



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE GRADO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE RESTOS ALIMENTICIOS Y FARMACÉUTICOS FUERA DE ESPECIFICACIÓN EN ENVASES TETRA PACK Y RECIPIENTES PLÁSTICOS”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

RESPONSABLES:

LUIS RICARDO PORTALANZA RUEDA

IVÁN EDUARDO RODRÍGUEZ SALAZAR

DIRECTOR: ING. EDWIN OCAÑA

CODIRECTOR: ING. EMILIO TUMIPAMBA

SANGOLQUÍ, JUNIO DEL 2013

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

A U T O R I Z A C I Ó N

Nosotros:

IVÁN EDUARDO RODRÍGUEZ SALAZAR y

LUIS RICARDO PORTALANZA RUEDA

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE RESTOS ALIMENTICIOS Y FARMACÉUTICOS FUERA DE ESPECIFICACIÓN EN ENVASES TETRA PACK Y RECIPIENTES PLÁSTICOS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 19 de Junio del 2013.

IVÁN EDUARDO RODRÍGUEZ SALAZAR

C.I.: 172174889-3

LUIS RICARDO PORTALANZA RUEDA

C.I.: 0603509522

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE RESTOS ALIMENTICIOS Y FARMACÉUTICOS FUERA DE ESPECIFICACIÓN EN ENVASES TETRA PACK Y RECIPIENTES PLÁSTICOS” fue realizado en su totalidad por Luis Ricardo Portalanza Rueda e Iván Eduardo Rodríguez Salazar, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Edwin Ocaña

DIRECTOR

Ing. Emilio Tumipamba

CODIRECTOR

Sangolquí, 19 de Junio del 2013

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE RESTOS ALIMENTICIOS Y FARMACÉUTICOS FUERA DE ESPECIFICACIÓN EN ENVASES TETRA PACK Y RECIPIENTES PLÁSTICOS”

ELABORADO POR:

LUIS RICARDO PORTALANZA RUEDA

IVÁN EDUARDO RODRÍGUEZ SALAZAR

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ING. ÁNGELO VILLAVICENCIO

DIRECTOR DE CARRERA

SANGOLQUÍ, 19 DE JUNIO DEL 2013

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a Dios por su guía e iluminación.

A mí Madre Selma Salazar y mí Padre Jaime Rodríguez por brindarme su amor, enseñanzas, apoyo, guía y consejos incondicionales para prevalecer en cada obstáculo y superar cada prueba en mí camino.

A mis hermanos Myriam y Jaime por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

A Jaime Muñoz por su guía, ayuda, paciencia y consejos que me ha brindado durante todo este tiempo.

A mí novia Marcía por el amor, el cariño y el apoyo que me ha brindado a lo largo de este proyecto.

Iván Rodríguez S.

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de grado, a Dios por otorgarme la vida y el apoyo incondicional de mi familia que es pilar fundamental en mi formación profesional y espiritual.

A mi padre y gran amigo Marco Portalanza por ser siempre mi ejemplo a seguir, un profesional íntegro con valores y principios que con amor y paciencia me ha motivado y ha sido mi guía en momentos difíciles.

A mi madre María de Lourdes Rueda por compartirme su forma de ver el futuro de manera emprendedora y siempre luchar por los sueños aunque el camino sea duro y empinado.

A mis queridos hermanos Marco y Daysí Portalanza por sus sonrisas contagiosas que llenan de alegría mi vida.

Ricardo Portalanza R.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.

Agradezco de una manera muy especial al Ing. Edwin Ocaña (Director) y al Ing. Emilio Tumipamba (Codirector) por su excelente guía y dirección en este Proyecto.

Al Ing. Jaime Muñoz, Ing. Cesar Melendez y La Empresa Hazwat por haberme brindado la oportunidad de superarme y conseguir mis metas.

A mis estimados amigos y compañeros de clases Henry Moya, Tnte. Washington Rosero, Giovanni Aguais, Henry Nuñez, Ricardo Portalanza, Andrés Paltán y muchos más, quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos.

Iván Rodríguez S.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la fortaleza de afrontar los momentos difíciles y superar las adversidades presentadas a lo largo de la realización del presente proyecto de grado.

A mis tutores de proyecto Ing. Edwin Ocaña e Ing. Emilio Tumipamba por el tiempo invertido y las enseñanzas compartidas que me han permitido desarrollar habilidades importantes para mi futuro profesional.

A mis padres Marco y Daysí por sus cuidados amorosos en los momentos difíciles, especialmente cuando me encontraba delicado de salud.

De manera muy especial al Ing. Jaime Muñoz, Ing. Cesar Melendez y la empresa HAZWAT CRA por su apoyo imprescindible a lo largo del proyecto desarrollado.

Agradezco a mis amigos de facultad en especial a Ivan Rodríguez y Giovanni Aguais por todos los momentos vividos y el coraje compartido para mantener la cabeza arriba y luchar con más fuerza para llegar a la meta.

A mis hermanos y amigos que siempre estuvieron allí en momentos claves con sus palabras de aliento.

Ricardo Portalanza R.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	III
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	IV
DEDICATORIA	V
LA PRESENTE TESIS SE LA DEDICO A DIOS POR SU GUÍA E ILUMINACIÓN.....	V
A MI MADRE SELMA SALAZAR Y MI PADRE JAIME RODRÍGUEZ POR BRINDARME SU AMOR, ENSEÑANZAS, APOYO, GUÍA Y CONSEJOS INCONDICIONALES PARA PREVALECER EN CADA OBSTÁCULO Y SUPERAR CADA PRUEBA EN MÍ CAMINO.....	V
A MIS HERMANOS MYRIAM Y JAIME POR SU APOYO Y CONFIANZA EN TODO LO NECESARIO PARA CUMPLIR MIS OBJETIVOS COMO PERSONA Y ESTUDIANTE.....	V
A MI NOVIA MARCIA POR EL AMOR, EL CARIÑO Y EL APOYO QUE ME HA BRINDADO A LO LARGO DE ESTE PROYECTO.	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
INDICE DE TABLAS	XVI
INDICE DE FIGURAS	XVII
FIGURA 1.1 TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL POR CANTONES 2	XVII
FIGURA 1.2 ESQUEMA MÁQUINA TRITURADORA DE DESECHOS 3	XVII
FIGURA 1.3 NAVE PRINCIPAL Y OFICINAS 4	XVII
FIGURA 1.4 BODEGA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL 5	XVII
FIGURA 1.5 EQUIPO DE GASIFICACIÓN TERMOQUÍMICA CON LAVADOR DE GASES 6	XVII
FIGURA 1.6 ÁREA DE BIORREMEDIACIÓN Y DE SECADOS DE LODO 6	XVII
FIGURA 1.8 MAPA ORGANIZACIONAL HAZWAT-CRA 8	XVII
FIGURA 1.9 OFICINAS, ÁREA DE ALMACENAMIENTO, ÁREA DE MÁQUINAS, MUELLE DE DESCARGA 9	X
VII	
FIGURA 1.10 RESTOS EN BODEGA DE ALMACENAMIENTO 13	XVII
FIGURA 2.1 MÉTODOS DE TRITURACIÓN 21	XVII
FIGURA 2.2 MÉTODOS DE TRITURACIÓN DE ACUERDO AL TAMAÑO MÁXIMO DE ALIMENTACIÓN Y MEDIO DEL PRODUCTO	24
FIGURA 2.3 TRITURADORA DE MANDÍBULA 27	XVII
FIGURA 2.4 TRITURADOR GIRATORIO 28	XVII

XVII

FIGURA 2.5	ÁNGULO DE TOMA DE UNA TRITURADORA DE CILINDROS	29	.....	XVII
FIGURA 2.6	ESQUEMA TRITURADOR DE RODILLOS	30	.....	XVII
FIGURA 2.7	ESQUEMA TRITURADORA DE MARTILLOS	31	.....	XVII
FIGURA 2.8	ELEMENTOS Y GEOMETRÍA BÁSICA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE	41	.....	XVII
FIGURA 3.1	GENERAL DE LA MÁQUINA	43	.....	XVII
FIGURA 3.2	DIMENSIONAMIENTO GENERAL DE LA MÁQUINA	44	.....	XVII
FIGURA 3.3	ESQUEMA COMPUERTA	44	.....	XVII
FIGURA 3.4	ESQUEMA TOBERA	46	.....	XVII
FIGURA 3.6	VISTA SUPERIOR DE LAS CUCHILLAS EN LA POSICIÓN INICIAL DE CORTE	48	.....	XVII
FIGURA 3.7	ESQUEMA CINEMÁTICO DE LOS ELEMENTOS DE TRITURACIÓN	51	.....	XVII
FIGURA 3.8	PARED DE PET SOMETIDA A CARGA DE IMPACTO	52	.....	XVII
FIGURA 3.9	GEOMETRÍA CUCHILLA Y SU RADIO DE CORTE	55	.....	XVII
FIGURA 3.10	ESQUEMA DEL JUEGO DE CUCHILLAS TRITURADORAS	56	.....	XVII
FIGURA 3.11	INSERCIÓN DE FUERZAS EN LA CUCHILLA	58	.....	XVII
FIGURA 3.12	ESQUEMA DE ESFUERZO DE VON MISES MÁXIMO DE ACUERDO A LA COLORACIÓN EN LA CUCHILLA		.....	59
FIGURA 3.13	ANILLO SEPARADOR	60	.....	XVII
FIGURA 3.14	ESQUEMA EJE DE CUCHILLAS	60	.....	XVII
FIGURA 3.15	ESQUEMA DE FUERZAS EN EL EJE DE CUCHILLAS (INVENTOR 2012)	61	.....	XVII
FIGURA 3.18	FUERZAS Y REACCIONES EN EL PLANO YZ (INVENTOR 2012)	67	.....	XVII
FIGURA 3.19	DIAGRAMA DE FUERZAS DE CORTE EN EL PLANO YZ (INVENTOR 2012)	68	.....	XVII
FIGURA 3.21	FUERZAS Y REACCIONES EN EL PLANO XZ (INVENTOR 2012)	69	.....	XVII
FIGURA 3.23	DIAGRAMA DE FUERZAS DE CORTE EN EL PLANO XZ (SAP 2000)	70	.....	XVIII
FIGURA 3.24	DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR PLANO YZ (INVENTOR 2012)	71	.....	XVIII
FIGURA 3.26	DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR PLANO XZ (INVENTOR 2012)	72	.....	XVIII
FIGURA 3.28	DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR MÁXIMO (INVENTOR 2012)	73	.....	XVIII
FIGURA 3.30	DIAGRAMA DE DEFLEXIÓN (INVENTOR 2012)	74	.....	XVIII
FIGURA 3.31	DIAGRAMA DEL ESFUERZO FLUCTUANTE	76	.....	XVIII
FIGURA 3.33	DIMENSIONES DE LA CHAVETA	81	.....	XVIII
FIGURA 3.34	DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA CHAVETA	81	.....	XVIII
FIGURA 3.35	PLANO DE CORTE Y PLANOS DE APLASTAMIENTOS	83	.....	XVIII
FIGURA 3.36	REPRESENTACIÓN DEL RODAMIENTO	84	.....	XVIII

FIGURA 3.37 ESQUEMA ALOJAMIENTO DE RODAMIENTO	89	.....XVIII
FIGURA 3.38 ESTRUCTURA DEL BASTIDOR	94	.....XVIII
FIGURA 3.39 CARGA DEBIDO AL PESO DE LA TOBERA Y CUBIERTA	95	.....XVIII
FIGURA 3.40 CARGAS EJERCIDAS EN LOS COSTADOS DE LA ESTRUCTURA	96	.....XVIII
FIGURA 3.41 CARGAS DEBIDO AL EFECTO DE TRITURACIÓN	97	.....XVIII
FIGURA 3.42 REACCIONES EN LOS APOYOS DE LA ESTRUCTURA EN KGF	98	.....XVIII
FIGURA 3.45 MOMENTOS TORSORES EN LOS ELEMENTOS DEL BASTIDOR	99	.....XVIII
FIGURA 3.46 VISUALIZACIÓN DE ELEMENTOS QUE FALLAN EN LA ESTRUCTURA DEL		.....XVIII
BASTIDO	100	.....XVIII
FIGURA 3.47 FACTOR SEGURIDAD DE CADA ELEMENTO DEL BASTIDOR	101	.....XVIII
FIGURA 3.48 ELEMENTO SOMETIDO A MAYOR COMBINACIÓN DE ESFUERZOS	103	.....XVIII
FIGURA 4.1 DIAGRAMA DE CONTROL DE DOS ARRANQUES DIRECTOS CON INVERSORES DE		.....XVIII
GIRO (10 HP - TRIFÁSICOS)	111	.....XVIII
FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE FUERZA DE DOS ARRANQUES DIRECTOS CON INVERSORES DE GIRO (10 HP -		.....XVIII
TRIFÁSICOS)		112
FIGURA 4.3 BORNERAS PARA CONEXIÓN ELÉCTRICA	113	.....XVIII
FIGURA 4.4 CONTACTOR	114	.....XVIII
FIGURA 4.6 BREAKER	114	.....XVIII
FIGURA 4.7 PULSADOR ROJO TIPO HONGO 40 MM	115	.....XVIII
FIGURA 4.8 SELECTOR	115	.....XVIII
FIGURA 4.9 LUCES PILOTOS	115	.....XVIII
RESUMEN		.....XIX
CAPÍTULO 1		..... 2
INTRODUCCIÓN		..... 2
1.1 ANTECEDENTES		.....2
1.1.1 MANEJO DE DESECHOS EN EL ECUADOR		.....2
1.1.2 PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS		.....3
1.1.2.1 Tratamiento Físico		..... 4
1.1.2.2 Proceso de Trituración		..... 4
1.1.3 HAZWAT-CRA		.....5
1.1.3.1 Infraestructura de la Planta		..... 6
1.1.3.2 Mapa Organizacional		..... 8
1.1.3.3 Distribución de la Planta Hazwat-CRA		..... 9
Ver Anexo A		.....9
La máquina realizará su función en el área de almacenamiento ya que todos los desechos se encuentran en ésta, por lo que la máquina deberá ser móvil y de fácil acceso		.....9
1.1.3.4 Programa de Gestión de Residuos		..... 10

1.1.3.4.1 Operaciones.....	11
1.1.3.4.2 Distribución de los Servicios.....	13
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	15
1.5 ALCANCE	16
CAPÍTULO 2	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 PRINCIPALES PRODUCTOS.....	17
2.1.1 COMPOSICIÓN DEL ENVASE TETRA PACK.....	17
2.1.2 PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES MAS RELEVANTES DEL TETRA- PACK.....	18
2.1.2.1 Propiedades del polietileno de baja densidad (PEBD).....	18
2.1.2.2 Propiedades de la Lámina de Aluminio	18
2.1.2.3 Corrosividad de los principales desechos Farmacéuticos y Alimenticios a triturar	19
2.1.3 TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).....	21
2.1.3.1 Definición 21	
2.1.3.2 Propiedades del PET	21
2.2 TRITURACIÓN	22
2.2.1 DEFINICIÓN	22
2.2.2 CLASES DE TRITURACIÓN.....	22
2.3 PARÁMETROS IMPORTANTES EN LA ELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA	23
2.3.1 GRADO DE REDUCCIÓN.....	23
2.3.2 TAMAÑO DE LA ALIMENTACIÓN.....	24
2.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A TRITURAR	26
2.3.4 INVERSIÓN INICIAL.....	27
2.3.5 COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	27
2.4 PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS	27
2.4.1 TRITURADORA DE MANDÍBULA.....	28
2.4.2 TRITURADORA GIRATORIA	29
2.4.3 TRITURADORA DE RODILLOS.....	30
2.4.4 TRITURADOR DE IMPACTO.....	32
2.5 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	34
2.5.1 MATRIZ DE DECISIÓN EN BASE A LOS PARÁMETROS GENERALES MÁS RELEVANTES.....	34
2.5.1.1 Lista de conjunto de factores	34
2.5.1.2 Criterios de priorización y Ponderación.....	34
2.5.1.3 Valoración de los Factores.....	35
2.5.1.4 Matriz de decisión en base a los parámetros generales	37
2.5.2 MATRIZ DE DECISIÓN EN BASE A LOS PARÁMETROS DE TRABAJO MÁS RELEVANTES.....	37
2.5.2.1 Criterios de Priorización y Ponderación según los Parámetros de Trabajo	38
2.5.2.2 Valoración de los Factores según los Parámetros de Trabajo.....	38
2.5.2.3 Matriz de decisión en base a los parámetros de trabajo.....	39

2.5.3	MATRIZ DE DECISIÓN EN BASE A LOS DIFERENTES TIPOS DE TRITURADORAS DE RODILLOS	39
2.5.3.1	Trituradora de rodillos lisos	39
2.5.3.2	Trituradora de rodillos dentados	40
2.5.3.3	Trituradora de rodillos con cuchillos	40
2.5.3.4	Criterios de Priorización y Ponderación en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos	40
2.5.3.5	Valoración de los Factores en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos 41	
2.5.3.6	Matriz de decisión en base a los parámetros de trabajo	41
2.6	MECÁNICA DE CORTE POR CIZALLAMIENTO	42
CAPÍTULO 3		44
DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA		44
3.1	ANTECEDENTES AL DISEÑO	44
3.1.1	PARAMETROS GENERALES	44
3.1.1.1	Espacio disponible de trabajo	44
3.1.1.2	Capacidad de alimentación	44
3.1.1.3	Componentes Generales	44
3.1.1.4	Geometría y Dimensionamiento	46
3.2	POTENCIA REQUERIDA EN EL MOTOR	49
3.2.1	FUERZA DE CORTE	49
3.2.2	POTENCIA REQUERIDA	51
3.3	ESQUEMA CINEMÁTICO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN	53
3.4	DISEÑO DE ELEMENTOS	54
3.4.1	DETERMINACIÓN DE FUERZAS DE IMPACTO	54
3.4.2	DETERMINACIÓN DE FUERZA DE CORTE	56
3.4.3	DISEÑO DE CUCHILLA	57
3.4.3.1	Dimensiones y Geometría	57
3.4.3.2	Determinación del material de las cuchillas y tratamiento térmico	58
3.4.3.3	Determinación de esfuerzos en la cuchilla	60
3.4.4	DISEÑO DE ANILLOS SEPARADORES	62
3.4.5	DISEÑO DEL EJE DE CUCHILLAS	62
3.4.5.1	Cálculo 63	
3.4.5.1.1	Análisis de Fuerzas	64
3.4.5.1.3	Diagrama de Fuerzas Axiales	73
3.4.5.1.4	Diagramas de Momento Flectores en el Plano YZ	73
3.4.5.1.5	Diagrama de Torsión	75
3.4.5.1.6	Diagrama de Deflexiones	75
3.4.5.2	Selección del diámetro del Eje	76
3.4.5.2.1	Cálculo del diámetro mínimo de acuerdo al criterio de Von Mises	76
3.4.5.2.2	Cálculo del Diámetro Mínimo de acuerdo al método por Fatiga	80
3.4.6	DISEÑO DE CHAVETAS	83
3.4.6.1	Diagrama de cuerpo libre	83
3.4.6.2	Esfuerzos de aplastamiento y de corte	85
3.4.7	RODAMIENTO	86
3.4.7.1	Selección de rodamiento	86
3.4.7.1.1	Selección mediante el método de esfuerzos estáticos	87
3.4.7.1.2	Selección de rodamientos mediante el método dinámico	88
3.4.7.2	Selección de alojamiento	91

3.4.8 SELECCIÓN DE CATALINA Y CADENA.....	92
3.4.8.1 Parámetros de partida.....	92
PotD= 8 [HP] 92	
3.4.8.2 Valoración de potencia de diseño.....	92
3.4.8.3 Selección del tamaño de la cadena.....	93
3.4.8.4 Cálculo de la longitud de cadena.....	94
3.4.8.5 Selección de catalinas.....	95
3.4.9 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL BASTIDOR.....	96
3.4.9.1 Fuerzas que actúan en el bastidor.....	97
3.4.9.2 Selección de perfiles.....	102
3.4.9.3 Análisis estructural (SAP2000).....	102
3.4.9.4 Deformaciones.....	108
CAPÍTULO 4.....	109
DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	109
4.1 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	109
4.1.1 PAR DE ARRANQUE.....	109
4.1.2 VELOCIDAD.....	109
4.1.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	109
4.1.4 EL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO.....	109
4.1.5 ASPECTO DE MANTENIMIENTO.....	110
4.1.6 PARÁMETROS RELEVANTES DEL MOTOR.....	110
4.2 CONTROL DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	110
4.2.1 CONTROL DEL MOTOR.....	111
4.2.2 PROPÓSITO DEL CONTROLADOR.....	111
• Control y protección del motor.- En las instalaciones industriales, el material eléctrico está frecuentemente sometido a condiciones muy duras de trabajo, por lo que resulta necesaria su protección con el objeto de evitar fallas en su funcionamiento o reducir al mínimo las posibles averías. Las perturbaciones más comunes y contra las cuales deben tomarse medidas de protección son las siguientes:.....	112
4.2.3 DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	113
4.2.4 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	114
CAPÍTULO 5.....	119
PLAN Y PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN.....	119
5.1 GENERALIDADES.....	119
5.2 MAQUINARIA Y EQUIPO.....	119
5.3 MATERIA PRIMA Y COMPONENTES.....	121
5.4 DIAGRAMA DE PROCESOS Y MONTAJE.....	122
5.5 ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL DE LA MÁQUINA.....	122
5.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	122
5.6.1 PRESENTACION DE RESULTADOS.....	122
5.6.2 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	126
5.6.3 MODIFICACIONES.....	127
CAPITULO 6.....	128
ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO.....	128

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO	128
6.1.1 ESTUDIO DEL MERCADO.....	128
6.1.1.1 Estudio de la Oferta.....	129
6.1.1.2 Estudio de la Demanda.....	129
6.1.1.3 Conclusión del Estudio de Mercado.....	130
6.2 ANÁLISIS DE COSTOS	130
6.2.1 COSTO DE FABRICACIÓN.....	130
6.2.1.1 Costos Directos.....	130
6.2.1.2 Costos por Carga Fabril.....	135
6.2.1.3 Resumen de Costos de Fabricación.....	135
6.2.2 COSTOS ADMINISTRATIVOS.....	136
6.2.3 COSTOS DE DISEÑO.....	136
6.2.4 COSTOS DE VENTA.....	136
6.2.5 COSTO FINANCIEROS.....	136
6.2.5.1 Ingresos	136
6.2.5.2 Resumen del Costo Total del Proyecto.....	137
CAPÍTULO 7	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
7.1 CONCLUSIONES.....	141
7.2 RECOMENDACIONES	144
REFERENCIAS.....	146
BIBLIOGRÁFICAS:	146
TESIS CONSULTADAS:	146
ESPE-027579, (2005). DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y PICADORA.	
REPOSITORIO VIRTUAL.	146
PUBLICACIONES NO PERIÓDIAS:	146
DIRECCIONES DE INTERNET:.....	148

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Procesos Principales	11
Tabla 1.2 Tipos y Tratamientos de Residuos.....	12
Tabla 2.1 Principales materiales de un envase Tetra-Pack	16
Tabla 2.2 Propiedades Mecánicas y Físicas del PEBD	17
Tabla 2.3 Propiedades del PET	20
Tabla 2.4 Trituración en base al tipo de material	21
Tabla 2.5 Métodos y máquinas para trituración	22
Tabla 2.6 Reducción del Tamaño de Partículas	23
Tabla 2.7 Ponderación de los criterios según los Parámetro Generales.....	33
Tabla 2.8 Valoración de los Factores según los Parámetro Generales.....	34
Tabla 2.9 Ponderación de los criterios según los Parámetros de Trabajo	36
Tabla 2.10 Valoración de los Factores según los Parámetros de trabajo	36
Tabla 2.11 Ponderación de los criterios en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos.....	38
Tabla 2.12 Valoración de los Factores en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos.....	39
Tabla 3.1 Espesores en el sistema de Alimentación.....	47
Tabla 3.2 Aceros para trabajo en Frío	57
Tabla 3.3 Elecciones posibles para catalinas conductoras y conducidas	93
Tabla 3.4 Resumen de factores de seguridad de los elementos del bastidor	102
Tabla 5.1 Maquinaria y equipo utilizado	117
Tabla 5.2 Instrumentos para comprobación de medidas	118
Tabla 5.3 Materia prima necesaria para la construcción de la Máquina trituradora ..	119
Tabla 5.4 Componentes que se utilizaran para construcción de la máquina trituradora.....	120
Tabla 5.5 Resultados obtenidos en el proceso de trituración envases tetra-pack.....	121
Tabla 5.6 Resultados obtenidos en el proceso de trituración envases plásticos.....	122
Tabla 5.7 Resultados obtenidos en el proceso de trituración envases plásticos tipo PET	123
Tabla 5.8 Análisis de Resultados de Ensayos de Trituración	124
Tabla 6.1 Costo de Materia Prima	129
Tabla 6.2 Costo de Materiales Directos.....	130
Tabla 6.3 Costo de Mano de Obra Directa	131
Tabla 6.4 Costo de Máquinas Herramientas.....	131
Tabla 6.5 Costos de mano de Obra y Máquinas Herramientas.....	132
Tabla 6.6 Resumen de costos directos.....	132
Tabla 6.7 Costos por Carga Fabril.....	133
Tabla 6.8 Resumen de Costos de Fabricación	133
Tabla 6.9 Ingresos para el Proyecto.....	135
Tabla 6.10 Resumen del Costo Total del Proyecto.....	135
Tabla 6.11 Costos del procesos de trituración manualmente y con la máquina trituradora.....	136
Tabla 6.12 Costo de funcionamiento en base al consumo energético para la máquina trituradora.....	136
Tabla 6.13 Ahorro mensual con la implementación de la máquina trituradora.....	136
Tabla 6.14 Tabla de costos de mantenimiento	137
Tabla 6.15 Flujo de caja	137
Tabla 6.10 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)	138

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipo de Disposición final por cantones	3
Figura 1.10 Mapa Organizacional Hazwat-CRA	9
Figura 1.13 Oficinas, área de almacenamiento, área de máquinas, muelle de descarga, etc.....	10
Figura 1.15 Restos en bodega de almacenamiento	14
Figura 1.2 Esquema Máquina Trituradora de Desechos.....	4
Figura 1.3 Nave Principal y parqueaderos.....	6
Figura 1.9 Vertederos de Seguridad.....	7
Figura 2.1 Propiedades Mecánicas y Físicas del PEBD	18
Figura 2.2 Propiedades del PET.....	21
Figura 2.3 Métodos de Trituración:.....	22
Figura 2.4 Comparación de los diferentes tipos de trituradoras con respecto al tamaño máximo de alimentación y el tamaño medio del producto, tomando como base los rangos normales de producción	25
Figura 2.5 Trituradora de Mandíbula	28
Figura 2.6 Triturador Giratorio.....	29
Figura 2.7 Angulo de toma de una trituradora de cilindros	30
Figura 2.8 Esquema triturador de rodillos	32
Figura 3.1 Esquema General de la Máquina	45
Figura 3.11 Inserción de Fuerzas en la Cuchilla.....	60
Figura 3.12 Esquema de Esfuerzo de Von Mises máximo de acuerdo a la coloración en la cuchilla	61
Figura 3.13 Anillo Separador	62
Figura 3.14 Esquema Eje de cuchillas	62
Figura 3.15 Esquema de Fuerzas en el Eje de Cuchillas	63
Figura 3.18 Fuerzas y reacciones en el Plano YZ (INVENTOR 2012).....	69
Figura 3.2 Dimensionamiento General de la Máquina	46
Figura 3.21 Fuerzas y reacciones en el Plano XZ (INVENTOR 2012).....	71
Figura 3.24 Diagrama Momento Flector Plano YZ (INVENTOR).....	74
Figura 3.26 Diagrama Momento Flector Plano XZ (INVENTOR).....	74
Figura 3.28 Diagrama Torsor (SAP 2000).....	XIX, 75
Figura 3.3 Esquema compuerta.....	46
Figura 3.30 Diagrama de Esfuerzo Fluctuante	78
Figura 3.31 Diagrama del Torsor Fluctuante	XIX
Figura 3.33. Diagrama de cuerpo libre de la chaveta.....	83
Figura 3.35 Representación del Rodamiento	86
Figura 3.36 Esquema alojamiento de rodamiento.....	91
Figura 3.37 Estructura del Bastidor.....	96
Figura 3.39 Carga debido al peso de la tobera y cubierta	98
Figura 3.40 Cargas debido al efecto de trituración.....	99
Figura 3.41 Deformación de la Estructura del Bastidor.....	108
Figura 3.41 Reacciones en los apoyos de la estructura en Kgf.....	XIX, 100
Figura 3.44 Momentos torsores en los elementos del bastidor.....	101
Figura 3.45 Visualización de elementos que fallan en la estructura del bastidor.....	102
Figura 3.46 Factor seguridad de cada elemento del bastidor	103

Figura 3.47 Elemento sometido a mayor combinación de esfuerzos.....	105
Figura 3.6 Vista Superior de las cuchillas en la posición inicial de corte..	50
Figura 3.7 Esquema Cinemático de los Elementos de Trituración.....	53
Figura 3.8 Pared de PET sometida a carga de Impacto	54
Figura 3.9 Geometría Cuchilla y su radio de envolvente.....	57
Figura 4.1 Diagrama de Control de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos).....	113
Figura 4.2 Diagrama de Fuerza de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos).....	114
Figura 4.3 Borneras para conexión eléctrica.....	115
Figura 4.4 Contactor	116
Figura 4.6 Breaker.....	116
Figura 4.7 Pulsador Rojo tipo Hongo 40 mm.....	117
Figura 4.8 Selector	117
Figura 4.9 Luces pilotos	117
Figura 3.10 Esquema del juego de cuchillas trituradoras	58
Tabla 1.1 Tipos y Tratamientos de Residuos	13
Tabla 1.2 Procesos Principales	12
Tabla 2.1 Principales materiales de un envase Tetra-Pack.....	17
Tabla 2.2 Trituración en base al tipo de material	22
Tabla 2.3 Métodos y máquinas para trituración	23
TABLA 2.4 Reducción del Tamaño de Partículas.....	24
Figura 1.1 Tipo de Disposición final por cantones	3
Figura 1.10 Mapa Organizacional Hazwat-CRA	9
Figura 1.13 Oficinas, área de almacenamiento, área de máquinas, muelle de descarga, etc.....	10
Figura 1.15 Restos en bodega de almacenamiento	14
Figura 1.2 Esquema Máquina Trituradora de Desechos.....	4
Figura 1.3 Nave Principal y parqueaderos.....	6
Figura 1.9 Vertederos de Seguridad.....	7
Figura 2.1 Propiedades Mecánicas y Físicas del PEBD	18
Figura 2.2 Propiedades del PET.....	21
Figura 2.3 Métodos de Trituración:.....	22
Figura 2.4 Comparación de los diferentes tipos de trituradoras con respecto al tamaño máximo de alimentación y el tamaño medio del producto, tomando como base los rangos normales de producción	25
Figura 2.5 Trituradora de Mandíbula	28
Figura 2.6 Triturador Giratorio.....	29
Figura 2.7 Angulo de toma de una trituradora de cilindros	30
Figura 2.8 Esquema triturador de rodillos	32
Figura 3.1 Esquema General de la Máquina	45
Figura 3.11 Inserción de Fuerzas en la Cuchilla.....	60
Figura 3.12 Esquema de Esfuerzo de Von Mises máximo de acuerdo a la coloración en la cuchilla	61

Figura 3.13 Anillo Separador	62
Figura 3.14 Esquema Eje de cuchillas	62
Figura 3.15 Esquema de Fuerzas en el Eje de Cuchillas	63
Figura 3.18 Fuerzas y reacciones en el Plano YZ (INVENTOR 2012).....	69
Figura 3.2 Dimensionamiento General de la Máquina	46
Figura 3.21 Fuerzas y reacciones en el Plano XZ (INVENTOR 2012).....	71
Figura 3.24 Diagrama Momento Flector Plano YZ (INVENTOR).....	74
Figura 3.26 Diagrama Momento Flector Plano XZ (INVENTOR).....	74
Figura 3.28 Diagrama Torsor (SAP 2000).....	75
Figura 3.3 Esquema compuerta	46
Figura 3.30 Diagrama de Esfuerzo Fluctuante	78
Figura 3.33. Diagrama de cuerpo libre de la chaveta.....	83
Figura 3.35 Representación del Rodamiento	86
Figura 3.36 Esquema alojamiento de rodamiento.....	91
Figura 3.37 Estructura del Bastidor.....	96
Figura 3.39 Carga debido al peso de la tobera y cubierta	98
Figura 3.40 Cargas debido al efecto de trituración.....	99
Figura 3.41 Deformación de la Estructura del Bastidor.....	108
Figura 3.41 Reacciones en los apoyos de la estructura en Kgf.....	100
Figura 3.44 Momentos torsores en los elementos del bastidor.....	101
Figura 3.45 Visualización de elementos que fallan en la estructura del bastidor.....	102
Figura 3.46 Factor seguridad de cada elemento del bastidor	103
Figura 3.47 Elemento sometido a mayor combinación de esfuerzos.....	105
Figura 3.6 Vista Superior de las cuchillas en la posición inicial de corte..	50
Figura 3.7 Esquema Cinemático de los Elementos de Trituración.....	53
Figura 3.8 Pared de PET sometida a carga de Impacto	54
Figura 3.9 Geometría Cuchilla y su radio de envolvente.....	57
Figura 4.1 Diagrama de Control de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos).....	113
Figura 4.2 Diagrama de Fuerza de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos).....	114
Figura 4.3 Borneras para conexión eléctrica.....	115
Figura 4.4 Contactor	116
Figura 4.6 Breaker	116
Figura 4.7 Pulsador Rojo tipo Hongo 40 mm.....	117
Figura 4.8 Selector	117
Figura 4.9 Luces pilotos	117
Figura3.10 Esquema del juego de cuchillas trituradoras	58
Tabla 1.1 Tipos y Tratamientos de Residuos	13
Tabla 1.2 Procesos Principales	12
Tabla 2.1 Principales materiales de un envase Tetra-Pack	17
Tabla 2.2 Trituración en base al tipo de material	22
Tabla 2.3 Métodos y máquinas para trituración	23
TABLA 2.4 Reducción del Tamaño de Partículas.....	24

Figura 1.1 Tipo de Disposición final por cantones	XXIV
Figura 1.10 Mapa Organizacional Hazwat-CRA	XXX
Figura 1.13 Oficinas, área de almacenamiento, área de máquinas, muelle de descarga, etc.....	XXXI
Figura 1.15 Restos en bodega de almacenamiento	XXXV
Figura 1.2 Esquema Máquina Trituradora de Desechos.....	XXV
Figura 1.3 Nave Principal y parqueaderos.....	XXVII
Figura 1.9 Vertederos de Seguridad.....	XXVIII
Figura 2.1 Propiedades Mecánicas y Físicas del PEBD	XXXIX
Figura 2.2 Propiedades del PET.....	XLII
Figura 2.3 Métodos de Trituración:.....	XLIII
Figura 2.4 Comparación de los diferentes tipos de trituradoras con respecto al tamaño máximo de alimentación y el tamaño medio del producto, tomando como base los rangos normales de producción.....	XLVI
Figura 2.5 Trituradora de Mandíbula	XLIX
Figura 2.6 Triturador Giratorio	50
Figura 2.7 Angulo de toma de una trituradora de cilindros	51
Figura 2.8 Esquema triturador de rodillos	53
Figura 3.1 Esquema General de la Máquina	66
Figura 3.11 Inserción de Fuerzas en la Cuchilla.....	81
Figura 3.12 Esquema de Esfuerzo de Von Mises máximo de acuerdo a la coloración en la cuchilla	82
Figura 3.13 Anillo Separador	83
Figura 3.14 Esquema Eje de cuchillas	83
Figura 3.15 Esquema de Fuerzas en el Eje de Cuchillas	84
Figura 3.18 Fuerzas y reacciones en el Plano YZ (INVENTOR 2012).....	90
Figura 3.2 Dimensionamiento General de la Máquina	67
Figura 3.21 Fuerzas y reacciones en el Plano XZ (INVENTOR 2012).....	92
Figura 3.24 Diagrama Momento Flector Plano YZ (INVENTOR).....	95
Figura 3.26 Diagrama Momento Flector Plano XZ (INVENTOR).....	95
Figura 3.28 Diagrama Torsor (SAP 2000).....	96
Figura 3.3 Esquema compuerta.....	67
Figura 3.30 Diagrama de Esfuerzo Fluctuante	99
Figura 3.33. Diagrama de cuerpo libre de la chaveta.....	104
Figura 3.35 Representación del Rodamiento	107
Figura 3.36 Esquema alojamiento de rodamiento.....	112
Figura 3.37 Estructura del Bastidor.....	117
Figura 3.39 Carga debido al peso de la tobera y cubierta	119
Figura 3.40 Cargas debido al efecto de trituración	120
Figura 3.41 Deformación de la Estructura del Bastidor.....	129
Figura 3.41 Reacciones en los apoyos de la estructura en Kgf.....	121
Figura 3.44 Momentos torsores en los elementos del bastidor.....	122
Figura 3.45 Visualización de elementos que fallan en la estructura del bastidor.....	123
Figura 3.46 Factor seguridad de cada elemento del bastidor	124
Figura 3.47 Elemento sometido a mayor combinación de esfuerzos.....	126
Figura 3.6 Vista Superior de las cuchillas en la posición inicial de corte..	71
Figura 3.7 Esquema Cinemático de los Elementos de Trituración.....	74
Figura 3.8 Pared de PET sometida a carga de Impacto	75

Figura 3.9 Geometría Cuchilla y su radio de envolvente.....	78
Figura 4.1 Diagrama de Control de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos).....	134
Figura 4.2 Diagrama de Fuerza de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos).....	135
Figura 4.3 Borneras para conexión eléctrica.....	136
Figura 4.4 Contactor	137
Figura 4.6 Breaker	137
Figura 4.7 Pulsador Rojo tipo Hongo 40 mm.....	138
Figura 4.8 Selector	138
Figura 4.9 Luces pilotos	138
Figura3.10 Esquema del juego de cuchillas trituradoras	79
Tabla 1.1 Tipos y Tratamientos de Residuos	XXXIV
Tabla 1.2 Procesos Principales	XXXIII
Tabla 2.1 Principales materiales de un envase Tetra-Pack.....	XXXVIII
Tabla 2.2 Trituración en base al tipo de material	XLIII
Tabla 2.3 Métodos y máquinas para trituración	XLIV
TABLA 2.4 Reducción del Tamaño de Partículas.....	XLV

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 MANEJO DE DESECHOS EN EL ECUADOR

El manejo de desechos en nuestro país amenaza a la salud socio-ambiental, según el censo realizado por el MIDUVI en el 2010, sólo el 30% de la basura generada se dispone en buenas condiciones, por lo que el 70% restante se arroja en cuerpos de agua, quebradas, terrenos baldíos y basureros clandestinos.

