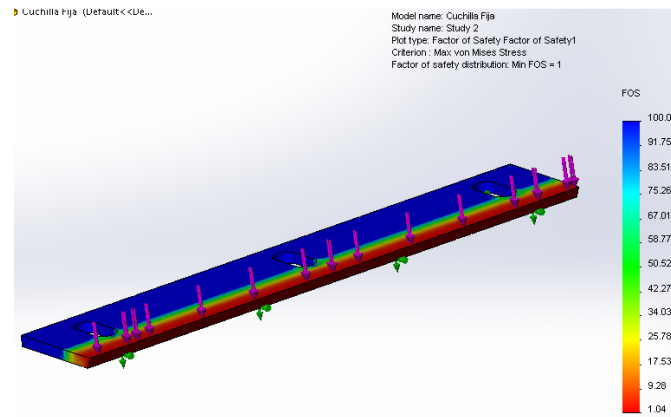


Figura 3.12 Sistema de molienda por cuchillas.

#### CUCHILLA FIJA

Se diseñó la cuchilla fija y la cuchilla giratoria, ambas con un espesor inicial de 5mm. Mediante la simulación de estudio estático realizado en el software de diseño SolidWorks 2013, se aplicó la fuerza  $F=436.36$  N, necesaria para el corte del plástico de acuerdo a la longitud de la cuchilla de 250 mm, se restringió el área que va a estar soportada por la caja, y se colocó la carga en el filo de corte de la cuchilla asumiendo un área mínima de contacto obteniendo un factor de seguridad mínimo de  $F_s=1$  para la carga aplicada.



**Figura 3.13 Factor de seguridad mínimo de cuchilla fija.**

Se emplea el criterio de von Mises. El material empieza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión.

El factor de seguridad permite asesorar las dimensiones de los diseños ideales para las cargas y esfuerzos a los que va a ser sometido basándose en el criterio de fallas.

Bajo la guía de los equipos para molienda en el mercado internacional se pudo identificar el espesor mayormente utilizado y el material para sistemas de molienda de cuchillas, se recomendó utilizar un mayor espesor para obtener un factor de seguridad mayor y por disponibilidad de este material en la empresa OTNISA S.A. se realizó un estudio con un espesor de cuchilla de 10 mm, obteniendo un factor de seguridad mínimo de  $F_s=3.2$ .

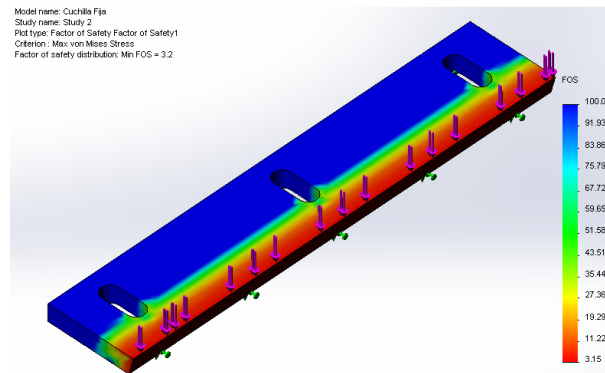


Figura 3.14 Factor de seguridad óptimo para cuchilla fija.

Tabla 3.6

Propiedades físicas de las cuchillas fijas.

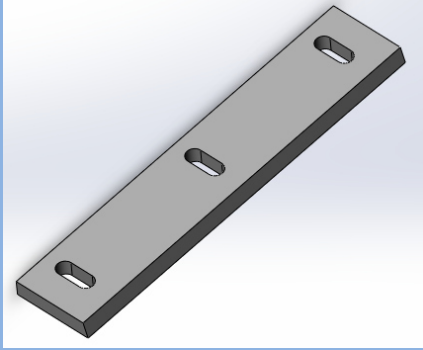
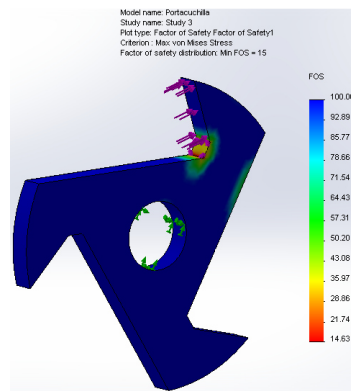
	Masa [g]	918.36
	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	114794.44
	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	30862.76

Figura 3.15 Diseño de las cuchillas fijas.

## PORTA CUCHILLA

Para continuar con el diseño de partes y piezas, se determinó la forma de porta cuchilla, caracterizada como el elemento de sujeción de las cuchillas giratorias, que puede variar su diseño de acuerdo a las necesidades de corte o al número de cuchillas.

Para el análisis y simulación de este elemento se consideró un espesor inicial de 15 mm, una restricción de movimiento donde será sujetado con el eje y una carga proporcional a  $F = 145.45$  N obteniendo la siguiente distribución de factor de seguridad.

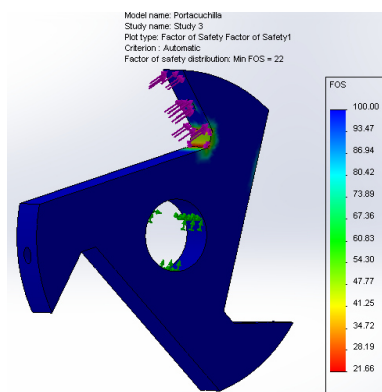


**Figura 3.16 Distribución de factor de seguridad en porta cuchilla.**

Se identificó las zonas críticas del elemento donde el valor mínimo de factor de seguridad es  $F_s=15$ ; no existe zonas de falla para las cargas aplicadas a este elemento.

Este diseño de soporte es conocido también por ser uno de los más utilizados en los sistemas de molienda; generando una superficie inclinada sobre la cual va a estar colocada la cuchilla, cuanto mayor sea el espesor de este elemento permitirá una mayor superficie de contacto para la cuchilla giratoria.

Por disponibilidad de material se realizó el análisis con un espesor de 22 mm, obteniendo un factor de seguridad mínimo de  $FS=22$



**Figura 3.17 Factor de seguridad mínimo en porta cuchilla.**

Tabla 3.7

Propiedades físicas del porta cuchillas.

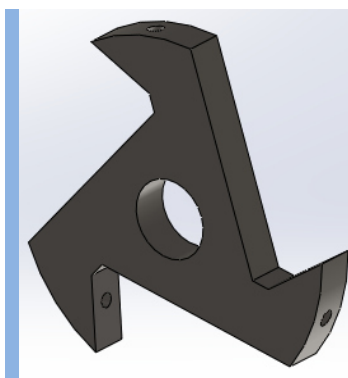
	Masa [g]	2908.78
	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	294111.52
	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	48070.91

Figura 3.18 Diseño del porta cuchillas.

Tabla 3.8

Características del acero A131 (ANEXO 3.24)

Acero ASTM A131 - Naval	
Límite elástico [MPa]	235
Resistencia a la Tracción [MPa]	490
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	7850
C [%]	0.23

Fuente Catálogo (TUBISA SAC., 2013).

## CUCHILLA GIRATORIA

Se desarrolló el mismo procedimiento para la cuchilla giratoria de 10 mm de espesor, en la cual se consideró como restricción el área de contacto que va a ser soportada por el porta cuchilla equivalente al espesor este último  $e=22\text{mm}$ , también se colocó una carga estática que actuará sobre el filo de corte de  $F= 436.36\text{ N}$  obteniendo un factor de seguridad mínimo de  $F_s= 4.3$ .

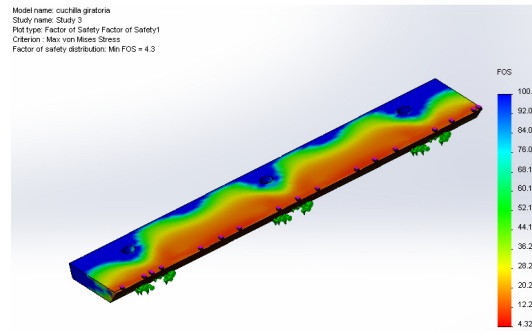


Figura 3.19 Factor de seguridad mínimo en cuchilla giratoria.

Tabla 3.9

Propiedades físicas de las cuchillas giratorias.

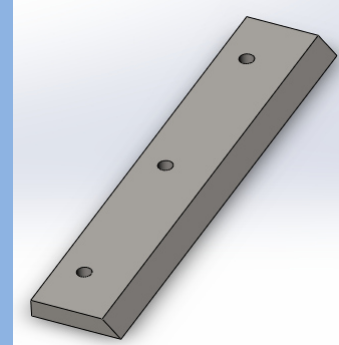
	Masa [g]	887.94
	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	110992.04
	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	29887.92

Figura 3.20 Diseño de las cuchillas giratorias.

Tabla 3.10

Características del acero AISI D2. (ANEXO 3.25.)

Acero ASTM A681 - AISI D2	
Temperatura [°C]	20
Módulo de elasticidad [N/mm <sup>2</sup> ]	193000
Dureza alcanzada en temple [HRC]	62
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	7700
C [%]	1.5

Fuente Catálogo (IVÁN BOHMAN, 2013)

Torque producido en el eje rotor

$$T_e = \frac{63000 \cdot P_d}{n^2}$$

Ecuación 3.13.



$$T_e = \frac{63000 \cdot 10Hp}{450 \text{ rpm}}$$

$$T_e = 1400 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

### Fuerza tangencial producida en el eje rotor

$$F_t = \frac{2 \cdot T_e}{D_{pm}} \quad \text{Ecuación 3.14.}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot (1400 \text{ lb} \cdot \text{plg})}{3 \text{ plg}}$$

$$F_t = 2800 \text{ lb}$$

### ANÁLISIS DE CARGAS ESTÁTICAS

Para determinar las cargas efectuadas en el eje rotor se utilizó el software SolidWorks 2013, en opciones de propiedades mecánicas y de masa de los elementos del sistema de molienda.

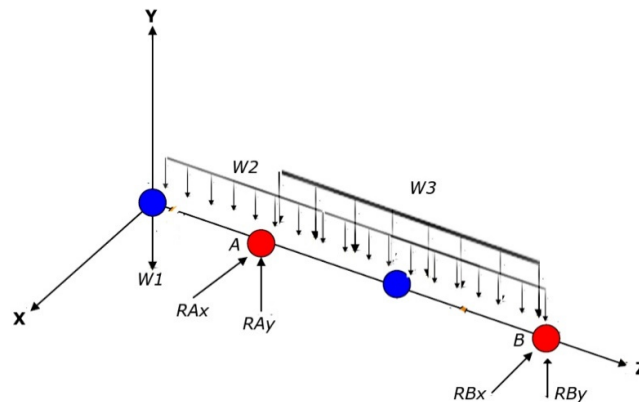
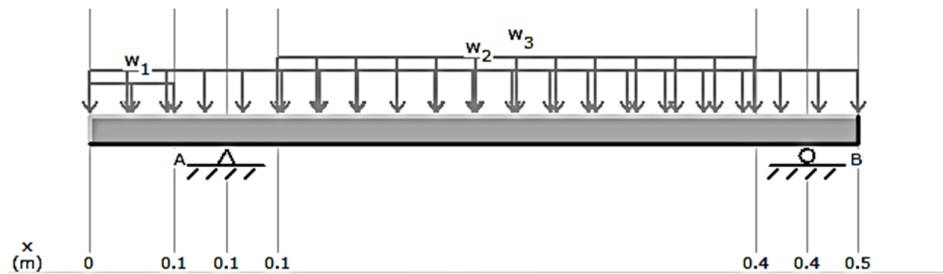


Figura 3.21 Diagrama de cuerpo libre. .

El diámetro preseleccionado para el eje rotor es de 44 mm con las siguientes dimensiones. Las cargas serán distribuidas a lo largo del eje rotor de acuerdo a las dimensiones donde serán colocadas las piezas.

Con los valores referenciales de peso de cada uno de los elementos se pudo realizar un análisis estático colocando estas cargas a lo largo del eje rotor con la finalidad de determinar las reacciones en los apoyos A y B.



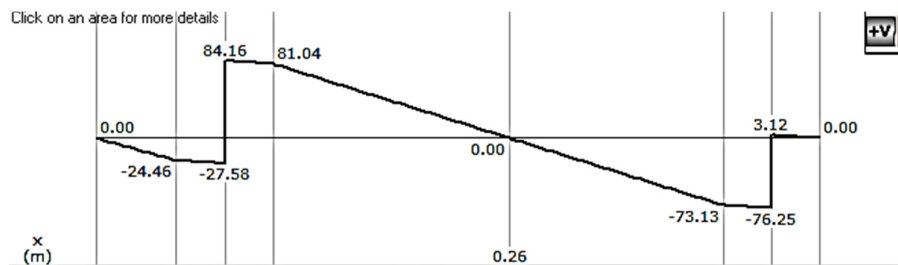
**Figura 3.22 Diagrama de cargas distribuidas estáticas sobre el eje rotor del molino. Simulación MD-Solid.**

**Tabla 3.11**

**Detalle de cargas efectuadas en el eje rotor**

SIMBOLO	NOMBRE	MASA (Kg)	DISTANCIA (mm)	CARGA (N/m)
W1	Polea	2.2	56	<b>385</b>
W2	Eje rotor	4.78	450	<b>104.1</b>
W3	Conjunto cuchillas y portacuchillas	11.39	250	<b>446.5</b>

Se realizó el análisis de cargas estáticas para obtener el diagrama de cortante y momento flector, junto con sus valores máximos y mediante la utilización del software MD-Solid se comprobó estos valores y diagramas.

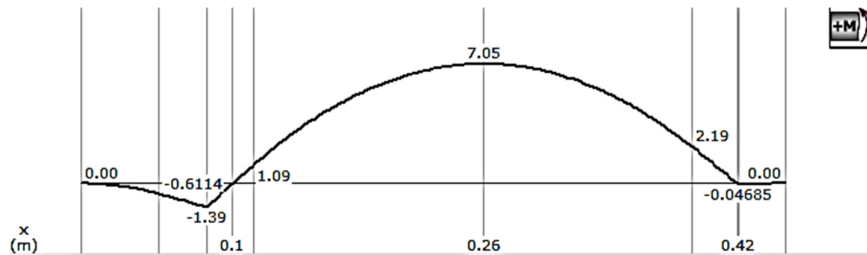


**Figura 3.23. Diagrama de cortante producido por cargas estáticas en el eje rotor. Simulación MD-Solid.**

Las reacciones en los apoyos A y B son:

$$R_{Ay} = 111.74 \text{ N}$$

$$R_{By} = 79.37 \text{ N}$$



**Figura 3.24 Diagrama de Momento Flector producido sobre el eje rotor. Simulación MD-Solid. .**

En la figura se muestran las distribuciones de cortante y momento sobre la longitud del eje. El torque aplicado es uniforme sobre la porción del eje entre los puntos A y B.

Junto al punto A de cojinete se encuentra el punto W1 donde se presenta un momento combinado con una concentración de esfuerzos, el punto W1 en el escalón y el cuñero debajo de la polea. La ranura de la chaveta rectangular utilizada para la fijación axial se colocó en el extremo del eje.

**Cortante máximo**  $V_{max} = 84.16 \text{ N}$

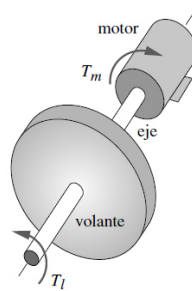
**Momento máximo**  $M_{max} = 7.05 \text{ N} \cdot m$

### ANÁLISIS DE CARGAS DINÁMICAS

Cuando una carga se aplica en un período relativamente corto recibe el nombre de “carga dinámica”. Las cargas dinámicas se distinguen de las estáticas por el hecho de originar modificaciones tanto en la magnitud de las tensiones como en las deformaciones a que dan lugar, afectando también la forma y límite de rotura de los materiales.

Las cargas dinámicas producidas por el impacto de un cuerpo en movimiento pueden originar en la estructura o en parte de ella efectos vibratorios. Si la carga dinámica se repite en forma periódica, y su frecuencia coincide con el período de vibración del elemento, éste puede entrar en resonancia. Cuando esto ocurre se originan deformaciones tan grandes que conducen al colapso de la estructura.

Cualquier elemento de esfuerzo sobre la superficie del eje pasa de tensión a compresión, en cada ciclo, conforme el eje gira. Por lo tanto, incluso para cargas de flexión constantes, un eje giratorio se debe diseñar contra falla por fatiga. El comportamiento del sistema de cuchillas para la molienda del plástico es similar al de un volante, este se utiliza para suavizar las variaciones de rapidez en un eje, causadas por las fluctuaciones en el torque, conforme el sistema de cuchillas gira, la fuerza centrífuga actúa sobre su masa distribuida e intenta separarlo, su accionamiento se muestra en la figura a continuación:



**Figura 3.25 Volante sobre un eje de transmisión. (NORTON, 2004)**

Se emplea de manera regular acero inoxidable en ejes de transmisión para trabajos en ambientes marinos o corrosivos.

Tabla 3.12

Propiedades físicas del porta cuchillas.

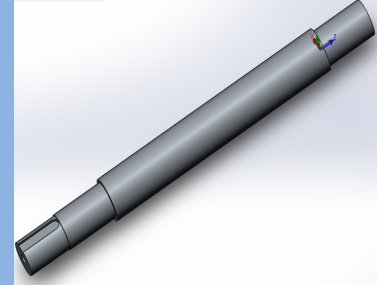
	Masa [g]	4782.08
	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	597759.42
	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	63009.85

Figura 3.26 Diseño del porta cuchillas.

Tabla 3.13

Características del acero ASTM A 240- AISI 304 (ANEXO 3.26.)

ASTM A 240- AISI 304	
Temperatura [°C]	20
Módulo de elasticidad [N/mm <sup>2</sup> ]	200000
Dureza brinell [HB]	190
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	7930
C [%]	0.08

Fuente (IVÁN BOHMAN, 2013)

**Valores preliminares:**

Diámetro preseleccionado para el diseño del eje rotor es

$$\varnothing_{et} = 42 \text{ mm}$$

Peso específico del acero AISI 304

$$\gamma = 77714 \frac{N}{m^3}$$

Velocidad de rotación del eje rotor

$$\omega = n2 \cdot \frac{2\pi}{60}$$

$$\omega = 450 \cdot \frac{2\pi}{60} = 47.12 \frac{rad}{s}$$

Coeficiente de Poisson para aceros

$$V = 0.28$$

Diámetro descrito por las cuchillas para el corte

$$\phi_c = 220 \text{ mm}$$

$$r_i = 0.5 \cdot \frac{\phi_{et}}{1000} = 0.021 \text{ m}$$

$$r_o = \frac{\phi_c}{2000} = 0.11 \text{ m}$$

$$r = r_i = 0.021 \text{ m}$$

### ESFUERZO TANGENCIAL

$$\sigma_t = \frac{\gamma}{g} \cdot \omega^2 \cdot \left( \frac{3+V}{8} \right) \cdot \left( r_i^2 + r_o^2 + \frac{r_i^2 \cdot r_o^2}{r^2} - \frac{1+3V}{3+V} \cdot r^2 \right)$$

Pág. 452 NORTON

Ecuación 3.15.

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del acero AISI 304

$\omega$ : Velocidad de rotación del eje rotor

$g$ : Fuerza de gravedad 9.8 N

$V$ : Coeficiente de Poisson para aceros

$r_i$ : Radio interior

$r_o$ : Radio exterior

$r$ : Radio de interés

$$\sigma_t = 169375.72 \text{ Pa}$$

**ESFUERZO RADIAL**

$$\sigma_r = \frac{\gamma}{g} \cdot \omega^2 \cdot \left( \frac{3+V}{8} \right) \cdot \left( r_i^2 + r_o^2 - \frac{r_i^2 \cdot r_o^2}{r1^2} - r1^2 \right)$$

Pág. 452 NORTON

Ecuación 3.16.

El radio r1 estará comprendido ente  $21 < r1 < 110$  mm

$$r1 = 0.04 \text{ m}$$

Entonces

$$\sigma_r = 55159.18 \text{ Pa}$$

En todos los puntos de análisis siempre será menor el esfuerzo radial.

La resultante del esfuerzo tangencial y radial es:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2}$$

$$\sigma = 178131.05 \text{ Pa}$$

Si el área tangencial generada será de

$$At = \frac{\pi \cdot 0.08^2}{4}$$

$$At = 0.00283$$

Entonces la fuerza tangencial del sistema de cuchillas en funcionamiento es

$$\sigma = \frac{Ft}{At}$$

$$Ft = \sigma \cdot At$$

$$Ft = 895.38 \text{ N}$$

La longitud en el eje donde estará el sistema de cuchillas es

$$Lc = 0.25 \text{ m}$$

El momento flector generado en el eje es

$$Md = Ft \cdot \frac{Lc}{2}$$

$$Md = 111.93 \text{ N} \cdot \text{m} \equiv 990.66 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

El momento es uniforme entre el espacio interior de la cámara de molienda de 0.25 m.

### ESFUERZO A FLEXIÓN (Gere & Timoshenko, 1997)

$$\sigma_E = \frac{Md \cdot \frac{\emptyset}{2}}{I}$$

$$I = \frac{\pi \cdot \emptyset^4}{64} \quad \text{TIMOSHENKO Ecuación 3.17.}$$

$$\sigma_E = \frac{32 \cdot Md}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

Pág. 417 NORTON Ecuación 3.18.

Donde:

$I$  : Momento de inercia transversal del eje.

$Md$ : Momento flector en la sección crítica

### ESFUERZO A TORSIÓN

$$\tau_E = \frac{T_e \cdot \frac{\emptyset}{2}}{J}$$

$$J = \frac{\pi \cdot \emptyset^4}{32}$$

$$\tau_E = \frac{16 \cdot T_e}{\pi \cdot \emptyset^3}$$

Pág. 417 NORTON Ecuación 3.19.

Donde:

$T_e$ : Torque en la sección crítica del eje



$J$ : Momento de inercia polar del eje

Diámetro asumido en la sección crítica del eje

$$\phi = 37 \text{ mm} \approx 1.457 \text{ plg}$$

Módulo de elasticidad

$$E = 200 \text{ GPa}$$

Resistencia a la fluencia

$$S_y = 310 \text{ MPa} = 44961.7 \text{ psi}$$

Resistencia última a la tracción

$$S_{ut} = 120000 \text{ psi}$$

Resistencia teórica a la fatiga

$$S_{er} = 0.5 \cdot S_{ut} \quad \text{Pág. 246 NORTON Ecuación 3.20.}$$

$$S_{er} = 60000 \text{ psi}$$

Este valor se deberá reducir por varios factores a tomar en cuenta entre el eje y los demás elementos.

## **FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA RESISTENCIA A LA FATIGA**

$$S_e = C_{carga} \cdot C_{tamaño} \cdot C_{sup} \cdot C_{temp} \cdot C_{conf} \cdot S_{er} \quad \text{Pág. 246 NORTON Ecuación 3.21.}$$

Donde:

$C_{carga}$ : Factor de carga

$C_{tamaño}$ : Factor de tamaño

$C_{sup}$ : Factor de superficie

$C_{temp}$ : Factor de temperatura

$C_{conf}$ : Factor de confiabilidad

$S_{er}$ : Resistencia a la fatiga

$S_e$ : Resistencia a la fatiga corregida

Factor de carga

La carga es flexión y torsión, de modo que la  $C_{carga}$  es 1

Factor de tamaño  $0.3 \text{ plg} < \phi \leq 10 \text{ plg}$

$$C_{tamaño} = 0.869 \cdot \phi^{-0.097} \quad \text{Pág. 261 NORTON} \quad \text{Ecuación 3.22.}$$

$$C_{tamaño} = 0.84$$

Factor de superficie

Para un acabado de maquinado en frío. (ANEXO 3.11.)

$$C_{sup} = A \cdot (S_{ut})^b \quad \text{Pág. 263 NORTON} \quad \text{Ecuación 3.23.}$$

$$C_{sup} = 4.51 \cdot (505)^{-0.265}$$

$$C_{sup} = 0.86$$

Factor de temperatura

Para  $Temp \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$        $C_{temp} = 1$       Pág. 265 NORTON      Ecuación 3.24.

