



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO TRITURADOR DE BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO. PROYECTO TECNICO

Presentado para optar por grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: JANETA PILCO BYRON PAUL

VIZUETE MONTERO KLEBER EDUARDO

TUTOR: ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.

Riobamba - Ecuador

2018

©2018, Janeta Pilco Byron Paul y Vizúete Montero Kleber Eduardo

Autorizamos la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de los Autores.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: “REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO TRITURADOR DE BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET”, de responsabilidad de los señores **Byron Paul Janeta Pilco y Kleber Eduardo Vizúete Montero**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedada autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Hannibal Lorenzo Brito Moina PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Zoila Valeria Tapia González MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Nosotros, BYRON PAUL JANETA PILCO Y KLEBER EDUARDO VIZUETE MONTERO somos responsables de las ideas aplicadas en el diseño, cálculos, procesos y resultados expuestos en esta tesis y la propiedad intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

BYRON PAUL JANETA PILCO

KLEBER EDUARDO VIZUETE MONTERO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y por el valor mostrado para salir adelante, pero más que nada, por su inmenso amor, todo esto se los debo a ustedes, los amo.

A mi amada hija Kenaya y mi esposa Verónica por ser mi fuente de inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

A mis hermanos quienes con sus palabras de aliento no me dejaron decaer para que siga adelante con mis sueños, los quiero mucho

Y sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, tíos y primos, gracias por ser parte de mi vida.

Janeta Pilco Byron Paul

Este trabajo se lo dedico especialmente a Dios por haberme dado la vida. El que me ilumina, de investigación el camino de todos estos años y nos ha llenado de perseverancia, investigación y sapiencia

A mi madre y hermanos por ser la razón fundamental ya que fueron los que con el ánimo y el positivismo en alto siempre estuvieron, están y estarán encaminando mi vida..

Vizuetz Montero Kleber Eduardo

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a la ESPOCH por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mis asesores de tesis Ing. Hannibal Brito e Ing. Valeria Tapia por haberme brindado la oportunidad de recurrir a sus capacidades y conocimiento científico y así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clases durante mi carrera universitaria ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Janeta Pilco Byron Paul

Eternamente agradecido con Dios por brindarme cada experiencia de vida por ser paciente conmigo y brindarme su protección y sabiduría. Agradezco de sobremana a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo por acogerme y permitir así la realización de mis estudios superiores. Gratifico al ing. Hannibal Brito e ing. Valeria Tapia por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis.

No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado, y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad. A mi padre, aunque no esté físicamente acá conmigo, pero me guía y cuida mis pasos día a día desde el cielo

A mi querida madre por guiarme y cuidarme de una manera efectiva, ella me enseñó como actuar con sabiduría, es la mujer de mi vida.

A mis hermanos porque son un pilar fundamental en mi vida los admiro mucho y espero que Dios nos guie por siempre, los amo

Finalmente, a mis amigos y compañeros que hicieron la vida más grata en los estudios universitarios

Vizute Montero Kleber Eduardo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
1. DIAGNOSTICO Y DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Identificación del problema.....	3
1.2. Justificación del proyecto	4
1.3. Línea base del proyecto	4
1.3.1. Operación de reducción de tamaño	4
1.1.1.1 Propiedades mecánicas de los solidos	5
1.3.1.1. Grindabilidad (Fractura de una sola partícula).....	5
1.3.1.2. Dureza.....	6
1.3.1.3. Resistencia a la tracción	7
1.3.1.4. Peso especifico.....	7
1.3.1.5. Resistencia a la compresión.....	8
1.3.1.6. Resistencia a la flexión.....	9
1.3.1.7. Alargamiento a la rotura	9
1.3.1.8. Módulo de elasticidad.....	10
1.3.2. Propiedades térmicas de los solidos.....	11
1.3.2.1. Calor especifico	11
1.3.2.2. Temperatura de flexión bajo carga.....	12
1.3.2.3. Temperatura de fusión	13
1.3.2.4. Coeficiente de conducción térmica	13
1.3.3. Residuos plásticos.....	14
1.3.4. Tereftalato de Polietileno (PET).....	14
1.3.5. Poli cloruro de Vinilo.....	16
1.3.6. Polietileno.....	17
1.3.7. Polipropileno	18
1.3.8. Proceso de diseño	19
1.3.8.1. Primera etapa. Recolección de información.....	20
1.3.8.2. Segunda etapa. Planteamiento del diseño.....	21
1.3.8.3. Tercera etapa. Diseño básico o de ingeniería.	21
1.3.8.4. Quinta etapa. Diseño detallado	21
1.3.8.5. Sexta etapa. Evaluación de equipo (diseño implementado).....	22

1.3.8.6.	<i>Séptima etapa. Elaboración de manuales uso y seguridad.....</i>	22
1.3.9.	<i>Automatización.....</i>	22
1.3.9.1.	<i>Elementos de control.....</i>	22
1.3.10.	<i>Herramientas de diseño</i>	22
1.3.10.1.	<i>Método QFD (Quality Function Deployment).....</i>	23
1.3.10.2.	<i>Matrices comparativas para selección de opciones de diseño</i>	25
1.3.10.3.	<i>Matriz de costos de materiales y mano de obra.....</i>	27
1.4.	<i>Beneficios directos e indirectos</i>	27
1.4.1.	<i>Directos.....</i>	27
1.4.2.	<i>Indirectos</i>	27
2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	28
2.1.	Objetivo General.....	28
2.2.	Objetivos Específicos	28
3.	ESTUDIO TECNICO PRELIMINAR	29
3.1.	Localización del proyecto	29
3.2.	Ingeniería del proyecto	29
3.2.1.	<i>Alcance de funciones y capacidades.....</i>	29
3.2.2.	<i>Selección de modo de corte</i>	35
3.2.2.1.	<i>Criterios de valoración</i>	35
3.2.2.2.	<i>Soluciones</i>	36
3.2.2.3.	<i>Evaluación de grado importancia de criterios de valoración.</i>	37
3.2.2.4.	<i>Evaluación de soluciones en relación a la fiabilidad.</i>	38
3.2.2.5.	<i>Evaluación de soluciones en relación a la facilidad de diseño y construcción.</i>	38
3.2.2.6.	<i>Evaluación de soluciones en relación al costo de fabricación.</i>	39
3.2.2.7.	<i>Evaluación de soluciones en relación a su versatilidad.</i>	39
3.2.2.8.	<i>Evaluación general de las soluciones.</i>	40
3.2.3.	<i>Selección de tolva</i>	41
3.2.3.1.	<i>Criterios de valoración.....</i>	41
3.2.3.2.	<i>Soluciones</i>	41
3.2.3.3.	<i>Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración.....</i>	42
3.2.3.4.	<i>Evaluación de soluciones en relación a la fiabilidad.</i>	43
3.2.3.5.	<i>Evaluación de soluciones en relación a la facilidad de diseño y construcción.</i>	43
3.2.3.6.	<i>Evaluación de soluciones en relación al costo de fabricación.</i>	43
3.2.3.7.	<i>Evaluación de soluciones en relación su versatilidad.</i>	44
3.2.3.8.	<i>Evaluación general de soluciones.....</i>	44
3.2.4.	<i>Selección de sistema de transmisión.....</i>	45