Hectáreas de basura sobre basura, niños y niñas jugando con desechos biopeligrosos, seres humanos peleando con perros por comida descompuesta, no existe palabras para transmitir la indignación frente a la impavidez con la que se ha naturalizado que nuestros hermanos y hermanas recicladores sostengan estilos de vida que los coloquen a nivel de “basura humana”.

El 85% de los residuos sólidos se arrojan en cuerpos de agua, quebradas, terrenos baldíos y basureros clandestinos. (MIDUVI, Septiembre 2011)¹. Solamente el 14,91% de los Residuos sólidos se disponen en rellenos sanitarios (7,17% en la costa; 17,91% en la Sierra y el 17,17% en el Oriente).

Esto no garantiza que existan procesos de gestión integral de residuos sólidos, muchas veces los rellenos sanitarios generan los mismos problemas que los botaderos en el ecosistema y las comunidades vecinas.

No existe ningún vertedero a cielo abierto que haya tenido un proceso de cierre técnico.

¹ Solíz, M. F. (2011). *Censo de agua potable, alcantarillado y residuos sólidos* (Actualizado por Tesis Doctoral “Metabolismo del Desecho en la determinación socio-ambiental de la salud”). MIDUVI. Quito

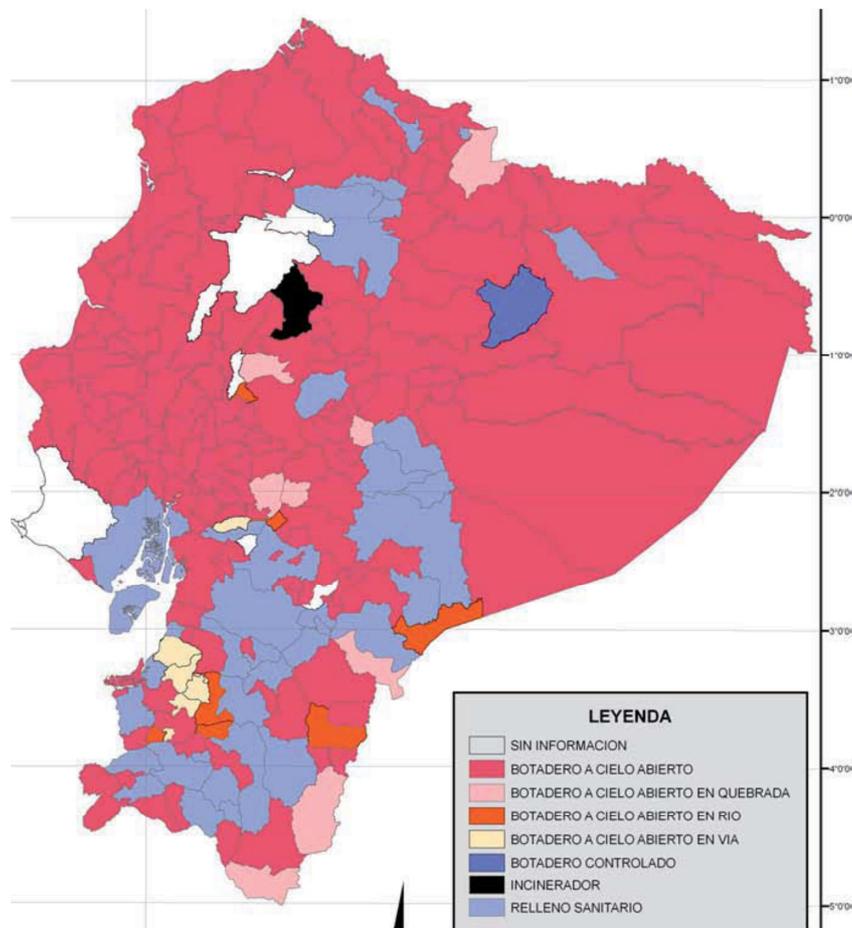


Figura 1.1 Tipo de Disposición final por cantones

1.1.2 PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS

Antes de desechar los residuos, existen varias opciones de alterar su forma, reducir su volumen y reciclar sus componentes. La incineración, por ejemplo, es sólo uno de los procesos que se pueden aplicar. Hay fundamentalmente tres tipos de tratamiento para procesar los residuos:

- Tratamiento Físico.
- Tratamiento Químico.
- Tratamiento Biológico.

1.1.2.1 Tratamiento Físico

Incluye procesos de compactación, destilación, trituración y evaporación, todos ellos son procesos capaces de reducir el volumen de los desechos. Posteriormente se procede a una etapa de separación para recuperar aquellos materiales reciclables y aquellos que no fuesen recuperables pasarían a un proceso de tratamiento térmico como la incineración, existen varias empresas en el país que se dedican a este tipo de trabajos.

1.1.2.2 Proceso de Trituración

Es un proceso que consiste en reducir el tamaño de cualquier material en trozos o pedazos muy pequeños para cualquier uso o procesamiento.

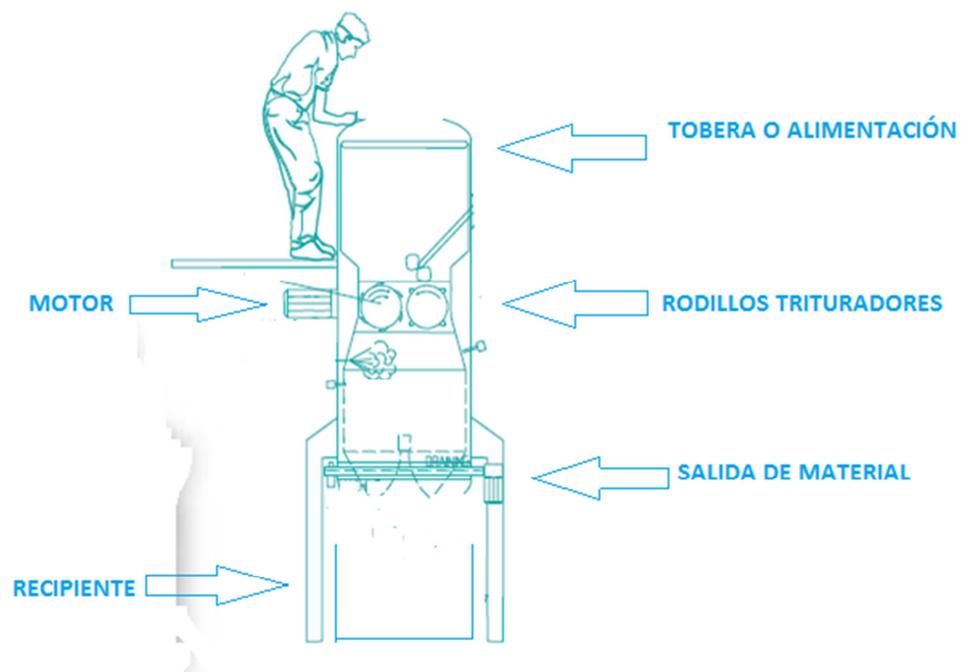


Figura 1.2 Esquema Máquina Trituradora de Desechos

1.1.3 HAZWAT-CRA



Hazwat Cia. Ltda. es una empresa que está en el mercado hace más de diez años, apoyando a las industrias del país en el manejo de residuos peligrosos y de desechos industriales alimenticios y farmacéuticos. La compañía tiene varios procesos macro dentro de los cuales se tienen:

- 1) Incineración, 2) Biorremediación, 3) Vertedero de seguridad
- 4) Neutralización 5) Reciclaje, entre otros.

La empresa presta los siguientes servicios:

- Transporte
- Recolección
- Manejo
- Tratamiento
- Disposición Final

Para desechos especiales y peligrosos, toda actividad industrial e hidrocarburífera genera diversos tipos de residuos, muchos de los cuales no son peligrosos, pero existen residuos que por sus características de reactividad, corrosividad, inflamabilidad y toxicidad requiere un manejo adecuado y la toma de decisiones especiales para su tratamiento.

HAZWAT CIA. LTDA., proporciona y mantiene la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto, las partes interesadas externas y la legislación ambiental vigente.

1.1.3.1 Infraestructura de la Planta

HAZWAT-CRA cuenta con moderna infraestructura apropiada para el tratamiento de todo tipo de productos provenientes de los sectores petrolero, industrial y alimenticio, farmacéutico y floricultor. Dispone de un área de terreno de aproximadamente 14 hectáreas y su infraestructura cuenta con:

- Nave Principal y Oficinas



Figura 1.3 Nave Principal y oficinas

- Área de almacenamiento o bodega



Figura 1.4 Bodega de almacenamiento temporal

- Área de Gasificación Termoquímica



Figura 1.5 Equipo de gasificación termoquímica con lavador de gases

- Área de biorremediación y de secado



Figura 1.6 Áreas de biorremediación y Eras de secados de lodo

- Área de encapsulación o vertederos de seguridad



Figura 1.7 Vertederos de Seguridad

La empresa también cuenta con la maquinaria necesaria para realizar los diferentes procesos señalados anteriormente:

<p>Generador Eléctrico</p>	
<p>Montacargas</p>	
<p>Tractor Agrícola</p>	

1.1.3.2 Mapa Organizacional

Actualmente la empresa consta con el número de trabajadores adecuados para satisfacer la demanda de trabajo, los cuales son: Gerente General-Ing. Mecánico, Gerente de Planta-Ing. Civil, un Ingeniero Ambiental, Contador General, Secretaria de gerencia, Asistente contable, Supervisor de Planta, 16 trabajadores-obreros distribuidos en las diferentes áreas de trabajo y 2 guardias de seguridad.

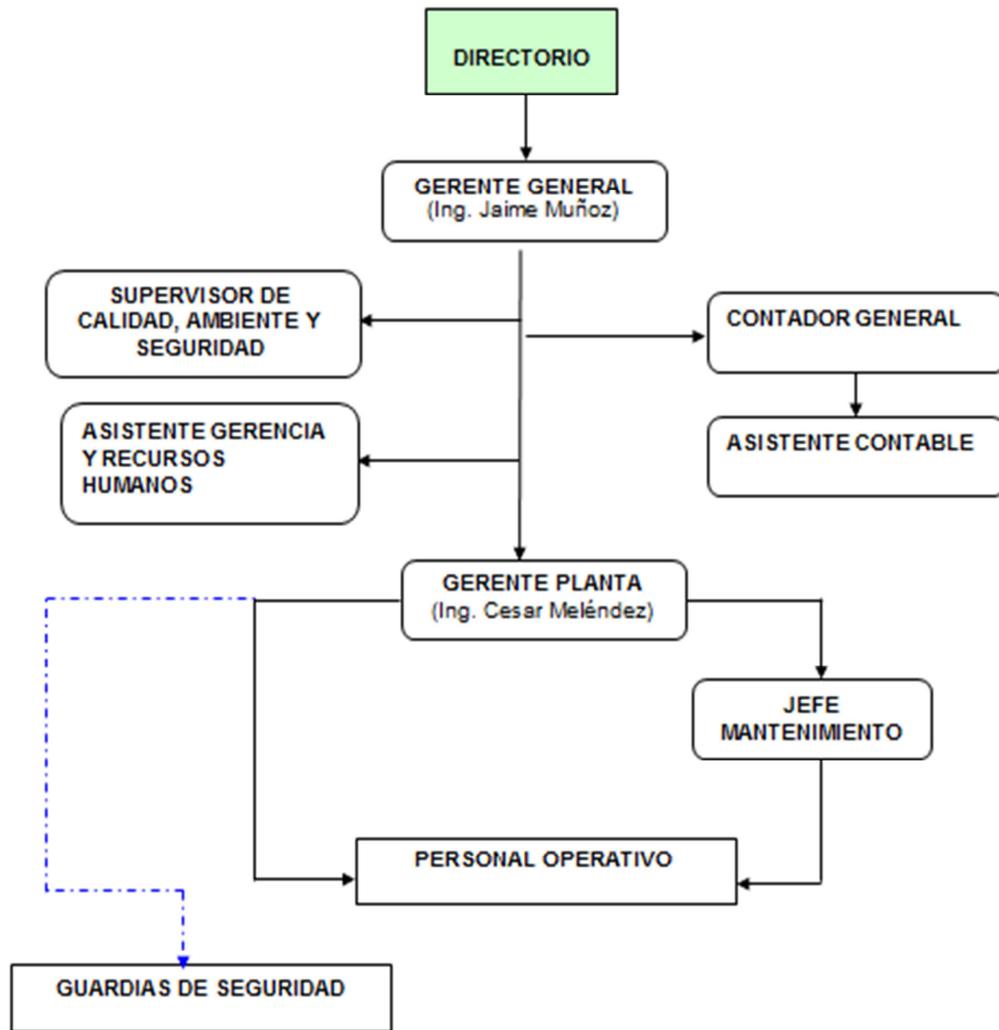


Figura 1.8 Mapa Organizacional Hazwat-CRA

1.1.3.3 Distribución de la Planta Hazwat-CRA

Ver Anexo A

La máquina realizará su función en el área de almacenamiento ya que todos los desechos se encuentran en ésta, por lo que la máquina deberá ser móvil y de fácil acceso.

Norma NTE INEN 2288:2000.- Norma para el manejo y almacenamiento de productos químicos. Establece los lineamientos básicos que permitan el manejo, almacenamiento y uso de productos químicos, los cuales deben procurar mitigar los riesgos para el personal y reducir el impacto ambiental.

Normas Internacionales ISO 9001:2008.- Sistema de gestión de la calidad que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones, para certificación o con fines contractuales.

Norma ISO 14001:2006.- Sistemas de gestión ambiental, protección ambiental, requisitos, uso, condiciones generales.

Con lo cual la empresa garantiza un adecuado manejo, distribución y tratamiento de los desechos que se receipten en ella, como por ejemplo, almacenamiento controlado de desechos tóxicos y no tóxicos, vertederos de seguridad para la recepción y encapsulación de desechos que no sean reciclables y sean tóxicos, cuenta con un apropiado control de desechos en las eras de biorremediación para evitar cualquier tipo de derrame contaminante.

Las actividades realizadas en el CRA están orientadas de una manera totalmente técnica al tratamiento y disposición final de residuos especiales del sector industrial, alimenticio, farmacéutico, petrolero y floricultor.

1.1.3.4.1 Operaciones

Las operaciones principales del Centro de Remediación Ambiental (CRA), dentro del proceso de tratamiento ecológico de todo tipo de producto son las siguientes:

Tabla 1.1 Procesos Principales

1	RECEPCIÓN DE PRODUCTO	Todo producto transportado hasta la empresa es recibido en el muelle de descarga para su respectiva recepción.
2	ALMACENAMIENTO	El producto descargado es almacenado en patios y bodegas en diferentes contenedores según su tipo y compatibilidad.
3	TRATAMIENTO	Los tratamientos aplicados a los productos serán: <ul style="list-style-type: none"> • Gasificación térmica • Biorremediación • Neutralización • Vertedero de seguridad
4	GASIFICACIÓN TÉRMICA	La Gasificación Térmica es un proceso de conversión de gases combustibles partir de los productos orgánicos no fermentables (textiles, paños, plásticos, aceites, gomas, etc.).
5	BIORREMEDIACIÓN	Consiste en la utilización del potencial Metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples o nada contaminantes, y por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas.
6	NEUTRALIZACIÓN	Consiste en un tanque para la recepción, neutralización y secado de lodos con sosa o ácido. La reacción entre un ácido y una base se denomina neutralización.
7	VERTEDERO DE SEGURIDAD (ENCAPSULACIÓN)	Se trata de fosas revestidas de hormigón con fondo de concreto y celda de recolección de lixiviados, los vertederos cuentan con techo para prevenir el ingreso de agua lluvia y borde para evitar la escorrentía superficial.
8	FILTRACIÓN	Consiste en la separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido (aceite, agua).

1.1.3.4.2 Distribución de los Servicios

Realización del servicio

Los productos típicos y el proceso de tratamiento aplicable se observa en el siguiente cuadro:

Tabla 1.2 Tipos y Tratamientos de Residuos

RESIDUO	TRATAMIENTO
Residuo de fincas agrícolas	Gasificación térmica Encapsulación
Producto de empresas petroleras	Biorremediación Gasificación Térmica Neutralización Encapsulación Gestión
Producto de empresas farmacéuticas	Gasificación Térmica Neutralización Biorremediación Gestión
Producto de empresas alimenticias	Biorremediación Gestión Gasificación Térmica
Producto de otras empresas	Biorremediación Gasificación Térmica Neutralización Gestión

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Hazwat-CRA cuenta con una capacidad física de almacenamiento en bodega de 30 toneladas, en la cual se almacenan y distribuyen los diferentes tipos de desechos que llegan a la planta.

Mensualmente se receiptan en la empresa 15 toneladas de desechos en envases tipo tetra-pack y plásticos PET, por lo que se dispone de 5 trabajadores con jornadas completas de trabajo para procesar dicha cantidad

en un mes, consiguiendo una tasa de procesamiento de alrededor de 17 kg/h, ya que se debe realizar un proceso de separación envase-producto de manera manual para poder gestionar un adecuado proceso de tratamiento individual a cada uno.

Debido a la creciente demanda de los clientes en la recepción y tratamiento de sus desechos la capacidad en bodega se ve superada, lo que conlleva a un retraso en el procesamiento de estos desechos, aumentando el número de trabajadores y horas para cumplir con dicho requerimiento. También existe riesgo de pérdidas de clientes por cancelación de servicios al no tener suficiente abastecimiento en la empresa para procesar sus desechos en un tiempo menor y de manera continua.



Figura 1.10 Restos en bodega de almacenamiento

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Entregar a HAZWAT-CRA una máquina eficiente, capaz de triturar envases plásticos PET, de sueros y tetra pack.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los requerimientos de diseño.
- Analizar alternativas de diseño.
- Diseñar la máquina en los aspectos mecánico, estructural y de control.
- Diseñar el sistema eléctrico para la máquina.
- Elaborar los planos de los elementos y en conjunto de la máquina.
- Efectuar la construcción y montaje de la máquina.
- Realizar las pertinentes pruebas de funcionamiento para obtención de resultados.
- Elaborar Manual de Operación y Mantenimiento de la máquina.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Mediante la construcción de la máquina trituradora se lograra mejorar el tiempo en el proceso de separación líquido-envase ya que con el método manual de corte y vaciado realizado por los obreros, procesar una tonelada de producto puede tomar toda una jornada diaria, mientras que con una máquina trituradora se puede cumplir esta tarea en cuestión de dos horas aproximadamente dependiendo de la capacidad de trabajo de la misma.

Al reducir el tiempo de procesamiento de productos se aumenta la disponibilidad en bodega, lo que permite a la empresa estar preparada para receptor nuevas entregas de productos que no estén previstas.

En el aspecto económico, la empresa cuenta con los recursos y tiene a su disposición dos motores eléctricos de 10 hp en bodega para la construcción de la máquina, debido a que el costo de un equipo de este tipo con una capacidad de 600Kg/h usado en Brasil se encuentra a un precio entre 14000 y 21000 USD y considerando que el valor del CIF (Coste (Cost), Seguro (insurance) y Flete (freight)) valor que corresponde a la suma de las siguientes partidas:

- El valor de la compra de la mercancía
- El flete desde la empresa al puerto (en el país de origen)
- El traspaso de la mercancía de la tierra al barco
- El valor del transporte del barco
- El seguro de la mercancía en caso de accidente del barco.

El precio de la máquina importada puede llegar a los 25500 USD, por lo que el objetivo de la empresa auspiciante es ocupar tecnología nacional para crear esta máquina con una capacidad de al menos 900 kg/h de producto neto, aprovechando los recursos de la empresa y el trabajo que se realice en el desarrollo de esta tesis, reduciendo de esta manera los costos.

1.5 ALCANCE

Generar un ahorro para la empresa mediante la construcción e implementación de una máquina trituradora en el área de bodega de manera que permita una optimización en espacio de al menos el 80%, procesando restos alimenticios y farmacéuticos con una capacidad de al menos 15 kilogramos por minuto y con una reducción de recursos humanos.

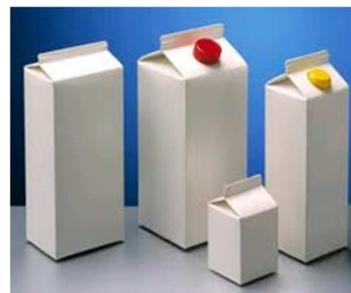
CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 PRINCIPALES PRODUCTOS

2.1.1 COMPOSICIÓN DEL ENVASE TETRA PACK

Los envases de Tetra Pack están conformados por 6 capas que evitan el contacto con el medio externo, y aseguran que los alimentos lleguen a los consumidores con todas sus propiedades intactas.



Características de sus componentes:

Para la fabricación de los envases de Tetra-Pack, se utilizan: papel, plástico y aluminio.

Tabla 2.1 Principales materiales de un envase Tetra-Pack

Material	Características
Papel	Representa el 74% del contenido del envase, proviene de una fuente natural renovable.
Polietileno	Representa un 22% del contenido del envase, el polietileno de baja densidad (PEBD) es utilizado debido a la protección y adhesión que brinda.
Aluminio	Representa el 4% del contenido del envase, evita la entrada de luz y oxígeno, tiene un espesor de 6,5 micras. Siendo 100 veces más delgado que un cabello humano.

Los empaques de tetra-pack cuentan con barreras de protección en los envases gracias a las cuales los alimentos se mantienen en óptimas condiciones durante un largo periodo de tiempo sin la necesidad de conservantes químicos ni refrigeración.

2.1.2 PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES MAS RELEVANTES DEL TETRA-PACK

2.1.2.1 Propiedades del polietileno de baja densidad (PEBD)²

Es un material traslúcido, inoloro, con un punto de fusión promedio de 110°C. Tiene conductividad térmica baja. Sus principales aplicaciones son dentro del sector del envase y empaque (bolsas, botellas, películas, sacos, tapas para botellas, etc.) y como aislante (baja y alta tensión).

Tabla 2.2 Propiedades Mecánicas y Físicas del PEBD

PROPIEDADES FÍSICAS	
Absorción de agua en 24h (%)	< 0,015
Densidad (g/cm ³)	0,915-0,935
Índice refractivo	1,51
Resistencia a la radiación	Aceptable
Resistencia al ultra-violeta	Mala
Coefficiente de expansión lineal (K ⁻¹)	1,7 x 10 ⁻⁴
Grado de cristalinidad (%)	40-50
PROPIEDADES MECÁNICAS	
Módulo elástico E (N/mm ²)	200
Coefficiente de fricción	-
Módulo de tracción (Gpa)	0,1-0,3
Relación de Poisson	-
Resistencia a tracción (Mpa)	5-25
Esfuerzo de rotura (N/mm ²)	8-10
Elongación a ruptura (%)	20

Para nuestro estudio consideraremos principalmente el esfuerzo de rotura del PEBD: 8-10 MPa.

2.1.2.2 Propiedades de la Lámina de Aluminio

(Propiedades del Aluminio, 2012)³

²Anónimo (2007, 06). *Polietileno de baja densidad (PEBD)*. Recuperado 06, 2013, de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pe/polietileno%20de%20baja%20densidad.htm>

Características físicas

- Densidad: 2700 Kg/m³
- Punto de fusión: 660°C
- Color: blanco brillante

Características mecánicas³

- Fácil maquinado.
- Resistencia a la tracción: 160-200 N/mm²
- Soldable.

2.1.2.3 Corrosividad de los principales desechos Farmacéuticos y Alimenticios a triturar

La corrosión puede definirse como la destrucción o deterioro de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

La corrosión puede ocurrir por ataque directo en seco (oxidación) o en húmedo (electroquímica). En seco ocurre por contacto con vapores o gases, sin la presencia de líquidos, y está asociada a menudo con altas temperaturas. En húmedo se presenta en medios líquidos, por rociado o inmersión.

Debido a que la máquina deberá triturar los envases tipo tetra pack se debe considerar la corrosividad de los alimentos (en especial líquidos) como la leche generalmente.

Los alimentos son compuestos orgánicos de naturaleza alcalina débil (como los vegetales y las carnes cocidas) o ácidos (como algunas frutas y leches) que pueden promover la oxidación del metal.

³ Anónimo (2009, 04). *Propiedades ALuminio*. Recuperado 06, 2013, de http://www.revesconsult.com/descargas/propiedades_aluminio.pdf

Algunas frutas y otros alimentos (leches) tienen suficiente ácido (láctico) que puede reaccionar con el metal, especialmente si hay suficiente oxígeno presente.

Considerando la agresividad de los alimentos, el problema real no es el daño del metal sino el efecto que produce, en períodos de tiempo muy prolongados, se corre el riesgo de que se presente alguna corrosión por puntos en los envases metálicos que los contienen.

En cuanto los desechos hospitalarios el principal desecho será el suero fisiológico, cabe recalcar que el suero no ha sido utilizado y no se encuentra contaminado por algún agente externo, por lo que simplemente debe ser eliminado en ese estado.

Debido a que el suero está compuesto principalmente de agua, electrolitos y glucosa lo convierte en un agente corrosivo, ya que los electrolitos son conductores libres y se comportan como un medio conductor eléctrico lo que puede llevar al desgaste del material por corrosión electroquímica.

Ya que los productos de limpieza personal como el gel son para consumo humano su composición muy parecida al jabón están hechos por un sin número de aceites, químicos, aromatizantes, etc; los cuáles fácilmente pueden producir corrosión en la máquina.

Para el diseño de la máquina se debe considerar un tratamiento anticorrosivo en las partes que tengan un contacto directo con estos desechos, con el fin de evitar cualquier tipo de corrosión sobre la máquina y su desgaste prematuro, además de considerar materiales resistentes a la corrosión.

2.1.3 TEREFALATO DE POLIETILENO (PET)

2.1.3.1 Definición

El Tereftalato de polietileno (PET) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles.

Actualmente la empresa cuenta con una gran gama de productos que requieren ser triturados, en especial restos de la industria de la higiene personal como shampoos contenidos en envases PET.



2.1.3.2 Propiedades del PET

(Industria JQ)⁴

Tabla 2.3 Propiedades del PET

POLIETILENTEREFALATO				PET
PROPIEDADES MECANICAS A 23 °C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1,39
RESISTENCIA A LA TRACCION (FLUENCIA / ROTURA)	kg/cm ²	D-638	53455	900/--
RES. A LA COMPRESIÓN (1 Y 2 % DEF)	kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	kg/cm ²	D-790	53452	1450
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCIÓN)	kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85-87
COEF DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		--
COEF DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0,20
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

En el estudio la propiedad mecánica principal a ser considerada es el módulo de tracción del PET: $900 \text{ kg/cm}^2 = 88.2 \text{ MPa}$.

⁴ Anónimo (2006, 08). PET Datos Técnicos. *Plásticos de Ingeniería*. Recuperado 06, 2013, de <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>

2.2 TRITURACIÓN

2.2.1 DEFINICIÓN

Se entiende por trituración de sustancias sólidas la transformación de un determinado material en trozos de menor tamaño por machacado o molido.

2.2.2 CLASES DE TRITURACIÓN

Según las propiedades físicas de una sustancia, su dureza, su fragilidad, se emplean métodos distintos de trituración.

Tabla 2.4 Trituración en base al tipo de material

Clase de Material	Clase de Trituración
Material duro	Presión, Impacto
Material frágil	Fractura
Material tenaz	Escisión, corte

Las máquinas trituradoras aplican simultáneamente varios de estos métodos.

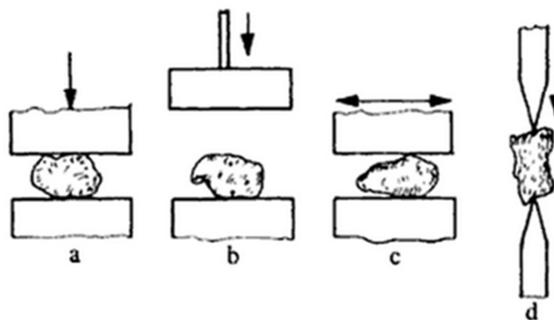


Figura 2.1 Métodos de Trituración

a) Presión, b) Impacto, c) Fricción, d) Escisión

Usualmente, la reducción de tamaño se realiza por lo menos en dos etapas principales:

- a) Reducción preliminar: TRITURACIÓN.
- b) Reducción fina: MOLIENDA.

La trituración es la primera etapa de la operación de reducción de tamaño de las materias primas y tiene por objetivo obtener un producto fácilmente transportable.

Tabla 2.5 Métodos y máquinas para trituración

Máquinas	Métodos
a. Máquinas para desmenuzar en un orden de grueso relativamente grande por aplicación de presión	Según el curso seguido por el material se distingue :
1. Tritrador de Mandíbulas	a. Trituración de paso único.- El material pasa por el triturador una sola vez.
2. Tritradores Giratorios y de Cono	
3. Tritradores de Cilindros	
b. Tritradores por Choque	b. En trituración en circuito cerrado.- El material que presenta dimensiones mayores se separa por cribado y retorna al triturador para desmenuzarlo al tamaño exigido.
1. Tritradores de Martillos (De rotor sencillo o doble)	
2. Tritradores por Impacto	

2.3 PARÁMETROS IMPORTANTES EN LA ELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA

2.3.1 GRADO DE REDUCCIÓN

Se suele denominar por n y se define por la relación que existe entre el mayor tamaño inicial del material de alimentación y el mayor tamaño final del material triturado o molido, es decir:

$$n = \frac{\text{Tamaño inicial del producto}}{\text{Tamaño final del producto}} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

A continuación en la siguiente tabla se muestra las principales trituradoras y sus rangos comunes de grados de reducción.

TABLA 2.6 Reducción del Tamaño de Partículas⁵

TIPO DE TRITURADORA	RELACIÓN DE REDUCCIÓN (n)
MANDÍBULAS	4:1 – 9:1
GIRATORIAS Ciclo Completo Cono Estándar Cabeza corta	3:1 – 10:1 4:1 – 6:1 2:1 – 5:1
RODILLO	3:1 – 7:1
IMPACTO Rotor simple Rotor doble Molinos de martillo	15:1 15:1 20:1

Debido a que en la empresa se requiere una reducción preliminar o trituración de los productos desechados, no es necesaria una relación de reducción muy alta, por lo que las elecciones más adecuadas son de tipo rodillo, giratorias y mandíbulas.

2.3.2 TAMAÑO DE LA ALIMENTACIÓN

Es la capacidad de material máximo que puede ingresar a la tolva en un instante, está dado generalmente por los parámetros geométricos de la compuerta de entrada.

En la figura 2.2 se muestra una gráfica que relaciona el tamaño máximo de la alimentación en función del tamaño del producto para diferentes tipos de trituradoras.

⁵ Anónimo (2010, 01). Trituradoras de Impacto. Producción de Agregados. Recuperado 06, 2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

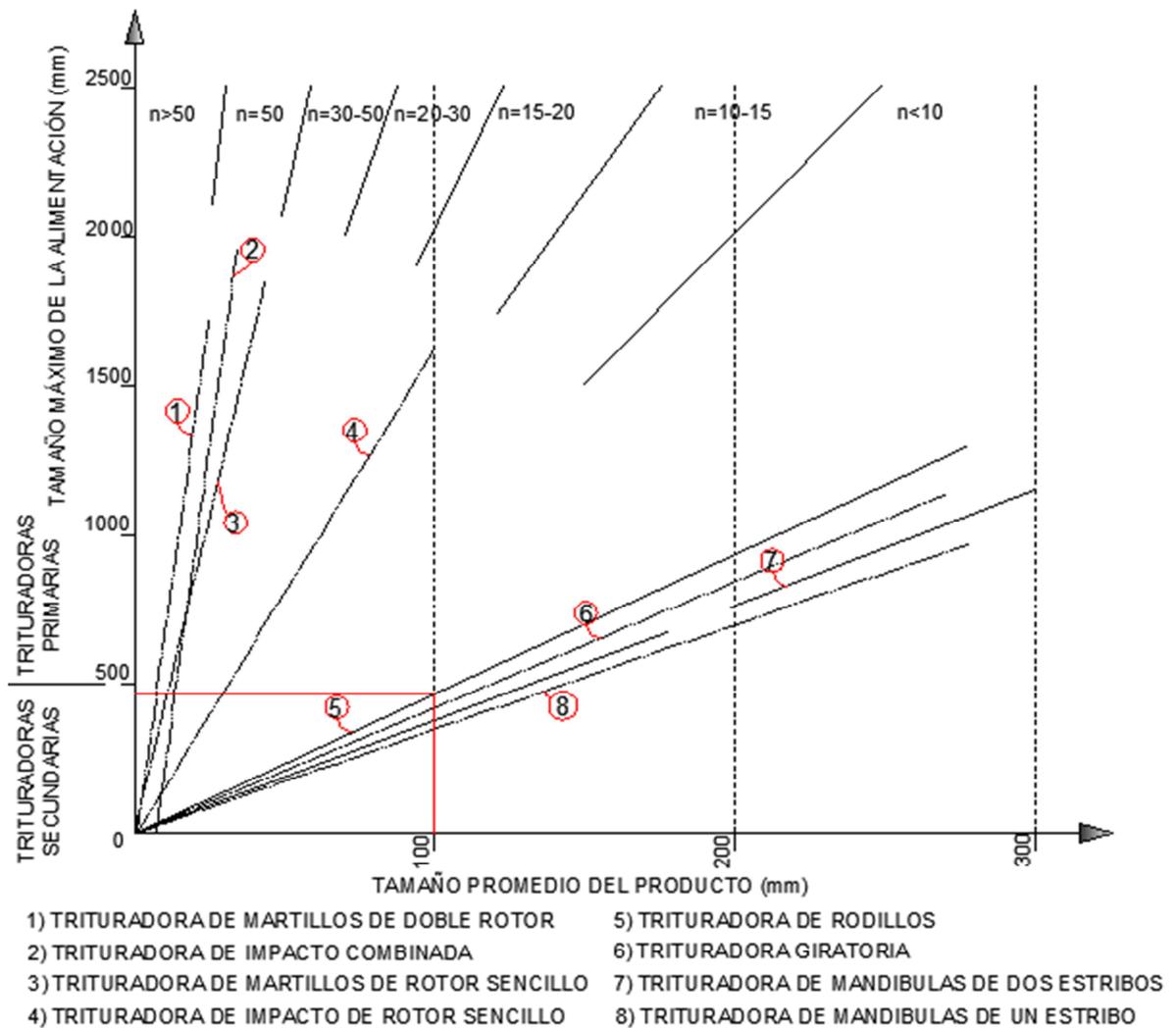


Figura 2.2 Tipos de trituradoras de acuerdo al tamaño máximo de alimentación y medio del producto⁶

De acuerdo al grado de reducción bajo que se necesita ($n < 10$) y al tamaño promedio del producto (100 mm), las trituradoras más adecuadas son de tipo rodillos, giratoria y de mandíbula, por lo que se concuerda con la tabla 2.6 según el grado de reducción.