Factor de confiabilidad

Con un porcentaje de confiabilidad aproximado al 99.99% el factor de confiabilidad es (ANEXO 3.12.)

$$C_{conf} = 0.702$$

Resistencia a la fatiga corregida

$$S_e = 30427.5 \text{ psi}$$

**Factor de concentración de esfuerzos geométricos** (Mott, 2006)

Radio de la muesca  $r=0.08$  plg

Factor de concentración de esfuerzos geométricos a flexión (ANEXO 3.13.)

$$K_{tf} = A \cdot \left(\frac{r}{\phi}\right)^b \quad \text{Pág. 120 NORTON} \quad \text{Ecuación 3.25.}$$

Donde:

$A$ : Área de concentración de esfuerzo

$\phi$ : Diámetro de la sección crítica

$r$ : Radio de la muesca

$$\frac{D}{\phi} = \frac{42}{37} = 1.35 \text{ relación de diámetros}$$

$A1=0.93232$

$b1= -0.30304$

$$K_{tf} = 0.93232 \cdot \left(\frac{0.08}{1.456}\right)^{-0.30304}$$

$$K_{tf} = 2.246$$

Factor de concentración de esfuerzo a torsión. (ANEXO 3.13.)

$$K_{tt} = 1.45$$

Entonces

$$Kt = \frac{K_{tt}+K_{tf}}{2} \quad \text{Apéndice A29 MOTT Ecuación 3.26.}$$

Donde:

$K_{tt}$ : Factor de concentración de esfuerzo a torsión

$K_{tf}$ : Factor de concentración de esfuerzo a flexión

$$K_t = 1.84$$

### Sensibilidad a la muesca (ANEXO 3.15.)

La sensibilidad a la muesca del material se obtiene de la siguiente formula.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Pág. 273 NORTON} \quad \text{Ecuación 3.27.}$$

Donde:

$\sqrt{a}$ : Constante de Neuber para los aceros. (ANEXO 3.14).

$r$ : radio de la muesca

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0.049}{0.2828}}$$

$$q = 0.85$$

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga. (ANEXO 3.16)

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{Pág. 273 NORTON} \quad \text{Ecuación 3.28.}$$

Donde:

$K_t$ : Factor de concentración de esfuerzos teórico

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos dinámico

$q$ : Sensibilidad a la muesca  $0 < q < 1$

$$K_f = 1 + 0.85(1.84 - 1)$$

$$K_f = 1.714$$

### Factor de seguridad

Se determinó el factor de seguridad para el diámetro propuesto, partiendo de la ecuación estándar ASME para determinar el diámetro idea, un método simplificado para el diseño de ejes.

$$\phi = \left\{ \frac{32 \cdot F_s}{\pi} \left[ \left( K_f \cdot \frac{Md}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( K_{fsm} \cdot \frac{T_e}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Pág. 420 NORTON Ecuación 3.29.

Donde:

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos por fatiga

$\phi$ : Diámetro del eje

$K_{fsm}$ : Factor de concentración de esfuerzos para esfuerzo medio = 1  
recomendación ASME

$T_e$ : Torque en la sección crítica del eje

$Md$ : Momento flector en la sección crítica

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia

$S_e$ : Resistencia a la fatiga

$$F_s = \frac{\phi^3 \cdot \pi}{32 \cdot \left[ \left( K_f \cdot \frac{Md}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( K_{fsm} \cdot \frac{T_e}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$F_s = 1.6$$

Diámetro mínimo para el eje

$$\phi_{min} = \left\{ \frac{32 \cdot F_s}{\pi} \left[ \left( K_f \cdot \frac{Md}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( K_{fsm} \cdot \frac{T_e}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

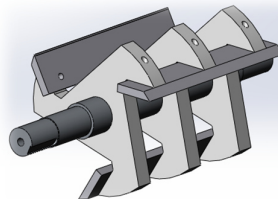
$$\phi_{min} = 0.85 \text{ plg}$$

Este análisis permitió determinar el diámetro mínimo que deberá tener la sección crítica del eje para garantizar su correcto funcionamiento y una

larga vida útil considerando las cargas que afectan al sistema de molienda. El diámetro asumido al inicio de este análisis es correcto.

## **ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

Todo sistema tiende a vibrar con amplitudes excesivas cuando la frecuencia de excitación es similar a alguna de las frecuencias críticas (o frecuencias naturales); cuando son aplicadas al sistema, éste entra en resonancia. Este análisis permitirá pronosticar y eliminar problemas de resonancia durante la operación del sistema de molienda.



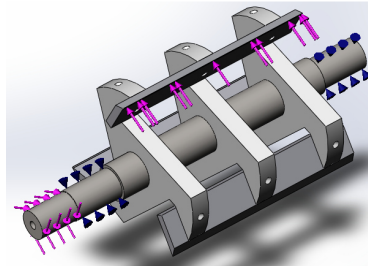
**Figura 3.27 Modelo sistema de cuchillas.**

Para obtener un análisis completo de las frecuencias naturales del eje rotor es complicado, sobre todo si la geometría es compleja, por lo que es mejor resolverlo con la ayuda del software de análisis de elemento finito SolidWorks 2013. Se realizó un análisis modal sobre el modelo de elemento finito del sistema de molienda, lo que producirá un gran número de frecuencias naturales (en tres dimensiones) a partir de la fundamental.

### **Análisis modal y de frecuencias**

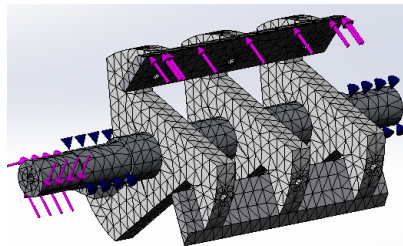
Se generó un modelo a partir de las dimensiones y espesores calculados para cada uno de los elementos que intervienen en el sistema de molienda, así mismo se utilizaron espesores de acuerdo a la disponibilidad de materiales en el taller de la empresa OTNISA S.A.

El modelo generado actúa como si fuese un solo elemento el eje con tres porta cuchilla que han sido unidos previamente mediante un proceso de soldadura adecuado.



**Figura 3.28. Restricciones de rodamiento, fuerza y torque en el sistema de cuchillas.**

Se definió los apoyos de rodamiento en los extremos donde serán colocadas las chumaceras, a continuación se define una fuerza tangencial a la cual estará sometido el modelo bajo la acción de corte del plástico  $F_c = 436.36 N$ . Se realizó la simulación utilizando la fuerza de corte necesaria para el corte del PET y el momento calculado para el eje rotor.  $T_e = 1400 lb \cdot plg \approx 158.2 N$



**Figura 3.29. Mallado del sistema de cuchillas.**

SolidWorks 2013, software utilizado para el análisis de elementos finitos permite obtener tantas frecuencias naturales se desee, por defecto refleja los resultados de 5 frecuencias naturales a las cuales se puede llegar a la resonancia con el fin de prevenir el diseño de los elementos del molino para su funcionamiento las frecuencias de resonancia.

Tabla 3.14

Modelos y desplazamientos a frecuencias naturales.

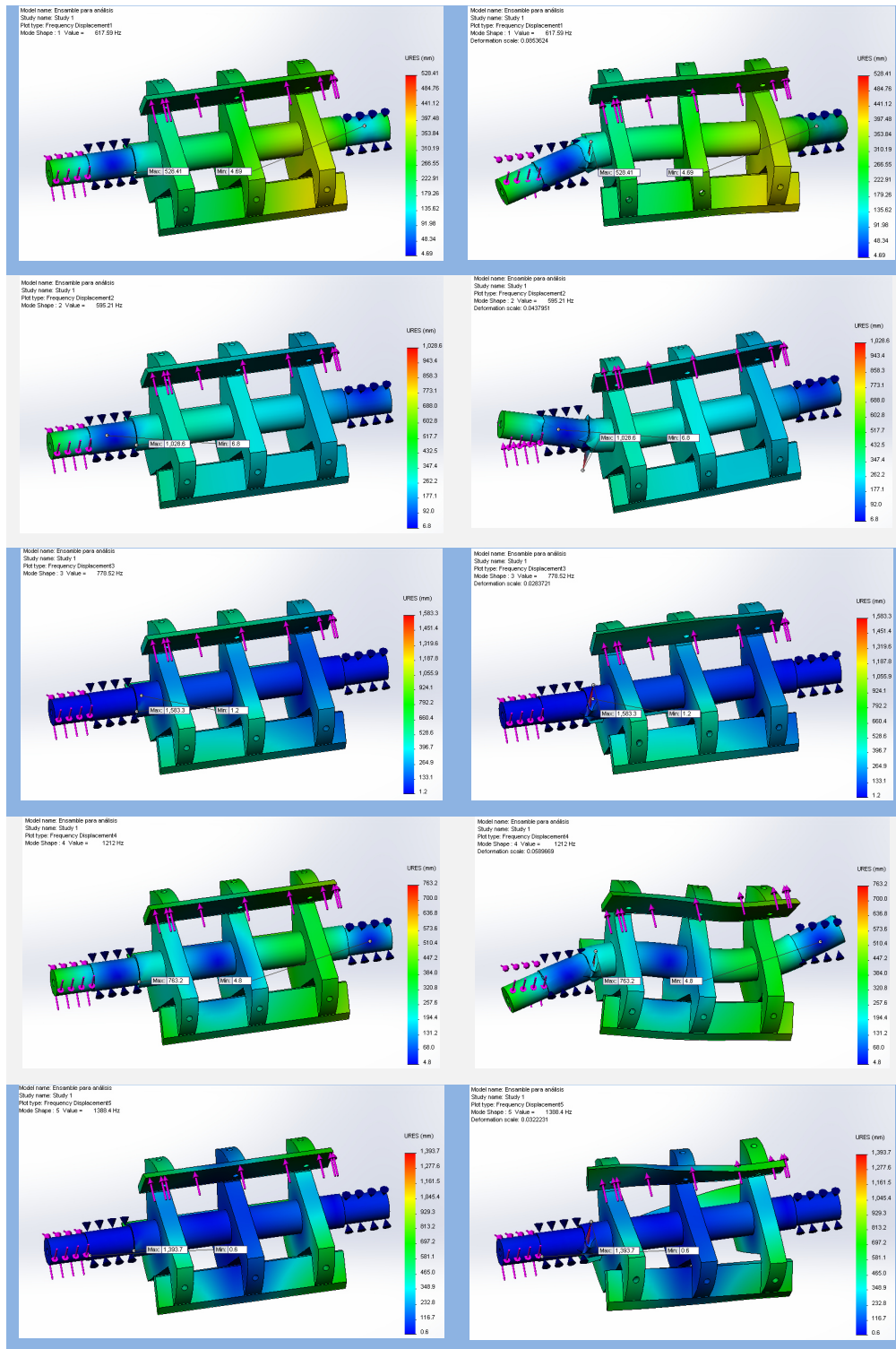


Figura 3.30 Modelos generados del sistema de cuchillas a frecuencias naturales.



Tabla 3.15

Desplazamientos por la influencia de las cargas en el eje rotor

No. Modo	Frecuencia (Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	617.59	0.20156	0.39426	0.014467
2	595.21	0.34628	0.26494	0.024968
3	778.52	0.0025637	0.0010639	3.54E-06
4	1212	0.021069	0.1203	0.0016305
5	1388.4	0.0029699	0.00045483	0.015915
		<b>Sum X =</b> 0.57444	<b>Sum Y =</b> 0.78102	<b>Sum Z =</b> 0.056984

De la simulación realizada se obtuvieron los siguientes resultados para el análisis de desplazamientos en cada caso de frecuencia natural aplicada.

Tabla 3.16

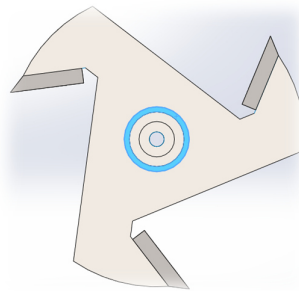
Frecuencias de resonancia y velocidad máxima de rotación

No. Modelo	Frecuencia de resonancia	Frecuencia (Hertz)	Periodo (Segundos)	Frecuencia de resonancia Wn (Rpm)	Velocidad máxima Wn-0.25*Wn (Rpm)
1	3880.4	617.59	0.0016192	37055	27791.25
2	3739.8	595.21	0.0016801	35712.38	26784.285
3	4891.6	778.52	0.0012845	46711.23	35033.4225
4	7615.1	1212	0.0008251	72718.68	54539.01
5	8723.5	1388.4	0.00072026	83303.09	62477.3175

## DISEÑO DE LA SOLDADURA

El cordón de soldadura requiere altas temperaturas para realizar la unión de las piezas mecánicas, para este caso se analizó los parámetros necesarios para garantizar una soldadura adecuada entre el eje rotor y el sistema de porta cuchilla.

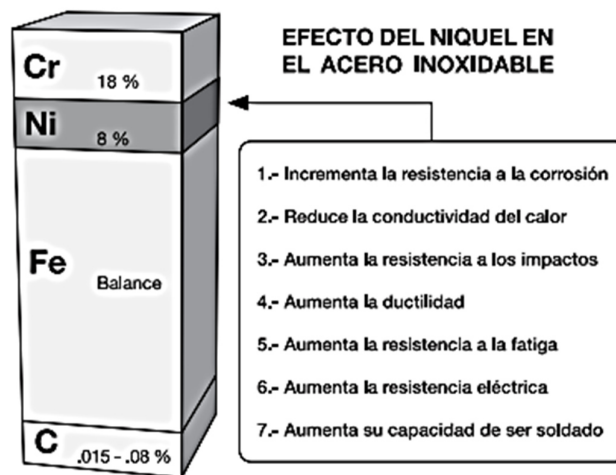
El diagrama de Schaeffler, se usa principalmente para predecir la estructura del metal de soldadura obtenido en la unión de aceros inoxidable disímiles, o de aceros inoxidable con aceros al carbono, con o sin aleación. Para esto es necesario conocer la composición química de los materiales en cuestión.



**Figura 3.31 Cordón de soldadura para la unión disímil entre eje y porta cuchilla.**

A continuación se detalla la composición química y propiedades del acero inoxidable AISI 304.

La adición de Níquel a la aleación básica de Hierro / Carbono / Cromo, da como resultado los aceros inoxidable de la serie 300, comúnmente conocidos como tipos “cromo níquel”.



**Figura 3.32 Composición química de los aceros inoxidables.**

**Fuente (INDURA S.A., 2013)**

Originalmente, las composiciones de cromo y níquel se componían de 18% de Cr y 8% de Ni – de aquí el término tan usado de “inoxidable 18/8”.

**IVAN BOHMAN C.A.** maneja las siguientes calidades de acero inoxidable:

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>								
<b>AISI</b>	<b>% C</b>	<b>% Si</b>	<b>% Mn</b>	<b>% P Max.</b>	<b>% S</b>	<b>% Cr</b>	<b>% Ni</b>	<b>% Mo</b>
304	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.015	18.0-20.0	8.0-10.5	–
316 L	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.015	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0
430	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.040	≤ 0.015	16.0-18.0	–	–

**Figura 3.33 Composición química del acero inoxidable AISI 304.**

**Fuente (IVÁN BOHMAN, 2013)**

El electrodo recomendado para la soldadura en ejes de acero AISI 304 es el AWS E308L-16, por sus características de extra bajo al carbono, previene la formación de carburos de cromo en límites de grano; con este dato continuamos el análisis de la composición de los dos materiales base para la selección del electrodo adecuado.



INDURA: 308-L		AWS: E 308L-16																									
  Electrodo de acero inoxidable extra bajo carbono (0,03% máx.). Especial para soldadura en plantas químicas, en soldaduras de acero tipo 302, 304, 304L, 321, 347. El bajo contenido de carbono previene la formación de carburos de cromo en límites de grano.																											
<b>Amperajes Recomendados:</b>																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Diámetro</th> <th colspan="2">Amps.</th> </tr> <tr> <th>Pulg.</th> <th>mm.</th> <th>min.</th> <th>máx.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/32"</td> <td>2,4</td> <td>60</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1/8"</td> <td>3,2</td> <td>80</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>5/32"</td> <td>4,0</td> <td>120</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>3/16"</td> <td>4,8</td> <td>150</td> <td>190</td> </tr> </tbody> </table>				Diámetro		Amps.		Pulg.	mm.	min.	máx.	3/32"	2,4	60	90	1/8"	3,2	80	120	5/32"	4,0	120	150	3/16"	4,8	150	190
Diámetro		Amps.																									
Pulg.	mm.	min.	máx.																								
3/32"	2,4	60	90																								
1/8"	3,2	80	120																								
5/32"	4,0	120	150																								
3/16"	4,8	150	190																								
CA, CC (+). Toda posición. Resistencia a la tracción : 92.700 lb/pulg <sup>2</sup> (591 MPa) Límite de fluencia : 67.900 lb/pulg <sup>2</sup> (425 MPa) Alargamiento en 50 mm. : 44%		Composición Química (Típica): C: 0,03% Mn: 0,9% P: 0,02% S: 0,02% Si: 0,5% Cr: 19,0% Ni: 9,9%																									
* Se fabrica a pedido. Consulte cantidades mínimas y plazo de entrega.																											

Figura 3.34 Composición química del electrodo AWS E308L-16.

Fuente (INDURA S.A., 2013)

A continuación se detalla la composición química del acero Naval estructural ASTM A131 grado A, caracterizado por su alta soldabilidad con procesos AWS A 5.1 E60.

Norma Lamina	Composición Química							Propiedades Mecánicas		
	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cu	%V	Límite elástico ksi min.	Última tensión ksi min.	%Elongación en 2" min.
ASTM A131	0.21	0.52	0.035	0.035	-	-	-	34	58-71	24
ABS	0.23	1.35	0.035	0.04	-	-	-	34	58-71	24
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING	0.23	1.35	0.035	0.04	-	-	-	34	58-71	24

Figura 3.35 Composición química del electrodo AWS E308L-16. Fuente (ISSUU Publicaciones, 2012)

El electrodo recomendado para este material es el AWS E 6030, por sus características: arco suave, pocas salpicaduras, depósito de buena apariencia, especial para estructuras livianas. Baja penetración.



INDURA: 6013		AWS: E 6013																			
  Arco suave, pocas salpicaduras, depósito de buena apariencia, especial para estructuras livianas, muebles metálicos. Baja penetración.																					
<b>Amperajes Recomendados:</b>																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diám. Elect.</th> <th>Amperaje</th> <th>Electrodo</th> </tr> <tr> <th>pulg.   mm.</th> <th>min.   máx.</th> <th>x kg. aprox.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/32"</td> <td>2,4   40   90</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>1/8"</td> <td>3,2   70   120</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>5/32"</td> <td>4,0   120   190</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>3/16"</td> <td>4,8   160   240</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>				Diám. Elect.	Amperaje	Electrodo	pulg.   mm.	min.   máx.	x kg. aprox.	3/32"	2,4   40   90	52	1/8"	3,2   70   120	35	5/32"	4,0   120   190	22	3/16"	4,8   160   240	17
Diám. Elect.	Amperaje	Electrodo																			
pulg.   mm.	min.   máx.	x kg. aprox.																			
3/32"	2,4   40   90	52																			
1/8"	3,2   70   120	35																			
5/32"	4,0   120   190	22																			
3/16"	4,8   160   240	17																			
CA, CC (+) (-). Toda posición. Resistencia a la tracción : 75.400 lb/pulg <sup>2</sup> (520 MPa) Límite de fluencia : 64.000 lb/pulg <sup>2</sup> (440 MPa) Alargamiento en 50 mm. : 28%		Composición Química (Típica): C: 0,10% Mn: 0,30% P: 0,02% S: 0,03% Si: 0,30%																			
Aprobado por: • American Bureau of Shipping.																					

Figura 3.36 Composición química del electrodo AWS E6013.

Fuente (INDURA S.A., 2013)

Una vez determinada la composición de los dos aceros se procedió a analizar el proceso de soldadura adecuado mediante el diagrama de Schaeffler.

#### **ACERO AISI 304**

$$C_{req} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb \quad \text{Ecuación 3.30.}$$

$$C_{req} = 18 + 0 + 1,5(1) + 0$$

$$C_{req} = \%19.5$$

$$N_{ieq} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn \quad \text{Ecuación 3.31.}$$

$$N_{ieq} = 8 + 2.4 + 2$$

$$N_{ieq} = \%12.4$$

#### **ACERO ASTM A131 Gr A**

En el caso de los aceros al carbono debe considerarse un 50% de descarbonación al soldar, por lo que en la fórmula del níquel equivalente debe reemplazarse el coeficiente correspondiente al carbono por el valor  $15x\%C$

$$C_{req} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$$

$$C_{req} = 0$$

$$N_{ieq} = \%Ni + 15\%C + 0,5\%Mn$$

$$N_{ieq} = 0 + 3.15 + 0.26$$

$$N_{ieq} = \%3.41$$

#### **ELECTRODO AWS E308L-16.**

$$C_{req} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$$

$$C_{req} = 19+0+0.75+0$$

$$C_{req} = \%19.75$$

$$\text{Nieq} = \%Ni + 15\%C + 0,5\%Mn$$

$$\text{Nieq} = 9.9 + 0.45 + 0.45$$

$$\text{Nieq} = \%10.8$$

De esta forma tenemos que para el acero ASTM A131 Gr A el cromo equivalente es igual a cero (0%), y el níquel equivalente igual a 3.41%, punto D. En el caso del acero inoxidable AISI 304 tenemos cromo equivalente de 19.5% y níquel equivalente de 12.4%, punto B. Para el metal de aporte tipo E308L-16, el cromo equivalente es de 19.75% y el níquel equivalente de 10.8%, punto A.

Suponemos que ambos materiales (ASTM A131 Gr A y AISI 304) participan por igual en la soldadura y que la dilución es del 30%. (ANEXO 3.17.)

El punto E es el resultante y corresponde al punto medio del segmento DB (ambos materiales participan por igual en la soldadura) y el punto F resulta de aplicar el 30% de dilución al segmento AE (se obtiene al aplicar el 30% al segmento AE, medido desde A, o el 70% desde E).

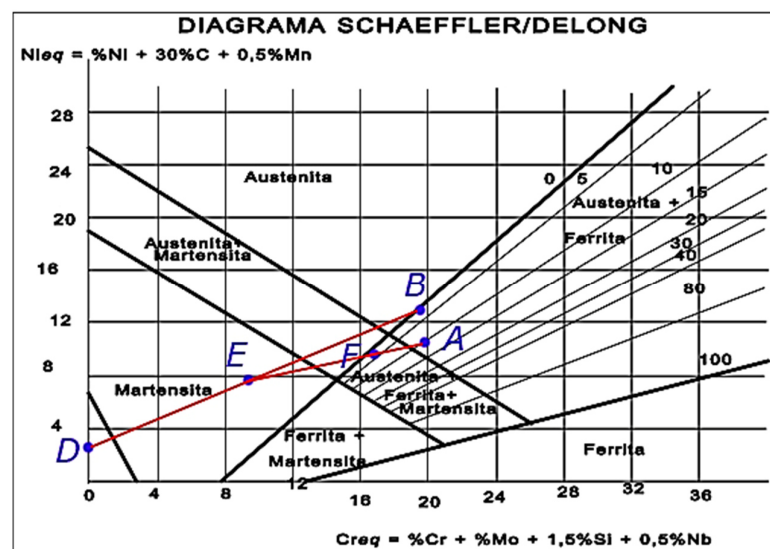
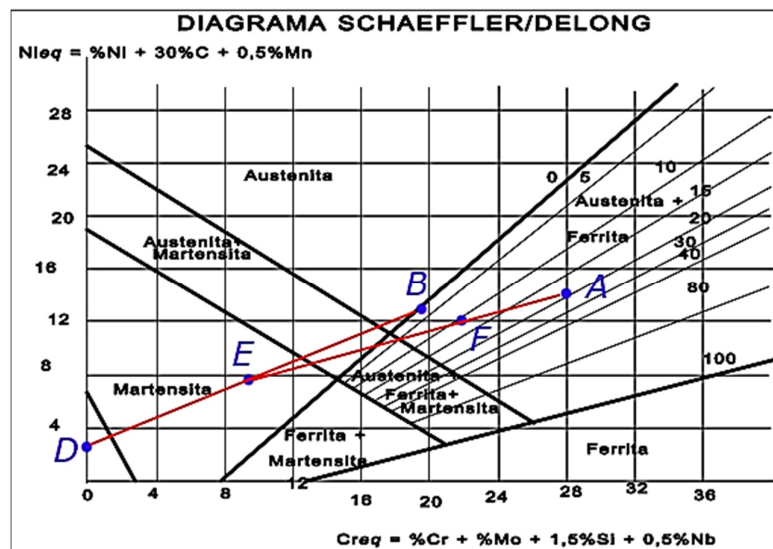


Figura 3.37 Diagrama Schaeffler, análisis de soldadura con electrodo tipo E308L-16. Fuente (Soluciones Industriales y Soldadura, 2008)

Por lo tanto, el cordón resultante tendrá un exceso de formación en 5% de ferrita, austenita y martensita; el objetivo este análisis es seleccionar un electrodo que evite generar el exceso de estos materiales, para esto se analizó la composición química del electrodo E 312-16.