3.2.4.1.	<i>Criterios de valoración</i>	45
3.2.4.2.	<i>Soluciones</i>	45
3.2.4.3.	<i>Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración</i>	46
3.2.4.4.	<i>Evaluación de soluciones en relación a la fiabilidad.</i>	46
3.2.4.5.	<i>Evaluación de soluciones en relación a la facilidad de diseño y construcción.</i>	47
3.2.4.6.	<i>Evaluación de soluciones en relación al costo de fabricación.</i>	47
3.2.4.7.	<i>Evaluación de soluciones en relación su versatilidad.</i>	48
3.2.4.8.	<i>Evaluación general de soluciones</i>	48
3.2.5.	<i>Estructura del equipo</i>	49
3.2.5.1.	<i>Volumen total ocupado por la base del equipo</i>	49
3.2.5.2.	<i>División de secciones de la base</i>	50
3.2.5.3.	<i>Calculo de volumen de triturador</i>	51
3.2.5.4.	<i>División de secciones del triturador – caja de cuchillas</i>	52
3.2.5.5.	<i>División de secciones del triturador – tolva</i>	53
3.2.5.6.	<i>Diseño de cuchilla</i>	54
3.2.5.7.	<i>Diseño de los ejes del sistema de corte</i>	58
3.2.5.8.	<i>Diseño de ejes conductor y conducido</i>	63
3.2.5.9.	<i>Estructura final de pletina frontal</i>	73
3.2.5.10.	<i>Estructura final la pletina lateral</i>	73
3.2.5.11.	<i>Estructura final de sistema eje-cuchilla-separador</i>	74
3.2.5.12.	<i>Estructura final de eje</i>	75
3.2.5.13.	<i>Estructura final de cuchillas y separadores</i>	76
3.2.5.14.	<i>Diseño de tolva</i>	77
3.2.5.15.	<i>Esquema del sistema de control</i>	78
3.2.6.	<i>Esquema final del equipo</i>	78
3.2.7.	<i>Procedimientos de operación</i>	79
3.3.	<i>Proceso productivo</i>	80
3.4.	<i>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria</i>	81
3.5.	<i>Análisis de costo/beneficio del proyecto</i>	82
3.5.1.	<i>Presupuesto</i>	
	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>	
3.6.	<i>Cronograma de actividades</i>	85
3.7.	<i>Análisis de resultados</i>	86
3.7.1.	<i>Análisis de diseño estructural</i>	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		87
BIBLIOGRAFÍA		88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Categorías de materiales según su dureza en la escala de Mohs	6
Tabla 2-1	Constantes elásticas que reciben la denominación de Modulo elástico	11
Tabla 3-1	Etapas del diseño según RIBA.	20
Tabla 4-1	Tabla demostrativa de evaluación de peso específico de criterios de selección.	25
Tabla 5-1	Tabla demostrativa de evaluación de peso específico de soluciones en relación a un criterio de selección.	26
Tabla 6-1	Tabla demostrativa de evaluación general de soluciones en base a criterios de selección.	26
Tabla 1-3	Ponderación de importancia de requerimientos del usuario.	31
Tabla 2-3	Tabla de equipos reductores para comparación.	32
Tabla 3-3	Soluciones posibles para el sistema de corte.	36
Tabla 4-3	Evaluación de importancia de criterios de valoración – sistema de corte.	37
Tabla 5-3	Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación a la fiabilidad.	38
Tabla 6-3	Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación de facilidad de diseño.	39
Tabla 7-3	Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación de costo.	39
Tabla 8-3	Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación a su versatilidad.	40
Tabla 9-3	Evaluación general de soluciones para sistema de corte.	40
Tabla 10-3	Soluciones posibles para el sistema de corte.	41
Tabla 11-3	Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración – tolva.	42
Tabla 12-3	Evaluación de soluciones de tolva en relación de su fiabilidad.	43
Tabla 13-3	Evaluación de soluciones de tolva en relación a la facilidad de diseño.	43
Tabla 14-3	Evaluación de soluciones de tolva en relación al costo.	44
Tabla 15-3	Evaluación de soluciones de tolva en relación a su versatilidad.	44
Tabla 16-3	Evaluación general de soluciones de tolva.	44
Tabla 17-3	Soluciones para sistema de transmisión de potencia.	45
Tabla 18-3	Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración – STP.	46

Tabla 19-3	Evaluación de soluciones de STP, en relación a su fiabilidad.	47
Tabla 20-3	Evaluación de soluciones STP, en relación a la facilidad de diseño.	47
Tabla 21-3	Evaluación de soluciones de STP, en relación al costo.	48
Tabla 22-3	Evaluación de soluciones de STP, en relación a su versatilidad.	48
Tabla 23-3	Evaluación general de soluciones de STP.	48
Tabla 24-3	Dimensiones del engrane conductor.	61
Tabla 25-3	Dimensiones del engrane conducido.	62
Tabla 26-3	Posiciones de las cargas por las cuchillas del eje conductor y conducido.	65
Tabla 27-3	Datos introducidos en la función “rx_support” y “vm_analysis”, para plano XZ.	70
Tabla 28-3	Datos introducidos en la función “rx_support” y “vm_analysis”, para plano XY.	71
Tabla 29-3	Procedimientos necesarios para operación del equipo.	80
Tabla 30-3	Descripción del proceso de producción de material triturado a partir de residuos PET.	80
Tabla 31-3	Herramientas necesarias para el diseño y construcción del reductor PET.	81
Tabla 32-3	Maquinas usadas en el diseño y construcción del reductor PET.	82
Tabla 33-3	Presupuesto para equipos y maquinaria.	82
Tabla 34-3	Presupuesto para recursos humanos.	83
Tabla 35-3	Presupuesto para materiales de oficina.	83
Tabla 36-3	Presupuesto para materia prima y análisis de laboratorio.	84
Tabla 37-3	Presupuesto general del proyecto.	84
Tabla 38-3	Tabla comparativa de costos entre diseño y rediseño del triturador	84
Tabla 38-3	Cronograma del proyecto técnico.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Diagrama de esfuerzo versus deformación.	7
Figura 2-1	Prueba de resistencia de concreto.	8
Figura 3-1	Resistencia a la flexión de una viga de madera (ortótropo) en el software inventor.	9
Figura 4-1	Ensayo de tracción de una banda plástica, determinación de elongación a rotura.	10
Figura 5-1	Calorímetro de mezcla del fabricante Jhon Morris.	12
Figura 6-1	Analizador Ceast HDT6/VICAT, para la determinación de la temperatura de flexión bajo carga.	12
Figura 7-1	Matrices para botellas y material PET granulado para fabricación de textiles.	15
Figura 8-1	Estructura química del Tereftalato de polietileno.	15
Figura 9-1	Accesorios para tuberías hechos de PVC.	16
Figura 10-1	Estructura química de: Cloruro de vinilo y su polímero derivado.	16
Figura 11-1	Estructura química del polietileno, vista de monómeros constituyentes.	17
Figura 12-1	Tuberías de polietileno de alta densidad.	18
Figura 13-1	Estructura química del polipropileno, con notación manométrica.	19
Figura 14-1	Vasos plásticos “irrompibles” hechos de polipropileno.	19
Figura 15-1	Diagrama de despliegue de funciona de la calidad.	23
Figura 1-3	Localización del proyecto.	29
Figura 2-3	Disposición de relaciones entre características técnicas del producto, “techo” de diagrama QFD.	33
Figura 3-3	Disposición de relación entre requerimientos de usuario y características técnicas.	33
Figura 4-3	Esquema con cotas para el cálculo de volumen total.	49
Figura 5-3	Esquema de división de las secciones de la base del reductor.	50
Figura 6-3	Esquema general del volumen de triturador (tolva + caja de cuchillas).	50
Figura 7-3	Esquema con cotas de sección de caja de cuchillas.	52
Figura 8-3	Esquema con cotas de sección de tolva	53
Figura 9-3	Geometría de las cuchillas.	54
Figura 10-3	Análisis de tensión de Von Mises de la cuchilla para respuesta elástica del material, frente proceso de corte. (Autodesk Inventor 2018)	56
Figura 11-3	Análisis de desplazamiento o deformación de la cuchilla para respuesta elástica del material, frente proceso de corte. (Autodesk Inventor 2018)	57