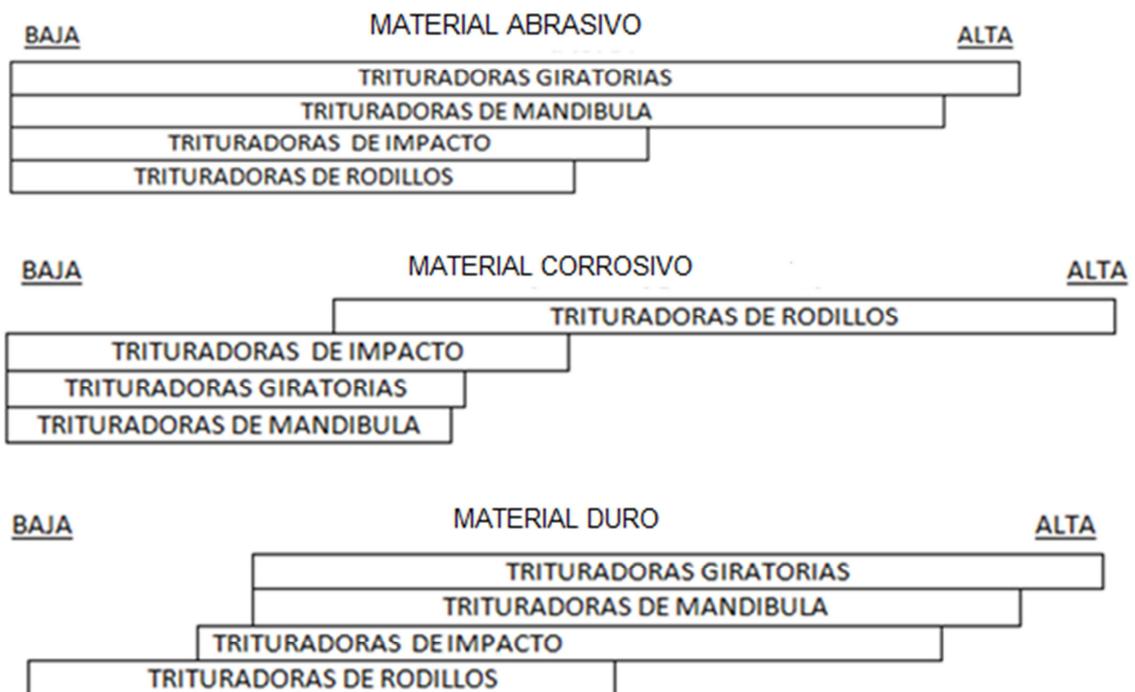
⁶ Anónimo, (2009) Lección 12: CEMENTOS/TRITURACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS
 XLVI

2.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A TRITURAR

Las principales características del material a triturar son: su resistencia, contenido de humedad y abrasividad.

Así, por ejemplo, cuando se trate de materiales muy duros, que pueden causar grandes desgastes por abrasión, han de escogerse máquinas de movimiento lento, tales como las trituradoras de mandíbulas o giratorias, mientras que si la dureza es media es apropiado el empleo de trituradoras de impacto o de martillos, en las cuales la fragmentación se realiza principalmente por choque.

A continuación se presenta una comparación entre los diferentes tipos de trituradoras en función de las propiedades del material a procesar.⁷



De acuerdo al punto 2.1.2.2 se concluye que la máquina estará sometida a corrosión y se debe considerar construir la máquina con

⁷ Anónimo, (2009) Lección 12: CEMENTOS/TRITURACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS
XLVII

materiales con resistencia a la misma, de acuerdo a lo expuesto anteriormente se concluye que las trituradoras con mayor resistencia a la corrosión con respecto a las demás son de tipo rodillos.

2.3.4 INVERSIÓN INICIAL

Normalmente se espera que una máquina de este tipo trabaje como mínimo 20 años, por lo que cualquier inversión significativa por rubro alto, siempre y cuando esté justificada, puede ser realizada.

A continuación se muestra una comparación de los diferentes tipos de trituradoras con respecto a la inversión inicial.



2.3.5 COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se tendrá en cuenta:

- Consumo de energía (Hora pico).
- Tipos de jornadas de trabajo (continua o mixta).
- Costes de mantenimiento y operación.
- Costes de mano de obra especializada para mantenimiento.

2.4 PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

Tipos principales de trituradoras, así como sus características y aplicaciones.

2.4.1 TRITURADORA DE MANDÍBULA

Consiste en un equipo para la reducción de sólidos no muy fina en grandes cantidades en unidades de baja velocidad; la alimentación se hace pasar entre dos quijadas pesadas o placas planas, como se muestra en la figura 2.3 una placa es fija y la otra es móvil y alternante con respecto a un punto de pivote en la parte inferior. La quijada oscila sobre el punto de pivote en el fondo de la V. El material pasa con lentitud hacia un espacio cada vez más pequeño, triturándose al desplazarse.

Las trituradoras de mandíbulas se emplean en la fragmentación de materiales muy duros y abrasivos. Éstas son de construcción relativamente sencilla, tiene un bajo coste de mantenimiento y existen en el mercado en unidades de gran tamaño.

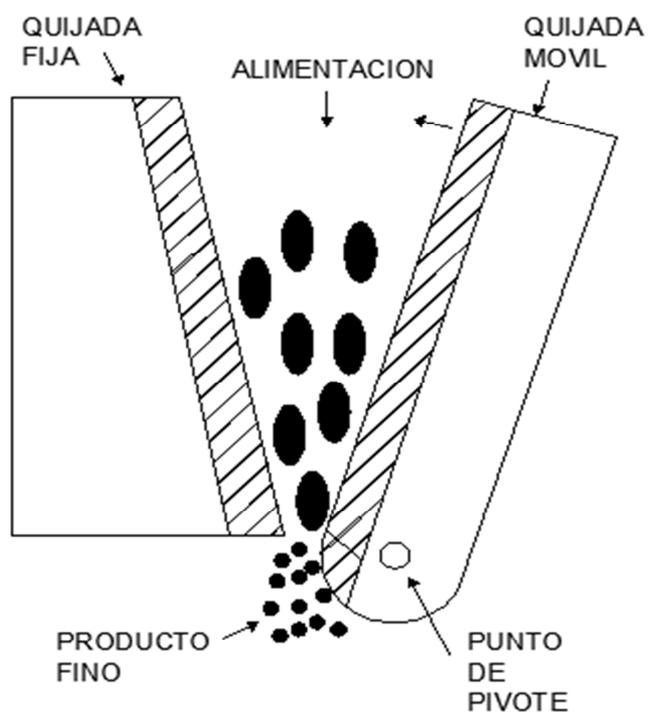


Figura 2.3 Trituradora de Mandíbula

Ventajas:

- Para materiales duros
- Velocidades medias
- Altas capacidades

Desventajas:

- Altas potencias
- Alto costo

2.4.2 TRITURADORA GIRATORIA

Las trituradoras giratorias, también llamados cónicos, son consideradas las más predominantes en el campo de la trituración de los minerales duros en trozos de gran tamaño. La cabeza trituradora móvil tiene forma de cono truncado invertido, y está en el interior de una coraza que tiene el mismo contorno. La cabeza trituradora gira excéntricamente y el material que se tritura queda atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio.

Durante cada rotación cada punto del cono móvil se aproxima y se aleja del punto correspondiente del cono fijo lo que produce la trituración de los sólidos. La dimensión del producto a la salida está determinada por la separación máxima, llamada reglaje, que puede existir entre ambos conos.

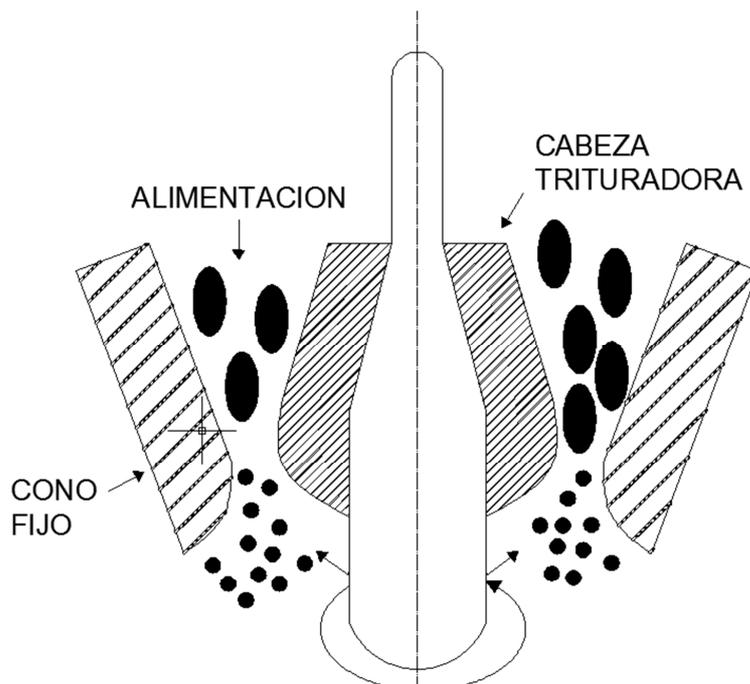


Figura 2.4 Triturador Giratorio

Ventajas:

- Compensación hidráulica.
- Ajuste hidráulico.
- Diseño para trabajo pesado.
- Alta productividad.
- Larga Vida.
- Piezas de repuesto estándar.
- Rentable.

Desventajas:

- Capacidad media.
- Velocidad media.

2.4.3 TRITURADORA DE RODILLOS

Este tipo de triturador consiste en dos cilindros de ejes paralelos girando en sentido inverso y a la misma velocidad de rotación (se impide el rozamiento del material con los rodillos), formando entre ellos una cámara de trituración en forma de V, como se muestra en la figura 2.5.

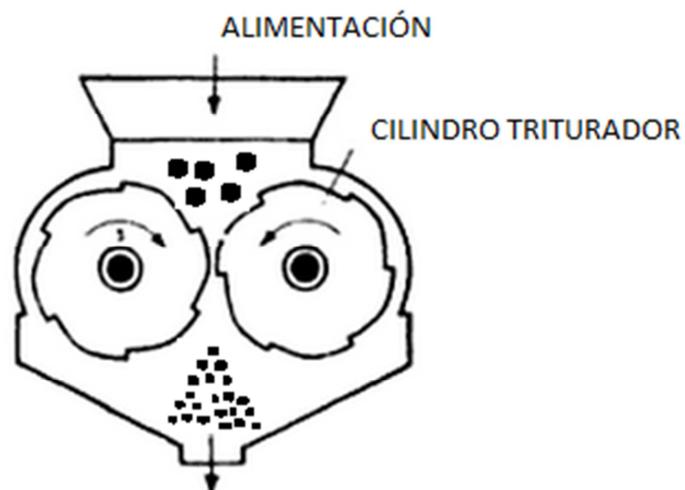


Figura 2.5 Angulo de toma de una trituradora de cilindros.

Ventajas:⁸

- Grandes bocas de alimentación.
 - Adecuadas para materiales de dureza media.
 - Elevadas fuerzas de trituración.
 - Mínima generación de finos.
 - Alta capacidad de producción.
 - Facilidad de instalación.
 - Rodillos con elementos de trituración.
 - Rentable.
-

⁸ *Propiedades del Aluminio.* (13 de 07 de 2012). Obtenido de
http://www.revesconsult.com/descargas/propiedades_aluminio.pdf

Industria JQ. (s.f.). Recuperado el 13 de 07 de 2012, de
<http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>

MIDUVI. (Septiembre 2011). *Restos urgentes para un mundo sin basura.*

POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD). (s.f.). Recuperado el 13 de 07 de 2012, de
<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pe/polietileno%20de%20baja%20densidad.htm>

Trituradores industriales. (s.f.). Recuperado el 12 de Julio de 2012, de
http://www.tritotutto.com/es/trituradores_industriales.htm

⁹ *Propiedades del Aluminio.* (13 de 07 de 2012). Obtenido de
http://www.revesconsult.com/descargas/propiedades_aluminio.pdf

Industria JQ. (s.f.). Recuperado el 13 de 07 de 2012, de
<http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>

MIDUVI. (Septiembre 2011). *Restos urgentes para un mundo sin basura.*

POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD). (s.f.). Recuperado el 13 de 07 de 2012, de
<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pe/polietileno%20de%20baja%20densidad.htm>

Trituradores industriales. (s.f.). Recuperado el 12 de Julio de 2012, de
http://www.tritotutto.com/es/trituradores_industriales.htm

- Bajo costo.

Desventajas:

- Desgaste de los rodillos
 Generalmente los rodillos con cuchillas constan de un número de dientes de alrededor de 3 a 6 dientes.

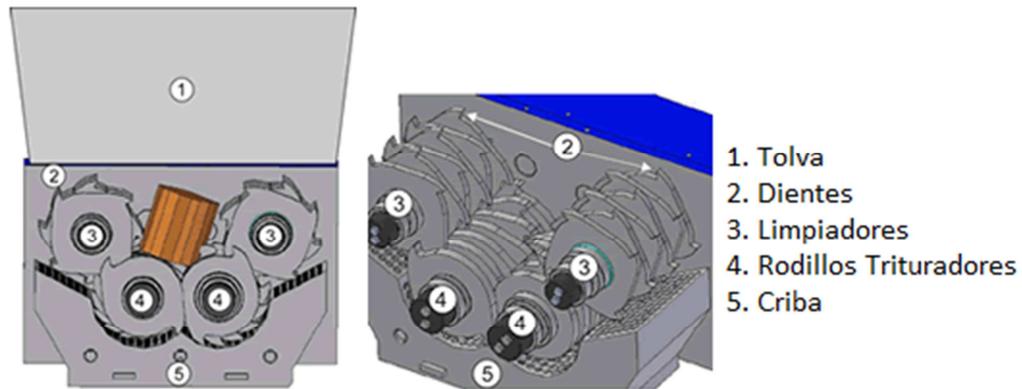


Figura 2.6 Esquema triturador de rodillos (Trituradores industriales)⁹

2.4.4 TRITURADOR DE IMPACTO

Se basa en el mecanismo de compresión del material entre dos cuerpos. Entre más rápida sea la fuerza de aplicación más rápido ocurre la fractura por el aumento de la energía cinética concentrando la fuerza de fragmentación en un solo punto produciendo partículas que se fracturan rápidamente hasta el límite.

Consiste de un rotor horizontal o vertical unido a martillos fijos o pivotantes encajados en una carcasa. En la parte inferior están dotados de un tamiz fijo o intercambiable. Puede operar a más de 1000 [RPM] haciendo que casi todos los materiales se comporten como frágiles.

Si la velocidad de introducción es demasiado grande, el material llegará hasta el núcleo del rotor y podrá provocar su deterioro más o menos rápido, mientras que si es demasiado pequeña únicamente la arista de extremidad de

los martillos podrá entrar en juego. Entonces se desgastará rápidamente perjudicando la eficacia de la fragmentación.

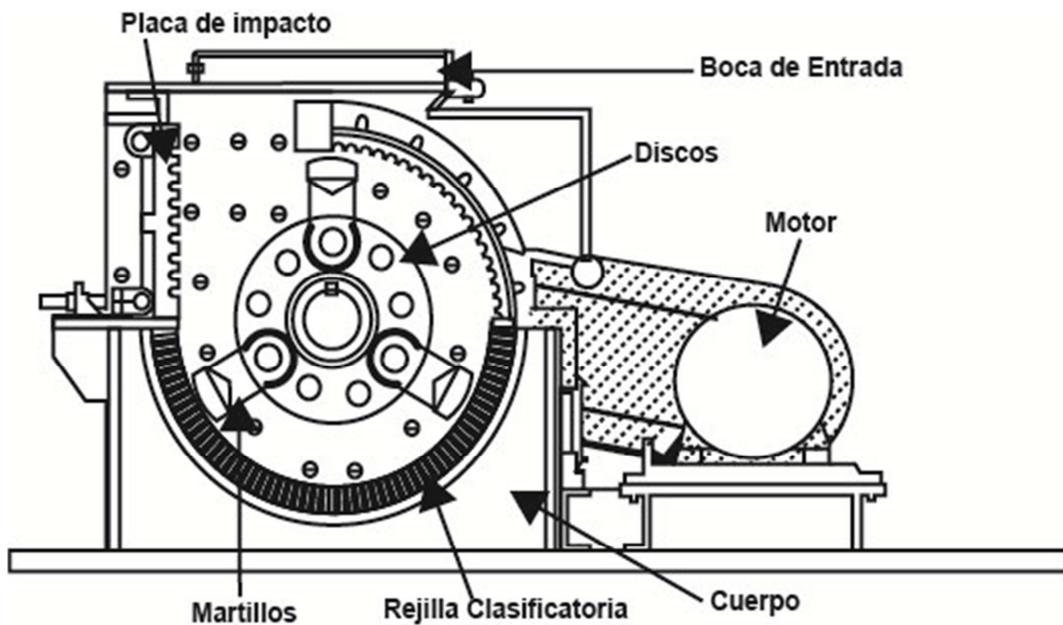


Figura 2.7 Esquema trituradora de martillos

Ventajas:

- Produce un amplio rango de tamaño de partículas.
- Trabaja con cualquier material y fibra.
- Bajo costo de compra inicial.
- Bajo costo de mantenimiento.

Desventajas:

- Baja eficiencia de energía en comparación con el molino de rodillos.
- Puede generar calor.
- Puede generar ruido y emisiones de polvo.
- No hay uniformidad en el tamaño de partículas.

2.5 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la toma de decisiones utilizaremos la herramienta de matriz multicriterio, la cual se basa en factores cualitativos o múltiples no homogéneos que intervienen en un suceso.

Para la toma de decisiones más adecuada se debe realizar tres tipos de matrices de forma metodológica, debido a que cada una de ellas considera aspectos diferentes en cuanto a parámetros generales, de trabajo o funcionalidad y de tipo en la máquina que más favorezcan a la empresa en general.

2.5.1 MATRIZ DE DECISIÓN EN BASE A LOS PARÁMETROS GENERALES MÁS RELEVANTES¹⁰

2.5.1.1 Lista de conjunto de factores

De acuerdo al criterio de reducción del tamaño de partículas en la Tabla 2.1 y el tamaño de alimentación en la figura 2.2, se ha decidido considerar este tipo de trituradoras debido a su baja relación de reducción:

TRITURADORA DE MANDÍBULA
TRITURADORA GIRATORIA
TRITURADORA DE RODILLO

2.5.1.2 Criterios de priorización y Ponderación

Se realiza de acuerdo a la importancia de cada criterio:

IMPORTANCIA	PONDERACIÓN
BAJA	1
MEDIA	2
ALTA	3

¹⁰ Herramientas para la resolución de problemas (pág 4 - 8)
<http://www.euskalit.net/nueva/images/stories/documentos/folleto4.pdf>

Tabla 2.7 Ponderación de los criterios según los Parámetro Generales

CRITERIO	PONDERACIÓN (P)
Menores Costos de Construcción	2
Facilidad de Manufactura	2
Ahorros en Operación	1
Facilidad de operación	2
Funcionabilidad Operativa con restos plásticos y tetra pack	3
Capacidad de Procesamiento con Volumen	3
Rentabilidad del equipo	1
Facilidad de Mantenimiento	2
Stock Disponibles de Repuestos	2
Vida útil	2

La justificación de la ponderación en los criterios es planteada de acuerdo a las demandas impuestas por la empresa, de tal forma que la funcionabilidad y la capacidad de procesamiento sean los criterios más relevantes a ser considerados debido a la justificación descrita en el Capítulo 1.

2.5.1.3 Valoración de los Factores

Para la valoración de los diferentes factores se considera las tablas comparativas de las trituradoras en base al tipo de material que procesaran en los puntos 2.3.3 y 2.3.4 del presente capítulo, además de las propiedades de cada trituradora descritas en la presentación de alternativas a lo largo del punto 2.3.

PUNTUACIÓN	VALORACIÓN
MUY POBRE	1
POBRE	2
MEDIA	3
MEDIA ALTA	4
ALTA	5

Tabla 2.8 Valoración de los Factores según los Parámetro Generales

CRITERIOS	PARÁMETROS GENERALES		
	VALORACION (V)		
	DE MANDIBULA	GIRATORIA	DE RODILLO
Menores costos de construcción	4	1	5
Facilidad de manufactura	3	2	5
Ahorros en operación	5	3	4
Facilidad de operación	4	4	4
Funcionabilidad operativa con restos plásticos y tetra pack	3	3	5
Capacidad de procesamiento con volumen	5	5	3
Rentabilidad del equipo	2	3	4
Facilidad de mantenimiento	5	4	4
Stock disponibles de repuestos	4	5	3
Vida útil	4	5	4

2.5.1.4 Matriz de decisión en base a los parámetros generales

ORDEN	CRITERIOS	PONDERACIÓN	PARÁMETROS GENERALES					
			DE MANDIBULA		GIRATORIA		DE RODILLO	
		P	V	VxP	V	VxP	V	VxP
1	Menores costos de construcción	2	4	8	1	2	5	10
2	Facilidad de manufactura	2	3	6	2	4	5	10
3	Ahorros en operación	1	5	5	3	3	4	4
4	Facilidad de operación	2	4	8	4	8	4	8
5	Funcionabilidad operativa con restos plásticos y tetra pack	3	3	9	3	9	5	15
6	Capacidad de procesamiento con volumen	3	5	15	5	15	3	9
7	Rentabilidad del equipo	1	2	2	3	3	4	4
8	Facilidad de mantenimiento	2	5	10	4	8	4	8
9	Stock disponibles de repuestos	2	4	8	5	10	3	6
10	Vida útil	2	4	8	5	10	4	8
	TOTAL (Σ)			79		72		82

De acuerdo a la matriz de decisión la alternativa que mejor cumple con los parámetros de evaluación establecidos es la trituradora de rodillo.

2.5.2 MATRIZ DE DECISIÓN EN BASE A LOS PARÁMETROS DE TRABAJO MÁS RELEVANTES

Es necesario definir que opción de trituradora cumplirá de mejor manera la labor necesaria en base a los diferentes parámetros de trabajo que se deben considerar.

2.5.2.1 Criterios de Priorización y Ponderación según los Parámetros de Trabajo

Tabla 2.9 Ponderación de los criterios según los Parámetros de Trabajo

CRITERIO	PONDERACIÓN (P)
Mayor tamaño de la alimentación	2
Mayor capacidad promedio de producción requerida	3
Operación con materiales de mayor dureza	1
Mayor resistencia a la abrasión	1
Mayor resistencia a la corrosión	1
Mayor grado de reducción	3
Mayor seguridad	2
Conservación del medio ambiente	2

La justificación de la ponderación en los criterios es planteada de acuerdo a las demandas impuestas por la empresa, de tal forma que la capacidad promedio de producción requerida y el grado de reducción sean los criterios más relevantes a ser considerados.

2.5.2.2 Valoración de los Factores según los Parámetros de Trabajo

Tabla 2.10 Valoración de los Factores según los Parámetros de Trabajo

CRITERIOS	PARÁMETROS DE TRABAJO		
	VALORACION (V)		
	DE MANDIBULA	GIRATORIA	DE RODILLO
Mayor tamaño de la alimentación	5	3	4
Mayor capacidad promedio de producción requerida	5	2	4
Operación con materiales de mayor dureza	3	3	2
Mayor resistencia a la abrasión	4	5	3
Mayor resistencia a la corrosión	2	3	4
Mayor grado de reducción	4	3	4
Mayor seguridad	3	4	4
Conservación del medio ambiente	2	4	5

2.5.2.3 Matriz de decisión en base a los parámetros de trabajo

ORDEN	CRITERIOS	PONDERACIÓN	PARÁMETROS DE TRABAJO					
			DE MANDIBULA		GIRATORIA		DE RODILLO	
		P	V	VxP	V	VxP	V	VxP
1	Mayor tamaño de la alimentación	2	5	10	3	6	4	8
2	Mayor capacidad promedio de producción requerida	3	5	15	2	6	4	12
3	Operación con materiales de mayor dureza	1	3	3	3	3	2	2
4	Mayor resistencia a la abrasión	1	4	4	5	5	3	3
5	Mayor resistencia a la corrosión	1	2	2	3	3	4	4
6	Mayor grado de reducción	3	4	12	3	9	4	12
7	Mayor seguridad	2	3	6	4	8	4	8
8	Conservación del medio ambiente	2	2	4	4	8	5	10
	TOTAL (Σ)			56		48		59

De acuerdo a la matriz de decisión la alternativa que mejor cumple con los parámetros de evaluación establecidos es la trituradora de rodillo.

2.5.3 MATRIZ DE DECISIÓN EN BASE A LOS DIFERENTES TIPOS DE TRITURADORAS DE RODILLOS

Debido a que la mejor elección para la trituradora es la de rodillos, expuestas en los puntos 2.5.1.4 y 2.5.2.3, es necesario elegir entre los diferentes tipos que existen de esta trituradora.

2.5.3.1 Trituradora de rodillos lisos

- Obtención de partículas finas.
- Ideal para materiales blandos y duros.
- No tiene buena eficacia con materiales fibrosos y abrasivos.
- Comprime el material.
- Fácil mantenimiento.
- Grado de reducción bajo.

2.5.3.2 Trituradora de rodillos dentados

- Obtención de partículas finas.
- Ideal para materiales semi-duros.
- Eficiencia media con materiales fibrosos y abrasivos.
- Comprime el material y lo reduce.
- Mantenimiento relativamente barato.
- Grado de reducción bajo.

2.5.3.3 Trituradora de rodillos con cuchillos

- Obtención de partículas finas.
- Ideal para materiales fibrosos como los plásticos.
- No tiene buena eficiencia con materiales duros y abrasivos.
- Corta el material y lo reduce.
- Mantenimiento barato.
- Grado de reducción alto.

2.5.3.4 Criterios de Priorización y Ponderación en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos

Tabla 2.11 Ponderación de los criterios en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos

CRITERIO	PONDERACIÓN (P)
Funcionabilidad operativa con restos plásticos y tetra pack	3
Mayor grado de reducción	3
Mayor potencia	1
Menores costos de operación	2
Mayor eficiencia	3
Facilidad de mantenimiento	2

2.5.3.5 Valoración de los Factores en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos

Tabla 2.12 Valoración de los Factores en base a los diferentes tipos de trituradoras de rodillos

CRITERIOS	FACTORES (TIPO DE TRITURADORA DE RODILLOS)		
	VALORACION (V)		
	LISOS	DENTADOS	CON CUCHILLAS
Funcionabilidad operativa con restos plásticos y tetra pack	2	3	5
Mayor grado de reducción	1	2	4
Mayor potencia	2	2	3
Menores costos de operación	5	3	2
Mayor eficiencia	1	2	5
Facilidad de mantenimiento	5	4	2

2.5.3.6 Matriz de decisión en base a los parámetros de trabajo

Para la siguiente matriz se ha considerado la ponderación o importancia de acuerdo a los diferentes parámetros de evaluación en cada tipo de trituradora de rodillo.

ORDEN	CRITERIOS	PONDERACIÓN P	TIPO DE TRITURADORA DE RODILLOS					
			LISOS		DENTADOS		CON CUCHILLAS	
			V	VxP	V	VxP	V	VxP
1	Funcionabilidad operativa con restos plásticos y tetra pack	3	2	6	3	9	5	15
3	Mayor grado de reducción	3	1	3	2	6	4	12
4	Mayor potencia	1	2	2	2	2	3	3
5	Menores costos de operación	2	5	10	3	6	2	4
6	Mayor eficiencia	3	1	3	2	6	5	15
7	Facilidad de mantenimiento	2	5	10	4	8	2	4
	TOTAL (Σ)			34		37		53

De acuerdo a la matriz de decisión la alternativa que mejor cumple con los parámetros de evaluación establecidos es la trituradora de rodillos con cuchillas.

2.6 MECÁNICA DE CORTE POR CIZALLAMIENTO¹¹

De acuerdo al análisis de selección realizada mediante a la matriz de decisiones anteriormente expuestas se concluye que la mejor opción para el tipo de trituradora es la de rodillos con cuchillas, el principio fundamental de este tipo de mecanismos se basan en la mecánica de corte por cizallamiento por lo que corresponde un estudio previo del mismo para su funcionamiento.

Para cortar los materiales se utiliza este principio, se aplica una carga a fin de provocar una fractura en el mismo. Las herramientas que se requieren para efectuar esta operación pueden ser tan sencillas o complicada, sin embargo todas ellas cuentan con tres elementos básicos:

- Una cuchilla móvil.
- Una cuchilla fija.
- Un sujetador de chapa.

En el corte se presentan cuatro etapas bien definidas:

- a) Etapa de acercamiento, el sujetador de chapa así como las cuchillas ejercen una presión continua sobre los elementos a cortar.
- b) Etapa de deformación, las cuchillas no penetran en el material sino que provocan una presión suficientemente alta que produce una deformación plástica.
- c) Etapa de indentación, en un cierto punto el material endurecido no se puede seguir deformando y las cuchillas penetran en el mismo.

¹¹

FIME, (2007). Curso de Mecánica Industrial (1era ed., Vol., pp.). Sangolquí, FIME.

d) Etapa de fractura, la zona deformada adquiere una condición frágil de tal forma que una carga adicional produce que la sección endurecida se fracture, iniciando en los puntos en que las cuchillas penetraron.

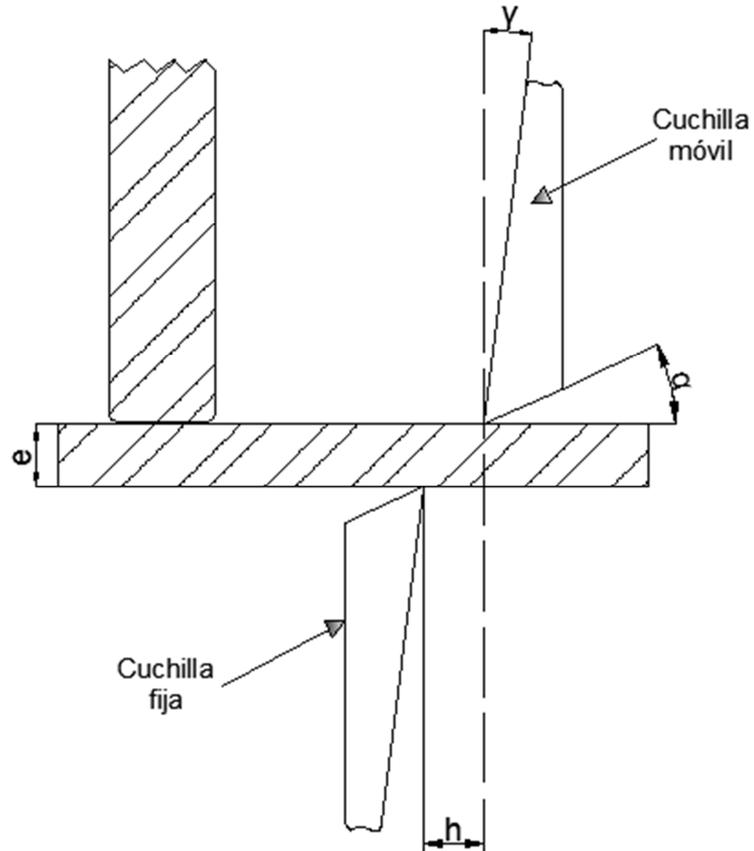


Figura 2.8 Elementos y Geometría básica de la herramienta de corte

En donde e =espesor de la lámina, h =huelgo o juego, α =ángulo de incidencia ($\sim 5^\circ$) y β =ángulo de alivio ($\sim 1,5^\circ \sim 3^\circ$)

CAPÍTULO 3

DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA

3.1 ANTECEDENTES AL DISEÑO

3.1.1 PARAMETROS GENERALES

Entre los parámetros generales a tomarse en cuenta para el diseño están principalmente: espacio disponible de trabajo, capacidad de alimentación, componentes, la geometría y dimensionamiento.

3.1.1.1 Espacio disponible de trabajo

De acuerdo a las necesidades de la empresa la máquina realizara el proceso de trituración en el muelle de descarga de producto junto a la bodega por lo que sus dimensiones máximas no deben sobrepasar un área de 3x3 metros y una altura de 1,50 a 2,50 metros.

3.1.1.2 Capacidad de alimentación

De acuerdo a lo expuesto en el perfil de tesis el objetivo de la máquina trituradora es procesar alrededor de 1 [t/hora] de productos PET o TETRA PACK.

3.1.1.3 Componentes Generales

Se ha propuesto el esquema de la figura 3.1, con alimentación en la parte superior mediante una boca con compuerta en la cual ingresaran los restos PET y Tetra-pack que son enviados por la banda transportadora, consecuentemente se mueven a través de la tobera a la cámara de trituración, la misma que constara con un sistema de rodillos con cuchillas rotatorios para la trituración, finalmente desciende los desechos por la rampa de descarga a un contenedor.

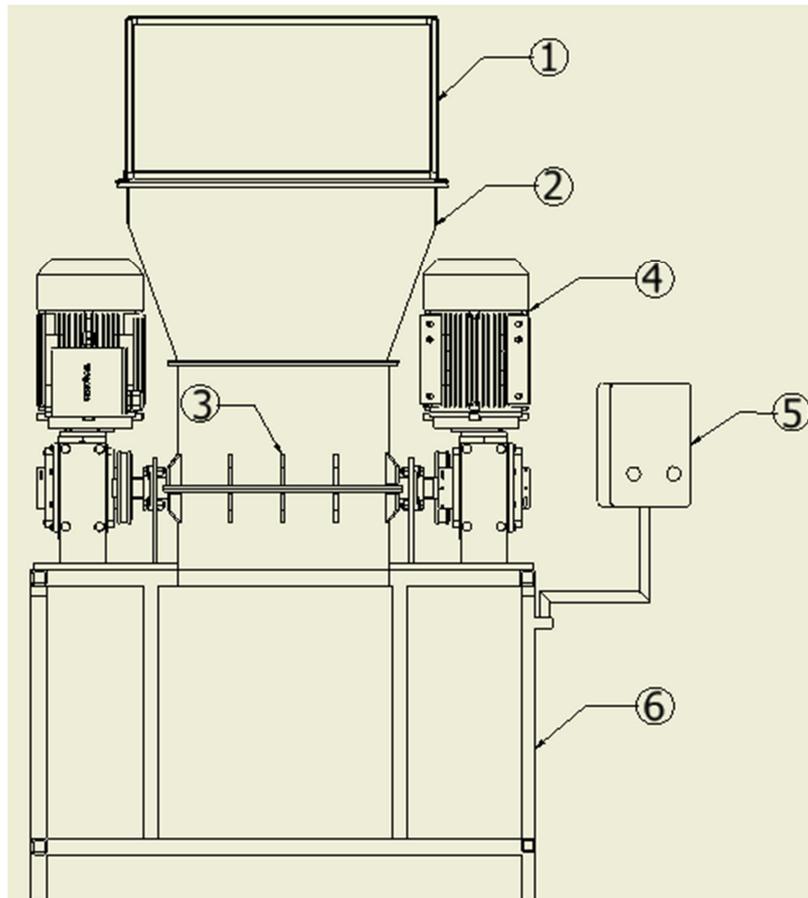


Figura 3.1 Esquema General de la Máquina

1. Cubierta superior.
2. Tobera contenedora.
3. Cámara de Trituración.
4. Motorreductores.
5. Panel de Control.
6. Estructura base.

3.1.1.4 Geometría y Dimensionamiento

En la figura 3.2 se tiene un dimensionamiento general de la máquina.