Se conservarán los puntos D, E, B y para el metal de aporte tipo E 312-16, el cromo equivalente es de 28% y el níquel equivalente de 13.8%, punto A.



Como resultado del proceso de soldadura con el electrodo 312-16, existirá un 15% de desprendimiento de austenita y ferrita, liberando a este proceso de problemas que presentan las estructuras al soldar, como la fisuración por temple y el crecimiento de grano, considerando también que se encuentra muy cerca de la fragilidad por fase sigma, la recomendación para este problema será el precalentamiento del material base hasta 140°C. (ANEXO 3.18.)



**Figura 3.38 Diagrama Schaeffler, análisis de soldadura con electrodo tipo E 312-16. Fuente (Soluciones Industriales y Soldadura, 2008)**

La recomendación de electrodo de soldadura será E 312-16, electrodo manual con revestimiento rútilico para aceros inoxidable austeníticos.

Este electrodo tiene excelente estabilidad de arco con transferencia tipo spray. Fácil remoción de escoria. Sus aplicaciones deberían ser limitadas a temperaturas de servicio bajo 420°C para evitar la formación de fases frágiles

INDURA: 29-9S		AWS: E 312-16	
			
Depósitos inoxidables de buena apariencia y penetración, fabricado para soldar aceros inoxidables tipo 312, 314, 303, aceros disímiles y altos en níquel. Reparación de ejes y engranajes, aceros templados.			
<b>Amperajes Recomendados:</b>			
Diámetro		CA, CC (+). Toda posición.	
Pulg.	mm.	Resistencia a la tracción : 120.000 lb/pulg <sup>2</sup> (828 MPa)	
1/8"	3,2	Límite de fluencia : 99.000 lb/pulg <sup>2</sup> (660 MPa)	
5/32"	4,0	Alargamiento en 50 mm. : 36%	
3/16"	4,8	Composición Química (Típica):	
		C: 0,11%	Mn: 1,25%
		P: 0,02%	S: 0,02%
		Cr: 29,5%	Ni: 9,2%

**Figura 3.39 Composición química del electrodo AWS E312-16.**

**Fuente (INDURA S.A., 2013)**

Esfuerzo a la fluencia del electrodo

$$S_y = 660 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo último a la tracción del electrodo

$$S_u = 828 \text{ Mpa}$$

Diámetro del eje

$$\phi = 42 \text{ mm}$$

Altura del cordón de soldadura

$$h = 8 \text{ mm}$$

Área de la garganta de la soldadura circular (ANEXO 3.19.)

$$A_t = 1.414 \cdot \pi \cdot h \cdot \frac{\phi}{2} \quad \text{Pág. 470 SHIGLEY Ecuación 3.32.}$$

Donde:

$h$ : Altura del cordón de soldadura

$\phi$ : Diámetro del eje



$$At = 746.29 \text{ mm}^2$$

El torque producido en el eje

$$Te = 158200 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Fuerza producida en las cuchillas al producirse el corte es

$$F_{min} = 0 \text{ N}$$

$$F_{max} = 436.36 \text{ N}$$

El segundo momento polar de inercia de un cordón de suelda circular sometido a torsión.

$$Ju = 2\pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^3 \text{ Pág. 470 SHIGLEY Ecuación 3.33.}$$

$$Ju = 58188.58 \text{ mm}^3$$

$$J = 0.707 \cdot h \cdot Ju$$

$$J = 329114 \text{ mm}^4$$

Distancia entre el centro de gravedad y el punto en la cuchilla móvil en que se produce el corte.

$$\rho = 110 \text{ mm}$$

$$\beta = 45^\circ$$

Esfuerzo permisible (ANEXO 3.20.)

$$\sigma_{perm} = 0.3 \cdot S_y \text{ Pág. 472 SHIGLEY Ecuación 3.34.}$$

$$\sigma_{perm} = 198 \text{ Mpa}$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia de la soldadura

Esfuerzo cortante directo

$$\tau_{v_{min}} = 0$$

$$\tau_{v_{max}} = \frac{2 \cdot F_{max}}{At}$$

$$\tau_{v_{max}} = 1.17 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo por torsión

$$\tau t_{max} = \frac{T_e \cdot \rho}{J} \quad \text{Ecuación 3.35.}$$

Donde:

$T_e$ : Torque en el eje rotor

$\rho$ : Distancia entre el centro de gravedad y el punto en la cuchilla giratoria

$J$ : Segundo momento polar de inercia de un cordón de suelda

$$\tau t_{max} = 52.87 \text{ Mpa}$$

$$\tau = \sqrt{\tau t_{max}^2 + \tau v_{max}^2 + 2 \cdot \tau t_{max} \cdot \tau v_{max} \cdot \cos\left(\frac{\beta}{57.3}\right)} \quad \text{Ecuación 3.36.}$$

$$\tau = 53 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo medio producido por torsión

$$\tau m = \frac{\tau}{2} \quad \text{Ecuación 3.37.}$$

$$\tau m = 25.6 \text{ Mpa}$$

Factor de concentración de esfuerzo tipo de soldadura (ANEXO 3.21)

$$K_f = 2$$

Esfuerzo medio alternante

$$\tau ma = K_f \cdot \tau m \quad \text{Ecuación 3.38.}$$

$$\tau ma = 53 \text{ Mpa}$$

Resistencia teórica a la fatiga

$$S_{e'} = 0.5 \cdot S_u$$

Donde:

$S_u$ : Esfuerzo último a la tracción del electrodo

$$S_{e'} = 0.5 \cdot 828 \text{ Mpa}$$

$$S_{e'} = 414 \text{ Mpa}$$

**Factores de corrección a la resistencia a la fatiga:**

Factor de carga. La carga es flexión y torsión, de modo que la  $C_{carga} = 1$

Factor de superficie

$$C_{sup} = A \cdot (S_{ut})^b$$

$$C_{sup} = 4.51 \cdot (828)^{-0.265}$$

$$C_{sup} = 0.76$$

Factor de temperatura

Para  $Temp \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$       $C_{temp} = 1$

Factor de confiabilidad

$$C_{conf} = 1$$

Resistencia a la fatiga corregida

$$S_e = C_{carga} \cdot C_{sup} \cdot C_{temp} \cdot C_{conf} \cdot S_e'$$

$$S_e = 314.64 \text{ Mpa}$$

Resistencia máxima al cortante en cada cordón de soldadura

$$Su_{max} = \frac{2}{3} \cdot S_u$$

$$Su_{max} = 552 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad por criterio de falla por fatiga teoría de Goodman

$$F_s = \frac{Su_{max}}{\left(\tau m + \frac{Su_{max} \cdot \tau m a}{S_e}\right)} \quad \text{Pág. 298 SHIGLEY Ecuación 3.39.}$$

Donde:

$Su_{max}$ : Resistencia máxima al cortante

$\tau m$ : Esfuerzo medio por torsión

$\tau_{ma}$ : Esfuerzo medio alternante

$S_e$ : Resistencia a la fatiga corregida

$$F_s = \frac{552}{\left(25.6 + \frac{552 \cdot 53}{314.64}\right)}$$

$$F_s = 4.65$$

Este factor de seguridad garantizará la resistencia al torque e impacto de todos los cordones de soldadura generados con electrodo E312-16 para la unión de los materiales base.

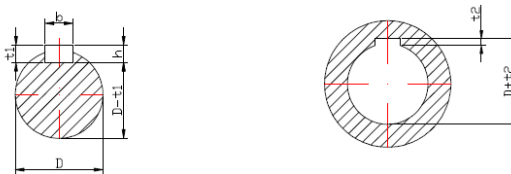
### DISEÑO DE CUÑA

De acuerdo al sistema de cuchillas que se utiliza la cuña recomendada en el eje serán las cuñas cuadradas o rectangulares, con frecuencia se hacen de material especial de fábrica rolando en frío y simplemente se cortan a la longitud deseada.

Este material se emplea cuando se requiere un ajuste muy estrecho entre la cuña y el cuñero. Mediante la estandarización de cuñas en el sistema métrico para ejes obtenemos las dimensiones de la cuña a diseñar. (ANEXO 3.22.)

Diámetro del eje  $\varnothing = 37 \text{ mm}$

La profundidad del cuñero esta estandarizada para cada diámetro de eje. (ANEXO 3.23.)



**Figura 3.40 Dimensiones estándar de cuña.**

(Fuente Cemsa-Renom, 2010)

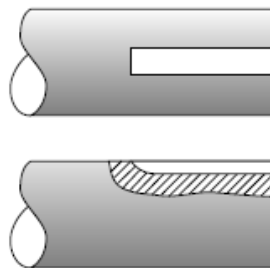
Ancho x alto de la cuña mm: 12 x 8

Profundidad de la cuña en el eje de  $4.9^{+0.2}$

Profundidad de la cuña en la polea  $3.2^{+0.2}$

El cuñero con características de corredera deslizable y la longitud de la cuña será menor a 1.5 veces el diámetro del eje.  $L_c = 1.5 \cdot \phi = 55.5 \text{ mm}$ .

Entonces la longitud será de  $L_c = 45 \text{ mm}$



**Figura 3.41 Cuñero de corredera deslizable. Fuente (NORTON, 2004)**

El material seleccionado para la cuña es acero AISI 1045 (Anexo 3.27.)

El esfuerzo a la fluencia del acero AISI 1045

$$S_y = 310 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo último

$$S_u = 565 \text{ Mpa}$$

Fuerza media y alternante sobre la cuña

$$F_a = 895.38 \text{ N}$$

$$F_a = 895.38 \text{ N}$$

Componentes de los esfuerzos cortantes alternantes y medio

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_{cortante}} = \frac{895.38}{12 \cdot 45} = 1.66 \text{ Mpa}$$

$$\tau_m = \frac{Fm}{Acortante} = \frac{895.38}{12 \cdot 45} = 1.66 \text{ Mpa}$$

Para obtener el factor de seguridad a la fatiga por cortante de la cuña, se calculan los esfuerzos equivalentes de Von Mises.

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} = \sqrt{3 \cdot (1.66)^2} = 2.88 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} = \sqrt{3 \cdot (1.66)^2} = 2.88 \text{ Mpa}$$

Pág. 179 NORTON Ecuación 3.40.

Factor de seguridad contra la fatiga de la cuña

$$F_s = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u}} = \frac{1}{\frac{2.88}{155} + \frac{2.88}{565}} = 42.23$$

Pág. 298 NORTON Ecuación 3.41.

Esfuerzo de presión por contacto sobre la cuña

$$\sigma_{max} = \frac{Fm + Fa}{Acontacto} = \frac{895.38 + 895.38}{3 \cdot 45} = 13.27 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad para falla a presión por contacto

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = 23.35$$

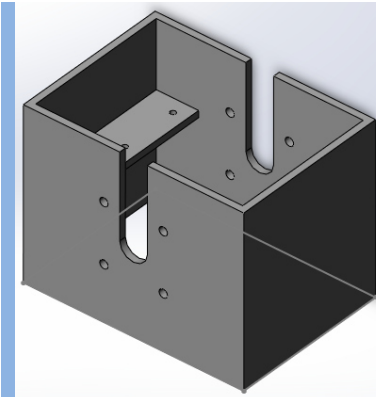
La cuña de acero AISI 1045 resistirá los esfuerzos generados en el proceso del corte del plástico, las propiedades del material demuestran factores de seguridad altos.

## CÁMARA DE MOLIENDA

Las dimensiones de la caja fueron determinadas en las necesidades de diseño presentadas por la empresa 280 x 390 mm, el ingreso del material será mediante la tolva de alimentación bajo el principio de caída libre del material y tomando en cuenta las distancias necesarias para la ubicación de los soportes para las cuchillas fijas. Se realizaron agujeros en la caja para la sujeción de las chumaceras de pared, una para cada lado del eje rotor.

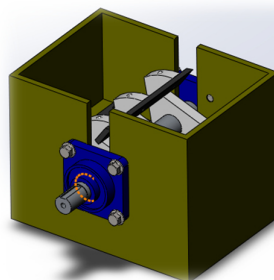
**Tabla 3.17**

### Propiedades físicas de la caja de cámara de molienda

	<b>Masa [g]</b>	<b>28516.19</b>
	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	4906521.64
	Superficie [mm <sup>2</sup> ]	862342.31

**Figura 3.42** Diseño de la caja de cámara de molienda.

El material ingresado por la tolva de alimentación continuará su trayecto en caída libre hasta llegar a la cámara de molienda para ser triturado por las cuchillas afiladas.

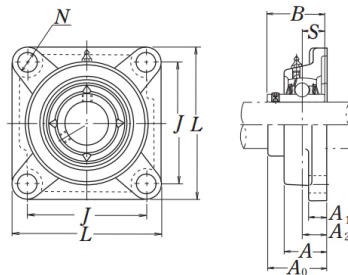


**Figura 3.43** Ensamble de la cámara de molienda.

## SELECCIÓN DE CHUMACERAS

De acuerdo el requerimiento de diseño se utilizó las chumaceras estilo brida marca NTN, soportan cargas radiales y axiales, además son apropiados para aplicaciones similares donde se requiere un sistema de sujeción en pared.

Las chumaceras tipo brida NTN brindan excelente estabilidad, resistencia a los impactos, ofrecen una solución para tareas pesadas que simplifica el montaje de mantenimiento de las unidades.



**Figura 3.44 Esquema de una chumacera tipo brida. Fuente (NTN, 2011)**

El diámetro del eje de 37 mm se definió el número de chumacera normalizada a utilizarse UCF208 NTN. Con rodamiento de bolas de ranura de una sola hilera.  $f_o = 17.0$

Carga estática en chumacera

$$C_{or} = 90 \text{ kN}$$

Fuerza radial

$$F_{rc} = \frac{\sigma_r \cdot At}{1000} = \frac{(55159.18 \text{ Pa}) \cdot (0.00283 \text{ m}^2)}{1000} = 0.156 \text{ kN}$$

Catálogo NTN Ecuación 3.42.

Donde:

$\sigma_r$ : Esfuerzo radial



$A_t$ : Área tangencial

Fuerza axial

$$F_{ac} = \frac{F_{tc}}{1000} = \frac{895.38 \text{ N}}{1000} = 0.895 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{tc}$ : Fuerza tangencial de corte

Factores de selección de una chumacera (ANEXO 3.31.)

Los factores a determinar son:

$$f_o = 17.0$$

$$Z = \frac{f_o \cdot F_{ac}}{C_{or}} \quad \text{Catálogo NTN} \quad \text{Ecuación 3.43.}$$

Donde:

$f_o$ : Factor por tipo de rodamiento

$F_{ac}$ : Fuerza axial en el rodamiento

$C_{or}$ : Carga estática en chumacera

$$Z = \frac{17 \cdot 0.895 \text{ kN}}{90 \text{ kN}} = 0.17$$

$$\frac{F_{ac}}{F_{rc}} = \frac{0.895 \text{ kN}}{0.156 \text{ kN}} = 5.7$$

$$e = 0.19$$

Por lo tanto  $\frac{F_{ac}}{F_{rc}} > e$  entonces  $5.7 > 0.19$

$$X = 0.56$$

$$Y = 2.3$$

Con estos valores obtenidos se calcula la carga dinámica equivalente

$$P_r = X \cdot F_{rc} + Y \cdot F_{ac}$$

$$P_r = (0.56 \cdot 0.156 \text{ kN}) + (2.3 \cdot 0.895 \text{ kN})$$

$$P_r = 2.146 \text{ kN}$$

El trabajo que va a realizar el rodamiento es considerado como ligero, funcionando 6 horas a la semana será un total de H=4320 horas en 15 años, tiempo de vida útil para el cual se está diseñando el molino.

La velocidad de giro del rodamiento será a 450 rpm, y el número de ciclos en 4320 horas es:

$$\text{Ciclos} = H \cdot 60 \cdot n$$

$$\text{Ciclos} = 1.17 \times 10^8$$

Vida nominal básica de rodamiento millones de revoluciones

$$\text{Ciclo} = \frac{\text{Ciclos}}{1000000}$$

$\text{Ciclos} = \left(\frac{C}{P_r}\right)^3$  Ecuación de la vida para rodamientos de bolas

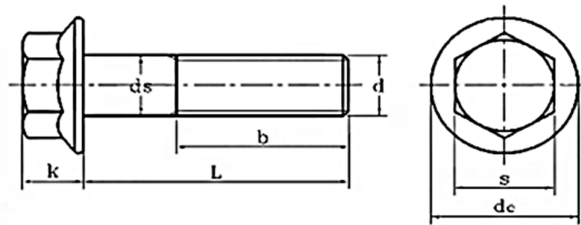
$$C = P \cdot \text{Ciclos}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Catálogo NTN} \quad \text{Ecuación 3.44.}$$

$$C = 11 \text{ kN}$$

La carga dinámica real en el rodamiento será de 11 kN, por lo tanto la chumacera seleccionada garantizará su correcto funcionamiento durante el tiempo planificado, con una carga dinámica máxima de la chumacera de 96.5 kN.

## CÁLCULO DE ESFUERZOS EN PERNOS DE SUJECIÓN

Para la sujeción de las chumaceras tipo brida, se utilizaron 4 pernos de presión ASTM A574, rosca gruesa de grado ISO 8.8, excelente resistencia a la abrasión. ANEXO (ANEXO 3.32)



**Figura 3.45 Diagrama de dimensiones de pernos de sujeción. Fuente (TINELOK, 2013)**

Diámetro de los pernos

$$D_p = 14 \text{ mm}$$

Fuerza ejercida en cada perno

$$F = 1576.6 \text{ N}$$

Área de cada perno sometido a esfuerzo de tensión

$$A_t = 114.3 \text{ mm}^2$$

Limite elástico del acero ASTM A574

$$S_y = 1241 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad

$$\frac{S_y}{F_s} = \frac{F}{A_t}$$

Ecuación 3.45.

Donde:

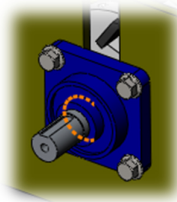
$S_y$ : Limite elástico del acero ASTM A574

$A_t$ : Área de cada perno sometido a esfuerzo de tensión

$F$ : Fuerza ejercida en cada perno

$$F_s = \frac{(1241 \text{ Mpa}) \cdot (114.3 \text{ mm}^2)}{1576.6 \text{ N}}$$

$$F_s = 89.96$$

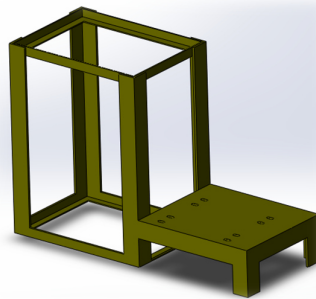


**Figura 3.46 Colocación de pernos de sujeción.**

Con este factor de seguridad aseguramos que no existirán problemas en los pernos de sujeción ocasionados por el proceso de corte o la vibración producida.

### **ESTRUCTURA BASE**

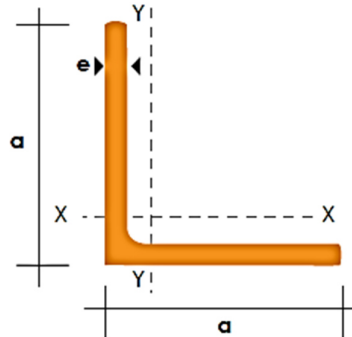
El proceso de trituración de plástico se realiza en la cámara de molienda que está formada por una estructura base que cumple la función de soporte a todas las cargas generadas durante este proceso.



**Figura 3.47 Diseño de la estructura base.**

Guiado por las especificaciones técnicas provistas por la empresa auspiciante OTNISA S.A., se pretende mantener las dimensiones de la cámara de molienda y una forma física externa adecuada. La estructura base garantizará los siguientes aspectos:

- Soporte estructural de la cámara de molienda
- Disponer de un espacio amplio para la colocación del motor AC
- Brindar facilidad para el montaje y desmontaje de partes y piezas.
- Diseño adecuado para colocación de chumaceras de pared
- Material: Acero estructural ASTM A36



**Figura 3.48 Dimensiones de ángulo estructural. Fuente Catálogo DIPAC**

**Tabla 3.18**

**Características del acero A36. (ANEXO 3.28)**

<b>Acero ASTM A36</b>	
Límite elástico (MPa)	250
Resistencia a la Tracción (MPa)	550
Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	7860
C (%)	0.26

**Fuente (DIPAC, 2013)**

Dimensiones: ángulo  $a=50\text{mm}$ ,  $e=6\text{mm}$

Esfuerzo último a la tracción

$$S_u = 400 \text{ Mpa}$$

Resistencia a la fatiga

$$S_{e'} = 0.5 \cdot S_u$$

$$S_{e'} = 200 \text{ Mpa}$$

Resistencia a la fatiga corregida (ANEXO 3.33)

$$S_e = S_{e'} \cdot K_s \cdot K_e \quad \text{Ecuación 3.46.}$$

$$S_e = 77 \text{ Mpa}$$

Donde:

$K_s$ : Factor de superficie

$K_e$ : Factor de concentración de esfuerzos

Peso total de la cámara de molienda

$$P_c = 456 \text{ N}$$

Peso del motor de corriente alterna

$$P_m = 686 \text{ N}$$

El factor de seguridad que se utilizará en el diseño será de  $F_s=2$ , valor mínimo que ha sido obtenido del diseño de los demás elementos constitutivos del molino.

Estos valores representan las fuerzas que serán aplicadas en la estructura base, para este análisis se realizará mediante el software SolidWorks 2013 y el método de los Elementos Finitos; este método permite resolver por métodos matemáticos tradicionales gradientes de esfuerzos y desplazamientos entre otros problemas.

La Teoría de fallas o ruptura que da resultados más adaptados a la realidad es la teoría de distorsión máxima de Von Mises

## MODELADO

Como primera fase del modelado se realizó un análisis estático colocando las restricciones de movimiento (de color verde en la imagen) y las cargas presentes en el sistema (de color violeta en la imagen)

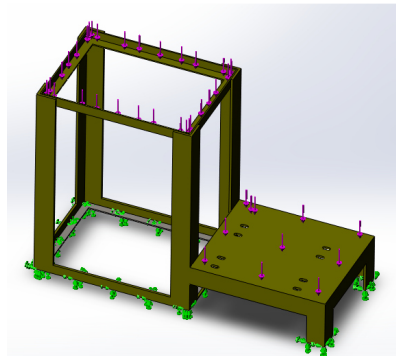


Figura 3.49 Colocación de restricción y de cargas en la estructura.

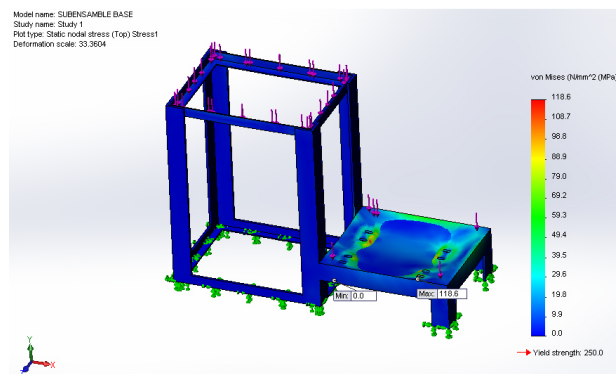


Figura 3.50 Tensiones de Von Mises, esfuerzo máximo de 118.6 Mpa.