Figura 12-3	Análisis del factor de seguridad de la cuchilla para la respuesta elástica del material, frente proceso de corte. (Autodesk Inventor 2018)	58
Figura 13-3	Secciones que conforman los ejes del sistema de corte. (Autodesk Inventor 2018)	59
Figura 14-3	Diagrama de fuerzas distribuidas en el plano XZ, del eje conductor.	64
Figura 15-3	Diagrama de fuerzas distribuidas en el plano XY, del eje conductor.	64
Figura 16-3	Código en VBA de la función “rx_support” para Excel.	65
Figura 17-3	Código en VBA de la función “vm_analysis” para Excel.	68
Figura 18-3	Diagrama de a) momento flector para el plano XZ y b) Diagrama del esfuerzo cortante para el plano XZ del eje.	69
Figura 19-3	Diagrama de a) momento flector para el plano XY y b) Diagrama del esfuerzo cortante para el plano XY del eje.	72
Figura 20-3	Esquemas con cotas de pletina frontal, vista lateral.	73
Figura 21-3	Esquemas con cotas de pletina lateral, vista lateral.	74
Figura 22-3	Esquema con cotas y marcas de sistema eje-cuchilla-separadores.	75
Figura 23-3	Esquema con cotas del eje del sistema eje-cuchilla-separador.	75
Figura 24-3	Esquemas con cotas de cuchillas y separadores: a) Cuchillas y b) Separadores.	76
Figura 25-3	Esquemas con cotas de tolva.	77
Figura 26-3	Diagrama del sistema de control, del equipo triturador PET.	78
Figura 27-3	Estructura general propuesta para el equipo.	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del equipo reductor PET.	34
Gráfico 2-3	Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del equipo reductor PET.	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Fotografías del equipo previo al rediseño.
ANEXO B	Sistema de corte por cuchillas, corte por conversión de energía cinética.
ANEXO C	Granulometría de material triturado con sistema de corte por cuchillas.
ANEXO D	Equipo triturador rediseñado.
ANEXO E	Material triturado por equipo rediseñado.
ANEXO F	Sistema de cuchillas distribuidas en ejes paralelos
ANEXO G	Validación del equipo

RESUMEN

Rediseñar y automatizar un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET. Este trabajo contiene la información del proceso de rediseño de un reductor de tamaño para plástico tipo PET. El proyecto incluye el estudio de las características del equipo original hasta obtener un equipo mejorado. Las mejoras planteadas para el equipo incluyen la automatización, y el cambio de la forma de corte del material. Para el rediseño mecánico, se cambió el sistema de corte de uno por una matriz de sierras a uno por cuchillas en ejes paralelos. Se pasó de un corte por conversión de energía cinética en carga para ruptura del material, a uno que prima el torque para la ruptura. En el proceso fueron necesarios realizar varios cálculos de diseño tanto mecánico, internándonos un poco en el área de la Ingeniería Mecánica (con asesoría mecánica). El resultado fue un sistema de corte mucho más adecuado con un diámetro de partícula entre 0.5-2cm, a comparación de los 3-5 cm anteriores. Entre los cambios realizados se encuentra: diseño de cuchillas, ejes y separadores; diseño de cámara de cuchillas; sistema de transmisión; selección de sistema motor reductor y el sistema de control. Entre los resultados más destacados se encuentra el porcentaje de retención de 35% y la distribución de diámetro de partículas de las cuales un 80% se encuentran por encima de una malla de 5mm. En el sistema de control por aquel porcentaje de retención en el sistema de corte del material fue necesario modificar el sistema de control para permitir la inversión de giro del motor, con el objetivo de retirar el material retenido, que provoca el paro del equipo. Recomendamos que durante el uso del equipo se siga las instrucciones presentadas en los manuales, el equipo está diseñado para material plástico y materiales con rango de dureza parecido.

Palabras clave: INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA, PROCESOS INDUSTRIALES, <TRITURADOR PET> <REDISEÑO DE TRITURADOR> <TEREFTALATO DEPOLIETILENO> <AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO TRITURADOR> <DISEÑO MECÁNICO>

SUMMARY

Redesign and automate a plastic PET bottle crushing equipment. This work contains the information of the redesign process of a size reducer for PET plastic. The Project includes the study of the characteristics of the original equipment until obtaining an improved equipment. The improvements proposed for the equipment include automation, and the change in the way the material is cut. For the mechanical redesign, the cutting system was changed to a matrix of sawtooth blades on parallel axes. It went from a cut by conversion of kinetic energy into load for breaking the material, to one that prevails the torque for the breaking off. In the process, it was necessary to carry out several design calculations, both mechanical, going a bit into the area of mechanical engineering (with mechanical advice). The result was a much more suitable cutting system with a particle diameter between 0.5-2 cm, compared to the previous 3-5 cm. Among the changes is: design of blades, axes and separators, blade camera design, transmission system, selection of reducer motor system and control system. Among the most outstanding results is the retention percentage of 35% and the diameter distribution of particles of which 80% are above a 5mm mesh. In the control system by that percentage of retention in the system of cutting the material, it was necessary to modify the control to allow the investment of rotation of the engine, with the objective of removing the material retained, which causes the equipment to stop. We recommend that during the use of the equipment, the instructions presented in the manuals must be followed. The equipment is designed for plastic material and materials with a similar hardness range.

KEYWORDS: ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY, INDUSTRIAL PROCESSES, <PET SHREDDER> <REDESIGN OF SHREDDER> <POLYETHYLENE TEREPHTHALATE> <AUTOMATION OF THE SHREDDER EQUIPMENT> <MECHANICAL DESIGN>

INTRODUCCIÓN

En estima que en el mundo se han producido 8300 millones de toneladas de plástico, de los que se han generado casi 6300 millones de toneladas de desechos plásticos., hasta 2015. Y se estima que se duplicara esta cantidad en solo 35 años. (BBC Trowsdale, 2017) Aproximadamente se compran alrededor de 20000 botellas plásticas por segundo, de las cuales el 50% se reciclar y solo el 7% se reutilizan. Esto es un grave problema, la sociedad libera al ambiente una cantidad que a la larga sera insostenible para la naturaleza. El impacto de esta cantidad de desechos en el medio ambiente se puede sentir en los oceanos, rios y otras fuentes hidricas del planeta. Vasta con revisar los datos de contaminacion de los rios mas grandes del planeta. Un ejemplo es el rio Ganges, que es sagrado para la cultura Indú. Proclamado como el “Ganga mata”, paradójicamente es uno de los rios mas contaminados del mundo. Mas de medio millon de toneladas de plasticos son desechados al Ganges y sus afluentes. (BBC, 2018) Pero cuanto es 8300 millones de toneladas, bueno es lo mismo que 1000 millones de elefantes o 25000 edificios iguales al Empire State de New York, esto seria suficiente, como para cubrir toda argentina con una capa de desechos plasticos. (BBC, 2017)

En america latina el problema de la basura es una tematica a premiente, ya que en su mayoria esta conformada por paises con bajo desarrollo economico y social, la basura y sobretodo los desechos plasticos, son un problema cotidiano. Basta con caminar por los sectores marginales de algunas urbes, y el problema de la gestion de residuos salta a al vista. Los vertederos a cielo abierto una constante aun en nuestros paises, marca nuestro retraso en la gestion de nuestra basura. Aunque existen luces sobre esta problemática, algunos paises de la region estan aprobando leyes sobre el aprovechamiento de los residuos solidos. (EL PAÍS, 2018).

Volviendo al ambito nacional en 2013, en ecuador se produjeron 1459 millones de botellas plasticas tipo PET y seguin el SRI se han recuperado mas de 2000 millones de unidades durante el mismo año por causa del iumpuesto redimible a las botellas plasticas no retornables. Según datos del Ministerio del Ambiente, solo el 11% de los desechos generados en el pais corresponden a desechos plasticos, en su mayoria los desechos son de origen organico. Además, solo el 20% de los municipios tiene rellenos satinatios, el resto siguen usando vertederos a cielo abierto. (El ciudadano, 2014) Si se trae a valores a terminos actuales, el pasi ronda las 1700 millones de unidades de botellas plasticas, producidas agravando el problema del manejo de los desechos. Desde el año 2017 se ha puesto en marcha el plan global de reciclaje de envases plasticos en el

país, con el apoyo del sector industrial nacional. Cuyo objetivo es aumentar el porcentaje de botellas recicladas a un 70% para envases y 20% de las envolturas plásticas.

Con tal información sobre lo decadente que es el tratamiento de residuos, no solo en el tercer mundo, donde es más apremiante el problema porque solo basta ver las esquinas de las vías, y se notara la presencia de residuos plásticos. Hemos orientado nuestro trabajo al diseño o más bien de la mejora cualitativa y cuantitativa de un equipo que es una herramienta útil en el proceso de reciclaje. Nuestra idea es darle una mejora a un triturador de botellas plásticas, con el objetivo de mejorar la reducción de las botellas plásticas a solo trozos de plástico de un diámetro, idóneo para el siguiente proceso, una extrusora de plástico.