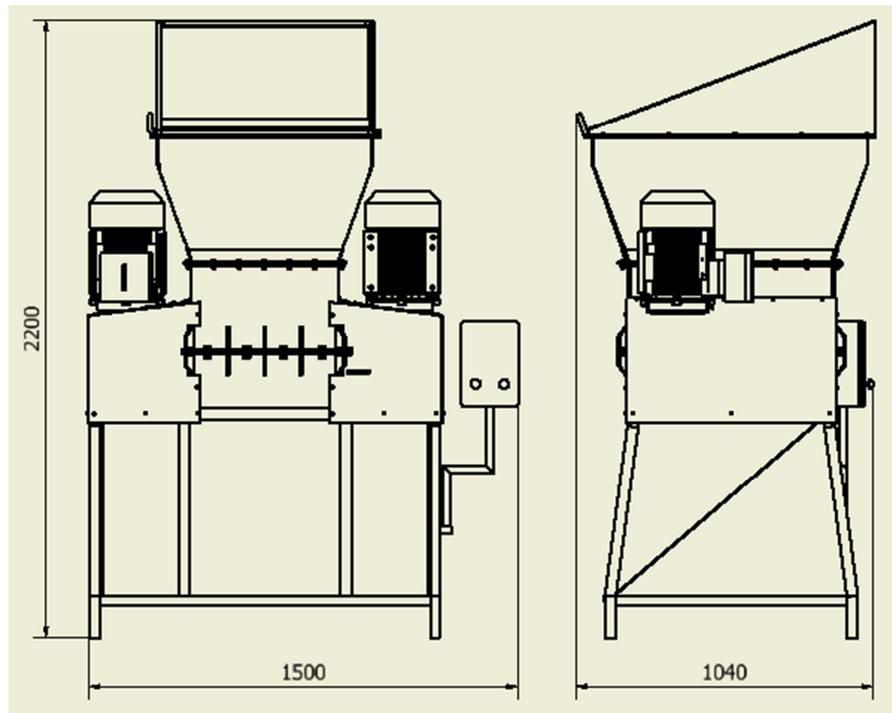


Figura 3.2 Dimensionamiento General de la Máquina

Se elige una compuerta de forma rectangular de dimensiones mostradas en la figura 3.3, que permiten un ingreso de producto máximo de aproximadamente 1000 [kg/h].

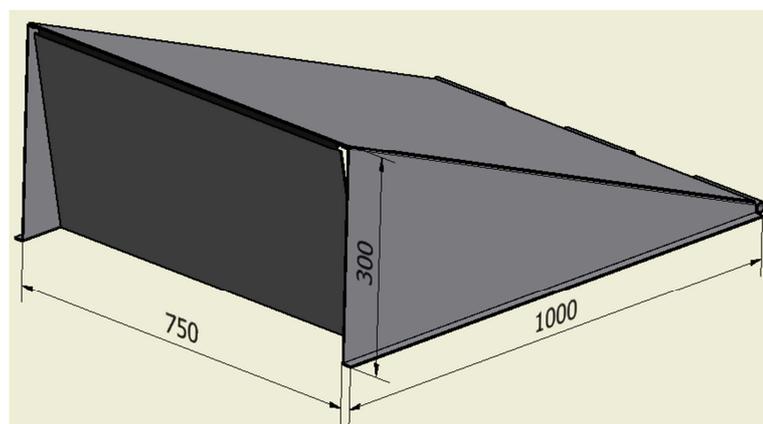


Figura 3.3 Esquema compuerta

El ancho de la boca es de 750 [mm], ya que la alimentación se realiza mediante una banda transportadora que tiene 700 [mm] de ancho de forma estándar.

Considerando dimensiones de envases PET promedio más común de alrededor de 131x80 [mm] cuyo peso aproximado por recipiente es de 400 [gr] (Gel para higiene personal), si la altura de la cubierta de alimentación es de 300 [mm] y multiplicando por el ancho de la banda transportadora se obtiene un área de 210000 [mm²], ésta a su vez se divide para el área del producto que es 10480 [mm²] para conseguir un ingreso ideal de 20 productos, a lo cual multiplicando por el peso promedio se obtiene un aproximado de desechos de al menos 8,02 [kg]. Considerando una eficiencia de ingreso de desechos en la boca de alimentación del 30% por restricciones geométricas y funcionabilidad de la banda transportadora se logra un aproximado de al menos 2,40 [kg] por segundo, si se toma en consideración un intervalo de 5 segundos en promedio de espera por tanda de restos en la banda, equivale a 1,73 [t/h], lo cual superaría la expectativa prevista de alrededor 1 [t/h] ampliamente.

Se ha optado por una geometría de tipo trapezoidal para la tobera de manera que el producto resbale fácilmente hacia la cámara de trituración con una capacidad 0,180 [m³] (aproximadamente 167 productos), con el dimensionamiento propuesto en la figura 3.4.

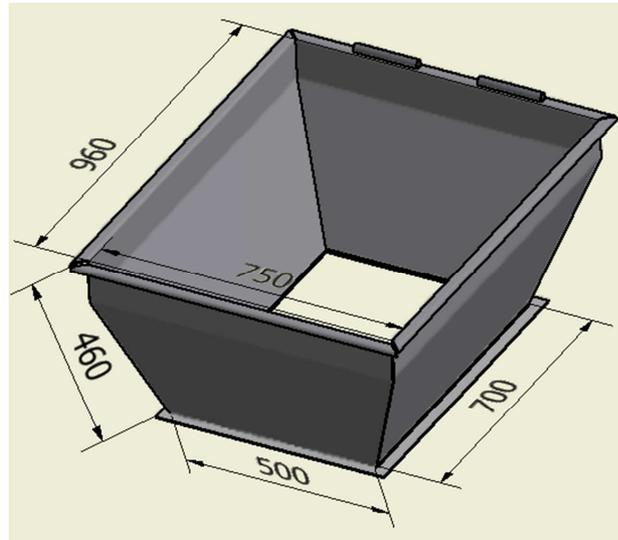


Figura 3.4 Esquema Tobera

La cámara de trituración alberga un mecanismo de rodillos con cuchillas rotatorias, sus dimensiones son las de la figura 3.5 y es el lugar donde se realiza el proceso de trituración se encuentran los ejes de cuchillas y limpiadores. Para su fácil mantenimiento en caso de atasco del mecanismo se puede desmontar en una parte inferior y superior que permite un acceso rápido a los ejes.

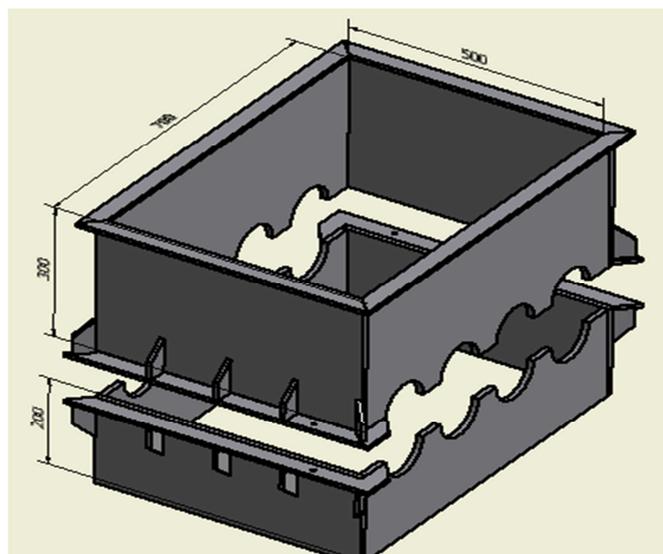


Figura 3.5 Esquema Cámara de Trituración

Se determina un espesor de 3 [mm] para la cubierta, tobera y placas protectoras ya que no se encuentran sometidas a esfuerzos significativos (Ver Anexo C). Para la cámara de trituración se considera un espesor mayor que soporte el peso de la tobera y la cubierta de mayor robustez capaz de soportar vibraciones producidas por el sistema de trituración. En la tabla 3.1 se resumen los diferentes espesores según el elemento.

Tabla 3.1 Espesores en el sistema de Alimentación

ELEMENTO	ESPESOR (en mm)
CUBIERTA	3
TOBERA	3
CAJA TRITURADORA	6

3.2 POTENCIA REQUERIDA EN EL MOTOR

3.2.1 FUERZA DE CORTE¹²

Al realizar un corte del material de envase (PET / TETRA PACK) en la trituradora por el desplazamiento paralelo y alternado de dos cuchillas simultáneamente una a lado de otra se obtiene el efecto de cizallamiento. El corte, realizado en frío, consiste en separar el material de desecho, las cuchillas están puestas de modo que sus planos inclinados constituyan los filos de corte (ver Figura 3.6).

El ángulo de corte suele ser $\beta=70$ a 80° y el ángulo de ataque $\alpha= 4$ a 6° . Los dos filos cortantes están dispuestos en un ángulo de abertura γ que varía de 8 a 10° .

¹² Rossi, M. (2012). ESTAMPADO EN FRÍO DE LA CHAPA (9na ed., Vol. I). Mexico, HOEPLI.

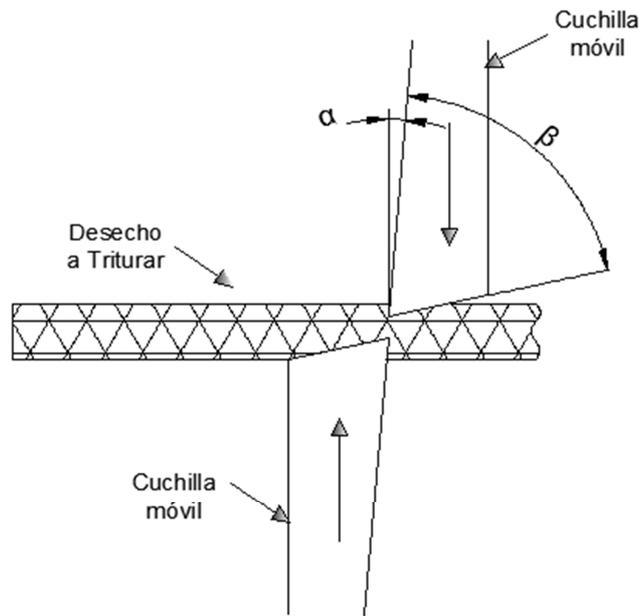


Figura 3.6 Vista Superior de las cuchillas en la posición inicial de corte

La fuerza total de corte (distinta de extremo a extremo por efecto del ángulo de abertura Y) viene dada por el área del triángulo de material solicitado multiplicado por σ_t .

$$P_{\text{corte}} = \frac{l_{\text{cuchilla}} \cdot e_{\text{chapa}}}{2} * \sigma_t \quad (\text{Ec. 3.2.1})$$

En donde:

P_{corte} : Fuerza total de corte, en kg.;

L_{cuchilla} : Longitud de la cuchilla en trabajo según el ángulo Y , en mm.;

E_{chapa} : Espesor de la chapa en mm.;

$\sigma_t = 0,8 * \sigma_R$, siendo σ_R la carga de rotura del material en kg/mm^2 .

Teniendo presente que:

$$e_{\text{chapa}} = l_{\text{cuchilla}} * \tan(Y), \text{ y } Y = 10^\circ$$

Se tiene: $P_{\text{corte}} = 2,27 * (e_{\text{chapa}})^2 * \sigma_R$ (Ec. 3.2.2)

De acuerdo al Capítulo 2 las propiedades mecánicas de los materiales más importantes a ser considerados en el estudio son el Polietileno PEBD y el Polietileno PET, cuyas cargas de roturas respectivamente son:

$$\sigma_R = 10 \text{ [MPa]} = 1,02 \text{ [kg/mm}^2\text{]} \quad \text{y} \quad \sigma_R = 900 \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 9 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

Se puede observar claramente que la carga de rotura del Polietileno PET es mucho mayor que la del Polietileno PEBD, por lo que se considerará la mayor opción.

El espesor de pared estándar en los envases industriales y de laboratorio más comunes en el país varía desde 0,8mm-1,5mm, se debe considerar una gama de recipientes PET extra gruesos para uso industrial cuyo espesor llega hasta 3mm, siendo este el espesor de mayor longitud.

Debido a la naturaleza de la operación en la máquina, cada cuchilla podría triturar hasta 2 recipientes a la vez en una sola operación, considerando este caso extremo el espesor de pared del envase podría duplicarse lo cual aumentaría considerablemente el esfuerzo que el motor deba realizar para cumplir su cometido, por tanto para el estudio se impone: $e = 6\text{mm}$

Reemplazando e y σ_R en la ecuación 3.2.2 se obtiene una fuerza de corte es:

$$P_{\text{corte}} = 2,27 * 6^2 * 9 = 735 \text{ [kg]}$$

3.2.2 POTENCIA REQUERIDA¹³

Se debe considerar un factor de servicio igual a 1.20 en la fuerza de corte que garantice el éxito en su operación debido a la variabilidad del espesor en los envases PET, por tanto: $F. \text{Serv.} = 1.20$

¹³ ESPE-027579, (2005). DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y PICADORA. Repositorio Virtual.

$$P_{\text{corte}} = F_{\text{Serv.}} * P_{\text{corte}} \quad (\text{Ec. 3.2.3})$$

Reemplazando: $P_{\text{corte}} = 1.20 * 735 = 882 \text{ [kg]}$

Si se considera un diseño ideal teórico del radio de corte en la cuchilla de 100 [mm], este radio es la distancia de palanca para el torque mínimo generado por el motor y el cual se representa por la siguiente ecuación:

$$T_{\text{motor}} = P_{\text{corte}} * r_{\text{corte}} \quad (\text{Ec. 3.2.4})$$

En donde:

T_{motor} : Torque necesario del motor para la operación de trituramiento.

P_{corte} : Fuerza de corte.

r_{corte} : Radio de la cuchilla.

Reemplazando: $T_{\text{motor}} = 882 * 100 = 88200 \text{ [kg*mm]} = 864,4 \text{ [N*m]}$

Con la velocidad de salida del motor (87,5 [RPM], ver Anexo E1) se calcula la mínima Potencia que el motor requiere para realizar la trituración.

De acuerdo a la ecuación:

$$P_{\text{req}} = \frac{T_{\text{motor}} * W_{\text{fc}}}{9550} \quad (\text{Ec. 3.2.5})$$

En donde:

P_{req} : Potencia requerida.

Reemplazando se obtiene:

T_{motor} : Torque necesario del motor.

$$P_{req} = \frac{864,4 \cdot 87,5}{9550}$$

W_{fc} : Velocidad de salida del motor.

$$P_{req} = 7,92 \text{ [Kw]} = 10,62 \text{ [Hp]}$$

Por tanto es necesario como mínimo un motor de 12 [Hp] para el uso de la trituradora.

3.3 ESQUEMA CINEMÁTICO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN

En la siguiente figura 3.5 se muestra el esquema cinemático del proceso de trituración.

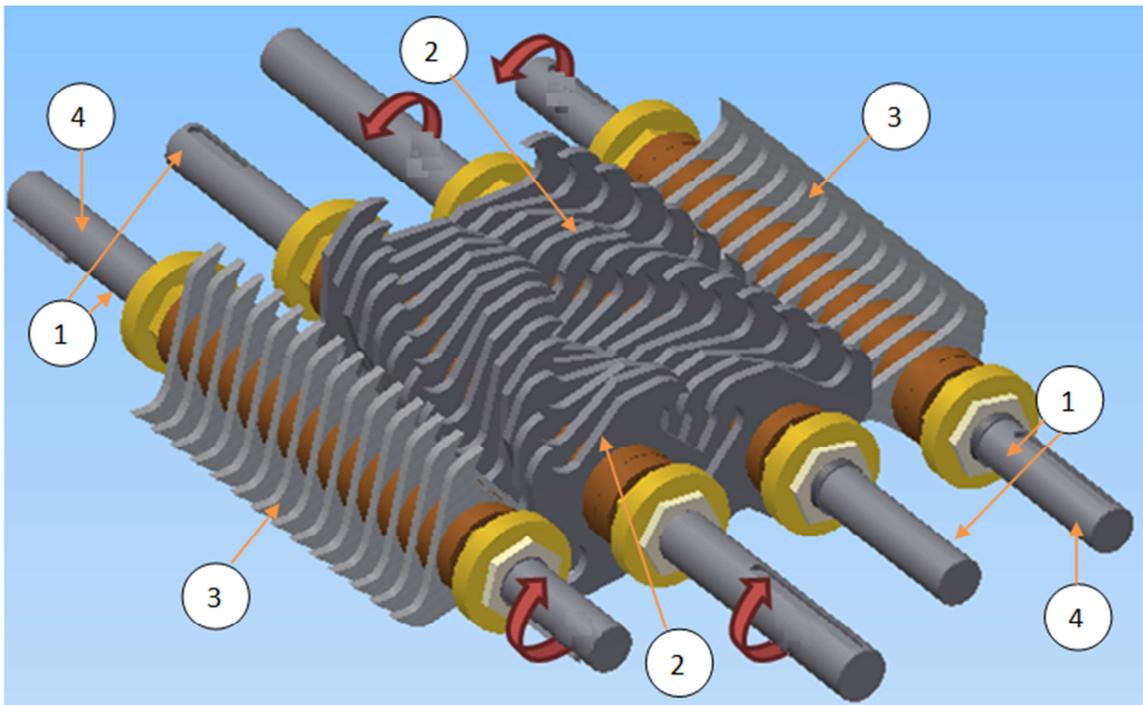


Figura 3.7 Esquema Cinemático de los Elementos de Trituración

En donde: 1. Ejes, 2. Cuchillas Tritradoras, 3. Cuchillas Limpiadoras, 4. Elemento de Transmisión de Potencia

3.4 DISEÑO DE ELEMENTOS

3.4.1 DETERMINACIÓN DE FUERZAS DE IMPACTO

Como consideración importante se realizara el análisis de un envase tipo PET (polietileno tereftalato) debido a que este es el que presenta mayor esfuerzo al corte convirtiéndolo en el elemento crítico de nuestro estudio, omitiéndose así la presentación del cálculo para envases tetra pack.

En el momento que una cuchilla móvil se encuentra con otra cuchilla se genera la carga por impacto que es súbita y en un intervalo muy pequeño de tiempo. El análisis de la pared de un envase PET sometida a este tipo de carga de impacto se representa a continuación:

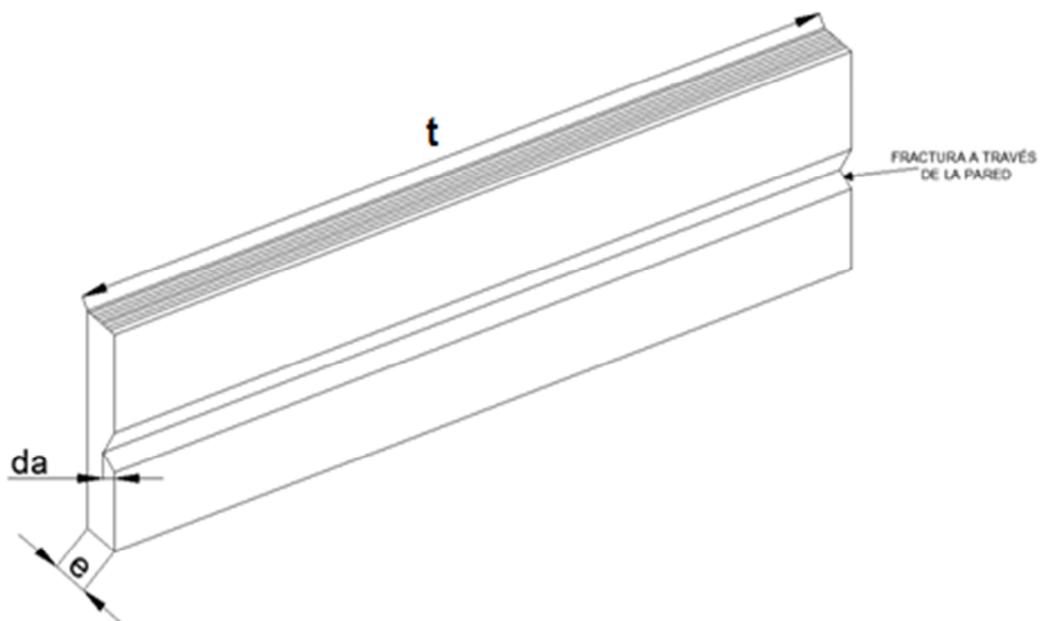


Figura 3.8 Pared de PET sometida a carga de Impacto

En la figura 3.8 se observa la pared sometida al impacto, donde:

t: Longitud máxima que se tiene por cada impacto (longitud de la cuchilla).

e: espesor de la pared de PET.

δa : es el avance del corte a lo largo de todo el espesor durante el instante de impacto.

Una ecuación que satisface el balance energético de fractura por impacto es la siguiente:

$$\delta W \geq \delta U^{el} + 1,5 * G_c * t * \delta a \quad (\text{Ec. 3.4.1})$$

En donde:

δW : Trabajo necesario para realizar la rotura del material.

δU^{el} : Cambio de energía elástica.

$G_c t \delta a$: La energía absorbida por el material en rotura.

En la que trabajo (W) necesario para realizar la ruptura del material debe ser mayor que el cambio de energía elástica (δU^{el}) más la energía absorbida por el material en ruptura ($G_c t \delta a$).

De acuerdo a la geometría que presenta el PET el cambio de energía elástica es despreciable en consideración al trabajo realizado por la cuchilla al realizar el corte, esto se justifica ya que la fractura en elementos PET presenta una rápida propagación de la grieta que se genera a lo largo de los planos cristalográficos.

Por tanto la ecuación 3.4.1 se puede reducir a una expresión más simple considerando el caso de fractura rápida

$$\delta W = 1,5 * G_c * t * \delta a \quad (\text{Ec. 3.4.2})$$

En donde:

G_c : es la energía absorbida por unidad de área.

t : la longitud de material que es cortada por la cuchilla.

Se tiene que la cantidad de energía por área (G_c) para el PET es de 7 [kJ/m²] (Ver Anexo D).

De la ecuación 3.4.2 para nuestro caso se tiene:

$$F_i \delta a = 1,5 * G_c * t * \delta a \quad (\text{Ec. 3.4.3})$$

$$F_i = 1,5 * G_c * t \quad (\text{Ec. 3.4.4})$$

De aquí que F_i es la fuerza que es necesaria para romper una pared de PET mediante fractura en impacto.

Reemplazando valores:

$$F_i = 1,5 * 7 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2} \right] * .010 [\text{m}] = 105.8 [\text{N}] \quad \text{Para la parte frontal de la cuchilla.}$$

3.4.2 DETERMINACIÓN DE FUERZA DE CORTE

La fuerza de corte entre cuchillas se calcula con el esfuerzo de corte.

$$F_{ct} = 2,27 * (e_{PET})^2 * \sigma_R \quad (\text{Ec. 3.4.5})$$

En donde:

F_{ct} : Fuerza de corte total ejercida por dos cuchillas [N].

σ_R : Esfuerzo de corte [kgf/mm²].

e_{PET} : Espesor de pared de un envase estándar [mm].

Por lo tanto reemplazando en la ecuación 3.4.5:

$$F_{ct} = 2,27 * (2)^2 * 9 = 700 [\text{N}]$$

Debido a que se ejerce esta fuerza en dos cuchillas se divide para dos y se tiene que:

$$F_c = 350 [\text{N}]$$

3.4.3 DISEÑO DE CUCHILLA

3.4.3.1 Dimensiones y Geometría

Debido a que no se dispone catálogos para determinar las dimensiones de cuchillas se ha decidido tomar el modelo estándar de cuchillas trituradoras para envases PET que se muestra en la figura 3.9.

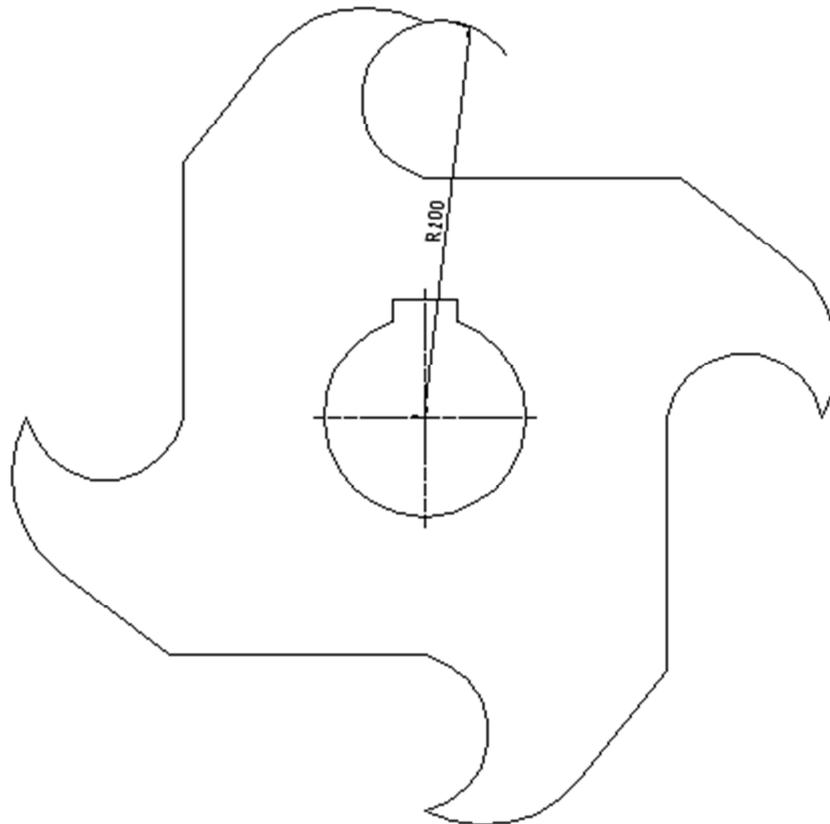


Figura 3.9 Geometría Cuchilla y su radio de corte

El radio de corte de la cuchilla es de 100 [mm] y se determinó para una distancia entre ejes de cuchillas y de limpiadores de 160 [mm]. Los valores expuestos son aproximados de acuerdo al dimensionamiento de la caja trituradora expuesta en la figura 3.5.

En base al grado de reducción “n” en la ecuación 2.1 en el capítulo 2 y observaciones en otros modelos de trituradoras en el mercado determinamos que para tener un grado de reducción entre 6 y 5 se debe tener un espesor de

cuchilla de 10 [mm], ya que permite una mayor reducción de un área equivalente al área de un envase promedio de alrededor de 10480 [mm²] (área inicial rectangular de mayor tamaño del envase marcada en un espacio de al menos cinco cuchillas) a 1400 [mm²] (área final rectangular de menor tamaño marcada en un espacio de al menos una cuchilla) como se observa en la figura 3.10.

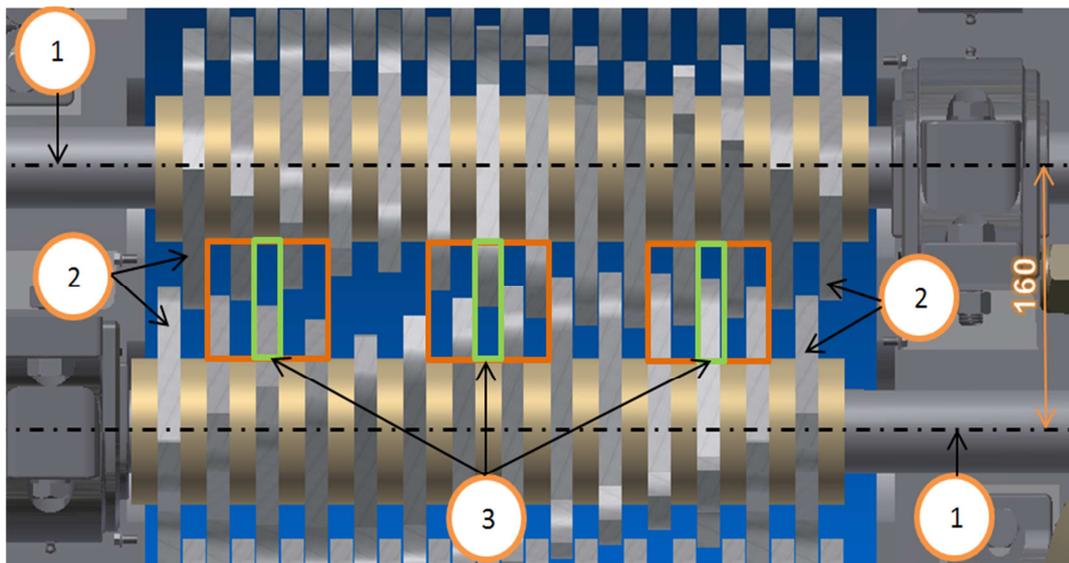


Figura 3.10 Esquema del juego de cuchillas trituradoras, distancia entre ejes

En donde: 1.Ejes Portacuchillas, 2.Cuchillas Tritradoras, 3. Áreas equivalentes del desecho antes y después del proceso de trituración de acuerdo al grado de trituración de la máquina.

3.4.3.2 Determinación del material de las cuchillas y tratamiento térmico

Para la fabricación de herramientas para trabajo en frío como cuchillas para corte de madera, metal, plástico, papel y cartón, es necesario un acero con alto porcentaje de cromo y carbono, particularmente susceptible de ser templado al aire y que goce de una buena tenacidad.

De acuerdo al catálogo Ivan Bohman¹⁴ de aceros para trabajo en frío se propone la siguiente tabla de alternativas con costos y disponibilidad.

Tabla 3.2 Aceros para trabajo en Frío

OPCIÓN	PRESENTACIÓN	DIMENSION ESTÁNDAR	COSTO \$/kg	DUREZA	EXISTENCIA	DIFICULTAD MANUFACTURA
AISI01	EJE	208 mm	11	190 HB	Si	MEDIANA
AISID6	EJE	208 mm	25	240 HB	Bajo pedido	ALTA
AISID2	EJE	216 mm	15	210 HB	No disponible	MEDIANA
AISID2	PLANCHA	1200*2400*15	7	210 HB	Si	BAJA

- Acero AISI D2 8620 (K110 Aceros Bohler), capaz de ser sometido a un temple entre 1020-1040°C para obtener una dureza estándar de entre 63-65 HRC, este acero goza de una alta resistencia a la corrosión y al desgaste.¹⁵
- Acero AISI 01 es un acero al manganeso-cromo-tungsteno templable en aceite y muy versátil, para uso general. Es apto para una gran variedad de aplicaciones de trabajo en frío posee una buena mecanibilidad, buena estabilidad dimensional en el temple, combinación de gran dureza superficial y tenacidad tras el temple y revenido.
- Acero AISI D6 es un acero para utillajes con un alto contenido en carbono y cromo, aleado con tungsteno y que cuenta con las características siguientes: gran resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión, alta dureza de la superficie después de temple, buenas propiedades de temple, buena estabilidad durante el temple, buena resistencia al revenido.

Debido a la facilidad de manufactura y el costo que permite el acero AISI D2 en plancha se escoge este material con esta presentación.

¹⁴ Compañía Ivan Bohman, (2002). Catálogo de Aceros (pp. 2-39). Poligráfica.

¹⁵ Anónimo (2009, 07). Böhler K110. Aceros para trabajo en frío. Recuperado 06, 2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

3.4.3.3 Determinación de esfuerzos en la cuchilla

Para el análisis de los esfuerzos máximos generados en la cuchilla utilizamos el software INVENTOR 2012, en donde simularemos el efecto que producen las fuerzas máximas debido al impacto y corte en los envases plásticos tipo PET en la cuchilla montada en un eje que gira a una velocidad angular de 87,5 [RPM]¹⁶.

Para esta simulación ubicamos las fuerzas máximas posibles en la trituración del envase PET, por lo que se considera una gráfica Fuerza [N] VS. Tiempo [s] variable mostrado en la figura 3.8, el valor máximo de la Fuerza es de 405 [N] obtenido de la sumatoria de la Fuerza de Impacto y la Fuerza de Corte cuya dirección es tangente como se muestra en la figura 3.11 previamente analizadas en los puntos 3.4.1 y 3.4.2 . Esta fuerza se repetirá en cada punta de la cuchilla en un intervalo de tiempo, además, se considera una cuchilla conformada con una aleación alta de Carbono como acero de herramienta de manera que la simulación sea lo más realista posible.

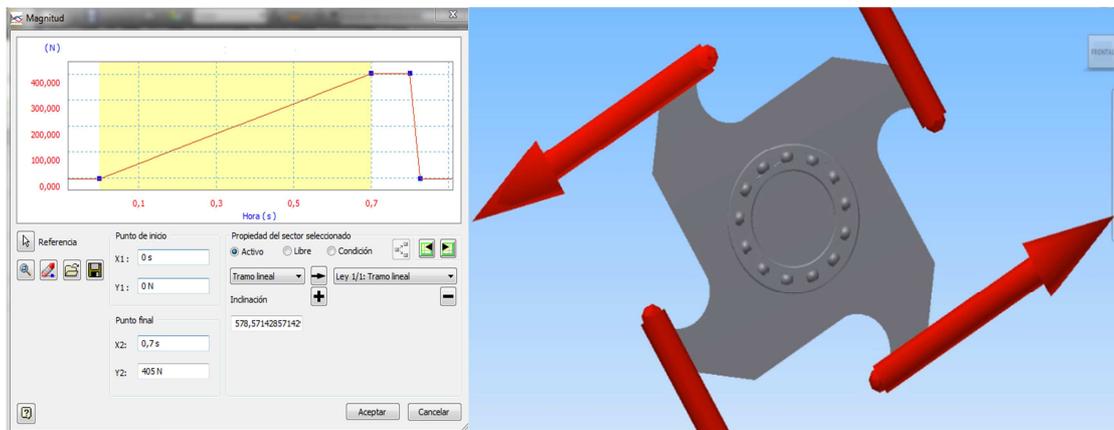


Figura 3.11 Inserción de Fuerzas en la Cuchilla

Simulación Dinámica INVENTOR 2012, como se puede ver en la figura 3.11 la magnitud de la fuerza aumentará de 0 a 405 [N] en un intervalo de tiempo de 0,7 [s] (tiempo en el cual se tarda la cuchilla en dar una revolución a

¹⁶ Velocidad de salida en el Motorreductor: Catálogo Motor Marca Rossi (Ver Anexo E1)

una velocidad angular de 87,5 [RPM]). La dirección de la fuerza está marcada con la flecha amarilla.

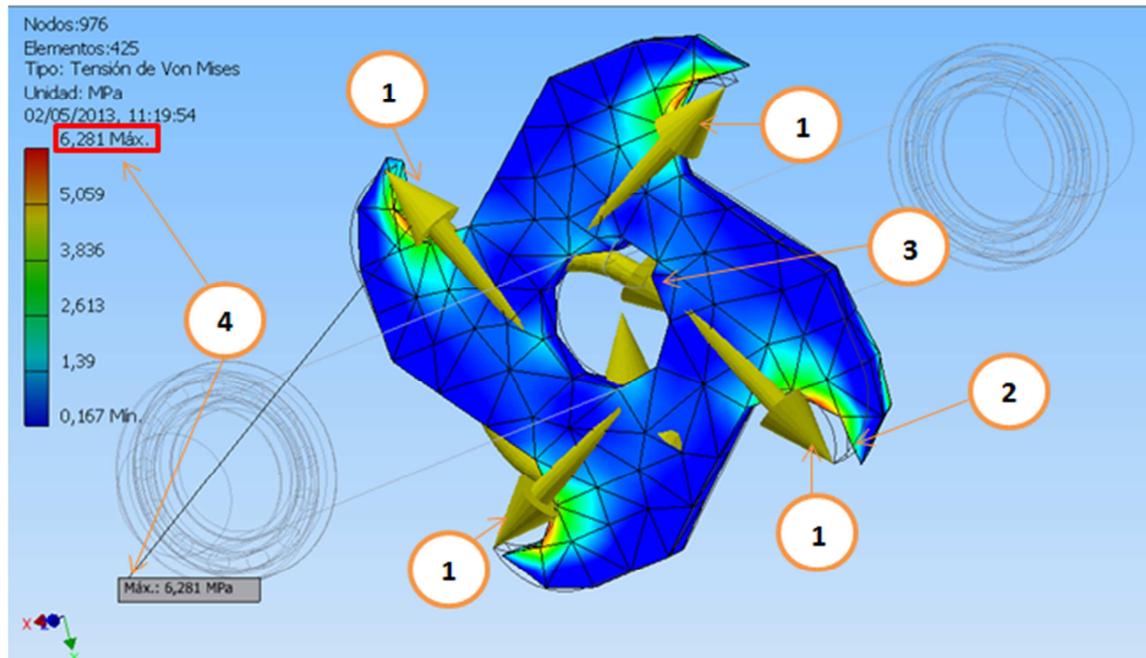


Figura 3.12 Esquema de Esfuerzo de Von Mises máximo de acuerdo a la coloración en la cuchilla.