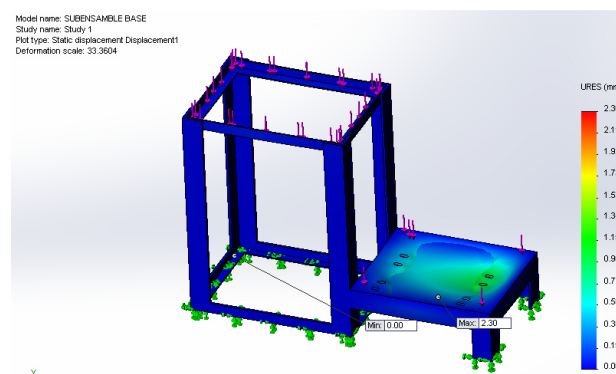
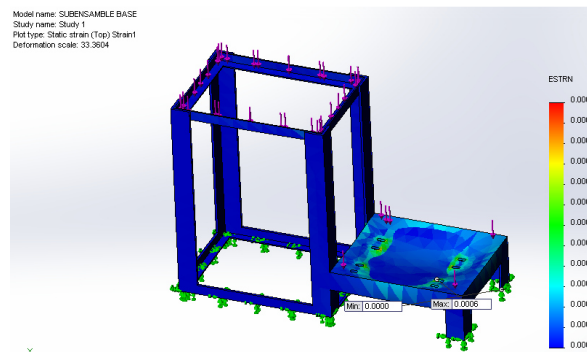
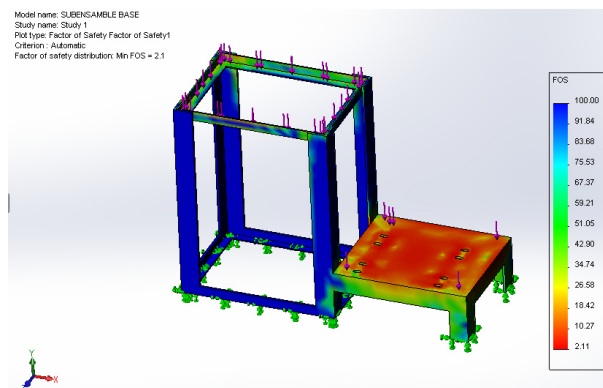


Figura 3.51 Desplazamientos en estructura, desplazamiento máximo 2.3 mm



**Figura 3.52 Cálculo de deformaciones en la estructura, deformación máxima 0.0006**

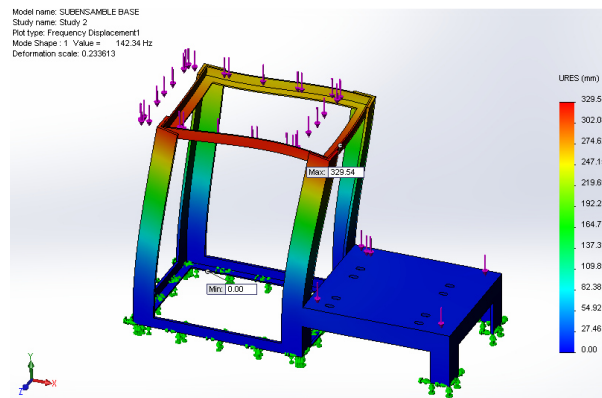


**Figura 3.53 Cálculo de factor de seguridad mínimo  $F_s=2.5$ .**

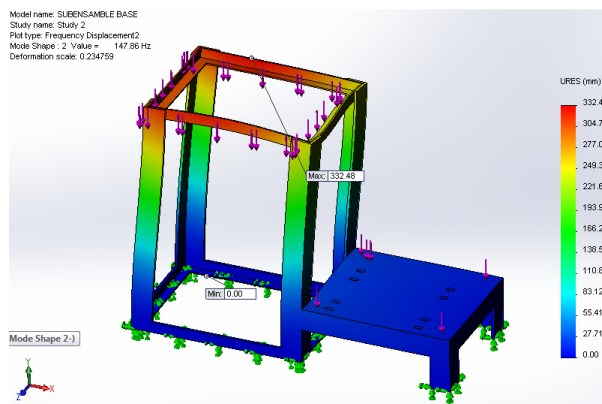
## CALCULO DE FRECUENCIAS NATURALES

La segunda etapa del análisis requiere determinar las frecuencias naturales del modelo, garantizando la resistencia de la estructura a las cargas efectuadas y movimientos vibratorios consecuentes del proceso de trituración del plástico.

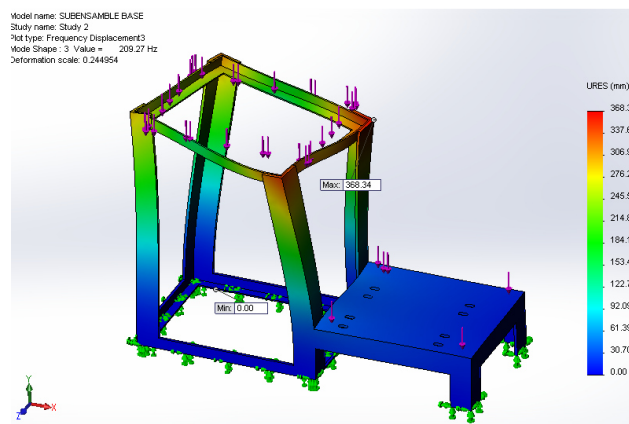




**Figura 3.54 Primera frecuencia natural.**



**Figura 3.55 Segunda frecuencia natural.**



**Figura 3.56 Tercera frecuencia natural.**

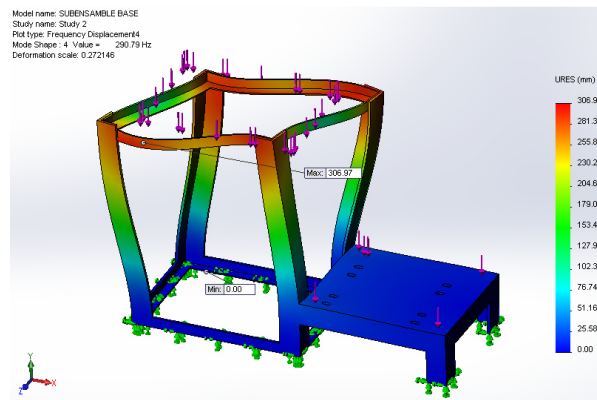


Figura 3.57 Cuarta frecuencia natural.

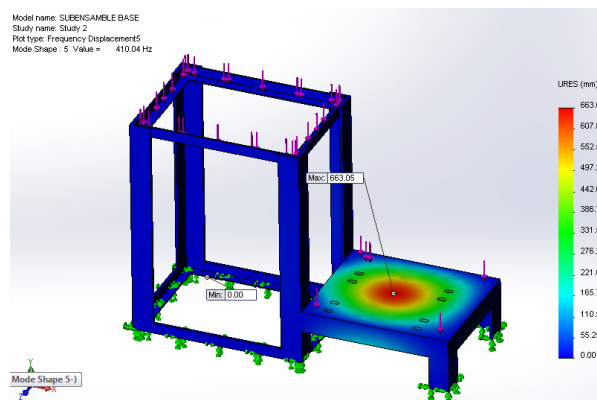


Figura 3.58 Quinta frecuencia natural.

Tabla 3.19

Resultados de análisis de frecuencias

No. Modelo	Frecuencia (Rad/sec)	Frecuencia (Hertz)	Periodo (Segundos)	Frec.resonancia Wn (Rpm)	Vel. máx 0.75(Wn)
1	894.35	142.34	0.0070254	8540.4	6405.3
2	929	147.86	0.0067634	8871.6	6653.7
3	1314.9	209.27	0.0047784	12556.2	9417.15
4	1827.1	290.79	0.0034389	17447.4	13085.55
5	2576.4	410.04	0.0024388	24602.4	18451.8

De la tabla anterior se puede resaltar los valores máximos de frecuencia natural, límite al cual se garantiza un buen comportamiento de la estructura base. Se identificó también los valores de frecuencia de resonancia, en los cuales fallará la estructura.

### **3.3. CONSTRUCCIÓN Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS**

#### **3.3.1. CONSTRUCCIÓN DE PARTES Y PIEZAS**

##### **CÁMARA DE MOLIENDA**

El material utilizado para su construcción fue el acero naval estructural ASTM A131, utilizado a menudo en la construcción naval e ideal para maquinaria en ambientes salinos.

##### **CUCHILLAS**

Las dos cuchillas fijas fueron construidas con acero AISI D2, material muy utilizado para la fabricación de herramientas de corte para trabajos en frío por su alta resistencia al desgaste y a la compresión, con una longitud de 25 mm, un espesor de 10 mm y se trabajó el material en una fresadora vertical para crear un ángulo de cuña de 70°, estas piezas cuentan con orificios conocidos como “ojo chino” para su colocación, sujeción y permiten el espaciado necesario para el corte.

El filo de las cuchillas es muy importante para el corte del material, estas deberán ser afiliadas de acuerdo al manual de mantenimiento (ANEXO 3.40).

Las cuchillas giratorias fueron construidas con acero AISI D2 con una longitud de 25 mm, un espesor de 10 mm y un ángulo de cuña de 45° que será el encargado de realizar el corte del plástico. Estas cuentan con agujeros diseñados para sujeción con el porta cuchillas sin dar lugar a deslizamiento.

El corte producido por las cuchillas simula el proceso de corte de una cizalla y el diseño de éstas permitirá un corte eficiente del material, mientras

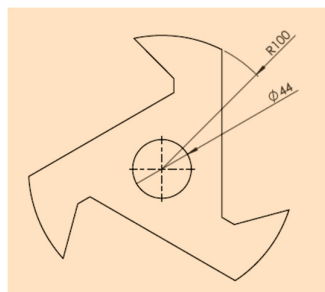
más cuchillas contenga el sistema aumentará el número de cortes por cada revolución.

Se recomienda dejar un espaciado mínimo entre cuchillas fijas y giratorias para ayudar al corte y obtener partículas más finas evitando también el desgaste del filo de cuña.

### PORTA CUCHILLAS

El material utilizado para la construcción fue plancha de acero naval estructural ASTM A131, con un espesor de 22 mm debido a sus características y disponibilidad, presenta gran resistencia al desgaste, impacto y deslizamiento; cuanto más grande sea el espesor de este elemento existirá una mayor superficie de contacto con la cuchilla.

Tiene agujeros en cada una de las puntas donde se sujetan las cuchillas móviles con pernos M8.



**Figura 3.59 Porta cuchillas.**

### EJE ROTOR

Parte fundamental del sistema de transmisión de potencia es el eje rotor, el cual estará sometido a varias fuerzas dentro del proceso de corte. El material utilizado para la construcción fue acero inoxidable ASTM A 240- AISI 304 con un diámetro de 44 mm por su disponibilidad en la empresa, propiedades mecánicas, su alta resistencia a la corrosión y durabilidad

general. Se realizaron trabajos de torno y fresa para alcanzar las dimensiones deseadas del elemento.

### TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La alimentación de material se la realizará de forma manual, esto exigió un diseño adecuado visualmente atractivo y basado en la seguridad que los operadores del equipo, evitando que ingresen sus manos hasta la cámara de molienda. Se debe tomar en cuenta el tamaño de los desechos plásticos a ingresar en la boca de entrada de la tolva, 280 x 390 mm, y la altura máxima del molino no debe superar las 1500 mm; si la cámara de molienda está a 804 mm del suelo, la longitud máxima de la tolva será de 696 mm.

Para el diseño primero se debe analizar el tipo de flujo que va a realizar el material que ingrese; existen dos tipos de flujo, el flujo másico que se define como lo primero que entra es lo primero que sale, y el flujo tipo canal que se define en que lo último que entra es lo primero que sale. Esto se puede evidenciar en la siguiente imagen.

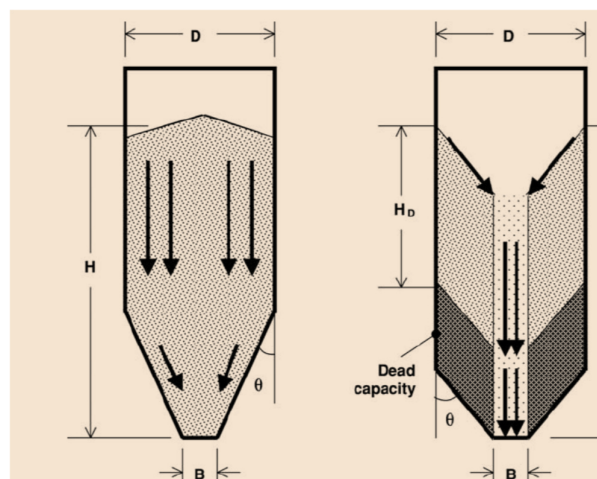


Figura 3.60. Flujo másico y flujo tipo canal. Fuente (CRIBA, 2013)

La alimentación de las botellas plásticas hacia la cámara de molienda será mediante un flujo másico. Seguido de esto se debe analizar el ángulo de rozamiento interno, este ángulo se recomienda que sea de al menos  $\varphi = 40^\circ$  respecto a la horizontal (Ravenet Catalán, 1992), haciendo una comparación del ángulo de rozamiento interno para materiales con características similares.

Para el análisis utilizaremos la teoría clásica de diseño de tolvas por Janssen. El ángulo de rozamiento material-pared es constante y no debe exceder los  $2/3$  del ángulo de rozamiento interno. Entonces  $\delta = \left(\frac{2}{3}\right) 40^\circ = 26.66^\circ$ .

El peso específico del PET es uniforme  $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$

Las paredes de la tolva son rígidas

La relación de presiones horizontales y verticales es constante para cada altura de silo.

$$k = \frac{P_h}{P_v} \quad \text{Ecuación 3.47.}$$

$$k = \frac{1 - \text{sen}\varphi}{1 + \text{sen}\varphi} \quad \text{Ecuación 3.48.}$$

$$k = 0.217$$

Coeficiente de fricción

$$u = \tan(26.66)$$

$$u = 0.5$$

Se sustituyen los datos en la ecuación de Janssen

$$P_v = \frac{\rho \cdot g \cdot D}{4 \cdot u \cdot k \cdot g_o} \left[ 1 - \exp\left(\frac{4 \cdot z \cdot u \cdot k}{D}\right) \right] \quad \text{Ecuación SILOS 3.49.}$$

Donde:

$\rho$ : Peso específico

$g$ : Fuerza de gravedad

$D$ : Diámetro o longitud de boca de salida

$u$ : Coeficiente de fricción

$k$ : Relación de presiones horizontales y verticales

$z$ : Altura de la tolva

$$P_v = 14.3 \frac{N}{m^2}$$

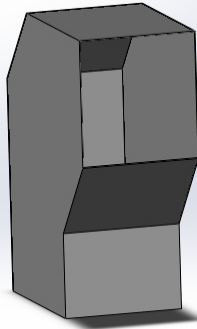
Entonces la presión ejercida sobre la parte más baja o crítica tolva en será de:

$$P_h = P_v \cdot k$$

$$P_h = 3.1 \frac{N}{m^2}$$

**Tabla 3.20**

**Propiedades físicas de la tolva de alimentación**

	<b>Masa [g]</b>	2872.85
	<b>Volumen [mm<sup>3</sup>]</b>	1064019.07
	<b>Superficie [mm<sup>2</sup>]</b>	2130666.35

**Figura 3.61** Diseño de la tolva de alimentación.

Se diseñó la tolva para que presione un interruptor de presencia o final de carrera, y de esta manera determinar su ubicación correcta, condicionante para el funcionamiento del molino, esto como medida de seguridad para los operadores y un sistema de bisagra para un fácil mantenimiento.

**Tabla 3.21****Características del Acero A 653**

<b>ASTM A 653 Plancha Galvanizada tipo B</b>	
Dureza Brinell [HRB]	60
Esfuerzo a la tracción [Mpa]	280
Límite de fluencia [Mpa]	230
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	7850
C [%]	0.15

**Fuente (DIPAC, 2013)**

El material utilizado para la construcción fue lámina de acero galvanizado ASTM A653 de 0.9 milímetros. (ANEXO 3.34.)

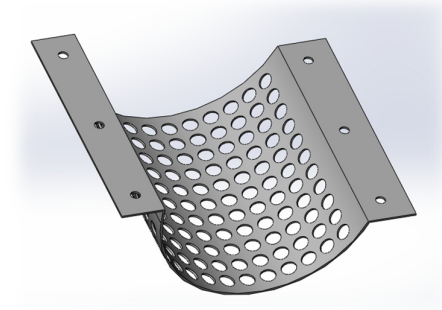
**ESTRUCTURA BASE**

Con las dimensiones de la cámara de molienda 390 x 280 mm, se determinó las dimensiones de la estructura de soporte, encargada de transmitir los esfuerzos y vibraciones que ocurren en la cámara de molienda. El material a utilizar es ángulo estructural y planchas de acero naval estructural ASTM A 131 Gr A.

**TAMIZ**

Este elemento se ubica bajo la cámara de molienda y su función principal es de definir la granulometría del producto a obtener, los orificios determinarán el tamaño final de las partículas producidas, se puede diseñar tantos tamices sean necesarios y de acuerdo a la aplicación.





**Figura 3.62 Diseño del tamiz.**

Para las necesidades de operación del molino se obtendrán partículas plásticas de un tamaño máximo de 10 mm, lo cual facilitará su transporte y permitirá un mayor espacio a bordo del barco. El material utilizado para su construcción fue lámina de acero inoxidable ASTM A 240- AISI 304 con un espesor de 1.2 mm. Y los agujeros realizados son de 10 mm de diámetro.

### **DISEÑO DE LA TOLVA DE DESCARGA**

Bajo el tamiz se encuentra la tolva de descarga sobre la cual caen las partículas de plástico que cumplen con el tamaño determinado en los orificios del tamiz.

Para el análisis utilizaremos la teoría clásica de diseño de tolvas por Janssen. De igual manera la Ecuación 3.37 utilizada para el diseño de la tolva de alimentación, las dimensiones como altura de tolva y diámetro o longitud de la boca de salida cambiarán los valores de presión vertical y horizontal. El ángulo de rozamiento interno será de  $40^\circ$ . Recomendación para la construcción de tolvas para botellas plásticas.

El ángulo de rozamiento material-pared es constante y no debe exceder los 2/3 del ángulo de rozamiento interno. Entonces  $\delta = \left(\frac{2}{3}\right) 40^\circ = 26.66^\circ$ .

El peso específico del PET es uniforme  $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$

Las paredes de la tolva son rígidas

La relación de presiones horizontales y verticales es constante para cada altura de silo, mediante la Ecuación 3.38.

$$k = 0.217$$

Coeficiente de fricción

$$u = 0.5$$

Se sustituyen los datos en la ecuación de Janssen

$$P_v = \frac{\rho \cdot g \cdot D}{4 \cdot u \cdot k \cdot g_o} \left[ 1 - \exp\left(\frac{4 \cdot z \cdot u \cdot k}{D}\right) \right]$$

Donde:

$\rho$ : Peso específico

$g$ : Fuerza de gravedad

$D$ : Diámetro o longitud de boca de salida

$u$ : Coeficiente de fricción

$k$ : Relación de presiones horizontales y verticales

$z$ : Altura de la tolva

$$P_v = 11.8 \frac{N}{m^2}$$

Entonces la presión ejercida sobre la parte más baja o crítica tolva en será de:

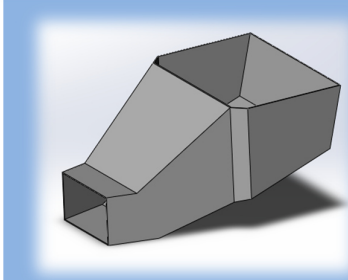
$$P_h = P_v \cdot k$$

$$P_h = 2.56 \frac{N}{m^2}$$

Estos valores demuestran las bajas presiones a las cuales va a estar sometida la tolva de descarga. El material utilizado para su construcción fue acero galvanizado ASTM A653 de 1.2 mm de espesor.

**Tabla 3.22**

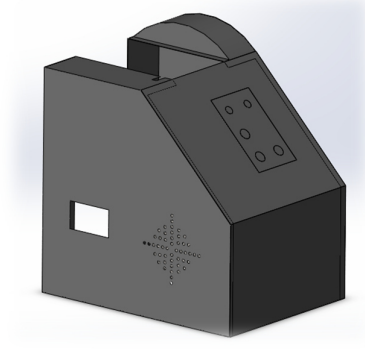
**Propiedades físicas de la tolva de descarga**

	<b>Masa [g]</b>	6211.13
	<b>Volumen [mm<sup>3</sup>]</b>	789216.20
	<b>Superficie [mm<sup>2</sup>]</b>	792928.43

**Figura 3.63** Diseño de la tolva de descarga.

### CARCASA PROTECTORA

Se realizó un diseño de recubrimiento completo del molino a fin de preservar el correcto funcionamiento de las partes y piezas así como para evitar la manipulación directa del sistema de transmisión de potencia, esta carcasa tiene agujeros en un lado para ventilación del motor eléctrico, se fabricó de acero ASTM A653 de 1mm de espesor.



**Figura 3.64** Diseño de la carcasa de protección.

## **SOLDADURA**

Para el proceso de unión de los tres porta cuchillas con el eje rotor se utilizó electrodos de soldadura E312 – 16, empleado con bajos amperajes y altos contenidos de Cr/Ni, estos le confieren compatibilidad con aceros de cualquier tipo, utilizado para unir aceros inoxidables con aceros al carbono.

### **3.3.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS**

#### **POLEAS**

El material disponible para poleas livianas de 12 pulgadas y de 3 pulgadas es el aluminio, marca ECUAPOLEA.

#### **CHUMACERAS**

Se utilizaron chumaceras Estándar F208 marca NTN por su alta resistencia a cargas axiales.

#### **PERNOS DE SUJECCIÓN**

Para la sujeción de las chumaceras tipo brida, se utilizaron 4 pernos de presión ASTM A574, rosca gruesa de grado ISO 8.8, por su excelente resistencia a la abrasión.

### **3.4. DISEÑO ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

Es este análisis de detalla el proceso de automatización y control que realiza el molino triturador de plástico para su correcto funcionamiento. Se detallan las etapas de control eléctrico – automatización y control electrónico. Cada etapa de control cuenta con las especificaciones técnicas necesarias para la selección de los equipos y materiales.

### 3.4.1. CONTROL ELÉCTRICO

#### 3.4.1.1. SELECCIÓN DEL MOTOR AC

El Motor asíncrono trifásico es en la actualidad el más utilizado en la Industria por su sencillez, robustez y fácil mantenimiento. Al igual que los motores de C.C., el motor asíncrono trifásico de C.A. funciona gracias a los fenómenos de inducción electromagnética. Estos motores consiguen mantener su velocidad bastante estable para diferentes regímenes de carga y poseen un buen par de arranque.