ANTECEDENTES

Partiendo del trabajo de diseño del equipo a mejorar, titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO TRITURADOR DE BOTELLAS PLÁSTICAS TIPO PET”, realizado por Freire L. Y Gonzales C. Trabajo que analizamos para realizar el estudio de las capacidades originales del equipo. Pasando por otros diseños propuestos por otros autores como: Toscano V y Vasconez F., quienes presentaron un proyecto de diseño y construcción de un reductor para residuos de poda, estudiantes de la misma Facultad. Podemos citar otros trabajos, de los cuales podemos decir que tomamos ideas, como, por ejemplo: Goya W. de la Escuela Superior Politécnica Nacional, quien presentó un trabajo sobre el diseño de un triturador de papel. También nos pareció interesante el trabajo de Balcazar M. y Guamba J., quienes diseñaron un molino para cacao; un molino de rodillos si podemos acotar. Otro trabajo que nos ayudó a entender mejor el proceso de diseño de un reductor de tamaño de cuchillas o un triturador fue el trabajo de: Hernandez C. y Pinto E., quienes diseñaron y construyeron un equipo triturador de eje horizontal, con un muy ilustrativo y secuencial proceso de diseño. Lástima que nuestra formación como Ingenieros Químicos, no nos permitió a provechar a al máximo el conocimiento de todos estos trabajos, hechos para conseguir el título de Ingeniero Mecánico. Si se ha cometido un error en la interpretación, en alguno de estos trabajos, no disculpamos de antemano.

CAPITULO 1

1. DIAGNOSTICO Y DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

En el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, existe un EQUIPO REDUCTOR DE TAMAÑO PARA BOTELLAS PLASTICAS TIPO PET. El mismo presenta algunos problemas como: el tamaño de partícula producida (con un promedio de 3 a 2 centímetros de diámetro), lo que complica el correcto funcionamiento del proceso complementario de extracción de filamento PET.

El problema se plantea de la siguiente forma: ¿Hasta qué punto mejorará el rendimiento y reducirá la dificultad y los peligros inherentes al uso del EQUIPO REDUCTOR DE TAMAÑO para botellas plásticas tipo PET, su rediseño y automatización?

Otras interrogantes a ser investigadas son la siguiente: ¿Es necesario un rediseño mecánico para cumplir con la necesidad, mantener y mejorar las capacidades del equipo, y garantizar seguridad al usuario?, ¿Cuántas variables son necesarias para mantener y mejorar la funcionalidad del equipo, usando un sistema de control automático?

Por lo anteriormente mencionado se plantea un rediseño de la etapa de reducción de tamaño, esta incluye la automatización de sus funciones. Las mejoras deberán proporcionar una partícula con promedio de tamaño entre 0.5 a 1 cm de diámetros, que es la granulometría deseada. Este cambio es meramente mecánico, una vez realizado, se procederá a instalar el sistema de control sobre las variables a necesarias, como anticipo estas podrían ser: las revoluciones del motor eléctrico que acciona las cuchillas que trituran los envases y el tiempo de operación (arranque y parada). Pueden bajo estudios aparecer variables que pueden ser agregadas al diseño.

El objetivo a cumplir es rediseñar y automatizar el triturador cuya teoría y práctica son necesarias en la formación de profesionales en Ingeniería Química. El proceso de automatización aporta a la recopilación de información necesaria para la actualización tecnológica de la carrera y la tecnificación del conocimiento.

1.2. Justificación del proyecto

Para justificar la realización del proyecto planteamos los beneficios que se obtendrán de permitirse la aplicación del mismo. En primera instancia, el conocimiento generado en relación al rediseño y automatización que puede ser usado para futuros trabajos de diseño de sistemas de control y equipos reductores de tamaño. Segundo, proveer un equipo mejor adaptado a las condiciones de trabajo y las necesidades de los usuarios. Tercero, aumentar la especialización de los laboratorios hacia los sistemas modernos de control de procesos, ya que se documentará cada paso del diseño e implementación.

Los estudios de rediseño se realizarán usando modelamiento matemático y simulación, más análisis mecánicos para el proceso de reducción. Dependiendo de la facilidad de uso se elegirá el software, y demás herramientas. De no realizar rediseño el equipo corre peligro de sufrir daños irreparables por desuso aparte de que es una pérdida de espacio y recursos, que demuestra una pérdida de eficiencia. En el laboratorio de operaciones unitarias y procesos industriales existen antecedentes de varios equipos que han sido automatizados y mejorados, eso nos proporciona la pauta para proponer mejorar el equipo antes mencionado.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Operación de reducción de tamaño

La operación unitaria de reducción de tamaño por medio de cortado o molido del material, es de gran importancia en varias áreas del sector industrial, por ejemplo: en la industria alimenticia se emplea para cortar o moler alimentos como frutas, granos, productos cárnicos para embutidos, pulverización para emulsiones, etc. En la industria metalúrgica, en la extracción de metales, las menas obtenidas del subsuelo son reducidas, para poder extraer por método químico o electrostático, el preciado mineral. En el área de las pinturas y recubrimientos se requiere del manejo de tamaños de partículas, de los pigmentos y adhesivos, de micrómetros. Esto hace necesario el uso de molinos muy precisos y costosos. Como se debe entender, el tamaño de molinos o trituradoras (operación de cortado) depende de la cantidad de materia a procesar, pueden procesar unos cientos de kilogramos hasta varios cientos de toneladas por hora, como por ejemplo en la minería. (Fayed, 1997 pág. 586)

La operación de molienda es tan antigua como las civilizaciones humanas conocidas. Existen indicios de molinos manuales en el periodo neolítico, que consistían en una roca tallada, a una

superficie cóncava en forma de plato, con un percutor que servía para moler los granos. Pasando a los molinos hidráulicos romanos, que consistían de dos rocas cilíndricas que servían como base y percutor, el grano se deslizaba en dirección a estas dos rocas, triturándolas en primera instancia y luego pulverizándolo, todo esto accionado por la fuerza de un efluente, que accionaba una rueda y con esta todo el mecanismo.

Por otra parte, los trituradores son un poco más modernos, esto se explica por la potencia requerida para la ruptura del material a triturar, que solo se obtuvo hasta la revolución industrial, con la aparición de las máquinas de vapor. Estos rápidamente fueron aplicados a las factorías que hasta ese momento habían utilizado la fuerza bruta de obreros y animales. Una de las primeras industrias a aplicarlos fue la industria minera del oro y carbón. La industria alimenticia tardó en usar este tipo de equipos, por varios motivos, entre ellos, la inocuidad de los materiales de construcción y el dominio total de los molinos en este campo.

En este proyecto de investigación, nos enfocaremos en una variedad de las trituradoras, que comprenden las reductoras de cortes o cortadoras. Dado que el requerimiento en tamaño de partícula está en la escala de milímetros, el estudio de los molinos es innecesario.

Antes de irrumpir en detalles sobre la teoría para el dimensionamiento de un reductor cortador, abordaremos algunos conceptos y definiciones que consideramos necesarios para una mejor comprensión.

1.1.1.1 *Propiedades mecánicas de los sólidos*

Para poder construir una visión, detallada del proceso de reducción de tamaño primero debemos conocer el material que deseamos triturar. Para ello, a continuación, presentamos algunas propiedades de los sólidos que fueron necesarias para los cálculos de diseño. Empezaremos con las propiedades mecánicas.

1.3.1.1. *Grindabilidad (Fractura de una sola partícula)*

Este factor relaciona la facilidad con la que el material puede ser reducido en un molino. El índice de medida se conoce como Índice de grindabilidad de Hardgrove. Ralph M. Hardgrove presentó este índice para medir la facilidad de molienda para el carbón (Hardgrove, 1932 págs. 37-46,53), da ahí en adelante se han realizado varios estudios para medir dicho índice para otros materiales, como la biomasa sólida de distintos tipos de madera, polvos y pigmentos.