Dónde: 1.Dirección de las Fuerzas en la cuchilla, 2.Deformación Plástica simuladas de la cuchilla, 3. Fuerzas y Momentos resultantes en la cuchilla y el eje, 4. Esfuerzo Máximo y localización física en la cuchilla.

Como se puede observar en la figura 3.12 se muestra las diferentes fuerzas aplicadas de manera tangencial a la geometría curva de cada punta de la cuchilla y sus reacciones tanto en la chaveta como en el eje.

El esfuerzo máximo generado de acuerdo a Von Mises es de 6,281 [MPa] y su ubicación es directa en la punta de la cuchilla como lo indica en la gráfica. Al ser un esfuerzo de muy baja magnitud no se espera ningún daño por esfuerzo en el material de las cuchillas ni en el eje debido a la aplicación de las fuerzas.

3.4.4 DISEÑO DE ANILLOS SEPARADORES

Estos anillos separan y distribuyen de manera uniforme a las cuchillas entre sí a lo largo del eje, de tal forma que no se choquen entre ellas cuando realizan el proceso de trituración.

Sus dimensiones varían de acuerdo al diámetro del eje y el ancho de las mismas debe ser superior al ancho de las cuchillas para evitar cualquier rozamiento entre las mismas.

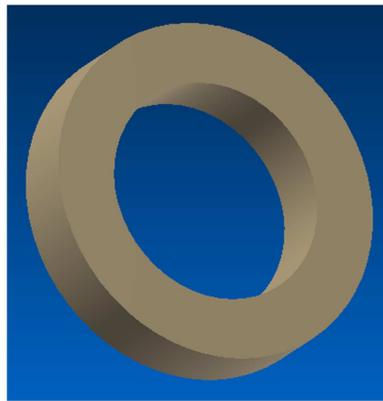


Figura 3.13 Anillo Separador

3.4.5 DISEÑO DEL EJE DE CUCHILLAS

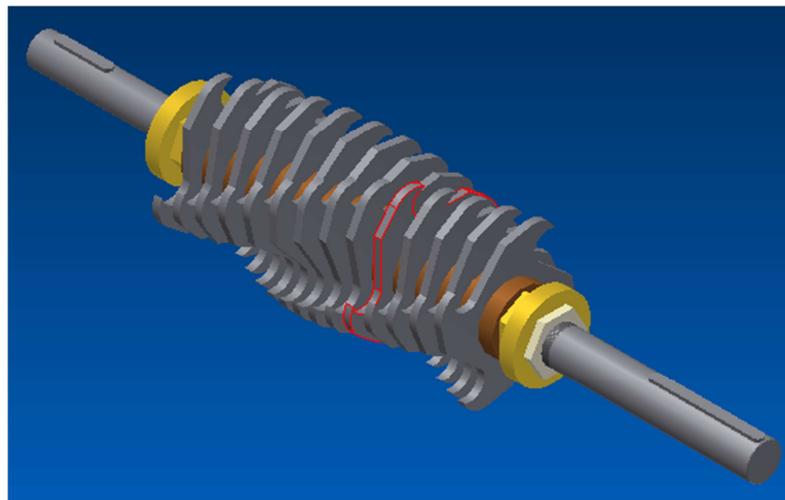


Figura 3.14 Esquema Eje de cuchillas

Para el diseño del eje utilizaremos dos programas de cálculo (SAP2000 V14.1 e AUTODESK INVENTOR 2012) para determinar los diferentes parámetros que definirán a nuestro eje.

3.4.5.1 Cálculo

Para nuestro diseño consideramos un diámetro estándar inicial de 2 [pulg], con el cuál se ha realizado un análisis de Diagrama de Fuerzas en el eje.

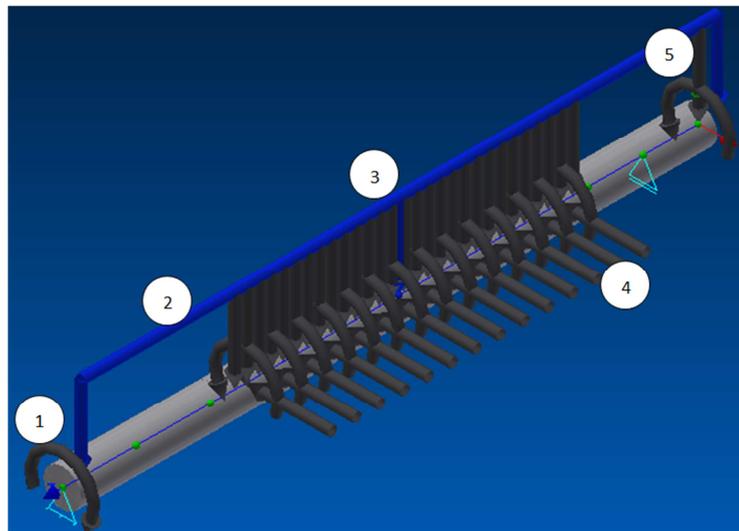


Figura 3.15 Esquema de Fuerzas en el Eje de Cuchillas (INVENTOR 2012)

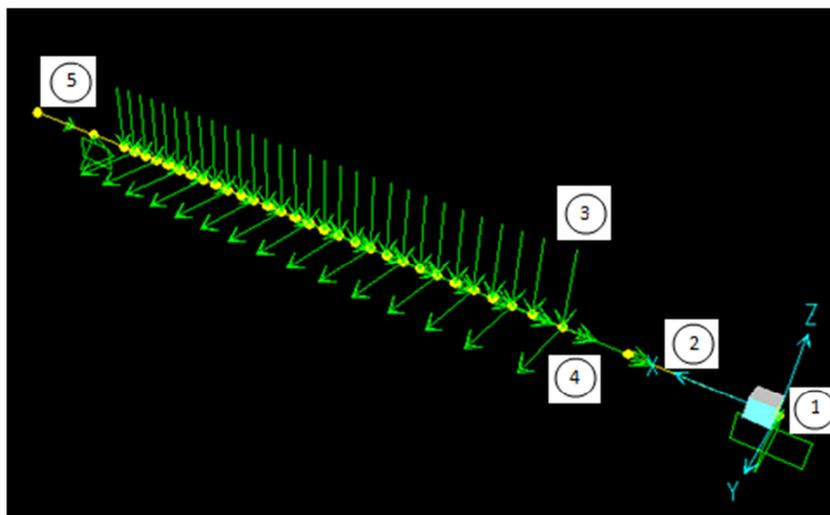


Figura 3.16 Esquema de Fuerzas en el Eje de Cuchillas (SAP 2000)

En donde:

1. Torque Equivalente
2. Peso Distribuido del eje.
3. Pesos Puntuales de las Cuchillas y anillos separadores respectivamente.
4. Fuerzas y momentos puntuales en cada cuchilla.
5. Peso y momento puntual debido a acción de la cadena en la catalina.

Los apoyos del eje se ilustran en forma de triángulo y corresponden a ubicación de los rodamientos.

3.4.5.1.1 Análisis de Fuerzas

- **Peso Distribuido del Eje**

$$V_{eje} = \frac{\pi * D_{eje}^2 * L_{eje}}{4} \quad (\text{Ec. 3.4.8})$$

$D_{eje} = 2$ [pulg] (Para empezar el cálculo se presupone un Diámetro del eje)

$L_{eje} = 860$ [mm]

$V_{eje} = 1,74 \times 10^3$ [m³]

$$P_{eje} = \rho_{acero} * V_{eje} \quad (\text{Ec. 3.4.9})$$

$\rho_{acero} = 7850$ [Kg/m³]

$P_{eje} = 13,68$ [Kg] = 134,095 [N]

$$q_{eje} = P_{eje} / L_{eje} = 0,150 \text{ [N/mm]} \quad (\text{Ec. 3.4.10})$$

En donde:

V_{eje} : Volumen del Eje de Cuchillas

ρ_{acero} : Densidad del Metal

D_{eje} : Diámetro del Eje de Cuchillas

P_{eje} : Peso del Eje de Cuchillas

L_{eje} : Longitud del eje de Cuhillas

q_{eje} : Carga Distribuida del Eje de Cuchillas

V_{eje} : Volumen del Eje de Cuchillas

- **Pesos Puntuales de las Cuchillas y anillos separadores**

Peso de cuchillas determinado mediante software INVENTOR 2012

$$P_c: \text{Peso Cuchillas} \qquad P_c = 1,027 \text{ [Kg]} = 10,0646 \text{ [N]}$$

Peso de los anillos separadores determinado mediante software INVENTOR 2012

$$P_a: \text{Peso Anillos Separadores} \qquad P_a = 0,499 \text{ [Kg]} = 4,890 \text{ [N]}$$

- **Fuerzas y momentos puntuales en cada cuchilla.**

Momentos generados en las cuchillas por las fuerzas de impacto F_i y las fuerzas de corte F_c máximas calculadas anteriormente en las ecuaciones 3.4.4y 3.4.5 respectivamente.

$$F_i = 105.8 \text{ [N]}$$

$$L_c = 97 \text{ [mm]} \text{ (100–3mm Porcentaje de Error)}$$

$$F_c = 350 \text{ N}$$

$$L_d = 80 \text{ [mm]}$$

$$F_t = F_i + F_c \quad (\text{Ec. 3.4.11})$$

$$F_t = 405.8 \text{ [N]} \quad M_i = F_i \cdot L_c \quad (\text{Ec. 3.4.12})$$

$$M_i = 105,8 \cdot 97 = 10,271 \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

$$M_c = F_c \cdot L_d \quad (\text{Ec. 3.4.13})$$

$$M_c = 350 \cdot 80 = 28 \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

$$M_T = M_i + M_c \quad (\text{Ec. 3.4.14})$$

$$M_T = 38,27 \text{ [KN} \cdot \text{mm]}$$

En donde:

F_i : Fuerza de Impacto generado en la punta de la cuchilla

L_c : Longitud desde el centro hasta la punta de la cuchilla

M_i : Momento Generado por la Fuerza de Impacto

F_c : Fuerza de Corte generado en la cara de agarre de la cuchilla

L_d : Longitud desde el centro hasta la cara de agarre de la cuchilla

M_c : Momento Generado por la Fuerza de Corte

M_T : Momento Total Generado en la Cuchilla (Caso extremo)

F_t : Fuerza Total Transmitida al Eje por la Cuchilla

Peso Catalina

Peso aproximado de una catalina estándar determinado mediante software INVENTOR 2012

$$P_{cat1} = 1,808 \text{ [Kg]} = 17,72 \text{ [N]}$$

Momento requerido para vencer la inercia de los ejes portacuchillas limpiadoras

Para determinar el momento en la catalina que transmite el movimiento del eje de cuchillas al eje de limpiadores es necesario calcular la inercia del conjunto eje limpiadores mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_i = I_t \cdot \alpha \quad (\text{Ec. 3.4.15})$$

$$W_0 = 0 \text{ [rad/seg]}$$

$$\alpha = \frac{W_f - W_0}{t_f^2 - t_0^2} \quad (\text{Ec. 3.4.16})$$

Reemplazando se tiene:

$$t_0 = 0 \text{ [seg]}$$

$$\alpha = \frac{W_f}{t_f^2} \quad (\text{Ec. 3.4.17})$$

En donde:

T_i : Torque para vencer la inercia de los elementos [N*m]

I_i : Inercia de los elementos [Kg/m²]

α : Aceleración media producida el encendido y plena marcha [rad/s²]

W_{fl} : Velocidad angular [rad/s]

t_f : Tiempo de arranque del motor [s]

Cálculo de la Inercia:

➤ **Velocidad Angular en el eje de cuchillas**

La velocidad angular de acuerdo al catálogo del motor reductor marca Rossi que posee la empresa es: (Ver Anexo E1)

$$W_{fc} = 87,5 \text{ [RPM]}$$

W_{fc} : Velocidad Angular del eje de las cuchillas.

Como la velocidad del eje de los limpiadores debe ser mayor a la de los ejes de cuchillas hemos elegido una relación de transmisión de 1.5, por lo que la velocidad de este será:

$$W_{fl} = 1.5 * 87,5$$

$$W_{fl} = 131.25 \text{ [RPM]} = 13,74 \text{ [rad/seg]}$$

W_{fl} : Velocidad Angular del eje de los limpiadores.

Reemplazando en la ecuación 3.8.10 con un tiempo promedio de arranque del motor ($t_f = 1$ [seg]).

$$\alpha = 13,74 \text{ [rad/seg}^2\text{]}$$

➤ **Inercia de los elementos en el eje de los limpiadores**

Inercias de los elementos calculadas en el software INVENTOR 2012

$$I_{zz\text{ eje}} = 3244,361 \text{ [kg}\cdot\text{mm}^2\text{]}$$

$$I_{zz\text{ as}} = 698,60 \text{ [kg}\cdot\text{mm}^2\text{]}$$

$$I_{zz\text{ c}} = 3109,588 \text{ [kg}\cdot\text{mm}^2\text{]}$$

$$I_{zz\text{ cat1}} = 1197 \text{ [kg}\cdot\text{mm}^2\text{]}$$

$$I_t = I_{zz\text{ eje}} + 14 \cdot I_{zz\text{ as}} + 13 \cdot I_{zz\text{ c}} + I_{zz\text{ cat1}} \quad (\text{Ec. 3.4.18})$$

(14 Anillos Separadores y 13 Cuchillas)

$$I_{zz\text{ t}} = 0,054646 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2\text{]}$$

En donde:

$I_{zz\text{ eje}}$: Inercia del eje de los limpiadores

$I_{zz\text{ as}}$: Inercia de los anillos separadores

$I_{zz\text{ cat1}}$: Inercia de la catalina

$I_{zz\text{ t}}$: Inercia Total

➤ **Torque en el eje de las cuchillas limpiadoras**

$$T_i = I_t \cdot \alpha_m \quad (\text{Ec. 3.4.19})$$

Reemplazando: $T_i = 0,759 \text{ [N}\cdot\text{m]}$

En donde T_i es el torque mínimo que se requiere para vencer la inercia de todos los elementos que componen al eje de las cuchillas limpiadoras y que será considerado en el cálculo estático.

• **Torque Equivalente**

El torque necesario del motor para vencer la inercia y fracturar el material PET será el equivalente a la suma de todos los momentos generados en el sistema y vistos anteriormente.

$$T_t = 14 \cdot 38,27 + 0,759 = 532 \text{ [N}\cdot\text{m}] \quad (\text{14 Cuchillas en el eje triturador})$$

3.4.5.1.2 Determinación de Reacciones en los Rodamientos

Para la determinación de las reacciones se han utilizado los programas SAP 2000 V14.1 y AUTODESK INVENTOR 2012 obteniendo los siguientes resultados:

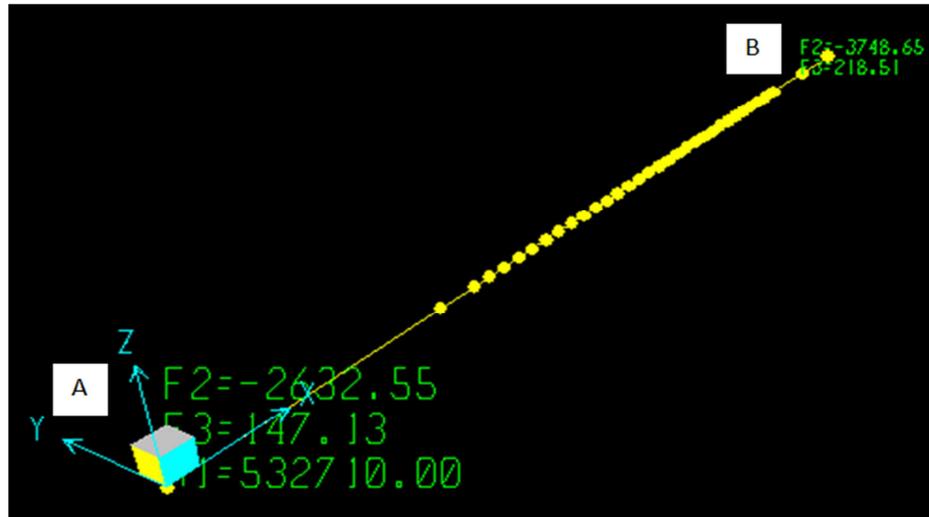


Figura 3.17 Reacciones resultantes en apoyos A y B (SAP 2000)

Dónde:

A

$$F2 = R_{Ay} \text{ [N]}$$

$$F3 = R_{Ax} \text{ [N]}$$

$$M1 = M_{Az} \text{ [N*mm]}$$

B

$$F2 = R_{By} \text{ [N]}$$

$$F3 = R_{Bx} \text{ [N]}$$

Plano YZ

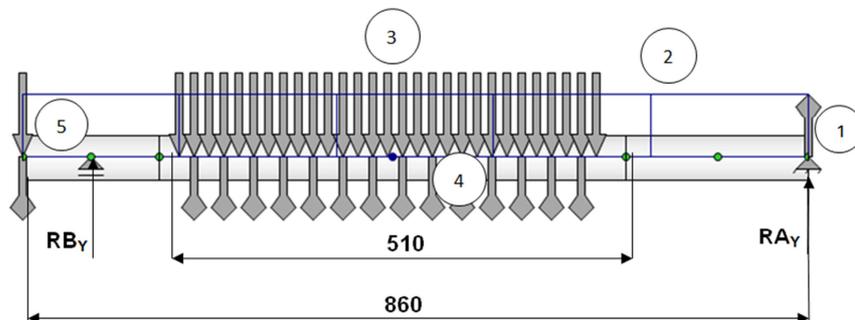


Figura 3.18 Fuerzas y reacciones en el Plano YZ (INVENTOR 2012)

Reacciones en el Plano YZ

R_{Ay} : Reacción en el Apoyo A

R_{By} : Reacción en el Apoyo B

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - P_{eje} - P_{cat1} - P_c * 14 - P_a * 15 = 0 \quad (\text{Ec. 3.4.20})$$

$$R_{Ay} + R_{By} - 134,05 - 17,72 - 10,0646 * 14 - 4,890 * 15 = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - 366 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad (\text{En el apoyo A})$$

$$785 * R_{By} - \sum_{i=1}^{n=15} d_n * P_a - \sum_{j=1}^{m=14} d_m * P_c - P_{cat1} = 0 \quad (\text{Ec. 3.4.21})$$

Donde d_n es la distancia del apoyo A hacia la cuchilla n y d_m es la distancia del apoyo A hacia el anillo separador.

De acuerdo al análisis realizado en el software AUTODESK INVENTOR 2012 Y SAP 2000 V 14.1, y siguiendo un principio conservador se tiene que:

$$R_{By} = 222 \text{ [N]} \quad R_{Ay} = 148 \text{ [N]}$$

Plano XZ Fuerza de Corte

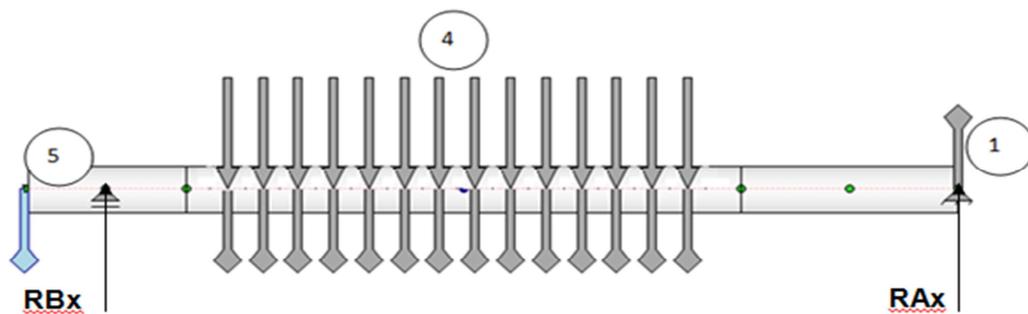


Figura 3.21 Fuerzas y reacciones en el Plano XZ (INVENTOR 2012)

Plano XZ

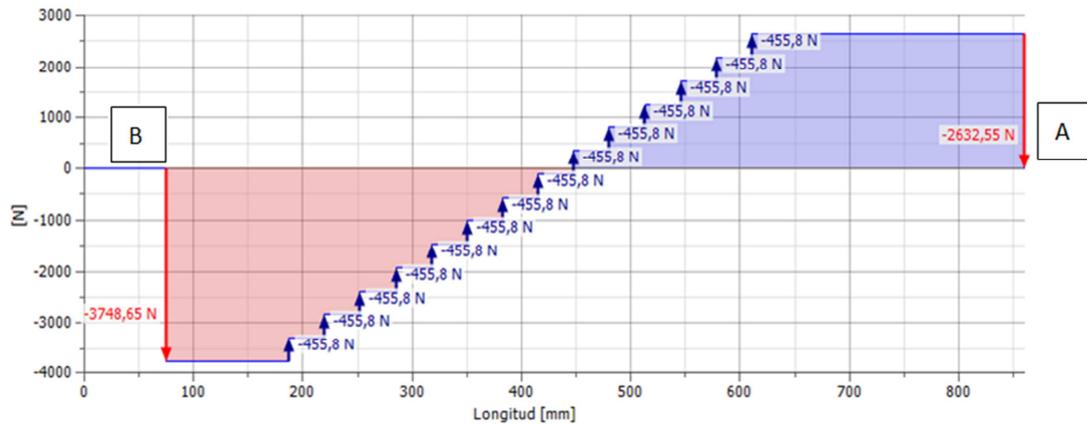


Figura 3.22 Diagrama de Fuerzas de Corte en el Plano XZ (INVENTOR 2012)

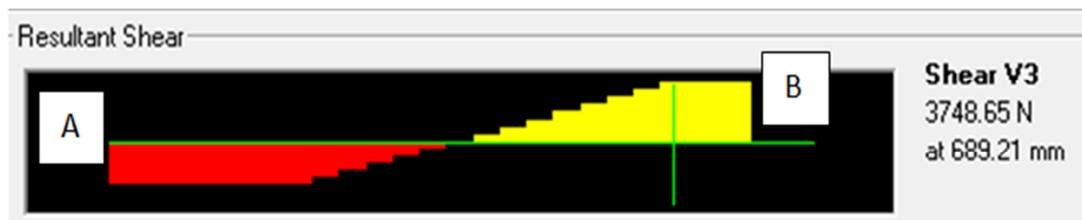


Figura 3.23 Diagrama de Fuerzas de Corte en el Plano XZ (SAP 2000)

Reacciones en el Plano XZ

RA_x : Reacción en el Apoyo A

RB_x : Reacción en el Apoyo B

$$\sum FX = 0$$

$$RA_x + RB_x - F_t \cdot 14 = 0$$

$$RA_x + RB_x - 5681.2 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \text{ (En el apoyo A)}$$

$$785 * RB_x - \sum_{i=1}^{n=14} d_n * F_t = 0$$

$$785 * RB_x - \sum_{i=1}^{n=14} d_n * 408.5 = 0$$

Donde d_n es la distancia de A hacia la cuchilla n.

De acuerdo al análisis realizado en el software AUTODESK INVENTOR 2012 Y SAP 2000 V 14.1, y siguiendo un principio conservador tenemos que:

$$RB_x = 2632,6 \text{ [N]}$$

$$RA_x = 3748,65 \text{ [N]}$$

3.4.5.1.3 Diagrama de Fuerzas Axiales

De acuerdo al análisis las fuerzas axiales son despreciables y se consideran como:

$$RA_z = RB_z = 0 \text{ [N]}$$

3.4.5.1.4 Diagramas de Momento Flectores en el Plano YZ

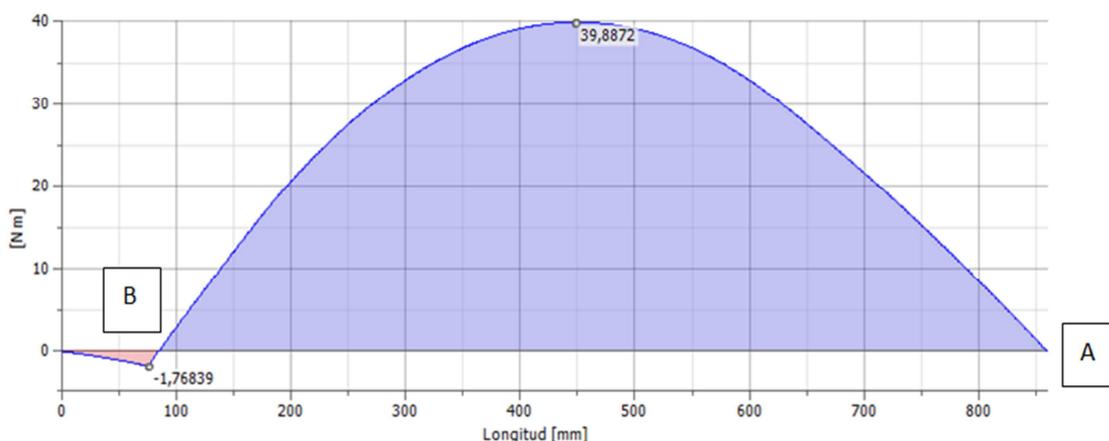


Figura 3.24 Diagrama Momento Flector Plano YZ (INVENTOR 2012)



Figura 3.25 Diagrama Momento Flector Plano YZ (SAP 2000)

El momento máximo calculado es: $M_{Z_{max}} = 39,89 \text{ [N*m]}$

Plano XZ

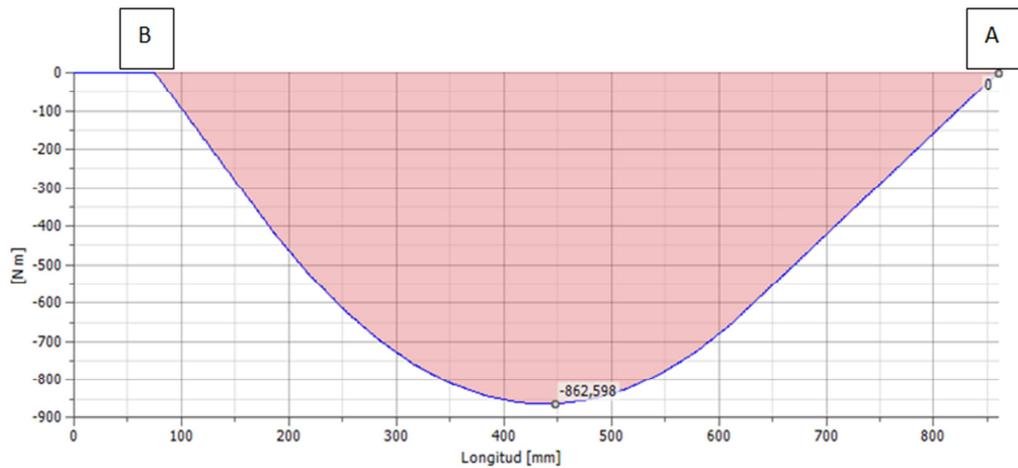


Figura 3.26 Diagrama Momento Flector Plano XZ (INVENTOR 2012)



Figura 3.27 Diagrama Momento Flector Plano XZ (SAP 2000)

El momento máximo calculado es: $M_z \text{ max} = 862.598 \text{ [N*m]}$

Momento Flector Máximo

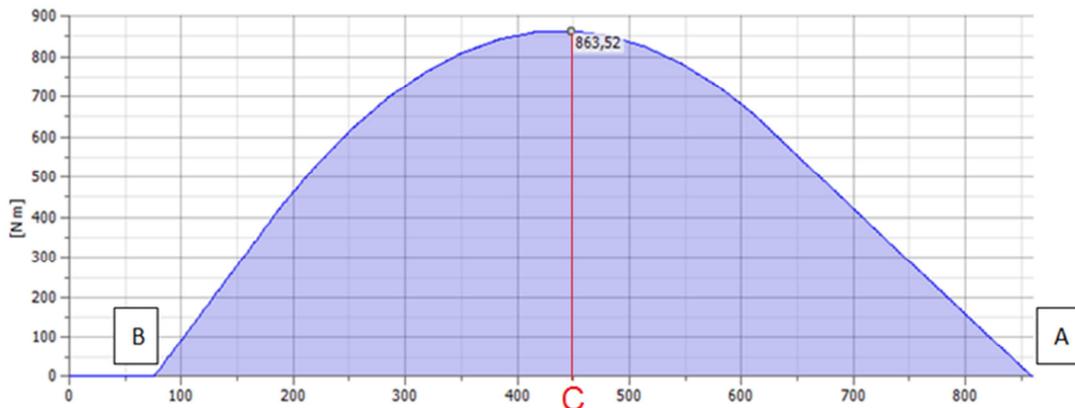


Figura 3.28 Diagrama Momento Flector Máximo (INVENTOR 2012)

$$M_{\max}=863,52 \text{ [N*m]}$$

El momento máximo determina el punto crítico C a una distancia de 448mm y un Torsor de $T_{448}=342,72 \text{ [N*m]}$.

3.4.5.1.5 Diagrama de Torsión

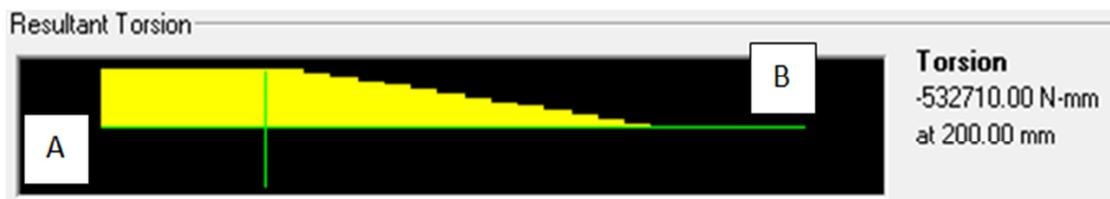


Figura 3.29 Diagrama Torsor (SAP 2000)

De acuerdo al programa SAP 2000 v 14.1 se determina que la Torsión Máxima es: $T_{\max}= 532,7 \text{ [N*m]}$

3.4.5.1.6 Diagrama de Deflexiones

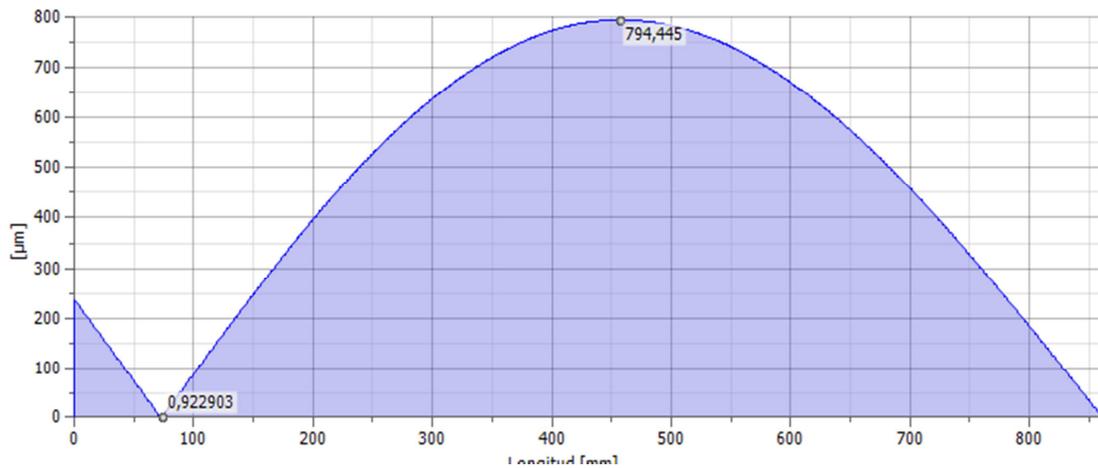


Figura 3.30 Diagrama de Deflexión (INVENTOR 2012)

La deflexión total máxima calculada es:

$$D_{\max}=794,445 \text{ [um]}$$

3.4.5.2 Selección del diámetro del Eje

3.4.5.2.1 Cálculo del diámetro mínimo de acuerdo al criterio de Von Misses

Para el cálculo del diseño estático utilizaremos el Criterio de Von Misses para la fluencia.

Para que el proceso de mecanizado sea más fácil se recomienda un material que sea el acero de transmisión ASTM A36 para el eje.

Propiedades Acero A36

$$S_y= 2,482 \times 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$S_u= 3,999 \times 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Factor de Seguridad

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{\max}} \quad (\text{Ec. 3.4.22})$$

Para el servicio prestado hemos determinado que el mejor factor de seguridad es 2,5. $n_y = 2,5$

Ecuación de falla por fluencia por el esfuerzo máximo generado en un eje mediante el criterio de Von Misses comparado con la resistencia a la fluencia del material.

$$\sigma'_{\max} = [(\sigma_m + \sigma_a)^2 + 3 * (\tau_m + \tau_a)^2]^{1/2} \quad (\text{Ec. 3.4.23})$$

Ecuación simplificada según los momentos y pares de torsión:

$$\sigma'_{\max} = \left[\left(\frac{32K_f(M_m + M_a)}{\pi d_{\text{eje}}^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d_{\text{eje}}^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. 3.4.24})$$

En donde:

σ'_{\max} : Esfuerzo Máximo generado en el eje.

σ_m : Componente de esfuerzo medio

σ_a : Componente de la amplitud

τ_m : Componente de esfuerzo medio

τ_a : Componente de la amplitud

K_f : Factor de concentración de esfuerzo por fatiga de flexión

M_m : Momento de flexión medio

M_a : Momento de flexión alternante

K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzo por fatiga de torsión

T_m : Par de torsión medio

T_a : Par de torsión alternante

d_{eje} : Diámetro mínimo requerido para el eje

De la ecuación 3.4.22 despejando el Esfuerzo Máximo y reemplazando en la ecuación 3.4.23 se tiene:

$$\frac{S_y}{n_y} = \left[\left(\frac{32K_f(M_m + M_a)}{\pi d_{eje}^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d_{eje}^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. 3.4.25})$$

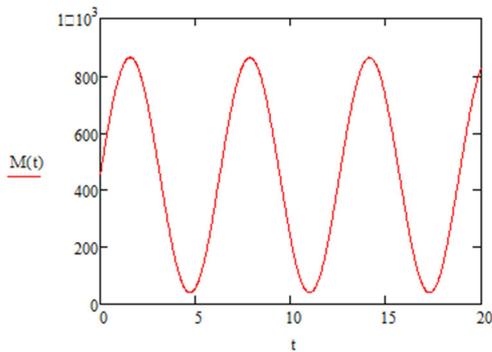


Figura 3.31 Diagrama de Esfuerzo Fluctuante

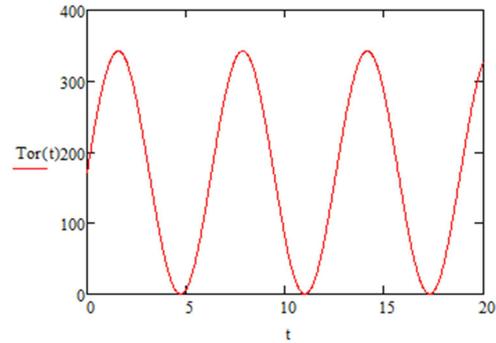


Figura 3.32 Diagrama del Torsor Fluctuante

• **Cálculo de los parámetros:**

Momentos:

$$M_m = \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2} \quad (\text{Ec. 3.4.26})$$

En donde:

M_{\max} : Momento Máximo

$$M_{\max} = 863,52[\text{N}^*\text{m}]$$

M_{\min} : Momento Mínimo

$$M_{\min} = 39,88[\text{N}^*\text{m}]$$

$$M_m = \frac{863,52 + 39,88}{2}$$

$$M_m = 451,7[\text{N}^*\text{m}]$$

$$M_a = \left| \frac{M_{\max} - M_{\min}}{2} \right| \quad (\text{Ec. 3.4.27})$$

$$M_a = \left| \frac{863,52 - 39,88}{2} \right|$$

$$M_a = 411,82[\text{N}^*\text{m}]$$

Par Torsor:

$$T_m = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (\text{Ec. 3.4.28})$$

En donde:

T_{\max} : Torsor Máximo

$$T_{\max} = 342,72[\text{N}^*\text{m}]$$

T_{\min} : Torsor Mínimo

$$T_{\min} = 0[\text{N}^*\text{m}]$$

$$T_m = \frac{342,72 + 0}{2}$$

$$T_a = \left| \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right| \quad (\text{Ec. 3.4.29})$$

$$T_m = 171,36[\text{N}\cdot\text{m}]$$

$$T_a = \left| \frac{342,72 - 0}{2} \right| = 171,36[\text{N}\cdot\text{m}]$$

Cálculo del factor de concentración de esfuerzo por fatiga de flexión (k_f)

$$K_f = 1 + q * (K_i - 1) \quad (\text{Ec. 3.4.30})$$

Dónde:

q: Sensibilidad de la muesca

K_i : Factor de concentración del esfuerzo

De acuerdo a Shigley para una relación $r/d=0,02$, donde r es el radio en el fondo de la ranura del chavetero y d el diámetro del eje, K_i es igual a 2,14 para flexión y K_{is} es igual a 3 para torsión.