Figura 3.65 Motor AC WEG W22. Fuente WEG

Tabla 3.23

#### Características del motor AC WEG W22

Características del motor AC WEG W22	
Potencia [HP]	10
Grado de protección	IP55
Número de fases ~	3
Número de polos	4
Torque	29.5 ft
Factor de potencia	0.84
Velocidad [RPM]	1750
Tipo de conexión	$\Delta$
Frecuencia [Hz]	60
Voltaje [V]	220/440
Corriente [A]	26/12.5
Peso [Kg]	70
Eficiencia [%]	89.5

Fuente WEG

### 3.4.1.2. CÁLCULOS DE POTENCIA

Vamos a comprobar la corriente de línea que el motor toma de la red eléctrica funcionando a plena carga.

$$P = \frac{P_U}{\eta} \quad \text{Ecuación 3.37.}$$

Donde:

$P$ : Potencia eléctrica activa que el motor toma de la red eléctrica

$P_U$ : Potencia útil que el motor va a desarrollar en su eje

$\eta$ : Eficiencia del motor eléctrico

$$P = \frac{7.46 \text{ Kw}}{89.5} \cdot 100$$

Potencia Activa:  $P = 8.335 \text{ Kw}$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\phi} \quad \text{Ecuación 3.38.}$$

Donde:

$I_L$ : Corriente de línea o nominal

$V_L$ : Tensión de línea

$\cos\phi$ : Factor de potencia

$$I_L = \frac{8335}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0.84}$$

$$I_L = 26 \text{ A}$$

La potencia se pierde, por efecto Joule al pasar la corriente por los conductores de los bobinados, por rozamientos en los rodamientos y en la ventilación y en los circuitos magnéticos: histéresis y corrientes parásitas.

$$P_P = P - P_U \quad \text{Ecuación 3.39.}$$

Donde:

$P_p$ : Potencia perdida en el motor

$P$ : Potencia eléctrica activa que el motor toma de la red eléctrica

$P_U$ : Potencia útil que el motor va a desarrollar en su eje

$$P_p = 8.335 - 7.46$$

$$P_p = 0.875 \text{ Kw}$$

De acuerdo al tipo de conexión, la tensión de fase es igual a la tensión de línea:

$$V_f = V_L = 220 \text{ V}$$

La corriente de fase es:

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 3.50.}$$

Donde:

$I_f$ : Corriente de fase

$I_L$ : Corriente de línea o nominal

$$I_f = \frac{26 \text{ A}}{\sqrt{3}}$$

$$I_f = 15.01 \text{ A}$$

El ángulo que corresponde a  $\cos \phi = 0.84$  es de  $32.86^\circ$

Potencia Activa:  $P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi$  Ecuación 3.51.

$$P = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 26 \cdot 0.84$$

$$P = 8322.16 \text{ W}$$

Potencia Reactiva:  $Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sen \phi$  Ecuación 3.52.

$$Q = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 26 \cdot \text{sen}\phi$$

$$Q = 5375.6 \text{ VAR}$$

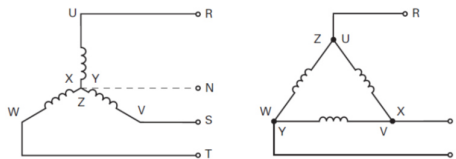
Potencia Aparente:  $S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$  Ecuación 3.53.

$$S = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 14$$

$$S = 9907.33 \text{ VA}$$

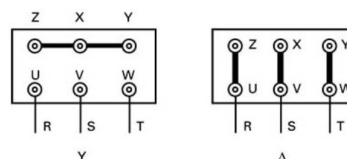
### 3.4.1.3. ARRANQUE

Al momento de arranque, el motor eléctrico absorbe una intensidad muy fuerte directamente de la línea de red eléctrica, esto puede afectar en el tiempo de duración de la máquina así como a las líneas que proveen la energía eléctrica. Esta intensidad elevada sobrecarga las líneas de distribución y consecuencia de ello las caídas de tensión y un sobrecalentamiento en los cables conductores. Una forma de reducir la corriente de arranque es reducir la tensión aplicada al motor mediante la conexión estrella – triángulo.



**Figura 3.66 Conexión arranque Estrella Triángulo. Fuente WEG**

A continuación se detalla los puentes necesarios para realizar la conexión estrella o triángulo en los terminales de los bobinados dentro de la caja de bornes.



**Figura 3.67 Conexión arranque en caja de bornes. Fuente WEG**



Sin embargo el molino no arrancará con carga, pero existirán restos de botellas plásticas de los procesos de trituración anteriores; por lo tanto se requiere un par de arranque del motor trifásico. El sistema de arranque recomendado es directo, para esto se utilizó un contactor telemecánico que permitirá proteger al motor trifásico de 220V mediante la desactivación por relé térmico. Su función principal será para una sobrecarga, donde el conmutador asociado a este dispositivo cambia de estado.

El funcionamiento del arrancador es manual, permite al operador encender el molino presionando el pulsador de inicio del proceso, ubicado en la parte inferior derecha de color verde; se cierra el circuito de la bobina del contactor, lo que provoca que los contactos principales como los auxiliares cambien de posición y el motor se ponga en marcha. En este proceso también un contacto auxiliar normalmente abierto y que está en derivación con el pulsador y se cierra. Al dejar de presionar el pulsador de inicio éste se abre sin embargo la bobina sigue siendo atravesada por una corriente, que ahora circula por el contacto auxiliar mencionado. Se puede observar una luz piloto verde en la parte superior derecha, la cual se encenderá siempre que esté en funcionamiento el molino.

El pulsador de paro tiene su contacto normalmente cerrado. Al presionarlo se abre su contacto e impide el paso de corriente a la bobina, enseguida se abre los contactos principales del contactor junto con el contacto auxiliar generando la parada del motor trifásico.



**Figura 3.68 Arrancador botonera motor trifásico 220 V WEG.**

### 3.4.1.4. SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS

#### INTERRUPTOR DE PROTECCIÓN

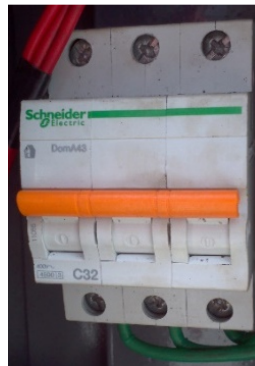
Se seleccionó un interruptor de protección o Breaker marca Schneider Electric modelo DOMA43 C32, que cumple con estándares internacionales EN 60898, IEC 60898. (ANEXO 3.35).

**Tabla 3.24**

**Características del interruptor breaker**

CIRCUIT BREAKER DOMA43 C50	
Marca	Schneider Electric
Tipo	3 polos
Curva de disparo tipo	C
Normas	EN 60898, IEC 60898
Ancho de paso en 9mm	6
Voltaje funcionamiento [V]	hasta 400
Corriente nominal [A]	50

Fuente (Schneider Electric, 2013)



**Figura 3.69** Interruptor de protección de circuito eléctrico.

## CONTACTOR Y RELÉ TÉRMICO

Bajo el análisis de corriente realizado se seleccionó un contactor telemecánico marca VOLTO, adecuada para la protección del motor trifásico WEG, junto a un relé térmico VOLTO programado para identificar una sobrecarga de corriente mayor a la corriente de operación del molino. (ANEXO 3.36).

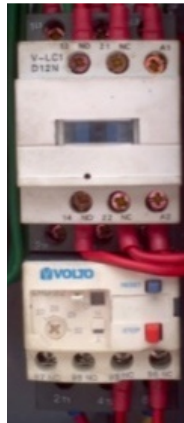


Figura 3.70 Contactor y relé térmico VOLTO.

Tabla 3.25

Características del contactor y relé térmico VOLTO.

CONTACTOR TELEMECÁNICO LC1-D12N	
Marca	VOLTO
Fases	3
Normas	EN 60898, IEC 60898
Voltaje funcionamiento [V]	220/240
Corriente nominal [A]	32

Fuente (VOLTO, 2010)

## MEDICIONES DE CORRIENTE

Mediante el uso de un medidor de corriente se realizaron varias pruebas para obtener el consumo de corriente del motor, en arranque de 42 amperios, un valor elevado presente por un corto tiempo en el proceso de corte.

La corriente de consumo del motor trifásico en vacío, sin conectarse al sistema de transmisión de potencia por poleas es de 5 amperios.

Una vez conectado el sistema de cuchillas la corriente en vacío varía entre 7.5 A y 8 A, este valor es relativamente bajo y consideramos que el incremento de 3 amperios en el consumo energético se debe al sobredimensionamiento de partes y piezas de este sistema de molienda.

La corriente de consumo del motor a plena carga varía entre 21.4 y 22 amperios. Esto se debe a la frecuencia de cortes realizados por las cuchillas en una revolución del eje rotor; el valor más alto de la corriente será en el instante de corte por lo tanto la potencia de corte es:

$$P_{real} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\phi \cdot I_L$$

$$P_{real} = \sqrt{3} \cdot 220V \cdot 0.84 \cdot 22A$$

$$P_{real} = 7041.83 \text{ Kw} = 9.45 \text{ Hp}$$

### 3.4.2. ANÁLISIS DEL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN

#### 3.4.2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

El flujograma a continuación presenta de manera general el proceso de operación y secuencia de automatización del molino en todas sus etapas.

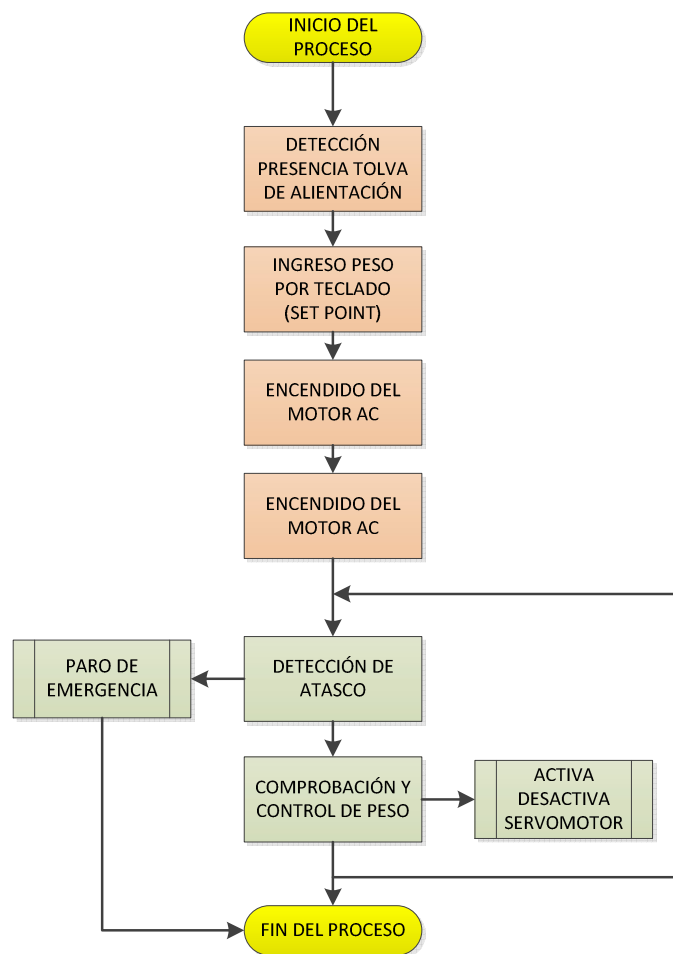
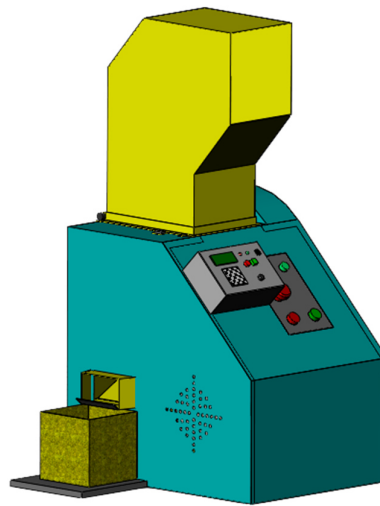


Figura 3.71 Diagrama de flujo del proceso.

### 3.4.2.2. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL

En el diagrama de flujo se identifican las siguientes etapas del proceso:

- a) Detección de presencia de la tolva de alimentación
- b) Detección de atasco
- c) Sistema de control de peso



**Figura 3.72 Molino para plásticos a controlar.**

A continuación se señala los requerimientos y consideraciones para cada una de las etapas para las condiciones de trabajo donde será ubicada la máquina:

- El molino estará ubicado en la zona tripulada de la embarcación, un espacio determinado por las condiciones de espacio reducidas.
- La alimentación de las botellas plásticas será de forma manual, y estas caerán hacia la cámara de molienda bajo efectos de la gravedad. El operador podrá ingresar las botellas hasta llenar la tolva de alimentación.
- El sistema permitirá el ingreso del peso a controlar

- Contará con una pantalla indicadora del proceso indicando los pasos a seguir, alertas y acciones.
- El sistema deberá detectar la presencia de la tolva de alimentación para su funcionamiento, esto para la seguridad de operación.
- Deberá generar una parada de emergencia que permita la protección del motor eléctrico AC cuando exista una corriente excesiva de consumo.
- Constará de un sistema que permita controlar la cantidad de plástico triturado que cae en la bandeja de descarga.

#### a) Detección de presencia en la tolva de alimentación

Las botellas plásticas ingresadas a través de la tolva de alimentación avanzarán hacia la cámara de molienda bajo efectos de la gravedad donde se produce el corte mediante cuchillas, es importante que durante este proceso se mantenga en posición y asegurada la tolva de alimentación, esto por seguridad del operador.



**Figura 3.73 Diagrama de detección de presencia.**

Los sistemas de seguridad son requisito fundamental en el diseño de maquinaria, establecer parámetros de operación y prever todas las posibilidades en las cuales el operador puede sufrir riesgos a la salud, es por esto que se pretende que el molino para plásticos funcione únicamente cuando este colocada la tolva de alimentación en la posición correcta.

Si no se realizaría esta verificación para el funcionamiento del equipo, el molino seguirá funcionando si usuario quita el seguro y levanta la tolva de

alimentación representando un alto grado de inseguridad en la operación del equipo y puede sufrir riesgo de corte o riesgo de atrapamiento.



**Figura 3.74 Interruptor de presencia. Fuente (Tamiya USA, 2014)**

Los interruptores de final de carrera se usan en aplicaciones de seguridad sirven para determinar la posición de un objeto o de una pieza móvil: Cuando el objeto o la pieza alcanza el extremo de su carrera, actúan sobre una palanca, émbolo o varilla. Están diseñados para utilizarse en ambientes industriales, y garantizan la apertura de los contactos normalmente cerrados cuando se acciona el interruptor.

#### **b) Detección de atasco**

El material plástico presente en la cámara de molienda se tritura de manera constante por el sistema de cuchillas implementado, incluso con la tolva de alimentación llena de botellas plásticas no existirá problemas de atascamiento.

Se supone un evento fortuito en el que el material ingresado al equipo no corresponde a PET, o a su vez exija un mayor esfuerzo de corte, consecuentemente una sobrecarga para el motor eléctrico de corriente alterna. Para esto se pretende implementar un sistema de control de atascos, que permita generar una parada de emergencia, asegurando la vida útil del molino.



Se identificó que de suceder un atasco en la cámara de molienda, las revoluciones del eje rotor serán menores que la velocidad de rotación normal; es decir que si las revoluciones del eje rotor son menores a 450 RPM, será considerado como atasco. Para efectos de pruebas se estableció un rango de velocidades normales del molino entre 445 RPM y 450 RPM debido al corte de espesores mayores de las botellas PET.

### Sistema de control

Un sistema de control es una interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará una respuesta deseada. Un componente o proceso que vaya a ser controlado puede representarse mediante un bloque. La relación de entrada y salida representa la relación entre causa y efecto del proceso, que a la vez representa un procesamiento de la señal de entrada para proporcionar una señal de salida. (DORF & BISHOP, 2005)

Se establece un sistema de control de lazo abierto, la señal de salida en el proceso (desactivación de energía), no es de influencia directa para el control de las revoluciones del eje rotor por lo tanto no se realimenta el sistema con este valor.

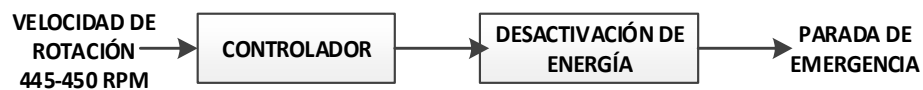
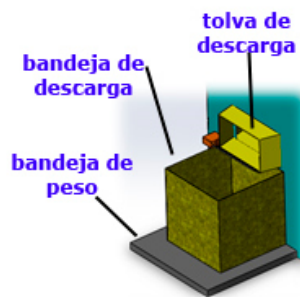


Figura 3.75 Diagrama de detección de atasco.

### c) Sistema de control de peso

Al iniciar el encendido del molino, se presentará una pantalla indicadora del el proceso, indicando también el momento en el cual el operador deberá ingresar por teclado, el valor deseado para controlar (SET POINT).

El plástico triturado sale de la cámara de molienda y pasa a través del tamiz que regula su tamaño, a continuación cae sobre la tolva de descarga hasta ser conducido a la bandeja de descarga colocada sobre la bandeja de peso.



**Figura 3.76 Elementos del control de peso.**

La variable de control será el peso del plástico triturado presente en la bandeja de descarga, el peso aumentará a medida que el material continúe siendo descargado en la bandeja, para esto se controlará la cantidad de material mediante de una compuerta ubicada en la tolva de descarga, misma que será accionada por un servomotor.

De acuerdo al tamaño de la tolva de salida, se colocará una compuerta de 22mm de longitud y 5mm de alto, para esto se determinó el volumen de plástico que será acumulado de 10mm hacia dentro de la tolva.

$$V_p = (22 \cdot 5 \cdot 10) \text{ mm}$$

$$V_p = 0.0011 \text{ m}^3$$

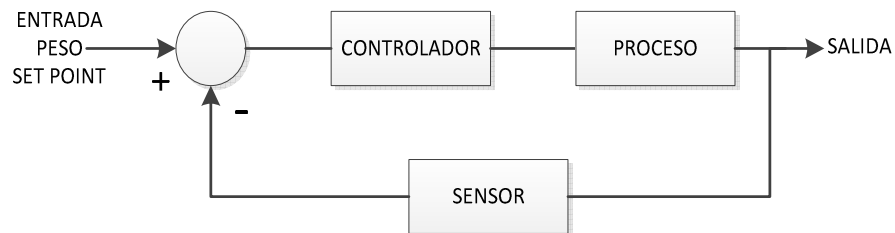
A componente en  $x$  del peso del plástico triturado será la fuerza que actúe directamente en la compuerta.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = 1400 \text{ g}$$

Una vez que la bandeja de descarga iguala el peso de material triturado al peso SET POINT ingresado al inicio del proceso, la pantalla indicará el procedimiento a realizar por el operador, retirar el plástico triturado y colocar nuevamente la bandeja de descarga para que el sensor de peso retroalimente el sistema, de esta forma la compuerta de descarga se desactivará y el control de peso iniciará nuevamente el proceso.

Este proceso será un sistema de control de lazo cerrado por su relación entre la señal de entrada y la señal de salida del sistema.



**Figura 3.77 Diagrama general del control de peso.**

La señal de salida será enviada desde el controlador hacia el proceso de control mediante la activación del actuador, permitiendo o impidiendo el paso del PET triturado. Esta señal de salida será medida por un sensor peso para retroalimentar al sistema y el controlador realice la comparación para emitir nuevamente la señal de control.

**Comparación:** es la diferencia entre la salida del proceso a controlar y la entrada de referencia.

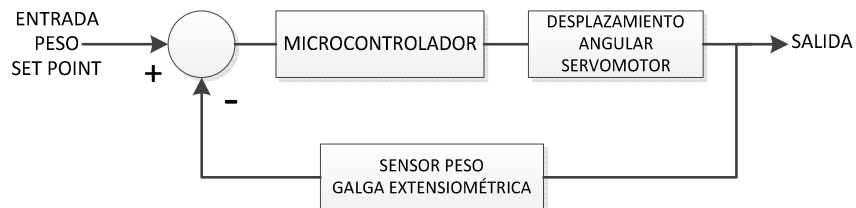
**Controlador:** Este elemento proporciona una señal de control al proceso de tal forma que la variable controlada se desempeñe con lo establecido. (Kuo, 1996)

**Proceso:** Representa el desplazamiento angular del servomotor para el accionamiento de la compuerta.

**Medida:** Es la señal de realimentación del sistema y se realizará mediante la utilización de una galga extensiométrica.

La activación del servomotor será en dos posiciones que representa un sistema de control ON-OFF. La acción del controlador de dos posiciones tiene un simple mecanismo de construcción, en este caso la compuerta presente en la tolva de descarga, este tipo de controladores son los de más amplio uso.

La variable medida que se desea estabilizar (controlar) recibe el nombre de variable de proceso (process value, PV)

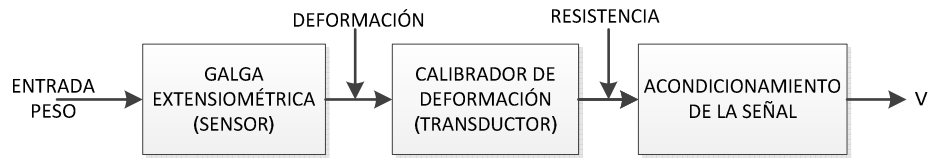


**Figura 3.78 Diagrama del sistema de control principal.**

El valor prefijado al inicio del proceso (Set Point, SP) es el valor deseado de la variable de proceso. Es el valor al cual el control se debe encargar de mantener la PV.

**Error:** Se define error como la diferencia entre la variable de proceso PV y el set point SP.

$$E = SP - PV$$



**Figura 3.79 Diagrama señal de entrada y salida del sensor de peso.**

### 3.4.3. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

Para realizar el control de las tres etapas del proceso, se debe diseñar un sistema que actúe de acuerdo a las necesidades bajo las instrucciones de programación. Se establecen los siguientes criterios de selección:

- a) Menores costos generales y accesorios
- b) Mayor versatilidad
- c) Mayor robustez

Bajo estos parámetros se establecen dos dispositivos como una preselección de dispositivo de control. Las ponderaciones para cada necesidad fueron establecidas por la empresa auspiciante.

**Tabla 3.26**

**Criterios de selección del controlador.**

ELEMENTO	COSTOS GENERALES Y ACCESORIOS (0.40)	VERSATILIDAD (0.30)	ROBUSTEZ (0.30)	TOTAL (1)
PLC (cocontrolador lógico programable)	0.2	0.2	0.3	0.7
Microcontrolador	0.35	0.25	0.2	0.8

De los valores obtenidos en la tabla anterior se puede identificar que el criterio de selección más representativo entre los dos elementos, es el menor costo tanto general como de sus accesorios, de esto podemos agregar que los PLC requieren de varios módulos adicionales para su

utilización en diferentes aplicaciones, lo cual aumentaría los costos finales del equipo.

Con este análisis se procedió a la identificación de las entradas y salidas del sistema que van a ser controladas por el microcontrolador, estas señales caracterizan cada etapa del proceso.

**Tabla 3.27**

**Señales de entrada al sistema.**

ETAPA	SENSOR / ENTRADA DATOS	SEÑAL	CANTIDAD
<b>Detección de presencia</b>	Interruptor de presencia final de carrera	digital	1
<b>Detección de atasco</b>	Sensor óptico	Digital/analógica	1
<b>Control de peso</b>	Galga extensiométrica	analógica	1
	Teclado matricial	digital	1
<b>TOTAL ENTRADAS</b>			<b>4</b>

**Tabla 3.28**

**Señales de salida del sistema.**

ETAPA	ACTUADOR	SEÑAL	CANTIDAD
<b>Detección de atasco</b>	Relé 12v DC	digital	2
<b>Control de peso</b>	Servomotor DC	digital	1
<b>TOTAL SALIDAS</b>			<b>3</b>

Adicional esto se analizó la cantidad de pines que serán utilizados para cada función que se utilizará para controlar el sistema. Se utilizará una pantalla LCD para la visualización de todas las etapas del proceso, mediante un teclado matricial se realizará el ingreso de datos, valores de SET POINT para el control de peso, un pulsador de reseteo para el microcontrolador.

**Tabla 3.29****Señales agregadas al sistema.**

DISPOSITIVO	FUNCIÓN	SEÑAL	CANTIDAD DE PINES
<b>Teclado matricial</b>	Ingreso de peso a controlar	Entrada	5
<b>Leds indicadores</b>	Luz piloto que servirán de guía para el operador	Salida	2
<b>Pulsador reset</b>	Reinicializa al microcontrolador	Entrada	1
<b>Pantalla LCD</b>	Visualización de etapas de proceso	Salida	6
<b>TOTAL</b>			<b>14</b>

A manera de resumen se puede incluir todos los resultados obtenidos de este análisis:

**Tabla 3.30****Resumen de señales.**

TIPO DE SEÑAL	CANTIDAD DE PINES
Entradas	4
Salidas	3
Agregadas	14
<b>TOTAL</b>	<b>21</b>

Bajo estas condiciones se realiza la selección de un microcontrolador que cumpla con estos requisitos mínimos:

- Mínimo 21 pines configurables para entradas y salidas
- Mínimo 2 puertos para conversión analógica – digital (ADC)

Con estos requisitos se seleccionó un microcontrolador PIC16f877, la referencia completa es PIC16F877A-I para el dispositivo tipo industrial que puede trabajar hasta a 20 MHz. Un microcontrolador de Microchip Technology fabricado en tecnología CMOS, el consumo de potencia es bajo. (ANEXO 3.37).