Para poder medir la grindabilidad, que es un anglicismo de grinding (molienda). Aun siendo el equipo a diseñar un triturador, se menciona por ser una propiedad importante para materiales reducidos. No aplicable a materiales con diámetros de milímetros.

1.3.1.2. Dureza

La dureza se define como la resistencia a la tensión cortante aplicada de un cuerpo. Para materiales se aplica la escala de Mohs, aplicada únicamente a minerales. Es una escala cualitativa que va del 1 al 10, siendo, por ejemplo: 1 igual al talco [$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$] y 10 el diamante [C]. Los materiales con un índice de Mohs entre 1 a 3 se definen como suaves, entre 4 y 7 como dureza intermedia, y de 8 a 10 como materiales duros. A continuación, se describirá con mayor detalle cada clase de material.

Tabla 1-1 Categorías de materiales según su dureza en la escala de Mohs.

Categoría	Índice Mohs	Ejemplos
Material suave	1-3	Talco (1), carbón suave (2), calcita (3).
Material de dureza intermedia	4-7	Fluorita (4), magnesita (4), apatita (5), bauxita (5), feldespato (6)
Material duro	8-9	Grafito y el diamante.

Fuente: Perry's Chemical Engineers' Handbook. Pp.20-11.

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

Para los materiales plásticos existe otra escala de medición de dureza, llamada dureza Shore. Esta escala mide la dureza de materiales elásticos, se determina midiendo la altura de proyección que un objeto desarrolla al golpear por acción de la gravedad el material. Es un método no destructivo, que se lleva a cabo usando un escleroscopio. Existen otras escalas que dependen de otros métodos para evaluar la dureza de un material y las normas que lo certifican, entre ellas tenemos: la dureza Vickers (HV), dureza Rockwell (HRc), dureza escleroscópica Shore (HSc) certificadas por la norma ASME E 140; La dureza escleroscópica Shore (HFRSc) certificada por la norma ASTM A 427; La dureza Shore (HS) certificada por la norma JIS B 7731; y la dureza Leeb con sus variantes (HLd) y (HLe) certificada por la norma interna del fabricante PROCEQ.

1.3.1.3. Resistencia a la tracción

Se define como el máxima esfuerzo o carga por tracción que un cuerpo puede soportar sin fractura. También se la denomina resistencia a la rotura. Es la tensión límite que resiste un material al ser estirado, lo contrario es la resistencia a la compresión. Es una propiedad intensiva por tanto no depende de la cantidad de material. Se tabulan sus valores para los materiales más comunes como aleaciones o plásticos. Al ser una tensión, se mide en fuerza por unidad de área, para materiales homogéneos. Para materiales no homogéneos suele usarse la fuerza por longitud. En el sistema internacional sus unidades son los Newton por metro cuadrado (N/m^2), en el sistema ingles se usa la libra fuerza por pulgada cuadrada (psi), aunque las kilo-libras por pulgada cuadrada (ksi), se usan con más frecuencia. Se determina por ensayo de tracción, luego de recopilar datos se usa un diagrama de esfuerzo versus deformación, siendo el máximo punto (T) de la figura 1-1, el valor de la resistencia a la tracción.

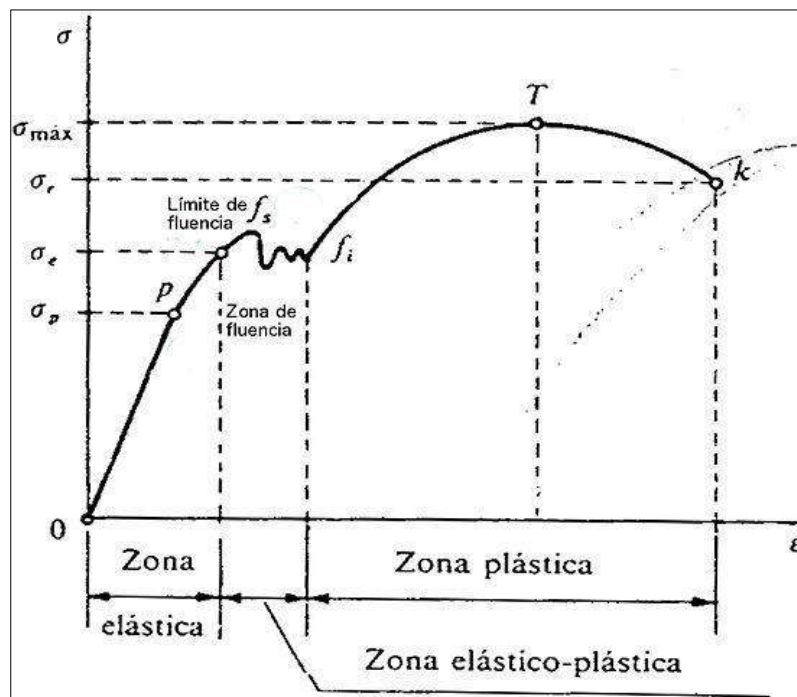


Figura 1-1 Diagrama de esfuerzo versus deformación.

Fuente: Janeta B.& Vizuete E., 2018, 2018

1.3.1.4. Peso específico

Es el peso de un kilogramo de un material dentro del campo gravitacional terrestre por cada metro cubico que este ocupa. En el sistema internacional sus unidades son: Newton por metro cubico (N/m^3); en el sistema técnico son los kilogramos fuerza por metro cubico (kgf/m^3). Aunque, su definición es errónea, ya que el termino especifico hace referencia a “por unidad de masa” y el

peso específico tiene unidades “por unidad de volumen”, corrigiendo esto su denominación sería “densidad distributiva de peso”.

1.3.1.5. Resistencia a la compresión

La compresión es el inverso de la tracción o alargamiento. En este proceso comprimimos el material con la ayuda prensas hidráulicas, hasta el punto de rotura. Siendo este punto el valor máximo de esfuerzo la resistencia a la compresión. Se define como el cociente entre la carga máxima aportada por la herramienta (hasta rotura) por el área transversal original de la muestra (probeta) del material de prueba. Sus unidades en el sistema internacional son: newton por metro cuadrado (N/m²). En el sistema ingles son: libra fuerza por pulgada cuadrada (lbf/in²).



Figura 2-1 Prueba de resistencia de concreto.

Fuente: <http://proyecto1reciclaje-grupo2.blogspot.com>

En la figura 2-1, se observa una prueba de compresión para el concreto. El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia máxima de carga, en estructuras que se construyan con una formulación específica de concreto. EL procedimiento es similar para elementos mecánicos como: reactores químicos, intercambiadores de calor, sistemas de tuberías, etc.

1.3.1.6. Resistencia a la flexión

A diferencia de las resistencias por compresión o aplastamiento y tracción, que se evalúan por superficie de sección transversal más corta. La resistencia a la flexión normalmente evalúa la resistencia de miembros estructurales, a las deformaciones y ruptura por la acción de cargas en su sección transversal más alargada. Los comunes, es evaluar esta propiedad para vigas y correas de sujeción. Se define como igual a la resistencia a la tracción. Sus unidades al igual que las otras resistencias es Newton por metro cuadrado (N/m²).