Posteriormente se determina la sensibilidad de la muesca en la Figura 6-20.

$$q=0,8$$

$$\text{Remplazando en la ecuación. 3.4.30:} \quad K_f = 1,912$$

Cálculo del factor de concentración de esfuerzo por fatiga de torsión (K_{fs})

$$K_{fs} = 1 + q_c * (K_{is} - 1) \quad (\text{Ec. 3.4.31})$$

Dónde:

q_c : Sensibilidad de la muesca al cortante

K_{is} : Factor de concentración del esfuerzo por torsión

$$K_{is} = 3$$

$$\text{En base a la Figura 6-21 Shigley} \quad q_c = 0,9$$

$$\text{Reemplazando en la ecuación 3.4.31:} \quad K_{fs} = 2,8$$

Reemplazando todos los parámetros en la ecuación 3.4.25 y resolviendo se obtiene un diámetro mínimo de:

$$d_{eje} = 44,00[\text{mm}]$$

3.4.5.2.2 Cálculo del Diámetro Mínimo de acuerdo al método por Fatiga

Utilizando un criterio conservador como es Soderberg el diámetro mínimo para nuestro eje a fatiga se termina con la ecuación 7-14 Shigley.

$$d_{fat} = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f * M_a)^2 + 3(K_{fs} * T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f * M_m)^2 + 3(K_{fs} * T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (\text{Ec. 3.4.32})$$

En donde:

$$S_{yt} = S_y \quad (\text{Ec. 3.4.33})$$

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e' \quad (\text{Ec. 3.4.34})$$

S_e' : Límite de resistencia a fatiga en viga rotatoria

De acuerdo a Shigley Figura 6-8

$$S_e' = 0,5 * S_{ut} \quad (\text{Ec. 3.4.35})$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.35: $S_e' = 1,9995 \times 10^8 [\text{N/m}^2]$

En donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

k_a : Factor de modificación de la condición superficial

k_b : Factor de modificación del tamaño

k_c : Factor de modificación de la carga

k_d : Factor de modificación de la temperatura

k_e : Factor de confiabilidad

k_f : Factor de modificación de efectos varios

- **Factor de modificación de la condición superficial (k_a)**

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (\text{Nota: } S_{ut} \text{ en MPa}) \quad (\text{Ec. 3.4.36})$$

En donde a y b son factores de cálculo dependientes del acabado superficial.

De la tabla 6-2 de Shigley: $a = 4,52$ $b = -0,275$

Reemplazando en la ecuación 3.4.36: $k_a = 0,8707$

- **Factor de modificación del tamaño (k_b)**

De la Ecuación 6-20 de Shigley:

$$k_b = 0,879 * d^{-0,107} \quad (\text{Ec. 3.4.37})$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.37: $k_b = 0,816$

- **Factor de modificación de la carga (k_c)**

$k_c = 1$ (Nota: Combinación de esfuerzos Torsión + Flexión)

- **Factor de modificación de la temperatura (k_d)**

$k_d = 1$ (Nota: Este factor se calcula mediante la relación S_t/S_{rt} de la tabla 6-4 de Shigley)

- **Factor de confiabilidad (k_e)**

$k_e = 0,897$ (Nota: Asumiendo una confiabilidad del 90% de la acuerdo a la tabla 6-5 de Shigley)

- **Factor de modificación de efectos varios (k_f)**

$k_f = 1$

Reemplazando los diferentes factores en la ecuación 3.4.34 se obtiene:

$$S_e = 1,16 \times 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.32 de Soderberg se obtiene:

$$D_{fat} = 0,049088 \text{ [m]} = 49 \text{ [mm]}$$

En donde D_{fat} : Diámetro mínimo del eje sometido a fatiga.

Por tanto para el diseño elegimos un eje con un diámetro de 2 pulgadas, como inicialmente se había previsto.

$$D = 50,8 \text{ [mm]} = 2 \text{ [plg]}$$

En donde

D: Diámetro seleccionado para el eje.

El diámetro del eje en donde se ubican los rodamientos se debe calcular de tal manera que se evite un gran foco de tensión debido al cambio de sección, para cumplir esto se recomienda:

$$D \leq 1.3 \cdot d_{rod} \quad \text{Sugerencia diseño de ejes y flechas Shigley} \quad (\text{Ec. 3.4.38})$$

De donde despejando el diámetro mínimo para los rodamientos tenemos:

$$d_{rod} = \frac{D}{1.3} \quad (\text{Ec. 3.4.39})$$

$$d_{rod} = 39,08 \text{ [mm]}$$

$$d_{rod} = 45 \text{ [mm]}$$

Debido a que el diámetro debe tener un valor estándar para la elección de los rodamientos se aproxima a un valor más comercial.

3.4.6 DISEÑO DE CHAVETAS

De acuerdo con los resultados obtenidos en el diseño del eje se utilizará un diámetro de 2 [plg] (50[mm]).

Dimensiones estándar de la chaveta según la Norma DIN 6885A en base al diámetro del eje: Ancho: $w=16$ [mm]; Alto: $h=10$ [mm]; Profundidad: $L_{cha}= 45$ [mm] Longitud mínima de la chaveta por norma.

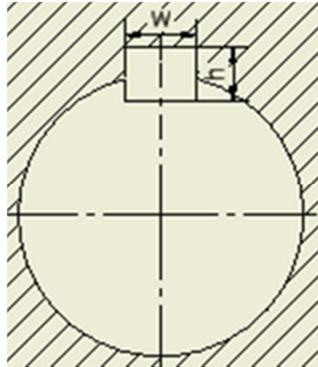


Figura 3.33 Dimensiones de la Chaveta

3.4.6.1 Diagrama de cuerpo libre

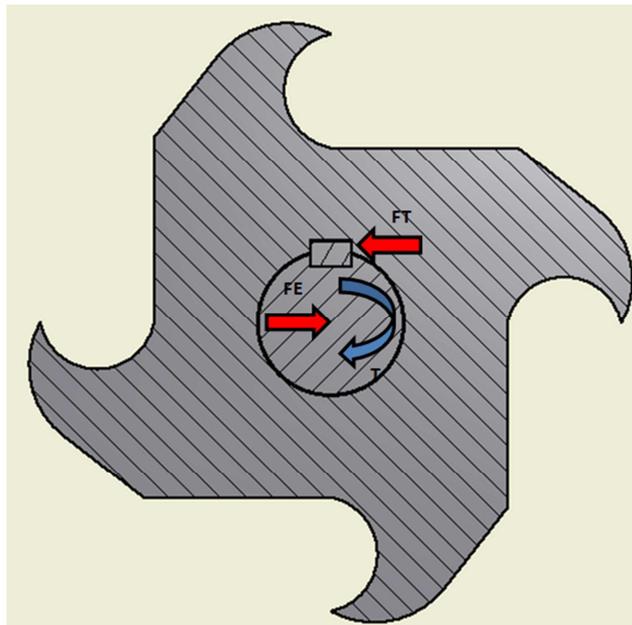


Figura 3.34. Diagrama de cuerpo libre de la chaveta

En donde:

T: Torque aplicado al eje

Ft: Fuerza aplicada a la chaveta

Fe: Fuerza aplicada al eje

Cálculos:

$$T = \frac{9550 \cdot P_c}{W_{fc}} \quad (\text{Ec. 3.4.40})$$

Pc: Potencia del motor en el eje de las cuchillas en Kw

Wfc: Velocidad angular del eje portacuchillas trituradoras en [RPM].

De acuerdo al catálogo del motorreductor marca Rossi se determina la potencia de salida y la velocidad angular. (Ver Anexo E1)

Pc= 6,6 [Kw]

Wfc= 87,5 [RPM]

Reemplazando en la ecuación 3.4.40: $T=720,34 \text{ [N}\cdot\text{m]}$

$T = F_T \cdot D/2$ (Diámetro del eje seleccionado $D=0,0508 \text{ [m]}$) (Ec. 3.4.41)

$$F_T = \frac{2 \cdot T}{D}$$

$F_T = F_E$ (Ec. 3.4.42)

Reemplazando en las ecuaciones 3.4.42 y 3.4.42 respectivamente:

$F_T = 28359,96 \text{ [N]}$

$F_E = 28359,96 \text{ [N]}$

3.4.6.2 Esfuerzos de aplastamiento y de corte

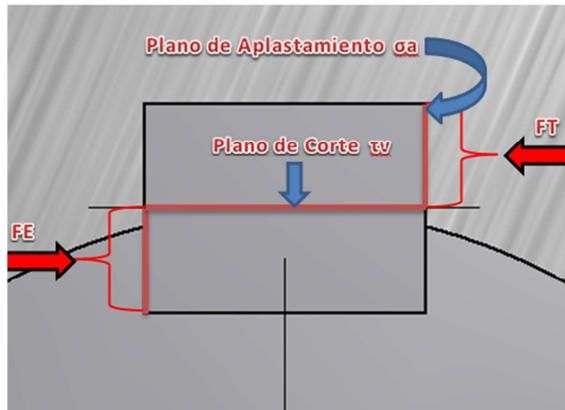


Figura 3.35 Plano de corte y planos de aplastamientos

Esfuerzo al Cortante

$$\tau_v = \frac{FE}{A_c} \quad (\text{Ec. 3.4.43})$$

A_c : Área de corte en la chaveta

$$A_c = w * L_{cha} \quad (\text{Ec. 3.4.44})$$

$$A_c = 16 * 45$$

$$A_c = 720 [\text{mm}^2]$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.43:

$$\tau_v = 39,39 [\text{MPa}]$$

Esfuerzo al Aplastamiento

$$\sigma_v = \frac{FE}{A_a} \quad (\text{Ec. 3.4.45})$$

A_a : Área de aplastamiento de la chaveta

$$A_a = h * L_{cha} \quad (\text{Ec. 3.4.46})$$

$$A_a = 10 * 45$$

$$A_a = 450 [\text{mm}^2]$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.45:

$$\sigma_v = 63,02 [\text{MPa}]$$

De acuerdo a la teoría de la energía de distorsión para materiales Dúctiles se debe considerar el esfuerzo cortante y el esfuerzo de aplastamiento ya que depende de la resistencia por fluencia del material.

$$\sigma_{\text{equi}} = \sqrt{3} * \tau_v \leq S_y \quad (\text{Ec. 3.4.46})$$

El esfuerzo cortante equivalente máximo generado en la chaveta debe ser menor e igual al esfuerzo de fluencia del material.

$$\sigma_{\text{equi}} = \sigma_v \quad \text{El esfuerzo por aplastamiento} \quad (\text{Ec. 3.4.46})$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.46:

$$\sigma_{\text{equi}} = 68,22 \text{ [MPa]} \quad \text{Por cortante}$$

$$\sigma_{\text{equi}} = 63,02 \text{ [MPa]} \quad \text{Por aplastamiento}$$

El esfuerzo más importante a considerar es al Cortante, debido a que este esfuerzo máximo posible teórico es menor al esfuerzo de fluencia del acero A36 ($S_y=250$ [MPa]) utilizado en el eje no presentará ningún problema operacional y no deformará ningún elemento ya que no superará su esfuerzo de fluencia.

Debido a los bajos esfuerzos obtenidos en el cálculo se elige un material adecuado para la chaveta. Según la tabla A-20 de Shigley una chaveta de Acero AISI 1010 con una resistencia a la fluencia de $S_y=300$ [MPa] y a la ruptura igual a $S_u=370$ [MPa].

3.4.7 RODAMIENTO

3.4.7.1 Selección de rodamiento

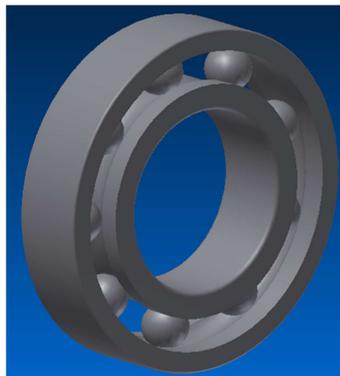


Figura 3.36 Representación del Rodamiento

Se puede realizar la selección mediante una selección estática o una dinámica de acuerdo al catálogo de rodamientos FAG (según normas internacionales DIN/ISO)

3.4.7.1.1 Selección mediante el método de esfuerzos estáticos

Se determina el factor de esfuerzos estáticos:

$$f_{s_r} = \frac{C_o}{P_o}; \quad C_o = f_{s_r} * P_o \quad (\text{Ec. 3.4.47})$$

Dónde:

f_{s_r} : factor de esfuerzos estáticos

C_o : capacidad de carga estática [kN]

P_o : carga estática equivalente [kN]

El factor f_{s_r} se elige en base a las exigencias del diseño de acuerdo al catálogo¹⁷(Ver Anexo F1):

$f_{s_r} = 1.5 \dots 2.5$ para exigencias elevadas

$f_{s_r} = 1.0 \dots 1.5$ para exigencias normales

$f_{s_r} = 0.7 \dots 1.0$ para exigencias reducidas

La carga estática P_o [kN] es un valor teórico, y origina la misma sollicitación en el punto de contacto más cargado entre cuerpos rodantes y camino de rodadura que la carga combinada real:

$$P_o = X_o * F_{rad} + Y_o * F_{axi} \quad (\text{Ec.3.4.48})$$

Siendo:

P_o : Carga estática equivalente [kN]

F_{rad} : Carga radial [kN]

F_{axi} : Carga axial [kN]

¹⁷ Anónimo (2007, 07). Rodamientos FAG. Catálogo FAG de rodamientos. Recuperado 06, 2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

X_0 : Factor radial

Y_0 : Factor axial

Las carga F_{axi} y F_{rad} se calcula con las reacciones en cada soporte del eje.

Es así que se tiene:

$F_{rad1} = 2604.3233$ [N] F_{rad1} : Carga radial en el soporte A

$F_{rad2} = 3756.4477$ [N] F_{rad2} : Carga radial en el soporte B

Por lo tanto se realizara la selección en base a esta fuerza que es la mayor.

F_{axi1} , F_{axi2} son fuerzas tan bajas que son despreciables.

Determinación de P_O .

Como F_{axi2}/F_{rad2} es menor que 0.8 la ecuación Ec. 3.4.48

$$P_O = F_{rad2} \quad (\text{Ec. 3.4.49})$$

Remplazando en la ecuación Ec. 3.4.47 Y tomando un factor de esfuerzos estáticos de 2.5 para exigencias elevadas tenemos que:

$$C_O = 9.39 \text{ [kN]}$$

Para evitar que se creen concentradores de esfuerzo grandes en el eje se toma el rodamiento de diámetro interno de 45 [mm] que soporta un C_o hasta 12.2 [kN] que es mayor que 9.39 [kN] (Ver Anexo F2).

3.4.7.1.2 Selección de rodamientos mediante el método dinámico

A pesar de que se realizó el método estático se realizara el método dinámico para comprobación, en este método se parte de la fatiga del material como causa del deterioro del rodamiento.

$$L_{10} = L_{rod} = \left(\frac{C_{rod}}{P_{rod}} \right)^{p_{rod}} [10^6 \text{ revoluciones}] \quad (\text{Ec. 3.4.50})$$

$$L_{10}=L_{rod}: \quad \text{vida nominal } [10^6 \text{ revoluciones}] \quad (\text{Ec. 3.4.51})$$

En donde:

C_{rod} : Capacidad de carga dinámica [kN]

P_{rod} : carga dinámica equivalente [kN]

p_{rod} : exponente de vida

La carga dinámica equivalente P es un valor teórico. Es una carga radial en rodamientos radiales y una carga axial en rodamientos axiales, que es constante en magnitud y sentido. P produce la misma vida que la combinación de cargas.

En donde:

$$P_{rod} = X * F_{rad} + Y * F_{axi} \quad (\text{Ec. 3.4.48})$$

Siendo:

X: Factor radial para cargas dinámicas

Y: Factor axial para cargas dinámicas

El exponente de vida p es:

$p_{rod}=3$ para rodamientos de bolas

$p_{rod}=10/3$ para rodamientos de rodillos

Si la velocidad del rodamiento es constante, la duración puede expresarse en horas

$$L_{h10} = L_h = \frac{L_{rod} * 10^6}{n_{rod} * 60} \quad (\text{Ec. 3.4.52})$$

$L_{h10}=L_h$ vida nominal en horas

L_{rod} vida nominal [10^6 revoluciones]

n_{rod} velocidad (revoluciones por minuto) [min^{-1}]

Reemplazando L se tiene:

$$\sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[p]{\frac{33^{1/3}}{n}} * \frac{C}{P} \quad (\text{Ec. 3.4.53})$$

Siendo:

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} \quad (\text{Ec. 3.4.54})$$

Es decir $f_L=1$ para una vida de 500 horas

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33^{1/3}}{n}} \quad (\text{Ec. 3.4.55})$$

Es decir, $f_n = 1$ para una velocidad de $33 \frac{1}{3} [\text{min}^{-1}]$ de acuerdo al Catálogo

$$f_L = \frac{C_{rod}}{P} * f_n$$

Despejando:

$$C_{rod} = \frac{f_L}{f_n} * P \quad (\text{Ec. 3.4.54})$$

Siendo:

f_L Factor de esfuerzos dinámicos

f_n Factor de velocidad

Con n entramos a las tablas del Anexo F3 y F4 se obtiene:

$f_n = 0.732$ (para $n=85$ [RPM])

$f_L = 2.15$ (para 5000 horas de trabajo)

Siguiendo el Anexo F5 se obtiene los siguientes datos:

$X=1, Y=0$

$P = 3756.54$ [N]

Finalmente con todos los datos se reemplaza en la ecuación 3.4.54 y despejando se tiene que:

$C_{rod} = 11.03$ [KN]

De acuerdo a la tabla del Anexo F2 se verifica que se puede utilizar el rodamiento de bolas de 45 mm de diámetro interior con menor capacidad de carga, ya que son capaces de soportar esfuerzos radiales y, al mismo tiempo, pueden soportar importantes empujes axiales.

Se selecciona rodamientos angular de bolas SKF 6209 con soporte de carga dinámica de 25KN (adecuado para soportar la carga C_{rod}) y con una velocidad máxima de operación de 8000 [RPM].

3.4.7.2 Selección de alojamiento

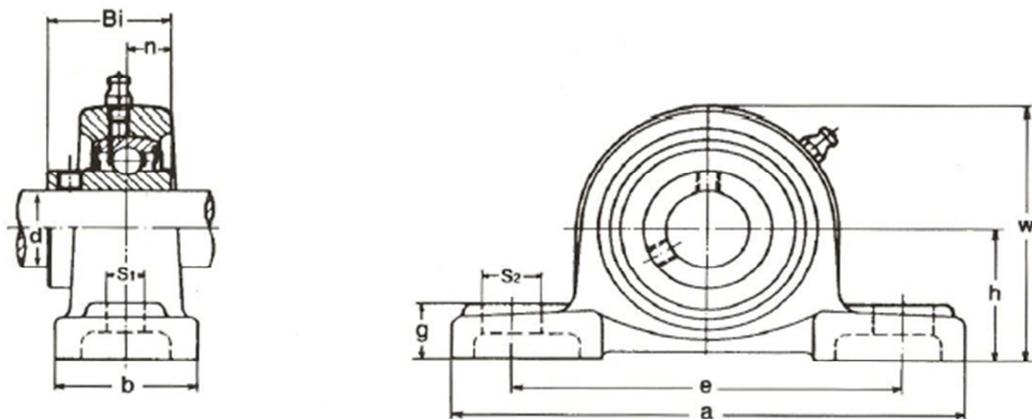


Figura 3.37 Esquema alojamiento de rodamiento

Según el catálogo “Iván Bohman”:

De acuerdo al diámetro del eje se seleccionará el alojamiento más adecuado para el rodamiento (Ver Anexo F6):

Se ha seleccionado un alojamiento UCP 209 para nuestro eje ($d_{rod}=45$ [mm]) debido a que el codo maquinado que sirve de apoyo para las chumaceras no deben sobrepasar la relación de 1,3 con respecto al diámetro del eje principal de 2 pulgadas en donde se ubicarán las cuchillas.

Los pernos especificados para esta chumacera son de 5/8 [pulg] (16mm).

3.4.8 SELECCIÓN DE CATALINA Y CADENA

La selección de catalinas se la realizara de acuerdo al catálogo de cadenas¹⁸

3.4.8.1 Parámetros de partida

Pot_D= 8 [HP]

W_{fc}= 87.5 [RPM]

C= 160 [mm]= 6.29 [plg]

d_c= 45 [mm]

Chavetero (Keyway)= ½ x ¼ [pulg]

r= 1.5

Dónde:

Pot_M: Potencia de salida del motor

W_{fc}: Velocidad angular de salida del motor

R_{tras}: Relación de transmisión

D_{rod}: Diámetro del eje donde se montara la catalina

C: Distancia entre centros de ejes

N_{rue}: Número de dientes en la catalina grande

3.4.8.2 Valoración de potencia de diseño

$$Pot_D = Pot_M * FS \quad (Ec. 3.4.57)$$

En donde:

Pot_D: Potencia de diseño

FS: Factor de Servicio

De acuerdo al catálogo para la selección de cadenas y catalinas (Ver Anexo G1) el factor de seguridad para trabajo con cargas fuertes de impacto es:

¹⁸ Catálogo de Cadenas Browning

$$FS = 1.5$$

Reemplazando se tiene: **Pot_D = 12[HP]**

3.4.8.3 Selección del tamaño de la cadena

Con la potencia de diseño (6,6 [Kw] ver Anexo E1) y la velocidad de salida del motor (87,5 [RPM] ver Anexo E1) de acuerdo la tabla del Anexo G2 se determina que se necesita:

Cadena # 80

$$P_{cad} = 1[\text{pulg}]$$

$$n_{cat} = 13$$

En donde:

P_{cad} : paso de la cadena

n_{cat} : número de dientes de la catalina pequeña

Con la relación de transmisión se tiene que:

$$N_{rue} = 1.5 * n_{cad} \quad (\text{Ec. 3.4.58})$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.58: $N_{rue} = 19.5$

Aproximando se tiene un número de dientes de: $N_{rue} = 19$

$$r_{tras} = 1.46$$

Dónde:

r_{tras} : Relación de transmisión real en el juego de catalina/cadena.

3.4.8.4 Cálculo de la longitud de cadena

Determinamos con la siguiente ecuación la longitud aproximada.

$$L_{cad} = \frac{N_{rue} + n_{cat}}{2} + \frac{2C}{P_{cad}} \quad (\text{Ec. 3.4.59})$$

Reemplazando valores en la ecuación 3.4.59 se obtiene una longitud de cadena: $L_{cad} = 0,73 \text{ [m]} = 28,6 \text{ [pulgadas]}$

Se calcula el número de eslabones S

$$S = L_{cad} / P_{cad} \quad (\text{Ec. 3.4.60})$$

Reemplazando en la ecuación: $S = 28,6$

Debido a que la cadena debe tener un número entero de eslabones se aproxima a $S_m = 29$ eslabones, lo que conlleva a un nuevo cálculo de longitud cadena y distancia entre centros de ejes.

$$L_m = S_m * P_{cad} = 29 \text{ [pulg]} \quad (\text{Ec. 3.4.61})$$

En donde:

L_m : Longitud de la cadena real en base al numero de eslabones

S_m : El numero de eslabones de la cadena

P_{cad} : Paso de la cadena

$$C_n = \frac{P_{cad}}{2} \left(L_m - \frac{N_{rue} + n_{cat}}{2} \right) \quad (\text{Ec. 3.4.62})$$

En donde:

C_n : nueva distancia entre centros de Catalinas

$C_n = 6.5 \text{ [pulg]} = 165 \text{ [mm]}$

3.4.8.5 Selección de catalinas

De acuerdo a las tablas del Anexo G3 y G4 se tiene las siguientes elecciones:

Tabla 3.3 Elecciones posibles para catalinas conductoras y conducidas

Catalina Conductora Z= 19	Catalina Conducida Z= 13
H80P19	H80P13
H80Q19	H8013
80P19	8013
80Q19	80A13
8019	80B13
80A19	
80B19	

Para la selección adecuada se prefiere una catalina que no necesite ser maquinada y con dientes endurecidos (H80Q19, H80P13) debido a la operación de trituración en la que están presentes cargas de impacto, además de la utilización de la tabla del Anexo G5.

H80Q19 para catalina conductora y H80P13 para catalina conducida.

3.4.9 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL BASTIDOR

El presente diseño fue realizado mediante el programa SAP 2000 v 14.1 y siguiendo las Normas AISC 360 LRFD 2005.

La función del bastidor consiste en soportar y transmitir la fuerza de toda la máquina al piso de tal manera que brinde estabilidad y rigidez a la máquina.

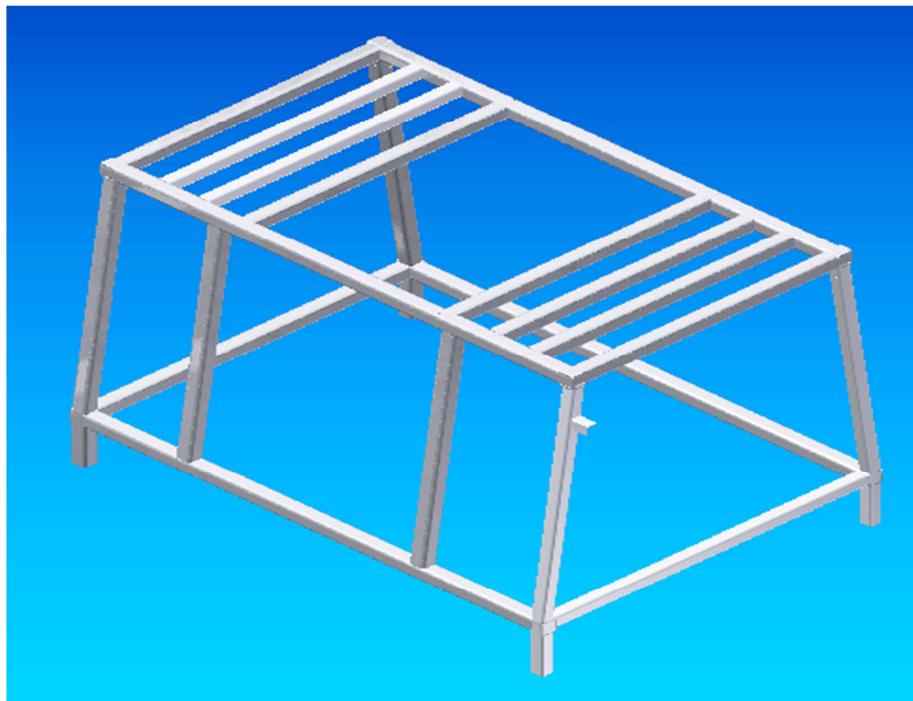


Figura 3.38 Estructura del Bastidor

Se presenta primero el análisis y resultados del programa SAP y posteriormente se realizará el cálculo del elemento (viga o columna) sometidos a mayores cargas y esfuerzos.

3.4.9.1 Fuerzas que actúan en el bastidor

Básicamente se colocan 3 cargas que son:

Carga debido al peso de la tobera y cubierta.- Consiste en una carga muerta distribuida en la parte central del bastidor como se muestra en la figura 3.39 de valor 0,08 [kgf*mm].

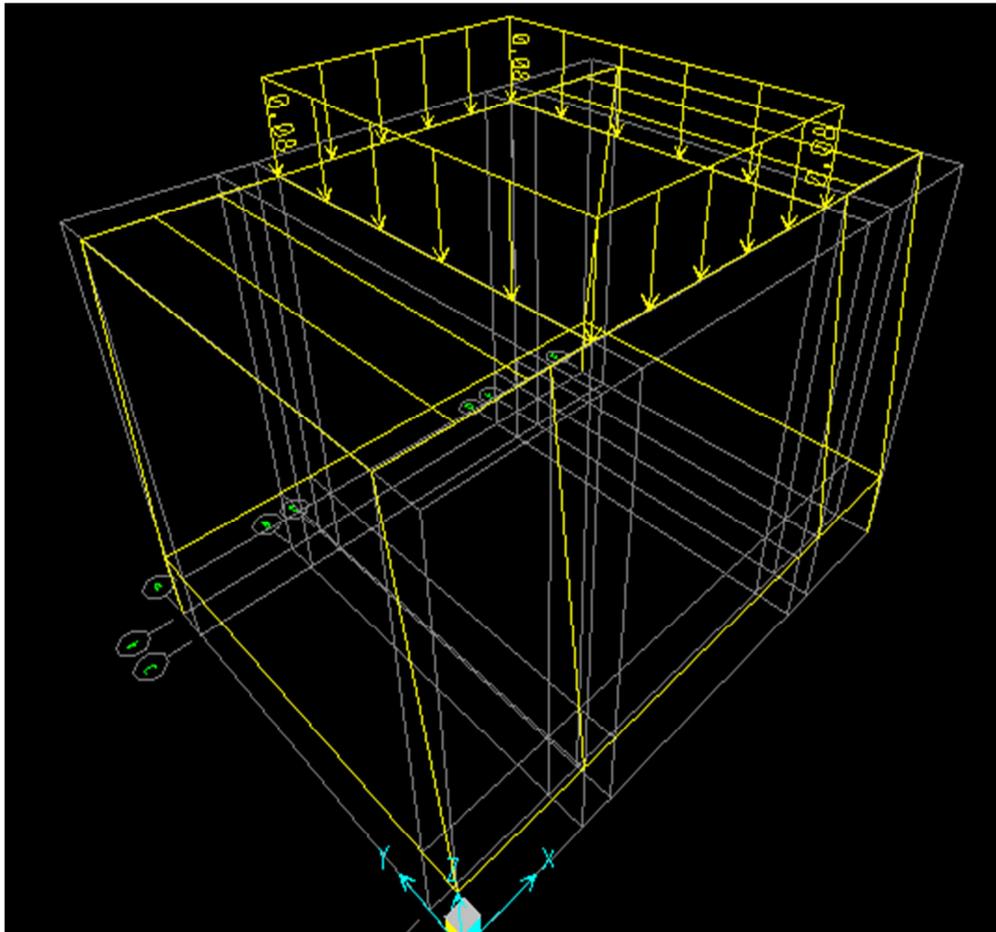


Figura 3.39 Carga debido al peso de la tobera y cubierta

Carga debido al peso de los componentes varios.- Consiste en una carga muerta distribuida en los costados de la estructura. Corresponden a los elementos como son: chumaceras, motor, placas de apoyo y protectoras situados sobre la placa base, su valor es de 0,08 kgf*mm como se aprecia en la figura 3.40.

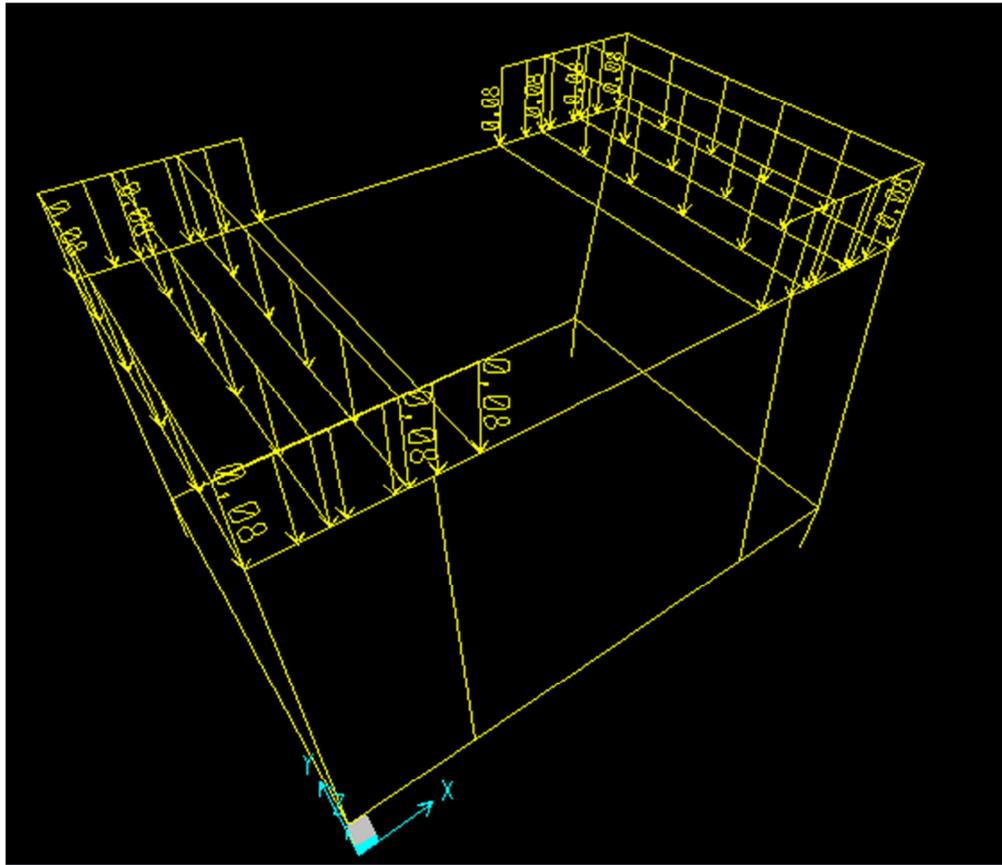


Figura 3.40 Cargas ejercidas en los costados de la estructura

Cargas debido al efecto de trituración.- Son cargas vivas que se generan al instante que la máquina entra en funcionamiento, corresponde a los momentos reacciones y torsores que se transmiten a la estructura a través del motor y de las chumaceras.

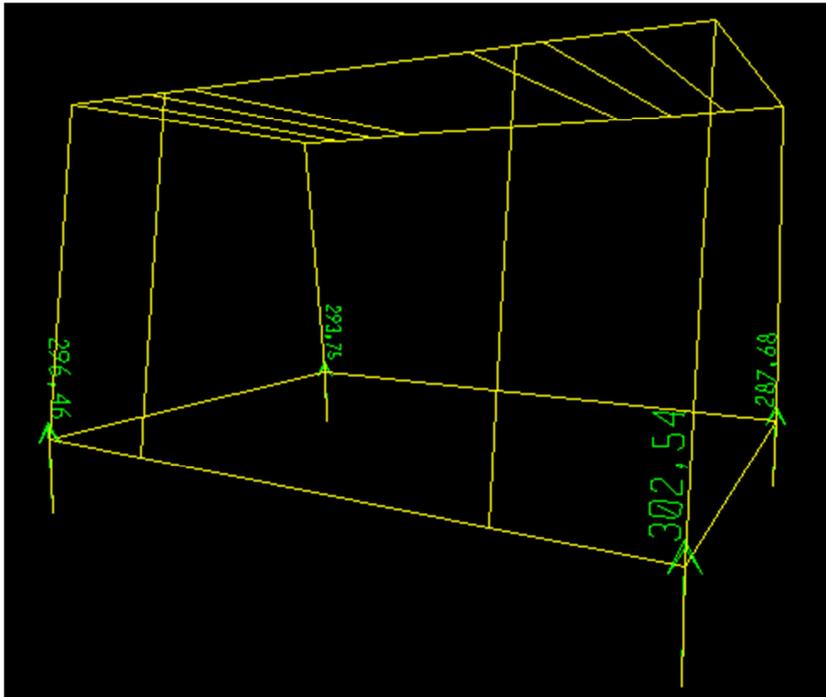


Figura 3.42 Reacciones en los apoyos de la estructura en Kgf

Los elementos a tracción (amarillo) y compresión (rojo) se pueden observar de mejor manera en la figura 3.43.