Tabla 3.31

## Características del Microcontrolador 16F877A.

CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR 16F877A	
Frecuencia de operación	DC-20MHz
Reset y retardos	POR, BOR
Memoria Flash (14bits palabra)	8 k
Memoria de datos (bytes)	368
Memoria de datos EEPROM (bytes)	256
Interrupciones	15
Puertos de Entrada/Salida	A, B, C, D, E
Temporizadores (timers)	3
Módulos de captura/Comparación y PWM	2
Comunicación serial	MSSP, USART
Comunicación paralelo	PSP
Módulo análogo - digital (10 bits)	8 Canales de entrada
Comparadores analógicos	2
Set de instrucciones	35

Fuente (Microchip, 2014)

## 3.4.4. PROGRAMACIÓN

Se establecieron las condiciones necesarias para cada etapa del proceso, determinando las entradas y salidas y la secuencia de programación que regirá el correcto comportamiento del sistema.



Figura 3.80 Etapas del proceso de programación.



Una vez determinadas las etapas del proceso con sus entradas y salidas al sistema se identificó el diagrama simplificado para el algoritmo de programación, que contemple todas las etapas del proceso y permita al usuario ser guiado por el sistema para la operación del equipo, mediante la visualización de mensajes en la pantalla LCD. Así también el valor del peso de plástico triturado a controlar.

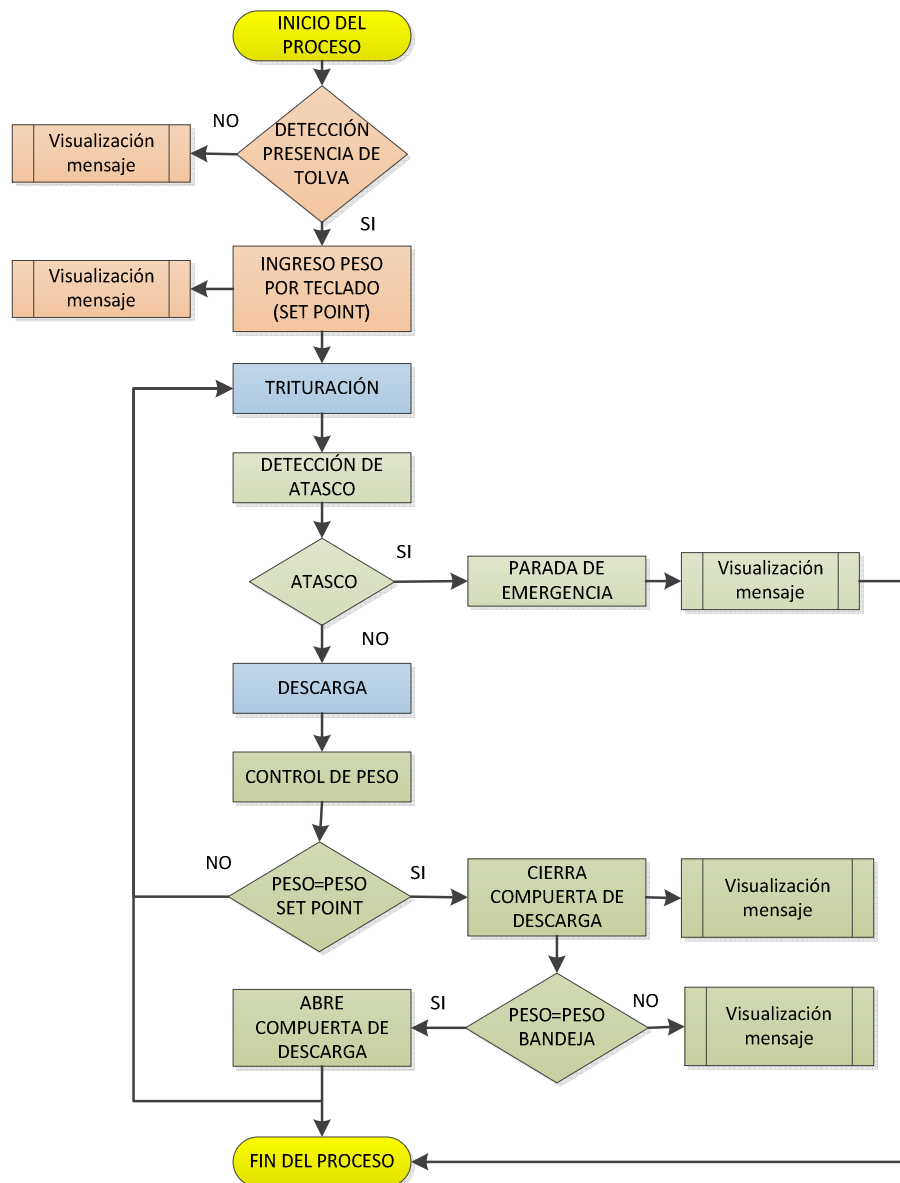
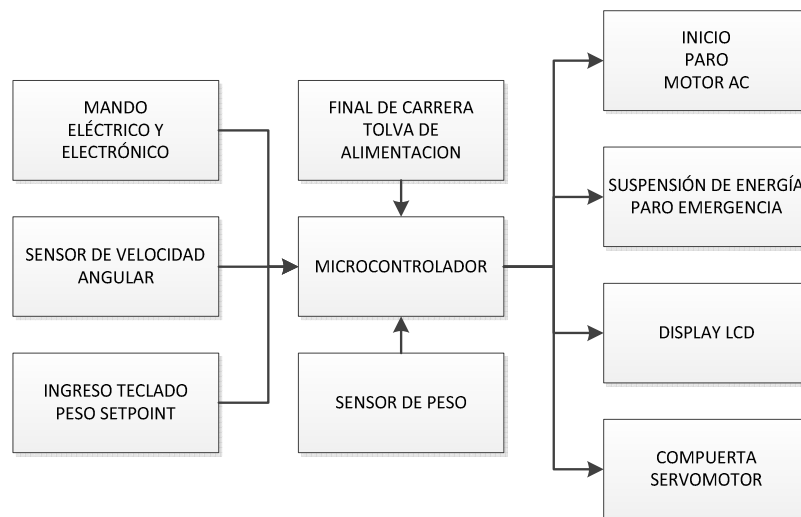


Figura 3.81 Diagrama general de programación.

El funcionamiento del molino siempre será mediante la señal de presencia de la tolva de alimentación esta es una restricción general de funcionamiento. En caso de ocurrir un atasco se generará la parada de emergencia automáticamente y se despliega un mensaje indicando al operador el suceso ocurrido. El usuario deberá reiniciar el sistema para que este vuelva a funcionar, esto desactivando la parada de emergencia, desactivar la energía en el control electrónico y energizándolo nuevamente.



**Figura 3.82 Diagrama general del proceso de señales en el microcontrolador.**

En todos los casos el sistema indicará las acciones y actividades que se deberán realizar para el correcto funcionamiento del molino de peso una vez identificado el peso muerto de la bandeja el proceso regresará nuevamente a realizar el control.

Para la realización del programa de control en el PIC 16F877A se seleccionó el compilador de lenguaje C para microcontroladores PIC de Microchip, este compilador fue desarrollado por la empresa Custom Computer Services (CCS). Se utilizó la licencia empresarial que posee la empresa auspiciante.



Figura 3.83 CCS Compilador C. (Solarbotics, 2014)

### 3.4.5. DISEÑO ELECTRÓNICO Y SIMULACIONES

Para el diseño electrónico de todo el sistema de control se utilizó el software desarrollado por la empresa Labcenter Electronics. El Programa ISIS, Intelligent Schematic Input System (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con todos los componentes necesarios.

El teclado matricial es un dispositivo con 16 teclas configurado por una matriz de filas y columnas. A continuación se puede observar la configuración del teclado y para su utilización se ha seleccionado un PIC16F628A con la finalidad de reducir el número de entradas y salidas necesarias para controlarlo.

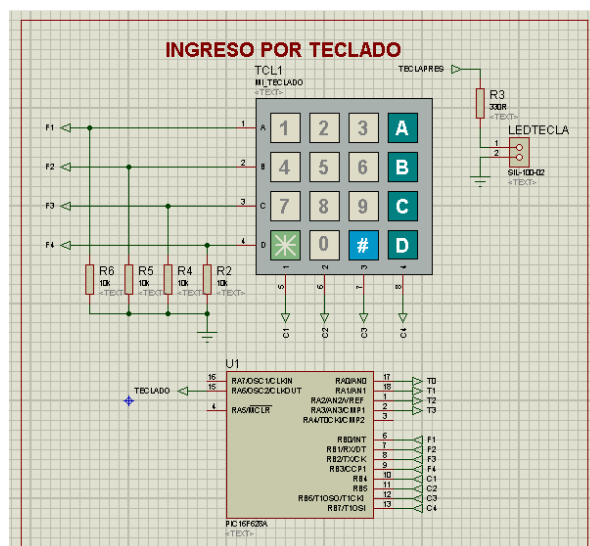
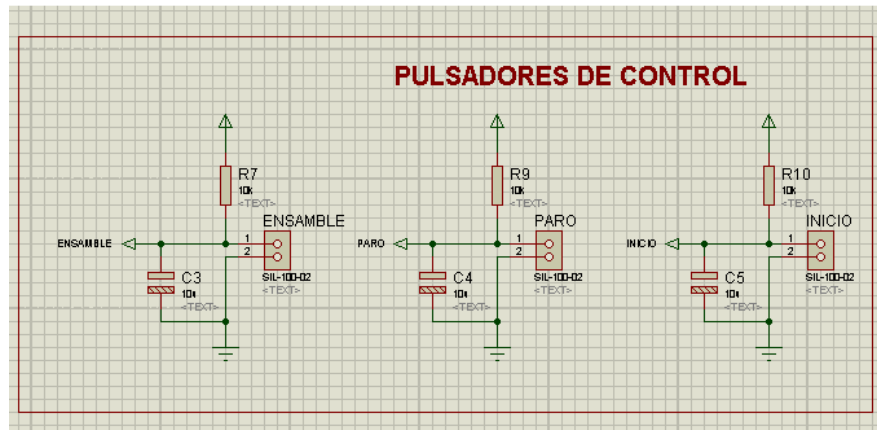


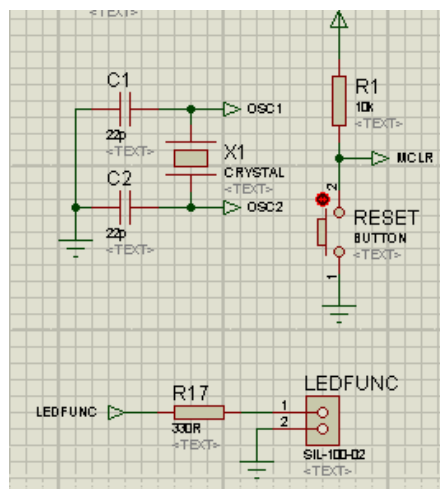
Figura 3.84 Configuración de ingreso de datos por teclado.

Se diseñó dos pulsadores, inicio y parada del proceso; así mismo se especificó la utilización de un interruptor de presencia o final de carrera, que se identifica como un pulsador normalmente cerrado para la detección de la tolva de alimentación.



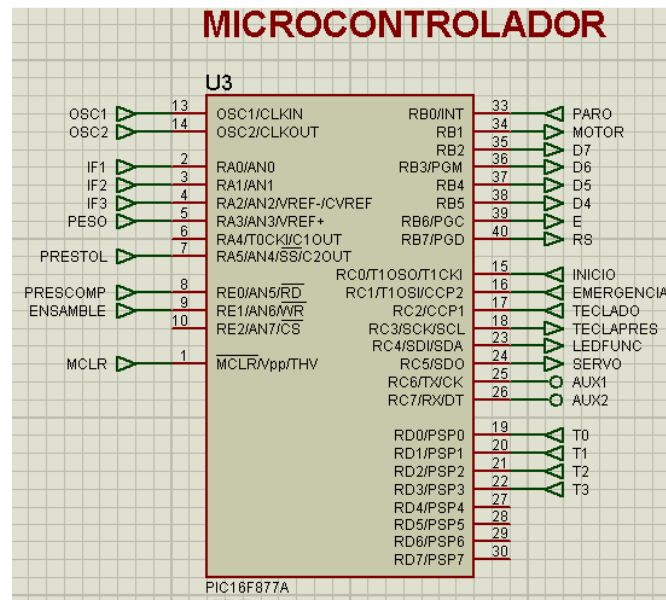
**Figura 3.85 Pulsadores de control.**

En la siguiente figura se muestra la configuración normal para cristal oscilador de 20 MHz, un botón RESET que servirá para reinicializar el programa del microcontrolador; se colocaron luces led para rojo y verde para indicar la parada o funcionamiento del molino.



**Figura 3.86 Configuración de cristal oscilador y RESET para el microcontrolador.**

A continuación se muestra el diagrama de distribución y utilización de puertos del microcontrolador 16F877A.



**Figura 3.87 Utilización de puertos del microcontrolador.**

Después del diseño es importante realizar simulaciones de funcionamiento que nos permitan identificar problemas de operación y proponer soluciones correctivas en el diseño antes de pasar a la fase de construcción.

En la siguiente imagen se muestra la simulación de la programación realizada en el microcontrolador, se visualiza en la pantalla LCD el mensaje de inicio. La visualización de los mensajes mediante la utilización de una pantalla LCD de 4 líneas de 20 caracteres. (ANEXO 3.38)

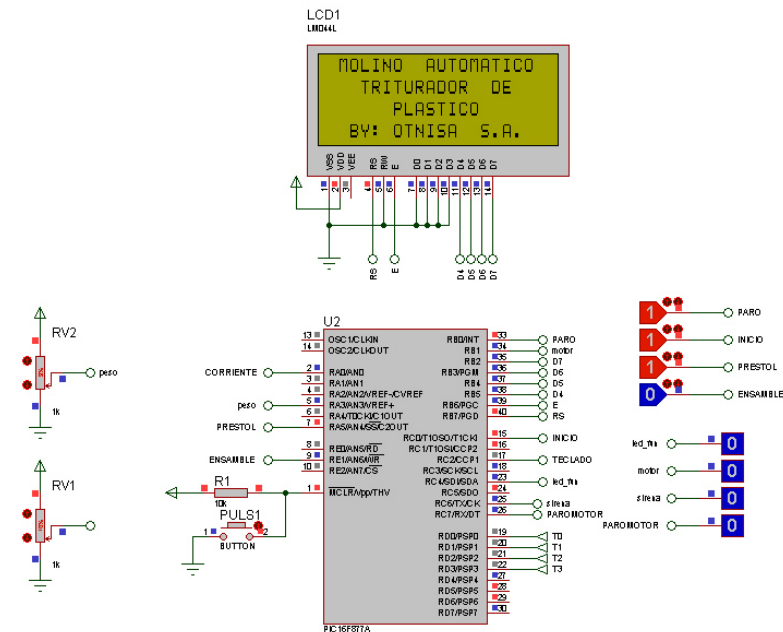


Figura 3.88 Simulación del programa de control.

Así también se identifican la señal de inicio del programa, las entradas analógicas representadas por potenciómetros en la parte izquierda de la imagen y en la derecha señales digitales como el interruptor para detección de presencia de la tolva superior.

Activación de contactos de inicio y parada del motor AC. La señal de control enviada desde el microcontrolador permitirá la activación del circuito de control del motor AC. Esta señal de control llega a la base del transistor 2N3904 a través de una resistencia de  $1\text{K}\Omega$ , el emisor de este transistor conecta a la base del transistor TIP41, mediante una configuración Darlington para alcanzar una mayor ganancia, la señal resultante polariza la bobina del relay para cumplir el objetivo de cerrar el contacto para el inicio del proceso. Para esto se seleccionará un dispositivo que cumpla con los requisitos de:

- Soporte al menos 2 amperios
- Voltaje de operación 12V DC
- Corriente a través de la bobina máximo de  $1^{\text{a}}$

Se seleccionó un relay miniatura común, de un polo, que se alimenta con 12V DC y soporta un máximo de 10A. Su conexión se realiza a través de diodos 1N4007 en paralelo con los pines de la bobina del relay.

El transistor 2N3904 entrega la corriente que sale de su emisor hacia la base del transistor TIO41; la ecuación de ganancia típica de un transistor es:

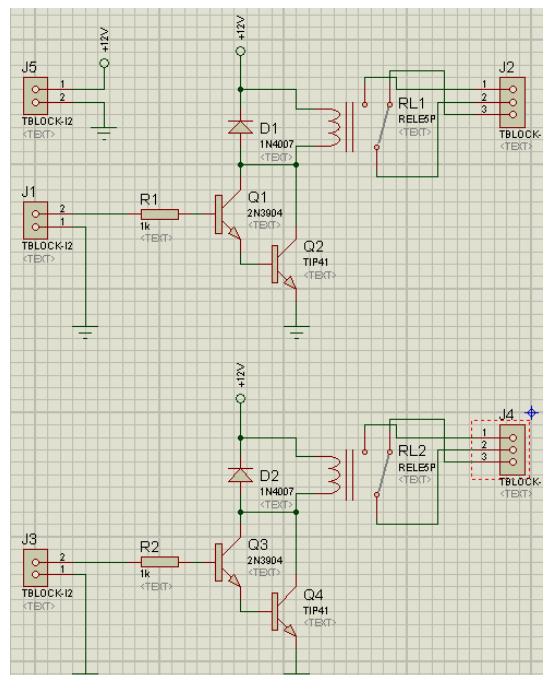
$$I_E = \beta \cdot I_B$$

$I_E$ : Corriente de emisor

$I_B$ : Corriente de base

$\beta$ : Ganancia

A continuación se puede observar la configuración para la activación directa de los contactos eléctricos para el inicio y parada del motor de corriente alterna.



**Figura 3.89 Activación de contactos para motor AC.**

### Circuito para detección de atasco

Para este proceso se utilizó un sensor óptico de herradura para medir la frecuencia de giro del eje y un circuito integrado LM2907 para la conversión de esta frecuencia en señal de voltaje hacia controlador. El diagrama típico del circuito integrado es el siguiente.

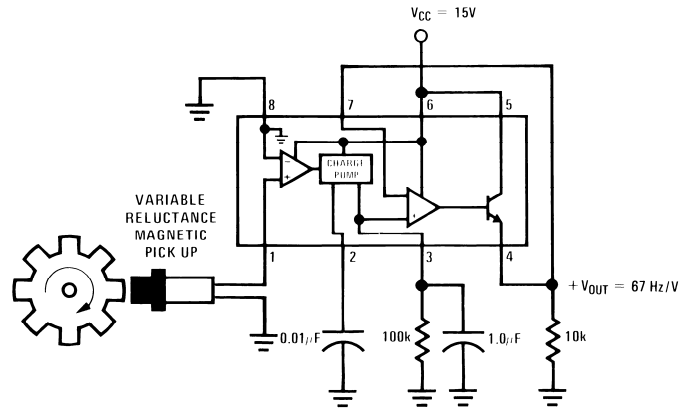


Figura 3.90 Diagrama típico del circuito integrado LM2907.

Fuente (Texas Instruments, 2014)

El voltaje de salida será:

$$V_o = V_{cc} \cdot F_{in} \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot K$$

Donde:

$V_{cc}$ : Voltaje de alimentación

$F_{in}$ : Frecuencia de entrada

$K$ : Constante de ganancia

El voltaje de rizo debe de ser considerado, y el tamaño de  $C_2$  se ve afectado por  $R_1$ . Una expresión que describe el contenido de este rizado en el terminal 3 para una sencilla combinación de  $R_1$  y  $C_2$  es:

$$V_{rizo} = \frac{V_{cc}}{2} \cdot \frac{C_1}{C_2} \cdot \left(1 - \frac{V_{cc} \cdot F_{in} \cdot C_1}{I_2}\right)$$

Donde:

$C_1$ : Capacitor 1



*C2*: Capacitor 2

*I2*: Corriente en terminal

La señal digital obtenida de este proceso será interpretada por el microcontrolador y el sistema determinará si se encuentra en los valores normales de frecuencia de giro del eje rotor, caso contrario deberá quitar la energía del molino generando la parada de emergencia.

### **Circuito para el control de peso**

Se utilizó una galga extensiométrica de serie BF con las siguientes características:

- Dimensiones 10.4×5.4 mm
- Carga máxima de 50 lb
- Alimentación de 3V DC

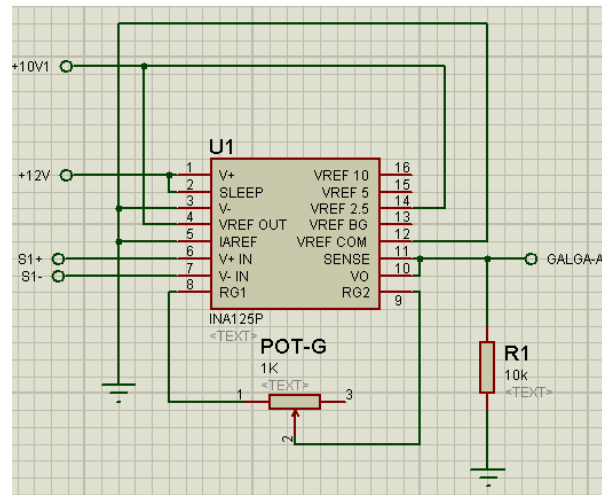
Mediante el uso de un amplificador de instrumentación INA125, alimentado con 5V DC con referencia de voltaje de precisión ajustable, bajo consumo de potencia, bajo offset de entrada. Mediante la configuración básica de este amplificador se obtuvo la ganancia mediante la siguiente fórmula:

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G}$$

Donde:

$R_G$ : Resistencia de ganancia entre el pin 8 y el pin 9

Bajo esta configuración se amplifica la señal de salida del sensor y será transformada por el conversor análogo digital del microcontrolador. El PIC tiene una resolución de 10 bits, que representan  $2^{10}=1024$  niveles. El intervalo real [0,1) se aplicaría al intervalo [0,1023]. Si asumimos un rango de 5V, tendremos que la resolución de cada nivel es de  $r=5/1024$  V=4.88 mV.



**Figura 3.91 Amplificación de señal de la galga extensiométrica INA125.**

Es importante realizar el análisis de consumo de corriente de los elementos que intervienen en el control y programación del molino, se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 3.32**

**Análisis de consumo de corriente de los elementos.**

ETAPA	ELEMENTO	CANT	VOLTAJE DC [V]	CONSUMO UNITARIO [mA]	CONSUMO TOTAL [mA]
<b>Detección de Presencia</b>	Interruptor de Presencia	1	5	50	50
<b>Detección de Atasco</b>	Sensor Óptico	1	5	30	30
<b>Control de peso</b>	Galga Extensiométrica	1	5	50	50
	Servomotor	1	5	250	250
	Teclado	1	5	20	20
<b>Varios</b>	Acondicionamiento de señales	2	5/12	50	100
	Pulsadores	3	5	10	30
	Pantalla LCD	1	5	200	200
	Leds indicadores	2	5	10	20
	Elementos semiconductores, resistivos y capacitivos, etc.	1	5	480	480
<b>TOTAL</b>				<b>1150</b>	<b>1230</b>

La alimentación deberá alimentar de energía al sistema de al menos 1.5 A como consumo total a un voltaje de 5V y 12V DC. Bajo recomendaciones de la Empresa auspiciante y por disponibilidad se utilizó una fuente de alimentación Switching Power Supply con valores de corriente de 3 amperios para un voltaje de 5V y 8 amperios para el voltaje de 12V.