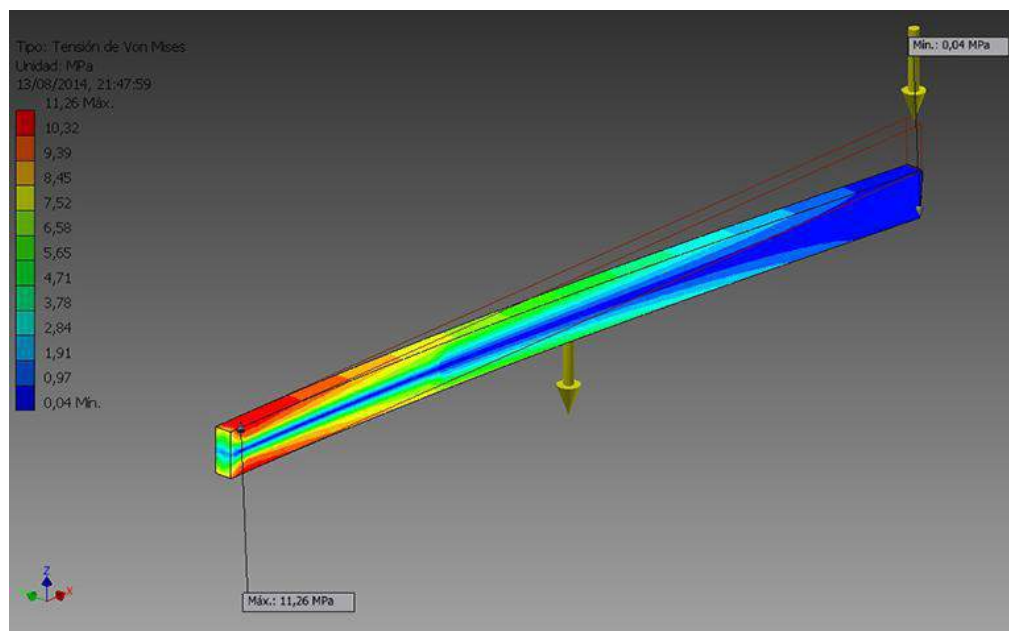


Figura 3-1 Resistencia a la flexión de una viga de madera (ortótropa) en el software inventor.

Fuente: <https://www.soloarquitectura.com>

En la figura 3-1, se observa la simulación de una viga de madera con una resistencia D30, evaluada como material ortótropa (con 9 coeficientes de elasticidad). En ella se observa, el rango de la tensión de Von Mises. Este ejemplo en concreto se aplica en arquitectura, para la evaluación de las cargas que pueden soportar los miembros estructurales de una edificación.

1.3.1.7. Alargamiento a la rotura

Se define como el cociente entre la deformación o alargamiento de un material sometido a tracción, antes del punto de fractura y la longitud inicial. Los ensayos de elongación a rotura se basan en la norma EN ISO 527. Sus unidades son el porcentaje o bien como factor adimensional.



Figura 4-1 Ensayo de tracción de una banda plástica, determinación de elongación a rotura.

Fuente: <http://www.iacsa.com.mx/>

En la figura 4-1, se muestra un equipo del fabricante IACSA, para realizar pruebas de tracción. Este equipo cuenta con un juego de pinzas de sujeción, con cierre mecánico. El mecanismo de acción es hidráulico.

1.3.1.8. Módulo de elasticidad

En realidad, existen un grupo de constantes que se conocen como módulo elástico, normalmente describen el comportamiento retráctil de los materiales al recibir esfuerzos de tracción y compresión. Dependiendo del material es necesario conocer un número determinado de constantes elásticas. Por ejemplo, un material isótropo requiere únicamente del módulo de Young y el coeficiente de Poisson. En cambio, materiales ortótropos requieren, al menos, de un número mayor a 2 coeficientes elásticos. Por ejemplo, en la Figura 3.1 se muestra un material de una dureza D30 ortótropo que requiere de 9 coeficientes elásticos, entre los que están: 3 módulos de Young, 3, 3 coeficientes de Poisson y 3 módulos elasticidad transversales.

Tabla 2-1. Constantes elásticas que reciben la denominación de Modulo elástico.

Coficiente	Símbolo	Descripción
Módulo de Young	E	Modulo elástico longitudinal, está asociado a los cambios longitudinales de experimentados por la acción de una carga de tracción.
Módulo de compresibilidad	K	Se asocia con los cambios de volumen no relacionados con el cambio de forma, que se origina por la acción de una fuerza de compresión.
Módulo elástico transversal	G	Módulo elástico tangencial, se asocia con cambios de forma. Por la acción de esfuerzos de tipo cortante.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018, 2018

En la tabla 2-1, se describen algunas de las constantes que llevan la denominación de módulo elástico. No se describirá de mayor forma estas constantes, solo lo necesario para desarrollar los cálculos de diseño.

1.3.2. Propiedades térmicas de los solidos

1.3.2.1. Calor específico

Es la cantidad de energía que es requerida para aumentar la temperatura de la masa un material en un grado o punto en una escala de temperatura de referencia. Según el sistema de unidades se representa con de las siguientes formas: S.I. (kJ/kg K), S. Inglés (BTU/lb F). Los métodos para determinar esta constante son vario, para solidos existe el método de mezcla, en el cual se mezcla un líquido caliente en un recipiente en el que se coloca el sólido, se monitoriza los cambios de temperatura del sólido, hasta que no exista variación, luego por el principio de equilibrio térmico se determina el calor específico del material.



Figura 5-1 Calorímetro de mezcla del fabricante Jhon Morris.

Fuente: <https://www.johnmorriscgroup.com>

En la figura 5.1, se muestra un calorímetro de mezcla de la marca Jhon Morris. Este tiene un sensor de temperatura digital, reguladores para las resistencias y el agitador.

1.3.2.2. Temperatura de flexión bajo carga

Se define como la temperatura a la que una muestra de material conformada como una probeta a temperatura ambiente, sufre una deformación considerable bajo la acción de una carga determinada. El material puede ser plástico, metálico u otro material duro. El procedimiento usa un analizador termo gravimétrico basados en las normas SO 75 y ASTM D648. En la figura 6-1, se muestra un analizador de temperatura de flexión bajo carga del fabricante.



Figura 6-1 Analizador Ceast HDT6/VICAT, para la determinación de la temperatura de flexión bajo carga.

Fuente: <http://www.instron.us>

1.3.2.3. *Temperatura de fusión*

La temperatura de fusión se define como la temperatura a la que un sólido pasa a estado líquido, por el aumento de la energía interna del material, que genera un aumento en la velocidad promedio de movilidad de las átomos o moléculas. La mayor cantidad de energía permite que los átomos superen las fuerzas de atracción normales en un sólido, haciendo que el material no tenga una forma definida. Por esto los líquidos suelen tomar la forma del recipiente que los contiene.

Dependiendo del material las temperaturas de fusión varían en rango, por ejemplo: el agua pura, siendo referencia para las escalas de temperatura, tiene una temperatura de fusión de 0°C o 273,15 K. Los gases como el Nitrógeno, que a temperatura ambiente es un gas, tiene una temperatura de fusión de -210°C o 63,15 K. Metales como el hierro tiene puntos de fusión de 1538°C o 1811,15 K. Plásticos como el Tereftalato de polietileno (PET) tienen una temperatura de fusión de 230°C o 503,15K.

El conocimiento de esta propiedad es de total importancia para el diseño de equipos de fundición de metales, inyectores de plástico, evaporadores. En el caso de molinos y trituradoras, se requiere conocer cuando el material está sometido a fricción elevada, entre el elemento reductor y el material, tanto que genera un aumento de temperatura. Por ejemplo, si se trata de plástico, si la fricción es elevada puede generar el derretimiento de este, y su impregnación en la superficie del elemento reductor.

1.3.2.4. *Coefficiente de conducción térmica*

Esta propiedad se define como la capacidad de un material para conducir calor. Sus unidades en el sistema internacional son vatio por metro kelvin (W/m K), en el sistema inglés es el BTU por hora pie Fahrenheit (BTU/h ft °F). De una forma más rigurosa se define como el flujo de calor que se da a través de una unidad de superficie de extensión indefinida, con superficies paralelas y espesor unitario, siempre que, exista una gradiente de temperatura entre sus superficies.

Esta constante depende de las condiciones de evaluación, por ejemplo: la humedad, temperatura, constitución del material, temperatura ambiente, etc. Por tanto, siempre se evalúa bajo condiciones de prueba controladas. LO recurrente es evaluar un material seco y con temperaturas en un rango de 30 a 40°C.

1.3.3. Residuos plásticos

Los plásticos como el Tereftalato de Polietileno (PET), Poli-cloruro de Vinilo (PVC), Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poli-estireno (PS), entre otros, son de uso común en la fabricación de empaques. Los envases de PET se usan para alimentos, que una vez consumido el producto, se desechan. Esto genera una contaminación que a la larga se acumula en las calles o se desechan en los vertederos. Reciclarlos, es necesario principalmente en países del tercer mundo, con poco desarrollo tecnológico y una pobre eficiencia en procesos. Esto genera un impacto en el ambiente mucho mayor, sea la relación entre consumo de materiales plásticos y cantidad de residuos acumulados. Por ello, existen dos formas de reducir la cantidad de residuos plástico. Una es disminuir el consumo de bienes que incluyan plásticos. Siendo muy poco aplicable, por las necesidades y comodidades a las que se encuentra acostumbra la población. La otra opción es mejorar el proceso de reciclaje, lo que demanda en investigación para desarrollo de mejores equipos y procesos. Lo favorable es que no recorta las tasas de consumo de bienes.