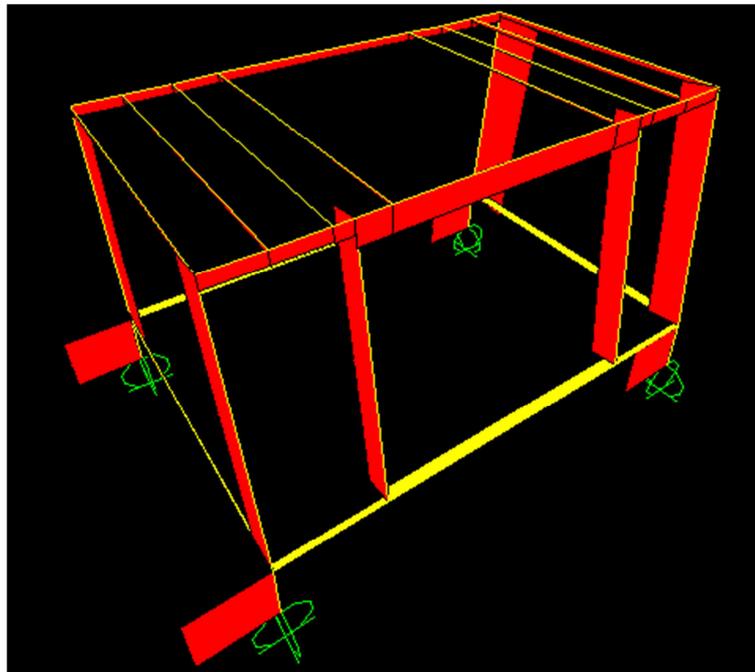


Figura 3.43 Elementos a Tracción y Compresión

En la figura 3.44 se observa los momentos flectores en cada uno de los elementos de la estructura del bastidor

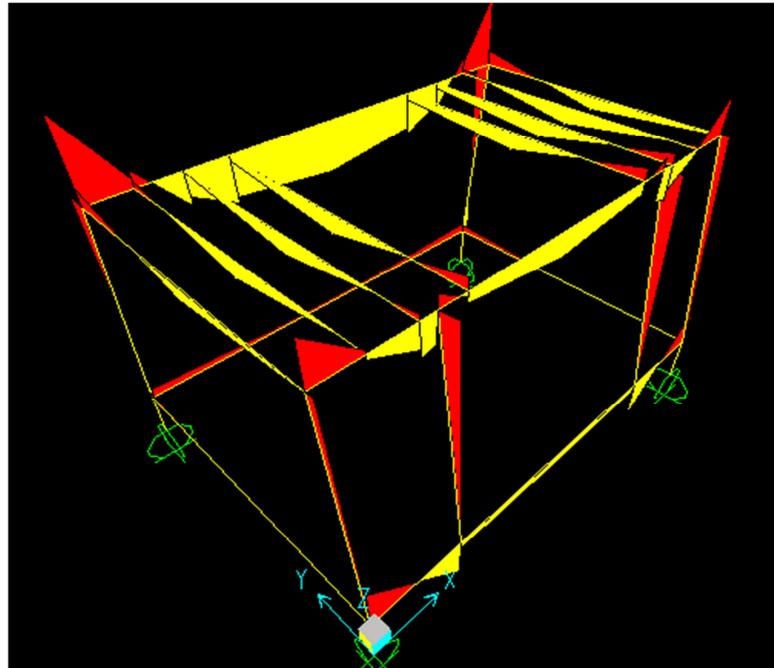


Figura 3.44 Momentos flectores en los elementos del bastidor

Los momentos torsores en cada uno de los elementos se visualizan en la figura 3.45.

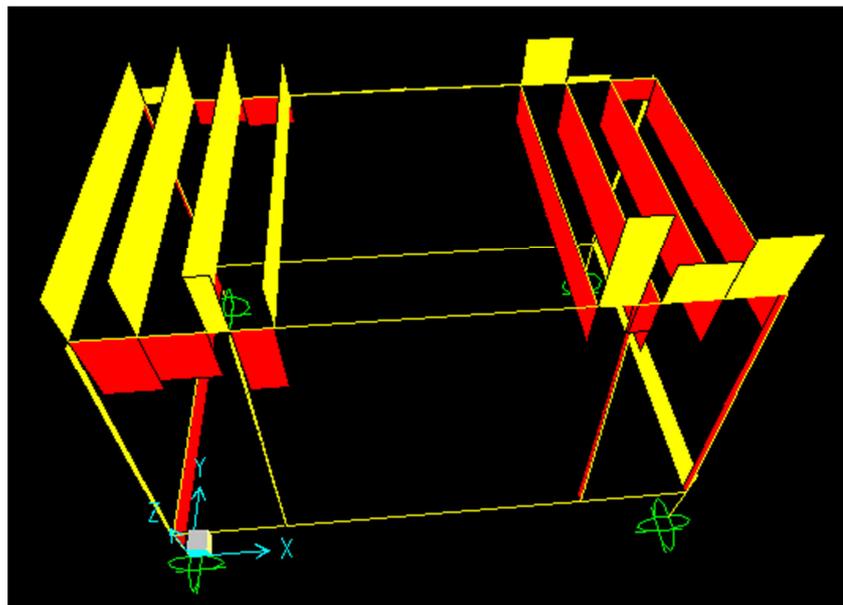


Figura 3.45 Momentos torsores en los elementos del bastidor

3.4.9.2 Selección de perfiles

El diseño de la estructura consiste en varias vigas y columnas de soporte, por lo que el análisis de diseño se limitará solo a estos. El material utilizado para el bastidor es un tubo cuadrado de 40x40x5 de manera que permita una rigidez suficiente para el efecto de vibración que generan los motores.

3.4.9.3 Análisis estructural (SAP2000)

El análisis que realiza el programa se basa en las Normas AISC 360 y LRFD 1993.

3.4.9.3.1 Análisis de elementos.

De acuerdo al análisis que realiza el programa SAP2000 se puede determinar de manera visual los elementos que fallan ya que los mismos se presentan en la figura 3.46 como líneas rojas.

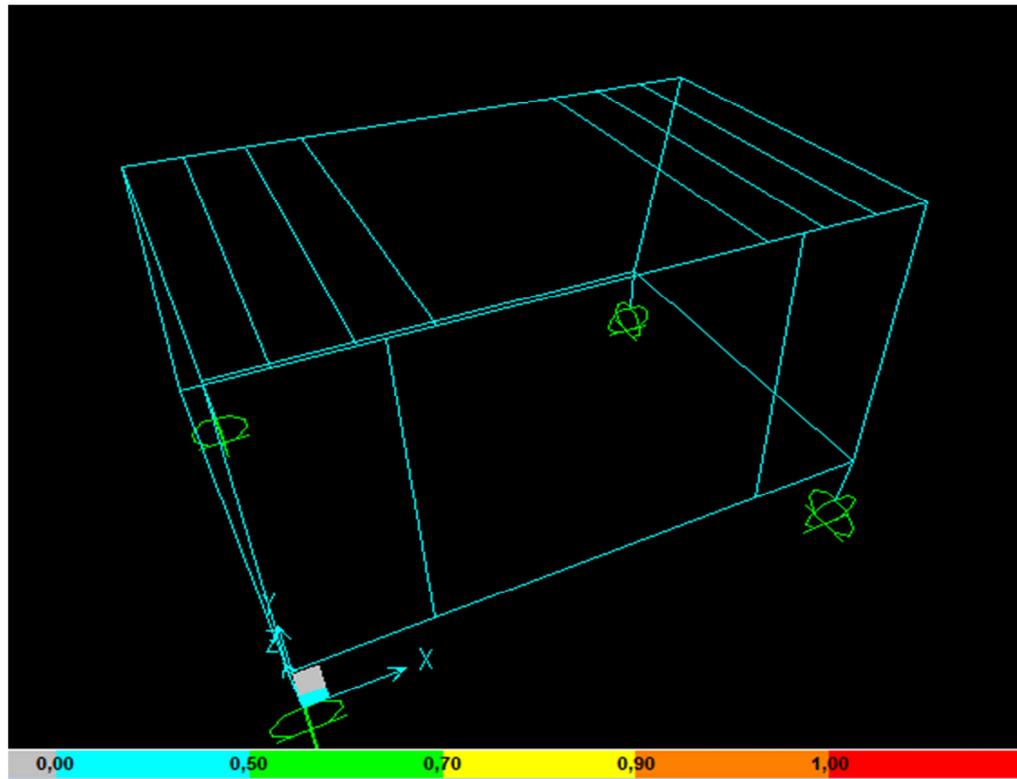


Figura 3.46 Visualización de elementos que fallan en la estructura del bastidor

También el programa permite observar el factor de seguridad de cada uno de los elementos como se muestra en la figura 3.47.

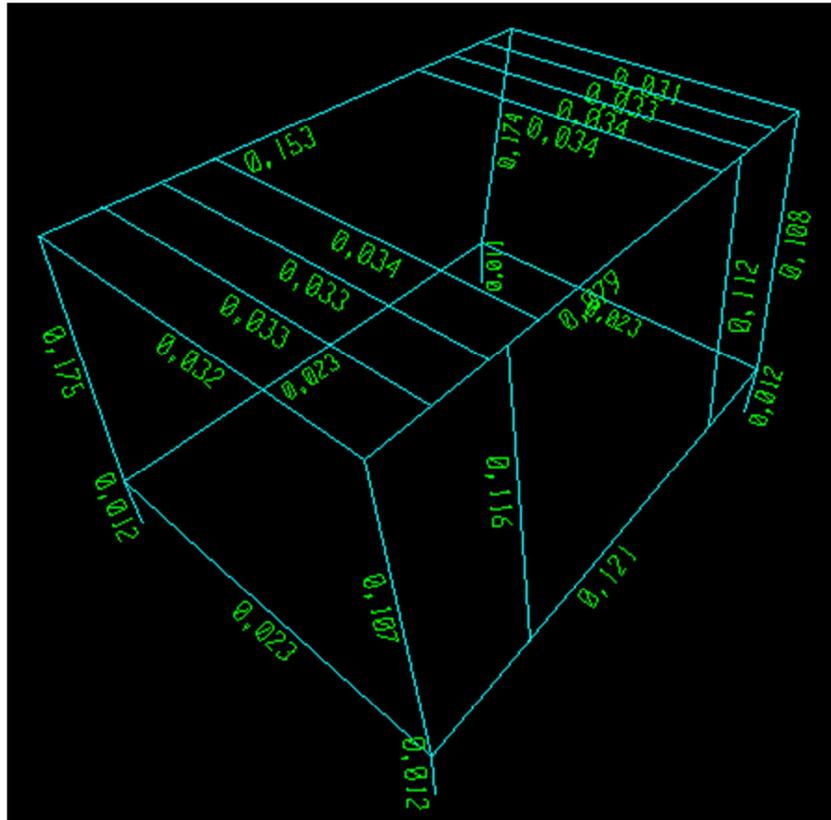


Figura 3.47 Factor seguridad de cada elemento del bastidor

Ninguno de los factores debe sobrepasar el valor de 0.95 de acuerdo AISC LRFD 2005 para que sea segura la estructura.

En la tabla 3.4 se tiene un resumen de los factores de seguridad de cada uno de los elementos

Tabla 3.4 Resumen de factores de seguridad de los elementos del bastidor

TABLE: Steel Design - Summary Data - AISC-LRFD93				
Elemento	Tipo de Diseño	Factor Seguridad	RatioType	Combo
1	Columna	0,011787	PMM	UDSTL2
11	Viga	0,078741	PMM	UDSTL2
13	Columna	0,012029	PMM	UDSTL2
14	Columna	0,107983	PMM	UDSTL2
15	Columna	0,173851	PMM	UDSTL2
16	Columna	0,011438	PMM	UDSTL2
17	Viga	0,023169	PMM	UDSTL2
18	Viga	0,022906	PMM	UDSTL2
19	Viga	0,121219	PMM	UDSTL2
2	Columna	0,107301	PMM	UDSTL2
20	Viga	0,023337	PMM	UDSTL2
23	Columna	0,116069	PMM	UDSTL2
24	Columna	0,112323	PMM	UDSTL2
4	Columna	0,174623	PMM	UDSTL2
44	Viga	0,033338	PMM	UDSTL2
48	Viga	0,033831	PMM	UDSTL2
5	Columna	0,011679	PMM	UDSTL2
6	Viga	0,031827	PMM	UDSTL2
7	Viga	0,153443	PMM	UDSTL2

Como se observa en la tabla el elemento 4 (columna resaltada en color amarillo en la figura 3.48) es el que se encuentra sometido a mayor combinación de esfuerzos

Pr: Fuerza Axial de compresión requerida

$$P_c = \Phi_c * P_n \quad (\text{Ec. 3.4.64}) \quad (\text{Anexo H1 Capitulo E } \Phi_c=0,90)$$

Pc: Fuerza Axial de Compresión de diseño

n_r: Fuerza de flexión requerida

$$M_c = \Phi_b * M_n \quad (\text{Ec. 3.4.65}) \quad (\text{Anexo H2 Capitulo F } \Phi_b=0,90)$$

Mc: Fuerza de flexión de diseño

K: Factor de longitud Efectiva

Perfil Cuadrado 40x40x5 (1½x 1½x 3/16 [pulg])

$$A_{\text{perfil}} = 635,079 \text{ mm}^2 = 0,894 \text{ [pulg}^2\text{]}$$

El primer término es un análisis de la proporción referente a un análisis de un elemento a fuerza axial que se explica en el capítulo E del código es así que se empieza por determinar la esbeltez de la viga.

Esbeltez de la viga:

$$\frac{K * L_{\text{viga}}}{r} \leq 200 \quad (\text{Ec. 3.4.66})$$

$$L_{\text{viga}} = 26,29 \text{ [plg]}$$

$$r = 0,521 \text{ [plg]}$$

$$k = 1 \quad (\text{Anexo H3 Sección C2 } 2,88 \leq 200)$$

Dónde:

L_{viga}: Longitud

r: Radio de Giro

Reemplazando:

$$\frac{1 * 26,29}{0,521} \leq 200$$

$$\mathbf{50,46 \leq 200}$$

Lo cual cumple con el requerimiento de Esbeltez

A continuación el procedimiento es aplicable para elemento compacto o no compacto y se calcula P_n con la siguiente ecuación

$$P_n = F_{cr} * A_g \quad (\text{Ec. 3.4.67})$$

Como cumple la siguiente ecuación:

$$\frac{K * l_{viga}}{r} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_{y_viga}}} \quad (\text{Ec. 3.4.68})$$

$$E = 20389,019 \text{ [Kgf/mm}^2\text{]} = 199947,979 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$F_{y_viga} = 25,311 \text{ [Kgf/mm}^2\text{]} = 248,211 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$50,46 < 4,71 \sqrt{\frac{199947,979}{248,211}}$$

$$50,46 < 133,67$$

En donde:

E: Módulo de elasticidad Acero A36

F_{y_viga} : Esfuerzo a fluencia

Se calcula F_{cr} y F_e con las siguientes ecuaciones:

$$F_{cr} = \left[0,658^{F_{y_viga}/F_e} \right] * F_y \quad (\text{Ec. 3.4.69})$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * l_{viga}}{r} \right)^2} \quad (\text{Ec. 3.4.70})$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 199947,979}{\left(\frac{1 * 26,29}{0,521} \right)^2} \quad F_e = 775 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Reemplazando F_e en la ecuación 3.4.69:

$$F_{cr} = \left[0,658^{248,211/775} \right] * 248,211$$

$$F_{cr} = 248,10 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Reemplazando F_{cr} en ecuación 3.4.67:

$$P_n = 248,10 * 635,079$$

$$P_n = 157569,77 \text{ [N]}$$

AXIAL FORCE DESIGN			
	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-275,904	8405,214	15080,000

Posteriormente P_c se tiene de la ecuación Ec. 3.4.64 reemplazando P_n por el factor del código de 0.9

$$P_c = 0,9 * 152569,77 = 141812,79 \text{ [N]}$$

3.4.9.4 Deformaciones

En la figura 3.49 se puede observar en una forma exagerada las deformaciones de los elementos, esto nos sirve para tener en cuenta los elementos que se encuentran con mayores cargas flectoras.

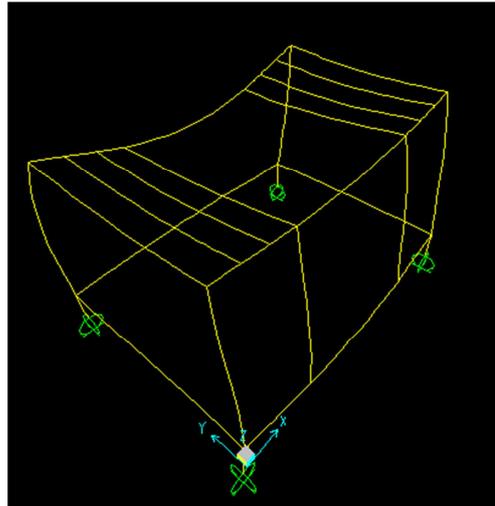


Figura 3.49 Deformación de la Estructura del Bastidor

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

4.1 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO¹⁹

La empresa Hazwat-CRA nos ha proporcionado dos motores eléctricos trifásicos marca Lafert de 10HP de potencia cada uno para la máquina trituradora, estos serán capaces de realizar el trabajo esperado de acuerdo al análisis mecánico realizado en el previo capítulo.

Los parámetros más relevantes de un motor eléctrico son los siguientes:

4.1.1 PAR DE ARRANQUE

Para cualquier proceso que se desee realizar con los motores eléctricos se debe iniciar con el encendido del motor sin carga, es decir para la trituración el motor no requiere un par de arranque elevado.

4.1.2 VELOCIDAD

La velocidad nominal del motor eléctrico de acuerdo al Catálogo del Motor Marca Rossi (Ver Anexo E2) 1400 [RPM] por diseño.

4.1.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

La red de distribución eléctrica que dispone la empresa es corriente trifásica de 220 V.

4.1.4 EL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

Debido a la naturaleza de la empresa, esta trabaja con un sin número de desechos, muchos de los cuales son corrosivos, en especial desechos farmacéuticos, se considera que el ambiente es mecánicamente agresivo, y de

¹⁹ Lobosco, O. J. (2011). Selección y Aplicación de Motores Eléctricos (1era. ed.). Marcombo.

acuerdo al NEC (National Electrical Code) se clasifica en el grupo G reservado para atmósferas de carácter industrial y con toxicidad.

4.1.5 ASPECTO DE MANTENIMIENTO

Los dos principales aspectos de mantenimiento que influyen en la selección de un motor son:

- La localización de la empresa desde el punto de vista de distancia de suministradores de piezas de recambio, talleres de reparaciones mecánicas especializados.
- La disponibilidad local de mano de obra calificada para operaciones más elaboradas de mantenimiento correctivo.

Para el tipo de actividad que se desarrolla generalmente se ubica fuera del área urbana, es decir los servicios citados son escasos, y por lo tanto el motor que se seleccione requerirá un sencillo y bajo mantenimiento.

4.1.6 PARÁMETROS RELEVANTES DEL MOTOR

En función de los factores mencionados los motores provistos por la empresa son adecuados, en general es de tipo jaula de ardilla cuyas características técnicas son las siguientes:

- Potencia 10 Hp
- Velocidad 1400 rpm
- Alimentación 220 V/440 V
- Corriente nominal 29 A.

4.2 CONTROL DEL MOTOR ELÉCTRICO

El control de la energía eléctrica es básico cuando se usa maquinaria industrial. La electricidad industrial está relacionada en primer lugar con el control del equipo eléctrico industrial y sus procesos relacionados.

4.2.1 CONTROL DEL MOTOR

Para controlar alguna operación específica del motor eléctrico es necesario tener un control del motor, desde un simple interruptor de volquete hasta un complejo sistema con componentes tales como relevadores, controles de tiempo e interruptores.

Por lo tanto al seleccionar e instalar equipo de control para un motor se debe considerar una gran cantidad de factores a fin de lograr un correcto funcionamiento junto a la máquina para la que diseña.

4.2.2 PROPÓSITO DEL CONTROLADOR

Algunos de los factores más importantes a considerarse respecto al controlador al seleccionar e instalarlo son:

- **Arranque.-** El motor se puede arrancar conectándolo directamente a la línea. Sin embargo, la máquina impulsada se puede dañar si se arranca con ese esfuerzo giratorio repentino. El arranque debe hacerse lenta y gradualmente, no sólo para proteger la máquina, sino porque la oleada de corriente de la línea durante el arranque puede ser demasiado grande. La frecuencia del arranque de los motores también comprende el empleo del controlador.
- **Parada.-** Los controladores permiten el funcionamiento hasta la detención de los motores y también imprimen una acción de freno cuando se debe detener la máquina rápidamente. La parada rápida es una función vital del controlador para casos de emergencia. Los controladores ayudan en la acción de parada retardando el movimiento centrífugo de las máquinas y en las operaciones de las grúas para manejar cargas.
- **Inversión de la rotación.-** Se necesitan controladores para cambiar automáticamente la dirección de la rotación de las máquinas mediante el mando de un operador en una estación de control. La acción de inversión de los controladores es un proceso continuo en muchas aplicaciones industriales.

- **Marcha.-** Las velocidades y características de operación deseadas, son, función y propósito directos de los controladores. Éstos protegen a los motores, operadores, máquinas y materiales, mientras funcionan.
- **Control de velocidad.-** Algunos controladores pueden mantener velocidades muy precisas para propósitos de procesos industriales, pero se necesitan de otro tipo de control para cambiar las velocidades de los motores por pasos o gradualmente.
- **Seguridad del operador.-** Muchas salvaguardas mecánicas han dado origen a métodos eléctricos. Los dispositivos piloto de control eléctrico afectan directamente a los controladores al proteger a los operadores de la máquina contra condiciones inseguras.
- **Protección contra daños.-** Una parte de la función de una máquina automática es la de protegerse a sí misma contra daños, así como a los materiales manufacturados o elaborados. Por ejemplo, se impiden los atascamientos de las cuchillas en la trituradora. Las máquinas se pueden hacer funcionar en reversa, detenerse, trabajar a velocidad lenta o lo que sea necesario para realizar la labor de protección.
- **Control y protección del motor²⁰.-** En las instalaciones industriales, el material eléctrico está frecuentemente sometido a condiciones muy duras de trabajo, por lo que resulta necesaria su protección con el objeto de evitar fallas en su funcionamiento o reducir al mínimo las posibles averías. Las perturbaciones más comunes y contra las cuales deben tomarse medidas de protección son las siguientes:
 - Sobrecorrientes.
 - Sobre y bajos voltajes.
 - Ausencia o fusión de una fase en motores o utilidades trifásicas.

²⁰ Molina, J. (2011). Apuntes de Control Industrial (2da ed., pp. 10-10). Quito.



Para la protección del circuito derivado del motor, se tiene la siguiente combinación entre aparatos de maniobra:

El ajuste del guarda motor generalmente se lo hace al valor de la corriente nominal del motor, el contactor debe ser seleccionado de acuerdo a la corriente nominal, así como en la selección de los Brakers para una red de 220VAC.

4.2.3 DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA ELÉCTRICO

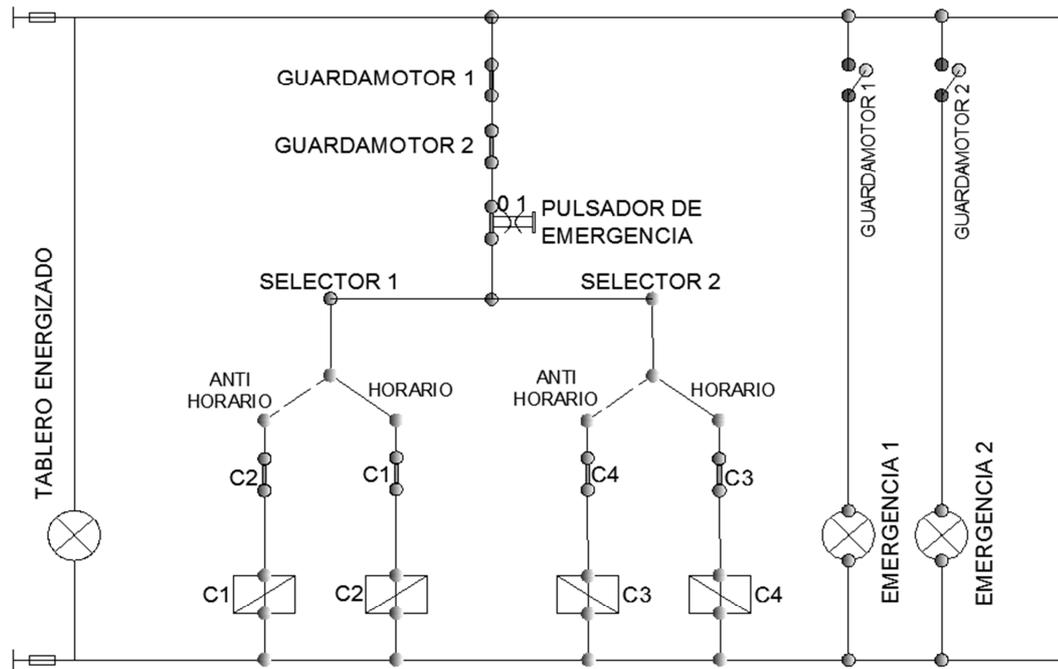


Figura 4.1 Diagrama de Control de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos)

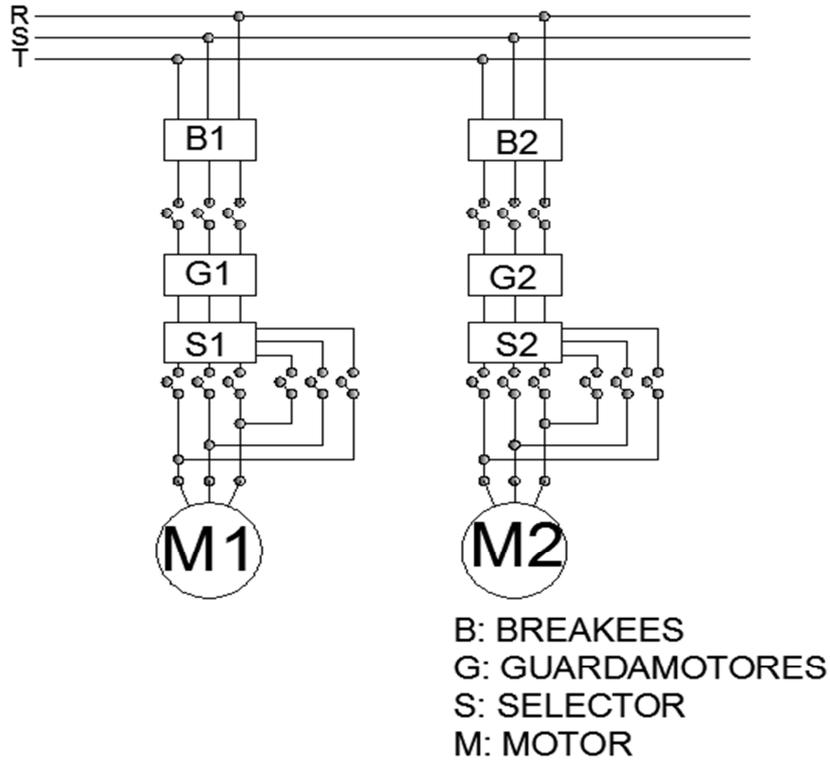


Figura 4.2 Diagrama de Fuerza de dos arranques directos con inversores de giro (10 Hp - trifásicos)

4.2.4 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Debido a que se cuenta con dos motores trifásicos se debe considerar los dispositivos más adecuados para el uso y la protección de los mismos con una red de 220 VAC y un Amperaje de 30 A en los motores (Ver Anexo I).

- Borneras de conexión por tornillo para uso en riel de 35mm (Ver Anexo I6).

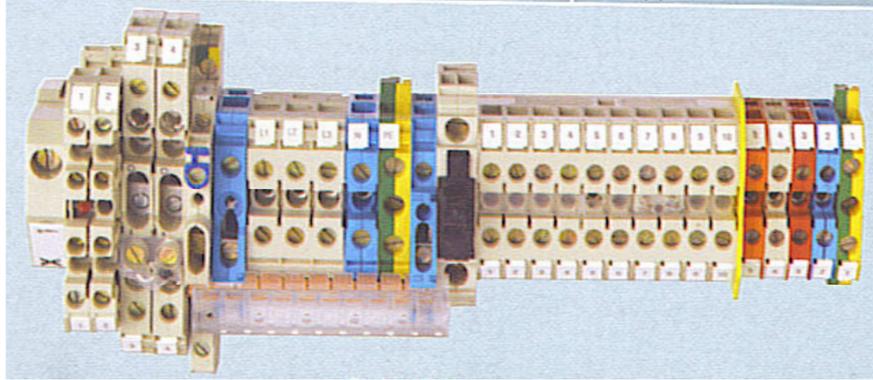


Figura 4.3 Borneras para conexión eléctrica

- 9 borneras de un polo con tornillo con capacidad de amperaje de 82 amperios para cable AWG .
- Marquillas en letras R, T, S, U, V y W para marcación de borneras según las líneas de red.
- Cable AWG
- Intensidad de Corriente Total

$$I=1,25*(A_{\text{motor}})+A_{\text{motor}}$$

En donde A_{motor} representa la corriente de trabajo nominal de los dos motores de 10 Hp.

$$A_{\text{motor}}= 29 \text{ [A]}$$

$$I=65,25 \text{ [A]}$$

Por tanto es necesario un cable AWG #6 (ver Anexo I6) ya que este tipo de cable soporta una capacidad de 82 amperios siendo este mayor a 65,25 amperios que es lo mínimo requerido.

- Contactores (ver Anexo I1)

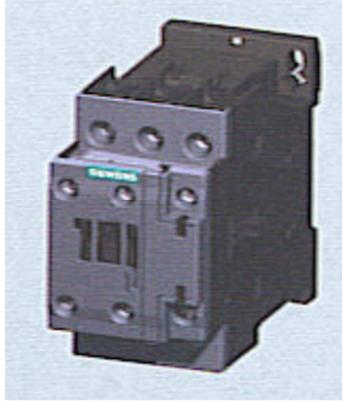


Figura 4.4 Contactor

Cuatro contactores para una potencia de motor de 12 Hp y una intensidad de 32 Amperios a 220VAC.

- Guardamotores (ver Anexo I2)

Protección de motores contra sobrecarga de circuito y pérdida de fase.



Figura 4.5 Guardamotor

Dos guardamotores con soporte de entre 27-32 Amperios con un soporte de cortocircuito de 400VAC.

- Breakers de 3 polos (ver Anexo I5)

Protección de motores contra sobrecarga de circuito.



Figura 4.6 Breaker

Dos breakers sobrepuestos termo magnéticos para montaje en riel DIN para una tensión de 220VAC y un corriente de 72 A.

- Elemento de mando y señalización
- Pulsadores Metálicos (ver Anexo I3)



Figura 4.7 Pulsador Rojo tipo Hongo 40 mm

- Selectores de Posición Metálicos (ver Anexo I3)

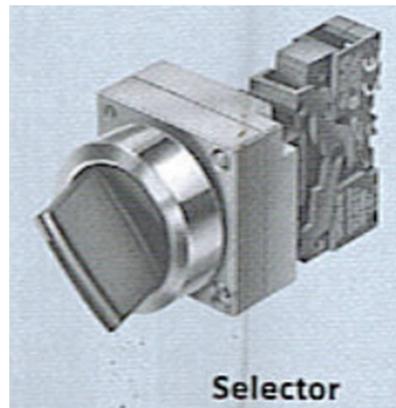


Figura 4.8 Selector

Dos selectores de tres posición I O II para el arranque anti horario y horario de cada motor.

- Luces Piloto Metálicas (ver Anexo I4)



Figura 4.9 Luces pilotos

Dos luces piloto de color rojo para señalización de emergencia en cada motor.

Una luz piloto verde para energización de la máquina.

CAPÍTULO 5

PLAN Y PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN

5.1 GENERALIDADES

El objetivo del presente capítulo es exponer el plan de construcción de la máquina trituradora, es decir todos los procesos que permitirán llegar a la fabricación de cada una de las piezas que se detallan en el anexo O. Partirá de una lista del equipo y la materia prima necesaria para la construcción con sus respectivos planos de montaje y puesta en marcha de la máquina trituradora.

5.2 MAQUINARIA Y EQUIPO

Para la fabricación se tiene equipos y máquinas para procesos constructivos, y los instrumentos para comprobación de medidas.

Tabla 5.1 Maquinaria y equipo utilizado

N°	ELEMENTO
1	Destornillador cabeza plana trapezoidal y tipo Phillips
2	Sierra de vaivén para metal
3	Combo de goma y de metal.
4	Engrasadora de tipo pistón
5	Limas de media caña y redondas
6	Tornillo de presión para banco de taller
7	Fresadora universal
8	Cizalla hidráulica marca HACO de 0.5 hasta 6 mm
9	Dobladora hidráulica para acero hasta 3 mm
10	Taladro de pedestal 3/4HP mandril 5/8
11	Taladro marca Bosch GBM-10-RE mandril 10 mm
12	Esmeril eléctrico TOR 3/4 HP 8"
13	Amoladora Dewalt rosca de eje (4-1/2 a 5 pulgadas)

Tabla 5.1 Maquinaria y equipo necesario (Continuación)

N°	ELEMENTO
14	Máquina de soldar Millermatic 212 GMAW MIG
15	Equipo de corte oxiacetilénica Power Line Dinamic 6"
16	Equipo de corte por plasma
17	Pistola Cane Modelo CB-100 para pintura (800cm ³)
18	Tecle Pluma AUTOMASTER capacidad 1000lb
19	Montacarga TOYOTA capacidad 3 toneladas
20	Juego de llaves de punta y corona
21	Juego de playos de presión
22	Alicates universales
22	Rayadores de metal punta de acero
23	Lijas grado 80 100 200
24	Juego de Gratas y Piedras de Pulir

Tabla 5.2 Instrumentos para comprobación de medidas

N°	ELEMENTO
1	Flexómetro (3m)
2	Goniómetro apreciación 10'
3	Pie de Rey apreciación 0,02 mm
4	Nivelador de burbuja
5	Reglas
6	Balanza Electrónica
7	Escuadras

5.3 MATERIA PRIMA Y COMPONENTES

La lista de los materiales se encuentran establecidos en la tabla 5.3 y los componentes en la tabla 5.4 , en lo que respecta a la cantidad en perfiles ejes y tubería cada unidad corresponde a 6 m y para planchas el tamaño estándar es de 1200 x 2400 mm²

Tabla 5.3 Materia prima necesaria para la construcción de la máquina trituradora

MATERIA PRIMA			
ELEMENTOS	MATERIAL	CANT.	UNIDAD
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN			
COMPUERTA CUBIERTA	Plancha de Acero ASTM A36 e= 3 mm	1	unidad
	Perfil en L 50 x 3 mm	1100	mm
	Perfil en L 20 x 3 mm	1500	mm
	Tubo D= 20mm t= 2 mm	1000	mm
	Barra de acero D= 16mm	900	mm
TOBERA DE ALIMENTACIÓN	Plancha de Acero ASTM A36 e= 3 mm	2	unidad
	Perfil en L 40 x 3 mm	600	mm
SISTEMA DE TRITURACIÓN			
CAMARA DE TRITURACION	Plancha de Acero ASTM A36 e= 6 mm	1	unidad
CUCHILLAS-LIMPIADORES	Plancha Acero AISI D2 e 10 mm	1	unidad
EJES PORTACUCHILLAS	Acero ASTM A 36 ø 2" (50,8mm)	5000	mm
ANILLOS SEPARADORES	Eje de acero AISI 1020 perforado D = 3 5/8 pulg. d = 2 5/8 pulg.	1600	mm
CHAVETAS	Acero AISI 1010 16x 10	630	mm
BASTIDOR			
ESTRUCTURA	Perfil cuadrado 40 X 5	18000	mm
PLACA BASE	Plancha de Acero ASTM A36 e= 10 mm	1	unidad
BASES CHUMACERAS	Vigas en C	2500	mm
RAMPA DE DESCARGA	Plancha de Acero ASTM A36 e= 3 mm	1	unidad
PLACAS PROTECTORAS	Plancha de Acero ASTM A36 e= 3 mm	2	unidad

Tabla 5.4 Componentes que se utilizaran para construcción de la máquina trituradora

COMPONENTES		
ELEMENTO	CARACTERISTICAS	CANT.
MOTOREDUCTOR ELECTRICO MARCA ROSSI	10Hp/7,5Kw 1400 rpm i= 16	2
CATALINAS	H80Q13	2
	H80Q19	2
CADENAS	ANSI 80	1 caja
RODAMIENTOS	SKF 6209 ø 45 mm	6
CHUMACERAS	UCP 209	6
TORNILLERIA VARIA	Perno M12x 32	44
	Perno 5/8x 3	16
	Perno M15 x 25	22
ELECTRODO	ER_70-s ø 1/8[pulg]	4 kg
TABLERO DE CONTROL	Armado 4 Breakers 2 Guardamotores 2 Contactores Elementos de mando y señalización	1

5.4 DIAGRAMA DE PROCESOS Y MONTAJE

Los diagramas de procesos, hojas de proceso y plan de montaje se encuentran en los Anexos G, H e I respectivamente.