Esta fuente de alimentación cumple con las necesidades del diseño, además de cuenta con certificado de normas y estándar de FCC y CE.

- Switching con bajo voltaje de rizo
- Características de entrada 110V 60 Hz
- Voltajes de salida 15V y 12V DC
- Circuitos diseñados con alta tecnología
- Con poder de energía de onda baja y silenciosa.
- Con protección de corto circuito y sobrecarga en todas las salidas.
- Cableado de colores.

#### **3.4.6. DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS, PLACAS PCB**

Una vez analizado el sistema y su comportamiento en las simulaciones se facilitó el proceso de correcciones antes de la construcción de este circuito impreso, hasta obtener el comportamiento deseado por parte del sistema de control y configuraciones de la programación.

El diseño y fabricación de placa de circuito impreso se realizó en el programa ARES, o Advanced Routing and Editing Software (Software de Edición y Ruteo Avanzado); es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes.

Este diseño se realizó tomando en cuenta todas las recomendaciones de la Norma IPC-2221A es el estándar de diseño fundamento para todos los documentos de la serie IPC-2220. Establece los requisitos genéricos para el

diseño de tarjetas de circuitos impresos y otras estructuras de montaje de componentes o de interconexiones.

Entre las recomendaciones de fabricación de PCB bajo la Norma IPC-2221 parte traducida se pueden detallar las siguientes:

- Espesor de líneas conductoras debe ser mayor o igual a 0.1mm, los espesores menores pueden romperse y el cobre puede ser removido
- Espacio entre líneas conductoras mayor o igual a 0.1mm, los espacios menores pueden ocasionar que el ácido no pueda quitar el cobre entre caminos muy angostos.
- Relación Agujero-Área de perforación, debe ser de al menos 0.6mm más grande que la broca utilizada para el agujero., esto permitirá evitar complicaciones como fisuras o se acorte el área para soldar los elementos.
- Tamaño de Placa, se recomienda que la placa sea lo más pequeña posible siguiendo todas las recomendaciones de la norma, será más difícil que se pandee y el tamaño tiene relación directa con el costo.
- Agregar una gota al camino de cobre, disponer de suficiente espacio para evitar cortes.
- Espesor de la placa desde 0.8mm hasta 2.4mm, esto asegurará que el los elementos pasivos se ajusten de manera adecuada en la placa, si se excede esta medida los elementos no serán lo suficientemente largos.
- Relación entre el espesor de placa y el diámetro del agujero, de preferencia deberá ser 5:1, esto garantizará no romper la placa PCB al momento de perforar todos los agujeros.

A continuación se puede apreciar el diseño del circuito impreso y la visualización 3D con los diseños finales y la ubicación de los elementos.

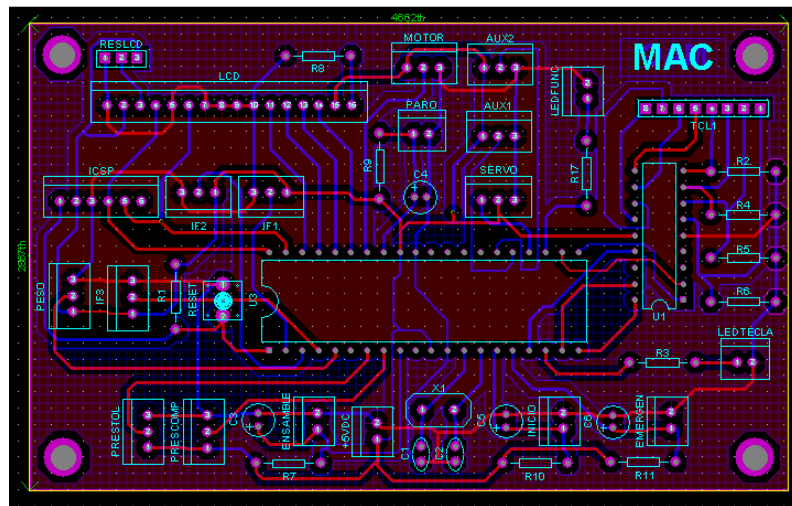


Figura 3.92 Diseño y ubicación de elementos del circuito impreso.

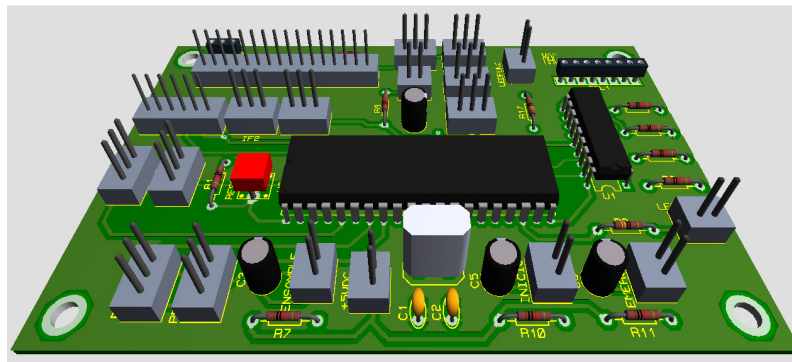


Figura 3.93 Visualización en 3D de la placa PCB final. .

## **CAPÍTULO IV**

### **4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

En este capítulo se resumen todas las pruebas de funcionamiento realizadas al molino triturador de plástico y se presentan a continuación con imágenes reales capturadas durante el proceso. Los resultados obtenidos tienen relación directa con los objetivos planteados al inicio de este proyecto. Además se especifican los factores que pueden ocasionar un mal funcionamiento del equipo, así como retos presentados en proceso de construcción y automatización del molino.

#### **4.1. PRUEBAS DE CORTE**

El diseño adecuado del sistema de cuchillas permitió realizar un corte del plástico en dos etapas mientras el eje rotor realiza una revolución, este proceso realizado por el ángulo de cuña de cuchillas fijas como de cuchillas giratorias.



**Figura 4.1 Cámara de molienda y sistema de cuchillas.**

La primera etapa de corte se realiza en el cruce de las cuchillas giratorias con la primera cuchilla fija y de igual manera sucedió con la segunda cuchilla fija.

#### **4.1.1. ANÁLISIS DE LAS PARTÍCULAS DE PET TRITURADO**




El plástico triturado pasa a través del tamiz obteniendo diferentes formas y tamaños, partículas que han logrado atravesar los agujeros del tamiz en 10mm. Se tomaron 5 muestras de partículas de PET triturado, en diferentes pruebas realizadas de los cuales se ha obtenido los siguientes resultados:



**Figura 4.2 Tolva de descarga y tamaño final de las partículas de PET triturado.**

Tabla 4.1

## Dimensiones de las partículas de PET

MUESTRA	DIMENSIONES (mm)	
	X	Y
	8.02	8.03
	7.64	8.4
	7.69	9.8
	7.05	9.56
	13.38	4.38

Las partículas analizadas permitieron establecer las dimensiones promedio en 8.76x8.03 mm, medidas ideales para atravesar el tamiz metálico con agujeros de 10mm de diámetro.

Los resultados del corte fueron partículas que serán fácilmente almacenadas en recipientes y demuestran la reducción de tamaño que presentaban estos desechos antes de ingresar al molino.

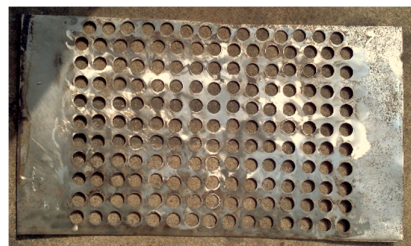


Figura 4.3 Tamiz.



## 4.2. DETECCIÓN DE PRESENCIA

El funcionamiento correcto del molino por condiciones de seguridad del usuario debe ser estrictamente con la tolva de alimentación colocada en el lugar de operación, esta se abrirá para efectos de afilado de cuchillas o mantenimiento.



**Figura 4.4 Tolva de alimentación y control de presencia.**

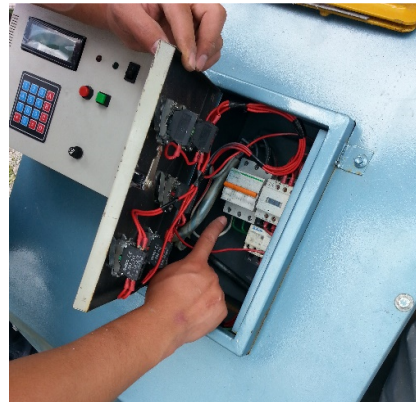
En esta etapa actúa el interruptor de presencia enviando la señal al sistema correspondiente a la detección de presencia de la tolva de alimentación, inmediatamente se visualiza el mensaje indicando al operador que cierre la tolva para comenzar. Una vez detectada la tolva de alimentación se presenta el mensaje de bienvenida en la pantalla LCD. El teclado ubicado bajo la pantalla LCD, servirá para el ingreso del valor del peso a controlar, con limitaciones basadas en la capacidad del sensor de peso, un valor máximo para controlar de 50 lb.



**Figura 4.5 Mensaje de bienvenida e inicio del proceso.**

### 4.3. DETECCIÓN DE ATASCO

En esta etapa se utilizó el sensor óptico de herradura para recibir las señales analógicas del giro del eje rotor mediante el acondicionamiento de señal realizado se pudo obtener esos valores digitales para el control del proceso generando una parada de emergencia.



**Figura 4.6 Botonera y conexiones de activación de emergencia por atasco.**

De manera manual también se puede generar una parada de emergencia mediante el pulsador tipo hongo, color rojo ubicado en la parte central de la botonera, esto se realizó para ser accionado bajo el criterio de riesgo del operador durante el funcionamiento del moino.



**Figura 4.7 Control manual de parada de emergencia.**

#### 4.4. CONTROL DE PESO

Para esta etapa se realizó el acondicionamiento de la galga extensiométrica para obtener valores digitales que puedan ser interpretados por el microcontrolador.

Se ingresaron valores a controlar hasta un máximo de dos dígitos, desde 1 hasta 50 libras, se utilizó un color rojo en esta bandeja, muy llamativo para su facilidad de visualización por el operador y las debidas precauciones durante el proceso.



**Figura 4.8 Tolva de descarga, bandeja de descarga y bandeja de peso.**

En la figura anterior se observan: de color amarillo la tolva de descarga y la bandeja de descarga que recibe el material triturado por el molino. Para el accionamiento del control de peso se puede visualizar el accionamiento de la compuerta de descarga mediante el movimiento del servomotor colocado a la izquierda de la tolva de descarga.

Se controló la cantidad de material que cae hacia la bandeja de descarga mediante la programación y ubicación de dos posiciones de giro del servomotor, la primera para permitir el paso del material triturado y la segunda para detener la salida de la tolva de descarga.



**Figura 4.9 Accionamiento de la compuerta en dos posiciones de giro del servomotor.**

Una vez controlada la cantidad de peso deseado, se retiró el material presente en la bandeja de descarga; controlando 5 libras de plástico triturado, se almacenó en fundas plásticas para ser acomodadas en un espacio reducido, este proceso de trituración se realizó con botellas plásticas que ocupaban un volumen de 5 metros cúbicos, comprobando de manera efectiva el la reducción de espacio ocupado por este desecho antes y despues del proceso de trituración. Al final se realizó un registro de cuantas fundas de 5 libras se produce por hora obteniendo la producción real del molino, reduciendo el volúmen ocupado por este material a 2 metros cúbicos.



**Figura 4.10 Comparación del espacio ocupado por las botellas plásticas.**

## 4.5. RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO

Tabla 4.2

### Plan de pruebas de funcionamiento

PLAN DE PRUEBAS	
<b>PRUEBA 1</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Determinar la producción del molino mediante una alimentación pausada de botellas PET
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Ingresar las botellas plásticas realizando pausas desde 10 segundos hasta 1 minuto
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	Rango de producción de material PET triturado
<b>PRUEBA 2</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Determinar la producción del molino mediante una alimentación continua de botellas PET
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Ingresar las botellas PET en la tolva de alimentación, sin realizar pausas
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	Máxima producción del molino
<b>PRUEBA 3</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Funcionamiento del interruptor de presencia de la tolva de alimentación
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Retirar el seguro de la tolva de alimentación y levantar la tolva
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	Paro de emergencia generado por el sistema
<b>PRUEBA 4</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Comprobar el funcionamiento del molino con la tolva de alimentación abierta
<b>DESCRIPCIÓN</b>	levantar la tolva de alimentación e intentar encender el molino para PET
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	No se encenderá el molino sin antes colocar la tolva de alimentación en su lugar
<b>PRUEBA 5</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Comprobar la generación de parada de emergencia por atasco
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Encender el molino y arrojar materiales de mayor densidad que el PET
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	Se generará de manera automática una parada de emergencia en cuanto bajen las revoluciones de giro del eje rotor
<b>PRUEBA 6</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Comprobar el funcionamiento del servomotor que controla el movimiento de la compuerta de descarga
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Digitar por teclado el valor de peso a controlar y verificar el accionamiento de la compuerta cuando el material triturado sobre la bandeja de peso llegue al peso deseado
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	Accionamiento de la compuerta en dos posiciones, para permitir o impedir el paso del material triturado
<b>PRUEBA 7</b>	
<b>OBJETIVO</b>	Comprobar el funcionamiento del ingreso de datos mediante teclado y visualización de mensajes en la pantalla LCD
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Digitar por teclado el valor de peso a controlar, ingresando diferentes valores en varios intentos
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	Visualización de mensajes en pantalla LCD que indiquen el peso a controlar y el peso del material presente en la bandeja de peso, pesar en otra balanza la producción del molino y comprobar que el peso es el deseado.

A continuación se describen los resultados obtenidos en las siete pruebas establecidas para determinar el correcto funcionamiento del molino.

- **Prueba 1**

Se realizaron varios intentos para determinar la producción del molino, ingresando las botellas plásticas en la tolva de alimentación con pausas desde 10 hasta 60 segundos.

**Tabla 4.3**

**Análisis de tiempos de producción del molino**

INTENTOS	TIEMPO DE PAUSA (Seg)	PRODUCCIÓN (Kg/h)
1	10	56
2	20	48
3	30	44
4	40	37
5	50	34
6	60	30



**Figura 4.11 Alimentación de botellas plásticas.**

La producción del molino se vió afectada por el desgaste del filo de cuchillas presentado despues de varias horas de trabajo por lo tanto se recomienda realizar un ajuste de cuchillas y afilado al menos una vez al día.



**Figura 4.12 Tolva de alimentación con botellas PET.**

- **Prueba 2**

Se realizaron varios intentos para obtener un rango desde 60 hasta 63 kg/h de producción y un promedio de producción del molino de 61.5 kg/h, en todos los intentos se alimentó continuamente de botellas plásticas a la tolva de alimentación.

**Tabla 4.4**

**Plan de pruebas de funcionamiento**

INTENTOS	PRODUCCIÓN (Kg/h)
1	61
2	60
3	63
4	60
5	62
6	63
<b>PROMEDIO</b>	<b>61.5</b>



**Figura 4.13 Partículas de plástico triturado.**

- **Prueba 3**

Se realizaron varios intentos mientras el molino se encuentra en funcionamiento, se retiró el seguro de la tolva de alimentación y se levantó la tolva, para todos los casos se obtuvo un aparada del molino ya que la tolva deja de presionar el interruptor de presencia, quitando la energía de todo el equipo.



**Figura 4.14 Tolva de alimentación fuera de lugar.**

- **Prueba 4**

Sin iniciar el proceso de trituración, se retiró el seguro de la tolva de alimentación, la pantalla LCD presentó el mensaje de colocar la tolva en su lugar. Se realizó esta prueba varias veces presionando el botón para encender el molino, el molino no inició el proceso sin la presencia de la tolva de alimentación, esta condición fue planteada por seguridad del usuario.





**Figura 4.15 Mensaje cierre la tolva para comenzar.**

- **Prueba 5**

Para comprobar el sistema de control de atasco se realizó varias pruebas, ingresando materiales metálicos. Obteniendo buenos resultados se genera la parada de emergencia inmediatamente las revoluciones del eje rotor bajan. Un sistema implementado para seguridad del motor AC, lo cual significa que se accionará la parada de emergencia cuando por error o accidente ingresen materiales metálicos al interior del molino.



**Figura 4.16 Ingreso de materiales metálicos.**

- **Prueba 6**

Después de haber encendido el molino, ingresamos el valor de peso a controlar mediante el teclado, seguidamente se alimenta el molino y las botellas plásticas son atrapadas en la cámara de molienda para su trituración, mientras esto sucede el controlador recibe la señal del peso sobre la bandeja. Se realizaron varias pruebas de funcionamiento, para todos los casos el servomotor se activó en las posiciones programadas.



**Figura 4.17 Activación del servomotor.**

- **Prueba 7**

Se ingresaron valores mediante el teclado, para controlar 2, 4, 10, 20, 30, 40, hasta 50 libras, de los cuales el 100% de pruebas realizadas presentaron valores reales del peso a controlar, en la pantalla LCD se presentó correctamente los valores de esta variable.

## 4.6. PRUEBAS EN VACÍO

### 4.6.1. FUNCIONAMIENTO DE SENSORES

- **Interruptor de presencia**

El correcto funcionamiento del interruptor de presencia se puede verificar al encender el molino, sin su accionamiento, el interruptor no se puede dar inicio al proceso.

Cuando el interruptor está accionado esta señal indica la presencia de la tolva de alimentación y se enciende la luz verde después de presionar el botón de inicio del proceso.



**Figura 4.18 Led indicador de presencia de tolva de alimentación.**

- **Sensor óptico**

El correcto funcionamiento del sensor óptico se puede comprobar únicamente cuando el molino está encendido, y de acuerdo a las condiciones de programación, la parada de emergencia se generará siempre que las revoluciones del eje rotor sean inferiores a las revoluciones normales de trituración del PET.

- **Galga extensiométrica**

Para determinar el correcto funcionamiento del sensor de peso en las pruebas de vacío se realizó el siguiente procedimiento:

- Asegurar la tolva de alimentación de botellas

- Encender el molino
- Ingresar por teclado un valor para control de peso
- Colocar un elemento que tenga un valor exacto al valor ingresado por teclado.

El resultado obtenido fue la activación de servomotor, cerrando la compuerta de descarga. Esto demuestra que el sensor de peso se encuentra calibrado y en funcionamiento.



**Figura 4.19 Verificación de funcionamiento de galga.**

#### **4.6.2. FUNCIONAMIENTO DE ACTUADORES**

- **Motor eléctrico AC**

Se comprobó el correcto funcionamiento del motor de corriente alterna presionando el botón de inicio del molino.

- **Servomotor**

Se debe realizar el mismo procedimiento realizado para la verificación de funcionamiento de la galga extensiométrica. El resultado obtenido fue la activación de servomotor, cerrando la compuerta de descarga para el peso ingresado por teclado.

## **CAPÍTULO V**

### **5. ANÁLISIS ECONÓMICO**

El siguiente análisis se realiza con el objeto de determinar el impacto y los múltiples beneficios que presenta el proyecto tanto para la empresa auspiciante como también un aporte para la industria naviera en cuanto a la prevención de la contaminación ambiental.

Se analizarán los costos relacionados a la fabricación de todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, así también los costos directos e indirectos inmersos en el proyecto, logística de materiales y costos misceláneos.

#### **5.1. COSTOS INDIRECTOS**

Los costos que representan gastos no inmersos directamente pero son necesarios para su realización.

Estos gastos son todos aquellos que no se relacionan directamente con la manufactura o fabricación del molino pero contribuyen y son parte fundamental de los costos de producción tales como mano de obra indirecta, materiales indirectos, luz, energía, uso de infraestructura, depreciación, comunicaciones, internet, mantenimiento y limpieza de las instalaciones.

### 5.1.1. COSTOS MISCELÁNEOS

Estos corresponden a los gastos correspondientes a los servicios básicos utilizados, el transporte necesario de los materiales para realizar el proyecto, los gastos imprevistos.

**Tabla 5.1**

**Costos misceláneos.**

<b>COSTOS MISCELÁNEOS</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>COSTO USD</b>
SERVICIOS BÁSICOS	500
TRANSPORTE	60
IMPREVISTOS	200
INSUMOS DE OFICINA	100
<b>TOTAL</b>	<b>860</b>

### 5.1.2. MANO DE OBRA Y ASESORAMIENTO INDIRECTO

Estos costos representa el trabajo de supervisión, registros del proceso, recomendaciones entre otras labores que no pueden ser añadidas directamente en el producto; se asignó 1000 USD por asesoramiento profesional de director y codirector de este proyecto de tesis.

## 5.2. COSTOS DIRÉCTOS

Este rubro representa los costos de inversión realizados en el proceso de construcción del proyecto, donde se considerarán todos los elementos que constituyen, esfuerzo físico y mental empleados para la elaboración, directamente involucrados en la construcción de la máquina, se reconoce a estos gastos como los de mayor influencia.

### 5.2.1. ASESORAMIENTO PROFESIONAL

Representa el las recomendaciones, prerequisites y directrices provistas por la empresa auspiciante, guía fundamental para satisfacer las necesidades iniciales del proyecto como para obtener un producto de calidad objetivo.

**Tabla 5.2**

**Costos de asesoramiento profesional directo.**

ASESORAMIENTO PROFESIONAL				
CARGO	NOMBRE	HORAS	COSTO HORA USD	TOTAL USD
DIRECTOR DEL PROYECTO -EMPRESA AUSPICIANTE	ING. IVÁN CAMPOS	100	20	2000
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>20</b>	<b>2000</b>

### 5.2.2. DISEÑO E INGENIERÍA

Son los gastos correspondientes al estudio, diseño Mecatrónico, diseño mecánico, diseño electrónico, levantamiento de planos mecánicos, eléctricos, modelación 3D de partes y piezas, cálculos y análisis de elementos finitos, selección de elementos estándar mecánicos, eléctricos y de sujeción, acondicionamiento de señales de control , programación de automatización y control del molino, montaje y pruebas de funcionamiento entre otras actividades de ingeniería.

**Tabla 5.3**

**Costos de diseño e ingeniería.**

DISEÑO E INGENIERÍA				
CARGO	NOMBRE	HORAS	COSTO HORA USD	TOTAL USD
RESPONSABLE DEL PROYECTO	MARCO GODOY	800	2.5	2800
<b>TOTAL</b>		<b>800</b>	<b>2.5</b>	<b>2800</b>

### 5.2.3. MATERIA PRIMA DIRECTA Y COSTOS DE FABRICACIÓN

Estos costos representan los recursos materiales necesarios para la producción, estos formaron partes y piezas como producto terminado de la construcción del molino automático triturador de plástico; conocidos también como elementos o materiales sobre los cuales se ejerce una labor y sufren un proceso de transformación en productos terminados.