1.3.4. Tereftalato de Polietileno (PET)

También conocido como poli-tereftalto de etileno es un polímero plástico muy utilizado en la fabricación de envases y textiles. Se obtiene por polimerización condensada entre el ácido terftálico y poli etilenglicol. Se encuentra dentro de los materiales plásticos poliésteres. Se clasifica como un polímero termo plástico de comportamiento lineal, con estructura tridimensional cristalina, lo que le da un carácter traslucido.



Figura 7-1 a) Matrices para botellas PET, b) Material PET granulado para fabricación de textiles.

Fuente: Janeta B. & Vizuet E., 2018

En la figura 7-1, en la parte a se observa matrices para el soplado de botellas de Tereftalato de polietileno, se usan normalmente en la industria alimenticia para almacenar líquidos. En la parte b, se observa PET para la fabricación de láminas moldeadas por termo-fusión.

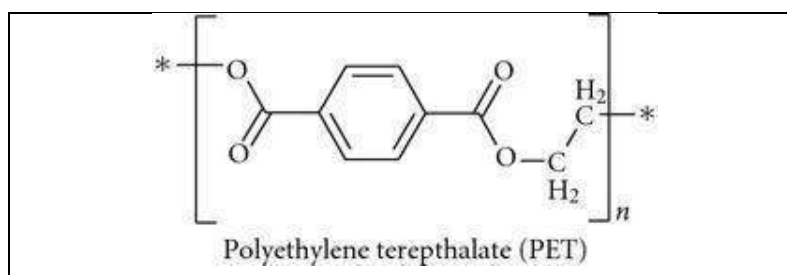


Figura 8-1 Estructura química del Tereftalato de polietileno.

Fuente: Shiv G., Abhijit De, Udayan De; Structural and Optical Investigations of Radiation Damage in Transparent PET Polymer Films.

La estructura química del tereftalato de polietileno se muestra en la figura 8-1, en ella se observa, su composición basada en carbono, hidrogeno y oxígeno. Esta composición le da una alta actividad infrarroja (Structural and optical investigations of radiation damage in transparent PET polymer films, 2011 pág. 2).

1.3.5. Poli cloruro de Vinilo

El policloruro de vinilo es un polímero plástico de uso general, se usa principalmente para fabricación de conductos y tuberías, para transporta líquidos como agua o soluciones no corrosivas. La producción industrial de PVC incluye el polímero y aditivos que le dan características finales específicas. La historia del PVC, comienza en 1835 cuando fue publicada la primera detección del monómero cloruro de vinilo, de ahí hubo que esperar hasta 1912, donde se publicó la primera patente para un método de síntesis de cloruro de vinilo, que usaba una corriente de ácido clorhídrico con acetileno a 180°C en presencia de cloruros metálicos (WICKSON, 1993 pág. 3).



Figura 9-1 Accesorios para tuberías hechos de PVC.
Fuente: <http://adequa.es/>; tienda de plásticos

En la figura 9-1, se observa accesorios hechos en PVC para tuberías de distinto diámetro. Entre los accesorios se encuentran: codos, uniones en T de distinto ángulo de unión. Este polímero tuvo un gran desarrollo durante la segunda guerra mundial, por su gran resistencia, pudo reemplazar a las resinas semi-industriales que se usaban para el aislamiento de cables, y selladuras de puertas de vehículos. El caucho fue desplazado por este polímero. Y el cobre y acero, también fueron desplazados para el transporte de agua por el PVC, al día de hoy es el plástico más usado para el transporte de agua.

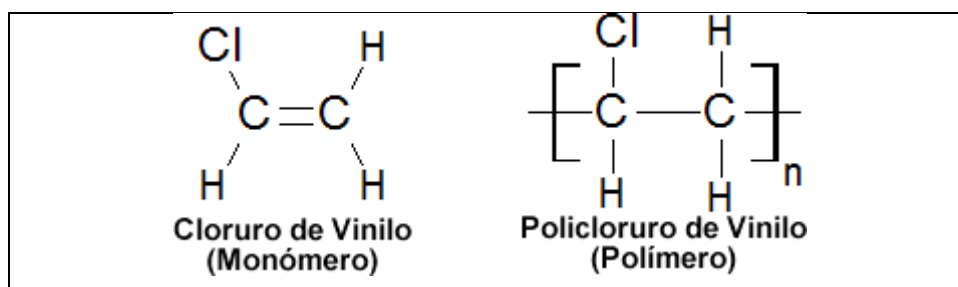


Figura 10-1 Estructura química de: Cloruro de vinilo y su polímero derivado.

Fuente: <https://www.textoscientificos.com>

En la figura 10-1, se observa la estructura química del monómero constituyente y su polímero derivado. Existen dos formas de obtener el monómero a nivel industrial. El primer método consiste en una cloración directa de etileno con cloro gaseoso. El otro método es una cloración oxidativa de etileno con cloro gaseoso y oxígeno. Ambos métodos requieren altas temperaturas, y sus subproductos son el agua y el ácido clorhídrico (WICKSON, 1993 págs. 4,5).

1.3.6. Polietileno

Es el polímero más sintetizado por su simplicidad química, su estructura está conformada por carbonos, que se encuentran unidos por enlaces covalentes simples, a los cuales se unen dos átomos de hidrogeno y radicales metilos en los extremos de la cadena (Peacock, 2000 pág. 1). En la figura 11-1, se muestra la estructura química del polietileno.

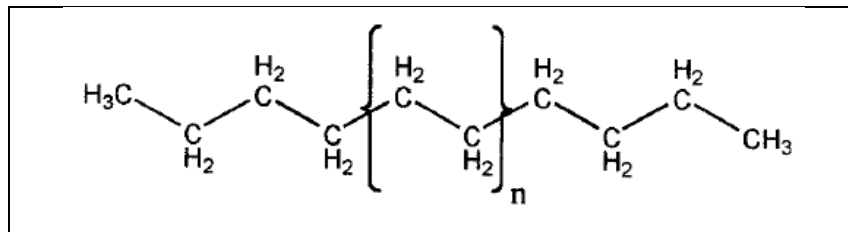


Figura 11-1 Estructura química del polietileno, vista de monómeros constituyentes.

Fuente: Peacock, A. (2000). Handbook of polyethylene

Las resinas de polietileno consisten en un grupo de cadenas largas de al menos 150 o 160, átomos de carbono. Normalmente el grado de polimerización es bueno si excede los 100 hasta las 25000 unidades de carbono, siendo normalmente sólidos. Con grados de polimerización inferiores a 100, se optime oligómeros cuya principal característica es su aspecto ceroso (Peacock, 2000 pág. 1). Pueden existir defectos en la cadena del polímero que normalmente se encuentran en los extremos de la cadena como grupos vinil. Las presencias de las imperfecciones en la cadena polimérica se ven reflejadas en la cristalinidad del material.



Figura 12-1 Tuberías de polietileno de alta densidad.

Fuente: <http://www.sevillafusion.com.mx>

En la figura 12-1, se puede observar tubos fabricados con polietileno de alta densidad. Normalmente, el polietileno de alta densidad es cristalino, pero luego de adicionarle pigmentos y algunos aditivos se obtiene un material opaco y coloreado, muy resistente a la degradación por la luz solar.