5.5 ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL DE LA MÁQUINA

Ver Anexo K

5.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

5.6.1 PRESENTACION DE RESULTADOS

Los resultados se presentan a continuación en las tablas 5.5, 5.6 para productos disponibles de la empresa en el período de pruebas.

Tabla 5.5 Resultados obtenidos en el proceso de trituración envases tetra-pack

HAZWAT CRA.										
FICHA TECNICA DE PRUEBAS										
DATOS GENERALES.										
Responsables:	Iván Rodríguez Ricardo Portalanza									
Fecha de realización:	19-mar									
Hora de realización:	2:30 PM									
DATOS DEL EQUIPO										
Máquina / Equipo:	Máquina Trituradora									
Amperaje en arranque	34 A									
Amperaje en marcha	14 A									
Panel de Control	Funcional									
Observaciones:	Ninguna									
DATOS DEL PRODUCTO										
Marca :	Jugo del Valle									
Presentación:	Tetra-pack									
Peso Unitario:	1kg									
Dimensión:	170X 60 X 100 mm									
Peso Caja:	18 kg									
CUADRO DE RESULTADOS										
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: yellow;">Caja</th> <th style="background-color: yellow;">Tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #e0f2f7;">1</td> <td style="background-color: #e0f2f7;">42,1</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f2f7;">2</td> <td style="background-color: #e0f2f7;">26,8</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f2f7;">3</td> <td style="background-color: #e0f2f7;">1:02</td> </tr> </tbody> </table>			Caja	Tiempo	1	42,1	2	26,8	3	1:02
Caja	Tiempo									
1	42,1									
2	26,8									
3	1:02									
<u>Dimensión máxima de elemento triturado</u>	9 X 13 cm									
<u>Tiempo Total</u>	1min 2 seg									

Tabla 5.6 Resultados obtenidos en el proceso de trituración envases plásticos

HAZWAT CRA.																											
FICHA TECNICA DE PRUEBAS																											
DATOS GENERALES.																											
Responsables:	Iván Rodríguez Ricardo Portalanza																										
Fecha de realización:	19-mar																										
Hora de realización:	3:00 PM																										
DATOS DEL EQUIPO																											
Máquina / Equipo:	Máquina Trituradora																										
Amperaje en arranque	36 A																										
Amperaje en marcha	12 A																										
Panel de Control	Funcional																										
Observaciones:	Ninguna																										
DATOS DEL PRODUCTO																											
Marca :	Suero																										
Presentación:	Plástico																										
Peso Unitario:	0.5kg																										
Dimensión:	180x120x40 mm																										
Peso Caja:	5.5 kg																										
CUADRO DE RESULTADOS																											
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #ffff00;"> <th>Caja</th> <th>Tiempo</th> <th>Caja</th> <th>Tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">16,2</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">14,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">16,8</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">17,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">20,1</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">19,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">18,1</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">16,4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">18,4</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">15,3</td> </tr> </tbody> </table>				Caja	Tiempo	Caja	Tiempo	1	16,2	6	14,4	2	16,8	7	17,1	3	20,1	8	19,1	4	18,1	9	16,4	5	18,4	10	15,3
Caja	Tiempo	Caja	Tiempo																								
1	16,2	6	14,4																								
2	16,8	7	17,1																								
3	20,1	8	19,1																								
4	18,1	9	16,4																								
5	18,4	10	15,3																								
<u>Dimensión máxima de elemento triturado</u>	8 X 13 cm																										
<u>Tiempo Total</u>	3min 57 seg																										
<u>Número de cajas</u>	67																										

Tabla 5.7 Resultados obtenidos en el proceso de trituración envases PET

<h1 style="margin: 0;">HAZWAT CRA.</h1>																											
FICHA TECNICA DE PRUEBAS																											
DATOS GENERALES.																											
Responsables:	Iván Rodríguez Ricardo Portalanza																										
Fecha de realización:	19-mar																										
Hora de realización:	3:30 PM																										
DATOS DEL EQUIPO																											
Máquina / Equipo:	Máquina Trituradora																										
Amperaje en arranque	36 A																										
Amperaje en marcha	14 A																										
Panel de Control	Funcional																										
Observaciones:	Ninguna																										
DATOS DEL PRODUCTO																											
Marca :	EGO																										
Presentación:	Envases PET																										
Peso Unitario:	0.4kg																										
Dimensión:	Φ131x80 mm																										
Peso Caja:	30.8 kg																										
CUADRO DE RESULTADOS																											
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #ffff00;"> <th style="padding: 5px;">Caja</th> <th style="padding: 5px;">Tiempo</th> <th style="padding: 5px;">Caja</th> <th style="padding: 5px;">Tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">11,1</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">9,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">11,7</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">12,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">25,0</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">15,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">15,0</td> <td style="text-align: center;">9</td> <td style="text-align: center;">11,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">13,3</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">11,2</td> </tr> </tbody> </table>				Caja	Tiempo	Caja	Tiempo	1	11,1	6	9,3	2	11,7	7	12,0	3	25,0	8	15,0	4	15,0	9	11,3	5	13,3	10	11,2
Caja	Tiempo	Caja	Tiempo																								
1	11,1	6	9,3																								
2	11,7	7	12,0																								
3	25,0	8	15,0																								
4	15,0	9	11,3																								
5	13,3	10	11,2																								
<u>Dimensión máxima de elemento triturado</u>	2 X 7 cm																										
<u>Tiempo Total</u>	2 min: 15 seg																										
<u>Número de cajas</u>	76																										

5.6.2 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la validación de resultados se dispone de las tablas 5.5, 5.6 y 5.67 con grado de reducción del producto y flujo de material a ser triturado de la siguiente manera:

Tabla 5.8 Análisis de Resultados de Ensayos de Trituración

HAZWAT CRA.					
ANÁLISIS DE RESULTADOS					
DATOS GENERALES.					
Responsables:	Iván Rodríguez Ricardo Portalanza				
Fecha de realización:	20-mar				
Máquina / Equipo:	Máquina Trituradora				
CALCULOS					
Grado de Reducción					
Elemento	Dim. Inicial mm ²	Dim. Final mm ²	Grado de Reducción (n)		
Tetra-pack	66400	11700	5,68		
Suero	91200	10400	8,77		
PET	10480	1400	7,48		
Flujo de Masa					
Elemento	N° de envases	Peso por envase (kg)	Peso total Kg	Tiempo s	Flujo de Masa Kg/h
Tetra-pack	54	1	54	62	3135,48
Suero	670	0,5	335	237	5088,61
PET	76	0,4	30.8	75	1478,40
-	<u>Grado de Reducción Mínimo</u>		3		
-	<u>Flujo Másico</u>				
-	<u>Mínimo</u>		1000 kg/h		
OBSERVACIONES Como se puede ver la máquina procesa con flujo másico y grado de reducción superior a los límites establecidos					

5.6.3 MODIFICACIONES

En base a los resultados obtenidos muy favorables la máquina no requiere modificaciones de ningún tipo y esta óptima para funcionar en la empresa.

CAPITULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1.1 ESTUDIO DEL MERCADO

De acuerdo a la página web del buró de análisis informativo²¹ realizado el 8 de septiembre del 2011 aproximadamente 80000 toneladas de materiales elaborados con polietileno y PET son reciclados por el país cada año y 590000 toneladas en productos compuestos con materiales como cartón, metal, y vidrio.

En la última década ha crecido la concientización social del correcto tratamiento de los restos q contengan productos reciclables desde el proceso de recolección hasta la venta de los mismos. Esta materia reciclada se exporta a países de primer mundo con la capacidad tecnológica de convertirla en nuevos productos en un precio aproximado entre \$ 1200 y 1300 por tonelada, cuando una tonelada de PET virgen se cotiza entre \$1600 y 2000 la tonelada.

En lo que respecta a la máquina trituradora y su importancia desde el factor económico, se ve claramente que mientras se procese de manera eficiente se dispondrá de mayor capacidad en bodega seguir receptando materiales PET Y TETRAPACK a reciclar, por consiguiente y según lo expuesto en los párrafos anteriores más ingresos para la empresa.

²¹ Anónimo (2012, 04). *Buró de análisis informativo*. Recuperado 06, 2013, de <http://www.burodeanalisis.com/>

6.1.1.1 Estudio de la Oferta

Actualmente la empresa HAZWAT procesa aproximadamente 10 toneladas de material plástico tipo PET y Tetra pack al mes con el proyecto se prevé realizar el mismo trabajo en un día significando un aumento sustancial y con ahorro de recursos.

6.1.1.2 Estudio de la Demanda

En este estudio un factor muy importante a considerar es que el Gobierno del Ecuador y la mayoría de leyes tienen la tendencia de conservación ambiental que conlleva a las empresas y microempresas a ocuparse del correcto manejo de sus desechos lo que influye directamente en el mercado ya que las empresas que se encargan del tratamiento tendrán más trabajo y por ende tendrán que mejorar sus sistemas de almacenamiento para poder receptor más clientes.

En base a datos se prevé un muy favorable crecimiento anual de la industria plástica del 7% (según informe Verónica Sión ministra del ministerio de Industrias y Productividad) y con un reciclaje de tan solo un 36%. Entonces solo es cuestión de imaginar que hay 64% de manera ideal que se puede llevar a procesar y obtener una ganancia por medio de empresas como HAZWAT. “Si se aumenta solo un 1% del reciclaje ya existirá un ahorro de 4 millones de dólares en la importación de materia prima”

6.1.1.3 Conclusión del Estudio de Mercado

Como conclusión en base a lo expuesto es muy rentable la construcción de la máquina trituradora ya que si se considera una inversión leve de aproximadamente entre \$7000 a 14000, el proceso de cada tonelada en venta es de entre \$ 1200 y 1300, obviamente restando gastos de proceso de personal entre otros, se recobrarían esta inversión en poco tiempo. Debido a que la demanda es creciente y con la implementación de la máquina se provee un incremento sustancial en la oferta de la empresa que permitirá cubrir una parte de esta demanda.

6.2 ANÁLISIS DE COSTOS

Los principales costos que intervienen en el presente proyecto se pueden desglosar de la siguiente manera:

- Costos de fabricación
- Costos administrativos
- Costos de diseño
- Costos de venta
- Costos financieros

6.2.1 COSTO DE FABRICACIÓN

De los costos por fabricación se pueden subdividir dos grandes grupos los cuales son: Costos directos y Costos por Carga Fabril.

6.2.1.1 Costos Directos

Dentro de los costos directos se tiene costos de: Materia prima, Elementos Directos, Mano de Obra y Costos de Taller.

Tabla 6.1 Costo de Materia Prima

Elementos	Material	Dimensiones Requeridas	Dimensión Estándar	Unid	Cant	Cost. Unid(\$)	Cost Final (\$)	Fuente
Sistema de Alimentación								
Compuerta Cubierta	Plancha de acero ASTM A36 e= 3 mm	1.21 e 6	1220 x 2440	mm ²	1	50	50	dipac
	Perfil en L 20 x 3 mm	700	6000	mm	1	6,72	6,72	dipac
	Tubo d= 21mm t= 2 mm	765	6000	mm	1	17,52	17,52	dipac
	Barra de hierro d= 16mm	900	6000	mm	1	15,91	15,91	dipac
Tobera de Alimentación	Plancha de acero ASTM A36 e= 3 mm	1.8 e 6	1220 x 2440	mm ²	1	50	50	dipac
	Perfil en L 25 x 3 mm	2530	6000	mm	1	8,96	8,96	dipac
Sistema de Trituración								
Cámara de Trituración	Plancha de acero ASTM A36 e= 6 mm	1210000	1220 x 2440	mm ²	1	370,72	370,72	dipac
	Plancha de acero ASTM A36 e= 6 mm	163300	1220 x 2440	mm ²	1	252	252	dipac
Cuchillas	Plancha acero AISI D2	160	-----	kg	-----	15	2400	bohler
Ejes Portacuchillas	Acero AISI 1018 ø 2" (50,8mm)	3,500	-----	m	-----	34	136	dipac
Anillos Separadores	Eje perforado d= 2 5/8 pulg d= 3 5/8 pulg.	1015	6000	mm	1	87,36	87,36	bohler
Bastidor								
Bastidor	Perfil cuadrado 50 x 50 x 3 mm	15000	6000	mm	3	33,33	100	dipac
Placa Base	Plancha de acero ASTM A36 e= 10 mm	50400	1220 x 2440	mm	1	450	450	dipac
Rampa de Descarga	Plancha de acero ASTM A36 e= 3 mm	1770356	1200 x 2440	mm ²	1	50	50	dipac
Placas Protectoras Laterales	Plancha de acero ASTM A36 e= 3 mm	1503070	1220 x 2440	mm ²	1	50	50	dipac
						subtotal	4045,19	

Se tiene como subtotal para costos por materia prima de 4045,19 USD, a continuación la tabla correspondiente a los costos de materiales directos.

Tabla 6.2 Costo de Materiales Directos

COSTO DE MATERIALES DIRECTOS							
ELEMENTO	DESCRIPCION	CARACTERISTICA	CANT.	UNID.	VALOR UNIT.	TOTAL (USD)	FUENTE
MOTOREDUCTOR ELECTRICO	Motor con reductor Sinfín- Helicoidal	12hp 1700 rpm i= 16	2	u	1125	2250	Industry Siemens
CATALINAS	H80Q13	∅ 45mm	2	u	19	38	Aceros Comercial
	H80Q19	∅ 45mm	2	u	28	56	Aceros Comercial
CADENAS	Paso 25,4	ANSI 80	1	u	78	78	Aceros Comercial
RODAMIENTOS	De bolas 209 con contacto angular	∅ 45 mm	6	u	45	210	Casa del Ruliman
CHUMACERAS	UCP 209	∅ 1 3/4 "	6	u	49	294	Casa del Ruliman
TORNILLERIA VARIA	Perno	Varios	25	u	0,29	10,75	Multiperno
ELECTRODO	ER-70-s	∅ 1/8"	4	kg	4.76/kg	19.74	Ferrisariato
ADHERENTE	-----	-----	1	galón	28,9	28,9	Pintuco
ANTICORROSIVO	Primer	Gris	1	galón	17,95	17,95	Pintuco
PINTURA BRILLANTE	Esmalte sintético	Azul	1	galón	20,48	20,48	Pintuco
BORNERAS DE CONEXIÓN	De tornillo para uso en riel de 35mm 8WA1204	72 A	50	u	0,04	2	Industry Siemens
MARQUILLA EN LETRAS EN R,T,S,U,V Y W	Cable AWG x 6	-----	1	u	4	4	Industry Siemens
CONTACTORES	Para motor de 12 HP	32A A 220VCA	4	u	76	304	Industry Siemens
GUARDAMOTORES	-----	27-32 A	2	u	135,65	271	Industry Siemens
BRAKERS DE 3 POLOS	-----	220VCA y 72 A	2	u	30,92	70	Industry Siemens
PULSADOR METÁLICO	Tipo hongo rojo	40mm	1	u	10	10	Industry Siemens
DOS SELECTORES DE TRES POSICIONES	-----	Arranque horario y anti horario	2	u	18,21	36,42	Industry Siemens
LUCES PILOTO	-----	Color Rojo	2	u	11,1	22,2	Industry Siemens
TRATAMIENTO TÉRMICO	Cementación	Baño en sales	70	kg	5	350	Böhler
MONTAJE ELÉCTRICO	-----	-----	1	global	100	100	Inasel Cia
					SUBTOTAL	4193,44	

Tabla 6.3 Costo de Mano de Obra Directa

COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA		
OPERARIO	COSTO M-H (USD / h)	FUENTE
Tornero (T)	10	Taller Mecánico
Fresador (F)	12	Taller Mecánico
Doblador (D)	10	Taller Mecánico
Cortador (Se)	10	Taller Mecánico
Soldador y armador (W)	12	Taller Mecánico
Pintor (P)	10	Taller Mecánico
Taladrador (Ta)	8	Taller Mecánico
Tareas menores varias (V)	6	Taller Eléctrico

Tabla 6.4 Costo de Máquinas Herramientas

COSTO MAQUINAS HERRAMIENTAS (H-H)		
MAQUINA/FUNCION	COSTO H-H (USD / h)	FUENTE
Torno (T)	10	Taller Mecánico
Fresadora (F)	15	Taller Mecánico
Dobladora (D)	10	Taller Mecánico
Sierra Eléctrica (Se)	8	Taller Mecánico
Soldadora, Oxicorte(W)	10	Taller Mecánico
Taladradora (Ta)	8	Taller Mecánico
Pintado (P)	10	Taller Mecánico
Lima (V)	6	Taller Mecánico
Sierra Manual (V)	6	Taller Mecánico
Esmerilado (V)	6	Taller Mecánico

Tabla 6.5 Costos de mano de Obra y Máquinas Herramientas

COSTO MANO DE OBRA Y MÁQUINAS HERRAMIENTAS				
ELEMENTO	H-H EMPLEADAS	H-M EMPLEADAS	COSTO TOTAL (USD)	
			M.H.	M.O.
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN				
Compuerta (Se; V ; P)	0,25;0,16;0,16	0,20;0,16;0,16	4,24	4,56
Cubierta (Se; D; V; P; W)	0,5;0,15;0,20;0,20;0,20	0,3;0,15;0,3;0,20;0,20	10,3	10,1
Tobera (Se;D;V;P;W; Ta)	0,6;0,20;0,20;0,25;0,25;0,20	0,4;0,20;0,25;0,25;0,25;0,20	14,1	14,6
Conectores (Se;V)	0,5;0,1	0,2;0,15	4,6	2,9
Pasador (Se; V)	0,2;0,05	0,1;0,05	2,3	1,3
SISTEMA DE TRITURACIÓN				
Cámara de Trituración (Se;Ta; W; P;V)	1;0,3;1;0,5;0,25	1;0,3;1;0,5;0,3	23,9	30,9
Cuchillas-Limpiadores (W;F; V)	12;20;2	12;20;3	432	402
Ejes Portacuchillas (T; F; V)	10;12;0,5	10;12;0,7	283	248,2
Anillos Separadores (Se;V)	3;0,25	3;0,3	25,5	31,8
Chavetas (Se;F;V)	5;8 ;,75	2;8 ;,8	164,5	120,8
BASTIDOR				
Estructura (Se;W;V;P)	0,75;1,25;0,75;0,5	0,75;1,25;0,8;0,5	27	32
Patatas(W;V;P)	1;0,5;0,75	1;0,5;0,75	19	22,5
Rampa de Descarga (Se;W;V)	0,3;0,25;0,10	0,3;0,25;0,10	5,5	6,6
Placas Protectoras (Se;Ta; V;P)	0,3;0,25;0,15;0,20	0,3;0,25;0,15;0,20	6,9	7,1
SUBTOTAL			1022,84	935,36

Tabla 6.6 Resumen de costos directos

RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS	
DESCRIPCION	COSTO (USD)
Materia Prima	4045,19
Materiales Directos	4193,44
Mano de obra directa	935,36
Costo de Maquinas Herramientas	1022,84
SUBTOTAL	10196,83

6.2.1.2 Costos por Carga Fabril

Dentro de los costos por carga fabril se encuentra el análisis de: Materiales indirectos, Mano de obra indirecta, Otros gastos indirectos, Depreciación y Mantenimiento.

Mano de obra indirecta es la que no interviene de forma material en la elaboración de un producto pero que es parte del proceso: por ejemplo la asesoría o supervisión del capataz o de un ingeniero.

Material Indirecto por ejemplo seria todo el material q no interviene directamente en la fabricación pero es base para el diseño como por ejemplo la adquisición de software y códigos para el diseño.

Otros gastos indirectos corresponde a los gastos como son calefacción, luz y energía de fábrica, etc.

Tabla 6.7 Costos por Carga Fabril

COSTOS POR CARGA FABRIL	
DESCRIPCION	COSTO (USD)
Materiales Indirectos	100
Mano de Obra Indirecta	200
Otros Gastos Indirectos	150
Depreciación	0
Mantenimiento	0
SUBTOTAL (USD)	450

6.2.1.3 Resumen de Costos de Fabricación

En la tabla 6.8 se presenta un resumen de los costos de fabricación para el presente proyecto.

Tabla 6.8 Resumen de Costos de Fabricación

COSTOS DE FABRICACIÓN	
DESCRIPCION	COSTO (USD)
Costo Directo o Primo	10196,83
Carga Fabril	450
SUBTOTAL (USD)	10646,83

6.2.2 COSTOS ADMINISTRATIVOS

Estos costos hacen referencia a gastos por motivos administrativos que la empresa adquiriera en el desarrollo del producto, para el caso de este proyecto no se contemplara ninguna actividad que conlleve a estos gastos.

6.2.3 COSTOS DE DISEÑO

Para este punto se analizara el tiempo de investigación, análisis y desarrollo del proyecto que realizaran los diseñadores desde el punto de partida hasta la elaboración de los respectivos planos y manuales de la máquina. Por consiguiente se considera un valor de 2000 USD, como un monto aceptable por el trabajo de diseño realizado.

6.2.4 COSTOS DE VENTA

Dentro de los costos de venta se encuentra el análisis de: Gastos de comercialización, Comisión a los vendedores, Representación, Publicidad, Impuestos sobre ventas y Asistencia técnica a clientes, por consiguiente no existen costos de venta para el proyecto.

6.2.5 COSTO FINANCIEROS

Dentro de los costos financieros se encuentre el análisis de: Intereses por préstamos, Descuentos y comisiones bancarias, Amortización de intereses durante la construcción e Imprevistos

Para el proyecto son innecesarios ya que solo cabe realizar un análisis del capital base que nos ofrece la empresa Hazwat-CRA, por consiguiente los costos financieros corresponden a 0 USD.

6.2.5.1 Ingresos

Para el proyecto se dispone de los siguientes ingresos:

Tabla 6.9 Ingresos para el Proyecto

ENTIDAD	MONTO (USD)
Hazwat-CRA	10000
Iván Rodríguez	2.000
Ricardo Portalanza	2.000
Total	14.000

6.2.5.2 Resumen del Costo Total del Proyecto

En la siguiente tabla se tiene el resumen del costo total del proyecto:

Tabla 6.10 Resumen del Costo Total del Proyecto

DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
Costos de fabricación	10646,83
Costos administrativos	0
Costos de diseño	2000
Costos de venta	0
Costos financieros	0
TOTAL (USD)	12646,83

Para determinar la rentabilidad del equipo es necesario determinar el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) en base al flujo de caja.

Previo a dar valores para el flujo de caja hay que hallar el ingreso y egreso de efectivo que genera la maquina anualmente y esto se logra en base al ahorro que genera la máquina anualmente a la empresa (Ingreso) y los costos de mantenimiento que requiere durante su funcionamiento (Egresos).

Tabla 6.11 Costos del proceso de trituración manualmente y con la máquina trituradora.

	Obreros	Costo hora por obrero* (\$)	Costo total personal(\$)	Capacidad de trabajo kg/h	Tiempo de Trabajo (h)**	Costo total por trabajo
Sin Máq. Trituradora	5	1,72	8,6	100	150,00	1290,00
Máquina Trituradora	2	1,72	3,44	3135	4,78	16,46

La siguiente tabla muestra el costo total que representa el uso del generador a diesel que es el que proporciona la energía a la máquina trituradora para 4.78 horas de funcionamiento necesario para procesar 15 t de residuos.

Tabla 6.12 Costo de funcionamiento en base al consumo energético para la máquina trituradora.

Consumo generador (l/h)	Valor Diesel (\$)	Costo total consumo generador (\$)	Horas de trabajo (h)	Costo total de trabajo (\$)
98,6	0,2382	23,48652	4,78	112,38

En base a las tablas anteriores se determina el ahorro mensual como se muestra en la tabla 6.13.

Tabla 6.13 Ahorro mensual con la implementación de la máquina trituradora

	Costo
Máquina trituradora	128,82
Trabajo Manual	1290
Ahorro Mensual	1161,18

* Basado en el salario mensual de 318\$

** Basado en el producto receptado mensual de 15 t promedio

Ahora para determinar los egresos tenemos la siguiente tabla desarrollada en base a la tabla de mantenimiento del anexo N.

Tabla 6.14 Tabla de costos de mantenimiento

	1 año	2 año	3año	4año	5 año
Mantenimiento cuchillas	37,28	37,28	37,28	37,28	37,28
Cambio de aceite del motoreductor	0	0	7,33	0	0
Engrasado chumaceras	19,66	19,66	19,66	19,66	19,66
Engrasado cadena y catalina	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66
Control eléctrico	30	30	30	30	30
Revisión General	15	15	15	15	15
Reemplazo de rodamientos	0	0	0	0	270
Reemplazo de catalina	0	0	0	0	94
Reemplazo de cadena	0	0	0	0	78
	116,6	116,6	123,93	116,6	558,6

Con la tabla 6.13 y 6.14 se determina el flujo de caja para 5 años

Tabla 6.15 Flujo de caja

Años	Ingresos totales (\$) YT	Egresos totales (\$) ET
0		
1	13934,16	116,6
2	13934,16	116,6
3	13934,16	123,93
4	13934,16	116,6
5	13934,16	558,6

Tabla 6.16 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Años	Ingresos totales (\$) YT	Egresos totales (\$) ET	Tasa de actualización fa (30%)	Tasa de actualización fa (75%)	YTa (30%)	ETa (30%)	Yta (75%)	ETa (75%)
0		12599,80						
1	13934,16	116,60	0,76	0,57	10718,58	89,69	7962,38	66,63
2	13934,16	116,60	0,59	0,32	8245,07	68,99	4549,93	38,07
3	13934,16	123,93	0,45	0,18	6342,36	56,41	2599,96	23,12
4	13934,16	116,60	0,35	0,10	4878,74	40,82	1485,69	12,43
5	13934,16	558,60	0,26	0,06	3752,87	150,45	848,97	34,03
					33937,62	406,37	17446,90	174,29
				menos	406,37		174,29	
				VAN	20931,45		4672,80	
				B/C	51,51		26,81	
				TIR	87,93			

Considerando el costo final es una muy buena opción la realización del proyecto ya que máquinas con funcionamiento similares tienen un valor en el mercado aproximado desde los 17000 USD sin incluir costos de transporte.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

a) El desarrollo de la Máquina Trituradora se ha cumplido a cabalidad, logrando los objetivos establecidos y superando la expectativa prevista de operación y capacidad de la maquinaria.

b) La Máquina Trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificación en envases tetra-pack y PET, cumple con el objetivo de superar una capacidad de procesamiento de al menos 900 Kg/h (15 Kg/min) ya que en los análisis de resultados obtenidas de las diferentes pruebas de trituración realizadas se obtiene una alta eficiencia y capacidad, siendo variantes los resultados de acuerdo al tipo de material a procesar, estos son: Tetra-pack: 3135[kg/h], Suero fisiológico: 5088[kg/h] y plástico PET: 1478[kg/h], lo que favorece y da una gran ventaja en producción a la Empresa dentro de la industria de Remediación Ambiental. Consiguiendo además la separación efectiva del producto y envase en el proceso de trituración.

c) El estudio del tratamiento más apropiado de restos plásticos PET y tetra-pack se fundamentan en análisis científicos y matemáticos, por lo que se determina una maquinaria con principio de funcionamiento de impacto y corte del material para la trituración, de acuerdo a parámetros establecidos por el diseño, factibilidad de materiales y capital del proveedor.

d) Dentro del estudio de diseño realizado se ha determinado los siguientes aspectos: geometría y dimensionamiento de alimentación, potencia requerida, análisis de fuerzas de impacto y de corte, diseño de elementos mecánicos, etc; y con la asistencia de diversos programas tipo CAD para dibujo mecánico,

SAP2000 de análisis estructural, etc; Por lo que se cumple con el diseño de la máquina en los aspectos: mecánico, estructural y de control.

e) La alimentación de la máquina como parámetro de diseño se fundamenta en base a una maquinaria de banda transportadora del proveedor, la cual, determinó el dimensionamiento y tiempos de procesamiento que ejecuta en la operación la misma.

f) Renovar o reutilizar mecanismos, materiales y elementos mecánicos existentes en stock fue clave para la obtención de resultados satisfactorios, siempre considerando criterios de diseño y aspectos económicos; procurando mejorar su rendimiento y funcionalidad al máximo.

g) Mediante el aporte de la operación que realiza la Máquina Trituradora, cumpliendo con una de las principales funciones de pre-tratamiento en el proceso de gestión de desperdicios dentro de la empresa HAZWAT-CRA; se logra cumplir y acelerar la obtención de los procesos de Remediación Ambiental como: Biorremediación, Neutralización y/o Gasificación Térmica de los restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificación.

h) La decisión interna de la Empresa auspiciante HAZWAT-CRA en apoyar la ingeniería nacional durante la ejecución de este proyecto se muestra favorablemente retribuida; puesto que la máquina trituradora se encuentra operando con alta eficiencia y capacidad, satisfaciendo las demandas de la Empresa en tiempos aprobados por los jefes de áreas y directivos; ya que representa un ahorro sustancial para la misma al aprovecha los recursos internos y el desarrollo de la tesis.

i) El valor actual neto del proyecto es de \$12646,83 USD con una capacidad de más de una tonelada hora de restos, frente al costo de \$25.500 USD de una maquinaria similar en tecnología y menor capacidad (600 Kg/h) importada, lo que representa un ahorro de alrededor del 50% en comparación.

j) De acuerdo al análisis de flujo de caja realizado se obtiene un valor de la VAN de \$33531,25 USD a lo largo de una proyección de 5 años desde su inversión inicial lo que demuestra la rentabilidad del proyecto, consiguiendo un B/C de 83,51 y una TIR de \$122,80 USD alta por lo que demuestra la correcta inversión en la máquina.

7.2 RECOMENDACIONES

a) En base a la experiencia en la realización de la Tesis se recomienda a la Universidad realizar cursos obligatorios que permitan al estudiante el manejo de software que sirva tanto para el diseño, modelado y procesos de construcción, todo esto guiado en base a normas de uso común como son INEN y DIN, para que de esta manera su manejo permita la realización de este tipo de proyectos ágilmente y con mejores resultados.

b) En lo referente al proceso de construcción por experiencia se recomienda tener una buena logística ya que los materiales que se requieren para la construcción en particular de la cuchilla (AISI D2) son materiales que pueden o no estar en stock de los distribuidores, y en caso de pedido por falta puede retrasar el proyecto de una semana a un mes, por tanto hay que priorizar este tipo de materiales especiales y realizar los pedidos con tiempo para evitar tiempos muertos.

c) Para la construcción de las cuchillas y ejes se recomienda realizar los procesos en tornos y Fresadoras CNC de esta manera el proceso de mecanizado será más exacto y conllevará a mejores resultados, además se considera conveniente que la universidad cree curso de manejo del Código "G" (lenguaje de programación que se maneja en este tipo de máquinas), en el que se dé prioridad a la parte práctica mediante sesiones en laboratorio que permita la realización de elementos mecánicos

d) La soldadura debe realizarse por personal calificado, de manera que se conserven las tolerancias geométricas y evitar problemas en el montaje especialmente de las cuchillas, motores y chumaceras.

e) Se recomienda leer y seguir el manual de usuario de la trituradora y sobre todo en lo que respecta al mantenimiento ya que es vital en la preservación de elementos mecánicos especialmente sometidos a fatiga.

f) La máquina puede realizar trabajos de triturado de materiales con propiedades similares a los establecidos en esta tesis, pero se recomienda usar los materiales para los que se diseñó y así garantizar una mayor vida útil de la cuchillas que son parte más costosa tanto en materia prima como en procesos de mecanizado.

g) Se recomienda una mayor participación de la universidad y apoyo del gobierno para promover proyectos que permitan el nacimiento de empresas que desarrollen mejores versiones de máquinas en base a tesis realizadas para que no sean esfuerzos aislados, y que permitan un crecimiento industrial generando trabajo y sirviendo de ayuda para otras empresas pequeñas que se beneficiarían de los costos reducidos al evitar importación de maquinaria extranjera.

h) En caso de utilizar el modelo de prototipo para alguna máquina con función y operación similar a mayor escala se recomienda llevar un análisis más a fondo de lo correspondiente al análisis de vibraciones para dar a la máquina una robustez adecuada que nos de costos razonables y en especial si la maquina va a trabajar en una línea de producción para realizar el correcto análisis de cimentación.

i) El sistema de control de la máquina está diseñado para un operador pero se recomienda que por lo menos estén dos operadores al tanto del funcionamiento de la máquina debido a los peligros inherentes que pueden suceder y se recatan en el Manual de Usuario, también, se debe considerar la adecuada utilización de los comandos de arranque y selección de giro de los motores para prolongar la vida útil del panel de control conjuntamente con una revisión semestral completo del interior de la caja, procurando ver componentes y conexiones.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS:

Grupo SKF, (1975). Catálogo General SKF (ed., Vol., pp. 130-136). Suecia, Catálogo 3000 Sp.

Deutschman, A., Michael, W. & Wilson, C. (1987). Diseño de Máquinas (1era ed.). Mexico, McGRAW-HILL.

Theodore, J. D. & Eugene A. M. (1992). Manual del Ingeniero Mecánico (2da ed., Vol. II.). Mexico, McGRAW-HILL.

Molina, J. (2011). Apuntes de Control Industrial (2da ed., pp. 10-10). Quito.

Compañía Ivan Bohman, (2002). Catálogo de Aceros (pp. 2-39). Poligráfica.

Shigley, J. D. & Charles M. (2002). Diseño en Ingeniería Mecánica (6ta ed.). Mexico, McGRAW-HILL.

Rossi, M. (2012). ESTAMPADO EN FRÍO DE LA CHAPA (9na ed., Vol. I). Mexico, HOEPLI.

FIME, (2007). Curso de Mecánica Industrial (1era ed., Vol., pp.). Sangolquí, FIME.

Rossi Habasit Group, (2011). Catalógo Motor Rossi (1era. ed.). Online, Rossi Habasit Group.

Lobosco, O. J. (2011). Selección y Aplicación de Motores Eléctricos (1era. ed.). Marcombo.

TESIS CONSULTADAS:

ESPE-027579, (2005). DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y PICADORA. Repositorio Virtual.

PUBLICACIONES NO PERIÓDIAS:

Anónimo, (2009) *Lección 12: CEMENTOS/TRITURACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS*

Anónimo, (2010). *Reducción Mecánicas de Tamaño.*

Anónimo, (2010) *Matriz de decisiones: Herramientas para Resolución de Problemas*

Solíz, M. F. (2011). *Censo de agua potable, alcantarillado y residuos sólidos* (Actualizado por Tesis Doctoral “Metabolismo del Desecho en la determinación socio-ambiental de la salud”). MIDUVI. Quito

Universidad Andina Simón Bolívar. (2011). *Alerta Naranja* (Edición Especial). Quito.

DIRECCIONES DE INTERNET:

Anónimo (2006, 08). PET Datos Técnicos. Plásticos de Ingeniería. Recuperado 06, 2013, de <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/PET/dtecnicos/dtecnicos.htm>

Anónimo (2007, 06). Polietileno de baja densidad (PEBD). Recuperado 06, 2013, de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pe/polietileno%20de%20baja%20densidad.htm>

Anónimo (2007, 07). Rodamientos FAG. Catálogo FAG de rodamientos. Recuperado 06, 2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

Anónimo (2007, 09). Proyecto y fabricación de máquinas para la trituración. Proyecto y fabricación de máquinas para la trituración. Recuperado 06, 2013, de http://www.tritotutto.com/es/trituradores_industriales.htm

Anónimo (2009, 04). Propiedades ALuminio. Recuperado 06, 2013, de http://www.revesconsult.com/descargas/propiedades_aluminio.pdf

Anónimo (2009, 07). Böhler K110. Aceros para trabajo en frío. Recuperado 06, 2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

Anónimo (2010, 01). Trituradoras de Impacto. Producción de Agregados. Recuperado 06, 2013, de <http://www.slideshare.net/UCGcertificacionvial/produccion-de-agregados-semana-32>

Anónimo (2011, 09). Alerta Naranja. Alerta Desechos. Recuperado 06, 2013, de http://www.uasb.edu.ec/saludyambiente/images/salud/linea_3/documentos/Alerta_Desechos_sep2011.pdf

Anónimo (2012, 04). Buró de análisis informativo. Buró de análisis informativo. Recuperado 06, 2013, de <http://www.burodeanalis.com/>

Anónimo (2012, 12). HAZWAT CRA. Recuperado 06, 2013, de <http://www.hazwat.com.ec/>