#### **Fórmulas de costos**

Para el cálculo de costos se utilizan algunas fórmulas que combinan los diferentes elementos de los costos:

#### **Costo Primo**

$MP + MOD$

#### **Costo de Conversión**

$MOD + CIF$

#### **Costo de Producción**

$MP + MOD + CIF$

#### **Costo Total**

$CP + \text{Gastos Administrativos} + \text{Gastos Operativos}$

#### **Donde:**

MP: Materia prima

MOD: Mano de obra directa

CIF: Costos indirectos de fabricación

CP: Costo de producción

CT: Costo total



Tabla 5.4

## Costos de materia prima y fabricación. .

MATERIA PRIMA REQUERIDA													
Nro.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (Kg)	TIEMPO (horas)	COSTOS (USD)								
					MP	MOD	CIF	COSTO PRIMO	COSTO DE CONVERSIÓN	COSTO DE PRODUCCIÓN CP	GASTOS ADMINISTRATIVOS	GASTOS OPERATIVOS	COSTO TOTAL CT
1	SISTEMA DE MOLIENDA												
1.1	EJE	ASTM A 240- AISI 304	4.8	4	70	16	10	86	26	96	19.2	19.2	134.4
1.2	PORTA CUCHILLA	ASTM A131	2.91	24	50	96	20	146	116	166	33.2	33.2	232.4
1.3	CUCHILLAS GIRATORIAS	ASTM A681 - AISI D2	0.89	2.5	45	10	5	55	15	60	12	12	84
1.4	CUCHILLAS FIJAS	ASTM A681 - AISI D2	0.92	2.5	30	10	5	40	15	45	9	9	63
1.5	CAJA PLANCHAS LA TERALES, FRENTE Y POSTERIOR	ASTM A131	27.5	8	140	32	25	172	57	197	39.4	39.4	275.8
1.6	SOPORTES PARA CUCHILLA FIJA	ASTM A131	1	1.5	15	6	10	21	16	31	6.2	6.2	43.4
1.7	TAMIZ	ASTM A 240- AISI 304	0.6	2	30	8	15	38	23	53	10.6	10.6	74.2
2	TOLVA DE ALIMENTACIÓN												
2.1	TOLVA	ASTM A653	2.9	6	30	24	15	54	39	69	13.8	13.8	96.6
2.2	BISAGRA	ASTM A36	0.4	2	20	8	5	28	13	33	6.6	6.6	46.2
2.3	SEGURO TIPO MARIPOSA	ASTM A36	0.2	1	10	4	5	14	9	19	3.8	3.8	26.6
2.4	APOYO	ASTM A36	0.2	1	12	4	5	16	9	21	4.2	4.2	29.4
2.5	SOPORTE PARA SENSOR PRESENCIA	ASTM A36	0.1	1	5	4	5	9	9	14	2.8	2.8	19.6
3	TOLVA DE DESCARGA												
3.1	TOLVA	ASTM A653	6.21	6	30	24	15	54	39	69	13.8	13.8	96.6
3.2	COMPUERTA DE CONTROL	ASTM A653	0.2	2	20	8	5	28	13	33	6.6	6.6	46.2
3.3	BANDEJA DE DESCARGA	ASTM A653	0.4	1	20	4	5	24	9	29	5.8	5.8	40.6
4	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA												
4.1	POLEA CONDUCCIDA	ALUMINIO	0.8	1	5	4	5	9	9	14	2.8	2.8	19.6
4.2	POLEA MOTRIZ	ALUMINIO	0.4	1	5	4	5	9	9	14	2.8	2.8	19.6
4.3	CUÑA EJE MOTOR	AISI 1045	0.1	1	10	4	5	14	9	19	3.8	3.8	26.6
4.4	CUÑA EJE ROTOR	AISI 1045	0.1	1	10	4	5	14	9	19	3.8	3.8	26.6

CONTINÚA→

5 CARCASA PROTECTORA TOTAL													
5.1	TAPA LATERAL DERECHA	ASTMA653	5	3	25	12	10	37	22	47	9.4	9.4	65.8
5.2	TAPA LATERAL IZQUIERDA	ASTMA654	5.2	3	25	12	10	37	22	47	9.4	9.4	65.8
5.3	TAPA FRONTAL	ASTMA655	4	3	25	12	10	37	22	47	9.4	9.4	65.8
5.4	SOPORTES PARA BOTONERA	ASTMA656	0.1	1	15	4	5	19	9	24	4.8	4.8	33.6
6 ESTRUCTURA SOPORTE													
6.1	BASE MOTOR	ASTMA36	7.8	3	40	12	10	52	22	62	12.4	12.4	86.8
6.2	BASE PARA SISTEMA DE MOLIENDA	ASTMA36	37.3	2	25	8	10	33	18	43	8.6	8.6	60.2
6.3	APOYOS PARA CARCASA PROTECTORA	ASTMA36	0.2	1	15	4	5	19	9	24	4.8	4.8	33.6
6.4	SISTEMA TEMPLADOR MOTOR	ASTMA36	0.1	2	15	8	5	23	13	28	5.6	5.6	39.2
7 CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN													
7.1	PLACAS PCB (ALIMENTACIÓN, CONTROL, SENSORES Y ACTUADORES)	PROFESIONALES	0.3	24	500	96	20	596	116	616	123.2	123.2	862.4
<b>TOTAL</b>			<b>110.63</b>	<b>110.5</b>	<b>1242</b>	<b>442</b>	<b>255</b>	<b>1684</b>	<b>697</b>	<b>1939</b>	<b>387.8</b>	<b>387.8</b>	<b>2714.6</b>

### 5.2.4. COSTOS DE ENSAMBLAJE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Estos costos representan la mano de obra inmersa en el montaje y ensamblaje del molino.

**Tabla 5.5**

**Costos de ensamblaje.**

MONTAJE Y ENSAMBLAJE			
MANO DE OBRA Y REMUNERACIONES			
DETALLE	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
REMUNERACIONES A PERSONAL DE TALLER	2	650	1300
REMUNERACIONES A PERSONAL DE MANTENIMIENTO	1	400	400
<b>TOTAL USD</b>		<b>1050</b>	<b>1700</b>

### 5.2.5. COSTOS DE ELEMENTOS ESTÁNDAR Y DE SUJECIÓN

**Tabla 5.6**

**Costos de elementos estándar y de sujeción.**

Nr o.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL/MARCA	TIPO/MODELO	CANT	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	PERNOS M14, ARANDELA Y TUERCA	ASTM A574	HEXAGONAL	8	1.3	10.4
2	PERNOS M10, ARANDELA Y TUERCA	ASTM A574	HEXAGONAL	6	0.9	5.4
3	PERNOS M8, ARANDELA Y TUERCA	ASTM A574	HEXAGONAL	30	0.7	21
4	PERNOS M6, ARANDELA Y TUERCA	ASTM A574	HEXAGONAL	20	0.6	12
5	BANDA EN V	CAUCHO	A64	2	8	16
6	POLEA CONDUCTIDA	ALUMINIO	12 plg	1	35	35
7	POLEA MOTRIZ	ALUMINIO	3 plg	1	20	20
8	VENTILADOR PARA TOLVA	QUALITY	110 V	1	20	20
9	LUCES PARA TOLVA	EDIMCA	LED	1	25	25
10	SENSOR PESO	STRAIN GAUGE	GALGA EXT.	1	150	150
11	INTERRUPTOR DE PRESENCIA	SENSOR	FINAL DE CARRERA	1	50	50
12	SENSOR ÓPTICO PARA CONTROL DE ATASCO	FAIRCHILD	QRD1114	1	100	100
13	SERVOMOTOR	HD	HD3001HB	1	40	40
	MOTOR AC TRIFASICO 220V	WEG	AC WEG W22	1	500	500
14	ELEMENTOS PASIVOS (CABLE, PANTALLA LCD, ELEMENTOS PASIVOS, ALARMA, ETC)	VARIOS	VARIOS	1	400	400
15	CABLE TRIFASICO Y CONECTOR	VARIOS	VARIOS	1	30	30
16	TOMA CORRIENTE Y CONEXIÓN 110V	VARIOS	VARIOS	1	20	20
	<b>TOTAL</b>				<b>1401.5</b>	<b>1454.8</b>

Tabla 5.7

Resumen total de costos.

<b>RESUMEN</b>		
<b>Nro.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	COSTOS MISCELÁNEOS	860
2	MANO DE OBRA Y ASESORAMIENTO INDIRECTO	1000
3	ASESORAMIENTO PROFESIONAL	2000
4	DISEÑO E INGENIERÍA	2800
5	MATERIA PRIMA DIRECTA Y COSTOS DE FABRICACIÓN	2224.6
6	ENSAMBLAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	1700
7	ELEMENTOS ESTÁNDAR Y DE SUJECIÓN	2714.8
<b>TOTAL</b>		<b>13299.4</b>

### 5.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Un desarrollo económico exitoso depende del uso racional de los recursos ambientales y la minimización de los impactos adversos de los proyectos de desarrollo.

#### 5.3.1. MINIMIZACIÓN DE COSTOS

Se describen los criterios de evaluación:

- Ahorro de espacio
- Menor costo final
- Mayor capacidad
- Control de peso
- Ergonomía y aspecto visual

A continuación se detallan las características principales de los molinos para plástico existentes en el mercado internacional junto con las características del molino fabricado.

**Tabla 5.8**

**Comparación con molinos del mercado internacional. Fuente varios internet y propia**

PAIS	FABRICANTE	MODELO	CAPACIDAD	DIMENSIONES	CONTROL DE PESO	COSTO CIF
SUDÁFRICA	GRANULATOR BLADE MAN	WS300	50-100	1000x720x1290	NO	14700
MÉXICO	MAQUINARIA INDUSTRIAL CHAVITO	CHAV	---	1000x700x1400	NO	12500
MÉXICO	MACCAD	MAC 5	20-60	420x860x1500	NO	12500
ECUADOR	OTNISA	OT100	40-70	620x820x1500	SI	13300

De la comparación realizada se puede establecer como ventajas del molino fabricado, presenta un mayor ahorro de espacio ya que sus dimensiones son menores. Su costo final es superior a los demás comparados, esto se debe al sistema de control de peso implementado y es considerado como una ventaja competitiva y característica única frente de los demás.

El diseño es ergonómico orientado a las actividades abordo de las embarcaciones con la finalidad de adecuar el equipo al entorno de trabajo, limitaciones y necesidades de sus usuarios, buscando optimizar su seguridad y confort.

### 5.3.2. COSTO UTILIDAD

La utilidad del proyecto se reflejará en el uso de este molino para el fin que fue fabricado, cumplido un periodo de funcionamiento del equipo se evidenciará la utilidad en la calidad del trabajo que realizan los tripulantes a bordo, ya no existirán quejas referentes a la acumulación de desechos y sus actividades diarias serán más eficientes.

### **5.3.3. COSTO EFECTIVIDAD**

Este análisis permite evaluar los costos y la intervención del proyecto en una visión micro, es decir la efectividad directa del proyecto a bordo de un crucero.

El costo total de fabricación de un molino para plásticos con sistema de control de peso es de aproximadamente 13300 USD, este valor frente a los grandes beneficios que se presentan como la reducción de tamaño de los desechos sólidos, en este caso botellas plásticas, brindando un espacio adecuado para las actividades regulares de la tripulación evitando consecuencias desastrosas en contaminación ambiental.

Otro beneficio interno para la embarcación será el registro de la cantidad de botellas plásticas trituradas reflejadas en peso de producción, esto permitirá cumplir a cabalidad uno de los objetivos principales de la calidad y buenas prácticas en el mar, el tratamiento adecuado de desechos sólidos a bordo.

### **5.3.4. COSTO BENEFICIO**

Este análisis permite evaluar los costos y la intervención del proyecto en una visión macro. Para analizar los costos y beneficios de la solución propuesta, se deberá estimar el costo del problema. En proyectos de producción, los costos y beneficios del problema son fáciles de medir, pero en el caso de beneficio a los bienes ambientales no tienen un precio de referencia en el mercado.

Estos costos y beneficios de muy difícil cuantificación se les denominan como “intangibles”.

“El valor de un proyecto no está dado sólo por el incremento de la riqueza expresada en términos monetarios, sino que por los efectos indirectos que pueden tener sobre el bienestar de las personas o para el medio ambiente.” (Sapag, 2013)

Por ello cuán importante es definir con la mayor precisión y objetividad quiénes son los beneficiarios del proyecto. Bajo la visión macro del proyecto, el beneficio es ambiental y social, demostrando que mediante el uso de maquinaria para la reducción de los desechos sólidos plásticos directamente en las embarcaciones, se realizarán varias etapas del proceso de reciclaje, transformando este proceso en beneficios ambientales de prevención a la contaminación ambiental en el mar, consecuencia de esto un aporte de prevención al calentamiento global un fenómeno ambiental de afectación social y general para la vida.

El objetivo de la gerencia del proyecto es cumplir la misión de la organización en la forma más impresionante y asombrosa posible, optimizando recursos y basado en valores y principios fundamentales de la vida humana.

Bajo este principio la empresa auspiciante OTNISA S.A. promueve a la industria naviera la aplicación de competencias ambientales y la gestión adecuada de desechos sólidos, incentiva también a una consciencia de prevención a la contaminación ambiental y a desarrollar un pensamiento de preservación integral alineado al modelo constitucional del Buen Vivir.

La empresa OTNISA S.A. da gran paso en la clasificación de Empresas líderes sociales frente a la problemática ambiental; un enfoque innovador, integral y técnico a través de desarrollo de proyectos de investigación y propuestas claras a problemas navales e industriales orientados al desarrollo sustentable.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentan las conclusiones finales del desarrollo del proyecto y sus recomendaciones para el correcto funcionamiento a bordo de las embarcaciones obteniendo el mayor provecho de esta estrategia de prevención a la contaminación ambiental.

#### **6.1. CONCLUSIONES**

Se diseñó y construyó un molino que triture las botellas plásticas con una capacidad máxima de 63 kg/h, se logró reducir un volumen de 5 metros cúbicos de botellas plásticas hasta 2 metros cúbicos de hojuelas de PET triturado con dimensiones promedio 8.76x8.03 mm. Comparándolo con equipos similares en el mercado se determinó que el molino de cuchillas es el más económico y eficiente para utilizarlo en la reducción de tamaño de las botellas plásticas desechables a bordo de las navieras.

El uso de este equipo permitirá involucrar a las embarcaciones en las primeras etapas del reciclaje de plásticos a bordo, atacando al problema de la contaminación ambiental en el mar, desde la producción misma del desecho y mediante la implementación de un control de peso para este molino provee a la embarcación de insumo importante para el análisis de responsabilidad ambiental y gestión adecuada de desechos sólidos que



periódicamente realizan las embarcaciones y a su vez brinda una solución al problema de espacio.

Finalmente se puede concluir que el presente proyecto logra promover la política pública y privada en materia de responsabilidad ambiental, así como el desarrollo de planes y proyectos guiados por la normativa nacional e internacional para prevenir y disminuir los impactos nocivos de la contaminación ambiental.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda optimizar los materiales en la construcción del molino, esto permitirá un ahorro económico y energético, considerando que el sobredimensionamiento de las partes y piezas del sistema de cuchillas generó un consumo adicional de corriente medido en vacío de 3 amperios.

Se recomienda un ángulo de cuña para cuchilla fija entre 65° y 80°; y un ángulo de cuña para cuchilla giratoria entre 30° y 45°, esto permitirá obtener los mejores resultados en el corte del plástico.

Se recomienda para futuros trabajos diseñar y construir un sistema de alimentación automática del molino, esto permitirá una alimentación de botellas plásticas de forma continua y controlada de acuerdo a la cantidad de plástico triturado y el material presente en la tolva de alimentación.

Se recomienda también la utilización de sistemas de sellado para las fundas que se utilicen para el almacenamiento del plástico triturado. Se recomienda clasificar las botellas plásticas a bordo y realizar un prelavado de las mismas a fin de evitar que ingresen con líquidos al interior de la cámara de molienda, esto permitirá realizar el mantenimiento y afilado de cuchillas de acuerdo a lo descrito en el manual de operación.

## CAPÍTULO VII

### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Constitucional. (2011). *Ley de Fomento Ambiental*. Quito.
- Asamblea Nacional. (2001). *Ley Orgánica de Régimen Especial para la conservación y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Galápagos LOREG*. Quito.
- Asamblea Nacional. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi.
- Asamblea Nacional. (2008). *Libro VI de la Calidad Ambiental*. Quito.
- Ashby, M., & Jones, D. (2012). *Engineering Materials, An introduction to properties, Applications and design 4th Ed*. Estados Unidos : Elsevier.
- Auditorías y Consultorías. (2013). *Automatizando SAS*. Obtenido de <http://www.automatizando.com.co/>
- Bagad. (2008). *Introducción al Diseño Mecatrónico*.
- C.LTDA, P. y., & Galápagos Explorer II, M. (2012). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EX-POST POR LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA EMBARCACION M/N GALAPAGOS EXPLORER II*. Guayaquil.
- Cantos, M. (2005). *Tesis de Grado*. Guayaquil.
- Casa Cohabitada. (2012). [www.casaecohabitada.blogspot.com](http://www.casaecohabitada.blogspot.com). Obtenido de [www.casaecohabitada.blogspot.com](http://www.casaecohabitada.blogspot.com) y propia
- CEMPRE. (s.f.). *Compromiso Empresarial para el reciclaje*.

- Centro Empresarial de plástico. (2000). *Enciclopedia del Plástico 2000*.
- CEPAL. (2008). *www.eclac.org*. Obtenido de [www.eclac.org/publicaciones/xml/6/4496/duran.htm](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/4496/duran.htm)
- CEPAL. (Octubre de 2011). *www.eclac.org*. Obtenido de [www.eclac.org/publicaciones/xml/6/4496/duran.htm](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/4496/duran.htm)
- CLIA. (2012). *CLIA Industry Update*. Atlanta.
- Congreso Nacional. (1998). *Ley Especial de Galápagos*. Quito.
- CPPS. (2012). *Prevención y contaminación*.
- CRIBA. (2013). *Cinética de Sólidos*. Obtenido de <http://www.criba.edu.ar>
- Cruise Lines International Association. (2012). *Crecimiento de pasajeros. 2012 Industry Update, 4*.
- Definición.mx. (2014). *Definición.mx*. Obtenido de <http://definicion.mx/sustentabilidad/#ixzz37Uhmf6vW>
- deutsche wirtschafts nachrichten. (octubre de 2013). Obtenido de <http://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de>
- DG Enviroment Alert Service. (2011). *Science for Enviroment Policy*. Obtenido de [www.ec.europa.eu.com: http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/Evaluation\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/Evaluation_report.pdf)
- Diccionario Motorgiga. (2013). *Motorgiga*. Obtenido de <http://diccionario.motorgiga.com>
- DIP México. (2013). *Máquinas de Extrusión y Soplado*. Obtenido de <http://www.dip.com.mx/plastiblow.html>
- DIPAC. (2013). *Catálogo de Aceros*.
- DORF , R. C., & BISHOP, R. H. (2005). *Sistemas de Control Moderno 10ma Ed*. Pearson Education.
- Durán, A. (2004). *Informe general sobre trituración en la industria de inyección de plásticos*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/8174-Informe-general-sobre-trituracion-en-la-industria-de-inyeccion-de-plasticos.html>
- EPAM S.A. (2012). *Aprovechamiento de residuos plásticos* .

- ERDWICH. (2013). *Erdwich*. Obtenido de <http://www.erdwich.com>
- Europec. (2013). *Eurotec*. Obtenido de [http://www.eurotec-ep.com/s/1404/i/Green\\_PT74\\_GR20\\_BK002\\_XA20.pdf](http://www.eurotec-ep.com/s/1404/i/Green_PT74_GR20_BK002_XA20.pdf)
- Fuente Cemsa-Renom. (2010). Cuñas y Chavetas.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. (1997). *Mechanics of Materials 4th Ed.* PWS Publishing Co.
- Getión de Termoplásticos SLU. (2013). *Gerter*. Obtenido de <http://www.gester.es/esp/index.php>
- Gobierno Autónomo de San Cristobal. (2002). *Ordenanza Municipal que reglamenta la gestión integral de residuos sólidos del Cantón San Cristobal*.
- Gobierno Autónomo de San Cristobal. (2011). *Ordenanza para la Gestión Integral de Desechos en el Cantón de Santa Cruz*. Santa Cruz.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Gobierno de Santa Cruz. (martes de septiembre de 2011). [www.santacruz.fundargalapagos.org](http://www.santacruz.fundargalapagos.org). Obtenido de <http://santacruz.fundargalapagos.org/index.php/historia-del-inicio-del-reciclaje>
- Gobierno de Uruguay. (2011). *Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Montevideo.
- Gobierno Municipal Santa Cruz. (2003). *Reglamento de manejo de desechos*. Galápagos.
- Gobierno Provincial de Galápagos. (2011). *REGLAMENTO ESPECIAL DE TURISMO EN AREAS NATURALES PROTEGIDAS*. Galápagos.
- INDURA S.A. (2013). Catálogo de Soldadura.
- Instituto Villalba Hervas. (2010). *Instituto Villalba Hervas*. Obtenido de <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/mediomambiente-plasticos.pdf>
- ISSUU Publicaciones. (2012). *E308*. Obtenido de <http://issuu.com/>
- IVÁN BOHMAN. (2013). Catálogo Aceros IVAN BOHMAN C.A.
- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automático 7ma Ed.* Prentice Hall.

- Microchip. (2014). Información PIC.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Menco: PEARSON EDUCATION.
- NI. (2013). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7138/es/>
- NORTON, R. (2004). *Design of Machinery 3th Ed*. New York: McGraw-Hill.
- NTN. (2011). *Catálogo de Chumaceras*.
- OCEANA. (2010). Generación de Residuos abordo de un crucero.
- OMI. (1968). *Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias*. Londres.
- OPTIBELT. (2012). Catálogo de Bandas.
- Organización El Reciclaje . (2013). *El Reciclaje*. Obtenido de <http://elreciclaje.org>
- Organización Marítima Internacional OMI. (1973). *Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques*.
- Prospector. (2013). *ides*. Obtenido de [http://www.ides.com/property\\_descriptions/ISO180.asp](http://www.ides.com/property_descriptions/ISO180.asp)
- Quiminet. (2007). *Quiminet.com*. Obtenido de <http://www.quiminet.com/articulos/el-proceso-de-extrusion-del-plastico-22521.htm>
- Quimnet. (2011). *www.quiminet.com*. Obtenido de <http://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-molinos-de-cuchillas-en-el-reciclaje-de-plastico-2588566.htm>
- Ravenet Catalán, J. (1992). *Silos Volume 1*. España: IMGESA.
- Red Nacional de investigadores Escolar. ( 2012). *Científicos de la Basura*. Obtenido de <http://www.cientificosdelabasura.cl>
- Sapag, C. N. (2013). *Valor de un Proyecto*.
- Schneider Electric. (2013). Catálogo elementos eléctricos.
- Shigley, J. (2006). *Diseño en Ingeniería Mecánica 8va edición*. México: McGraw-Hill.

- Solarbotics. (2014). *Elementos Electrónicos*. Obtenido de [www.solarbotics.com](http://www.solarbotics.com)
- Soluciones Industriales y Soldadura. (2008). *Su Casa de Soldadura*. Obtenido de <http://solysol.com.es/>
- Taiwantrade. (2011). *www.turnkey.taiwantrade.com.tw*. Obtenido de <http://turnkey.taiwantrade.com.tw>
- Tamiya USA. (2014). Microswitch. <http://www.tamiyausa.com/items/geniuseries-educational-kits-50/elecraft-series-41000/5a-micro-switch-75016>.
- Tecmahplast S.A.C. (2010). *www.tecmahplast.com/*. Obtenido de <http://www.tecmahplast.com/downloads.php?id=1687217&dld=0&fld=85194>.
- Texas Instruments. (2014). Datasheet LM2907.
- TINELOK. (2013). *Catálogo de Pernos*. Obtenido de [www.Tinelok.com](http://www.Tinelok.com)
- Tomas en Línea. (2013). *Tomas en Línea Ciencia y Tecnología*. Obtenido de <http://tomasenlinea.com>
- TPCC ORG. (2012). *Taiwan Turnkey Project Association*. Obtenido de <http://www.tpcc.org.tw/index-english.asp>
- TUBISA SAC. (2013). Catálogo de aceros.
- Universidad de Buenos Aires. (2011). <http://materias.fi.uba.ar/>. Obtenido de <http://www.fi.uba.ar/node/981>: [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05\\_Apunte%20Trituracion.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf)
- VEOVERDE. (2012). *www.veoverde.com*. Obtenido de <http://www.veoverde.com/2012/12/pobre-fauna-marina-sufre-enormemente-por-la-irresponsable-contaminacion/>
- VOLTO. (2010). Catálogo de Termico.
- Waganoff, N. P. (1956). *Trituración, Molienda y Separación de Minerales*. Alsina.
- ZERMA Recycling & Granulators Technology. (2013). *AMIS*. Obtenido de [www.amis-gmbh.de](http://www.amis-gmbh.de)

# **Anexo A 1**

## **TALBAS DE DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN**

**Anexo A 2**  
**PLANO GENERAL**  
**DIMENSIONADO**



# **Anexo A 3**

## **IMÁGENES DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

# **Anexo A 4**

## **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

# **Anexo A 5**

## **ENCUESTAS**

# **Anexo A 6**

## **GLOSARIO**

# **Anexo A 7**

## **CARTA DE CONFORMIDAD**