1.3.7. Polipropileno

El polipropileno es un polímero de cadena sencilla, que consta de unidades monoméricas que corresponden a propileno. Se usa como material para recubrimientos, aditivo en pinturas, y para la fabricación de piezas moldeadas. Al igual, que con el polietileno se busca ampliar sus usos en el área de construcción, por ser un material de fácil síntesis, por ende, de bajo costo. El monómero estructural, se obtiene de dos formas por craqueo catalítico de las naftas, cuyo producto objetivo es el monómero etileno. Debido distintas condiciones del proceso de craqueo, una fracción del producto resultante corresponde a propileno. Otra forma de obtener el monómero es a partir de la refinación de las gasolinas. Por último, existe un proceso que se encuentra en aplicación que es básicamente la deshidrogenación del propano (Karian, 2003 pág. 6)

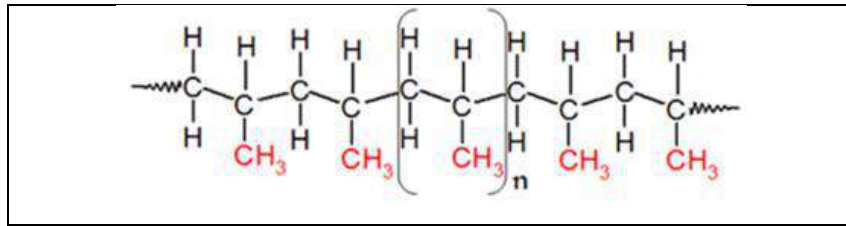


Figura 13-1 Estructura química del polipropileno, con notación monomérica.

Fuente: Maddah, H. A.; Polypropylene as a promising plastic: A review. American Journal of Polymer Science.

En la figura 13-1, se puede observar la estructura química del polímero polipropileno, que está constituido por el monómero propileno. Se puede notar que existe un grupo metilo como ramificación de la cadena central.



Figura 14-1 Vasos plásticos “irrompibles” hechos de polipropileno.

Fuente: <http://www.plasticosrs.cl>

El polipropileno en espesores mayores a 1 mm, suele ser muy resistente y flexible. Dependiendo del grado de polimerización aumenta su densidad, lo que le confiere mayor dureza y cristalinidad. En la figura 14-1, se observa vasos plásticos que se dicen son irrompibles, la verdad es que son muy flexibles (con una resistencia a la tensión alta).

1.3.8. Proceso de diseño

El proceso de diseño ha sido desde siempre un reto para el ingenio y la creatividad. De ahí que sea uno de los campos en que mejor se aplican los ingenieros y artistas. Aunque las dos profesiones no son ajenas, porque un buen diseño es como una obra de arte. Desde que el ser humano vio obligado a resolver problemas que surgían, en su vida cotidiana, siempre había alguien dispuesto a resolver el problema. Dependiendo de la complejidad del problema, este podría ser abordado de forma sencilla y resuelto de igual manera. Pero cuando el problema,

muestra signos de ser un rompecabezas es cuando empieza el verdadero problema. Existen, debido a ello muchos métodos, guías o recetas que pretenden ser como navaja suiza, para afrontar a todos los problemas de diseño. Pero a decir verdad cada problema tiene su propia singularidad y por tanto cualquier receta quedaría corta. Siendo rigurosos una definición de los que es diseño serio: “Es la búsqueda de la solución óptima para las necesidades verdaderas de un conjunto de circunstancias particulares” (Lawson, 2006 pág. 34).

En términos generales, varios autores plantean que todo proceso de diseño tiene cuatro etapas: Análisis del producto, definición conceptual, presentación de propuestas formales y elaboración del producto. Otros, por ejemplo, como el Handbook RIBA (Royal Institute of British Architects), plantea la existencia de doce etapas para el proceso de diseño, en lo que ellos llaman “Plan de trabajo”, en la tabla 3-1 se muestra las etapas propuestas.

Tabla 3-1 Etapas del diseño según RIBA

NUMERO	ETAPA
A	Inicio del proyecto
B	Estudio de factibilidad
C	Esquematización de propuestas
D	Diseño del esquema
E	Diseño de detalle
F	Información de producción
G	Presupuesto
H	Licitación de propuesta
I	Estudio del proyecto
J	Operaciones in situ
K	Terminación del proyecto
L	Retroalimentación

Fuente: Lawson B., *How designer thinks*.

Realizado por: Janeta B. & Vizúete E., 2018

1.3.8.1. Primera etapa. Recolección de información

Durante esta etapa, recopilamos información sobre el diseño y construcción de equipos de reducción de tamaño. Evaluamos todos los posibles mecanismos de reducción de tamaño y comparamos, características para obtener un diseño que cumpla con nuestras expectativas. Por ejemplo: existen varias formas de cortar un material: por frotamiento, por corte normal, por trituración tangencial, por fricción, etc. Dependiendo del material y las características del

producto final seleccionaremos el método idóneo, usando características que se ponderaran, luego los mejores dos calificados se plantearan para la propuesta de diseño.

1.3.8.2. Segunda etapa. Planteamiento del diseño

Una vez ponderadas y seleccionadas las mejores características para el diseño. Se plantean alternativas para evaluarlas en conjunto, como una estructura completa. Se ponderará en función de costos, seguridad, funcionalidad y facilidad de uso. El mejor calificado, se planteará como el diseño a implementar. Por ejemplo: Si se tiene un modelo de reductor con dos ejes paralelos con giro opuesto, y cuchillas sincronizadas y otro con un solo eje que corta contra un sistema de cuchillas fijas (corte normal). Una característica de importación la evaluación comparativa será los costos de fabricación, y la facilidad con la que se realiza el mantenimiento. En el sistema de ejes paralelos, se requiere el cambio total del juego de cuchillas en caso de desgaste, en el de un eje se requiere el cambio total del sistema/cuchillas. Ambas tienen un costo elevado, pero la facilidad de mantenimiento la tiene el sistema de un eje. De esta forma se calificará las características de los diseños planteados.

1.3.8.3. Tercera etapa. Diseño básico o de ingeniería.

Una vez seleccionado el diseño en función del método de corte y la disposición mecánica de: transmisión de potencia, sujeción y forma de corte del material. Se plantea las dimensiones generales de la estructura mecánica del reductor. Tomando en cuenta el espacio que este ocupa, la altura del acceso para el material (tolva), altura de panel de control, etc. Siempre tomado en cuenta términos de seguridad, ergonomía y funcionalidad. Parte del trabajo lo realizará el ingeniero mecánico que construirá el equipo como, por ejemplo: evaluación de cargas en los ejes, dimensionamiento de sistema de transmisión, resistencia de materiales, etc.

1.3.8.4. Quinta etapa. Diseño detallado

Se especifica las características al detalle del diseño a construir, se plantean los planos de construcción, tanto mecánicos como eléctricos. Por ejemplo: se distribuyen las piezas y ensamblajes de la estructura mecánica y se evalúa la funcionalidad. Se realiza procesos de optimización de características. Luego se da paso a la construcción del equipo.

1.3.8.5. Sexta etapa. Evaluación de equipo (diseño implementado).

Una vez construido el equipo se procede a evaluar sus capacidades en proceso, se evaluará los límites de funcionamiento, así como la seguridad y facilidad de uso. Las evaluaciones se realizarán con distintos materiales y se tomarán datos experimentales que permitan determinar el rendimiento del proceso y la eficiencia del equipo.

1.3.8.6. Séptima etapa. Elaboración de manuales uso y seguridad.

Una vez, tomada la información experimental del proceso y equipo, se elaboran los manuales de uso y seguridad, tomando en cuenta las condiciones recomendadas de uso, de los fabricantes de los equipos eléctricos.

1.3.9. Automatización

1.3.9.1. Elementos de control

Para implementar un circuito de control se requieren varios elementos, que cumplen tareas específicas. Tareas como: tomar datos del medio a controlar (variables de proceso controladas), convertir las señales a tipos compatibles (eléctrica/neumática), procesar y emitir señales (control), recibir señales y realizar acciones sobre el medio (permitir o cortar flujo).

1.3.10. Herramientas de diseño

Para poder tener criterios de discriminación sobre posibles diseños, se deben usar métodos que permitan evaluar de forma consiente y en base a la experiencia, las características idóneas para restricciones de. costos, capacidad de maquinado y facilidad de uso, entre otras. Es por esto, que planteamos en esta sección algunos métodos tomados de otros trabajos de diseño y construcción, que nos permitieron realizar las tareas de selección de características de diseño.

1.3.10.1. Método QFD (Quality Function Deployment)

También llamado diagrama de distribución de la función de calidad,

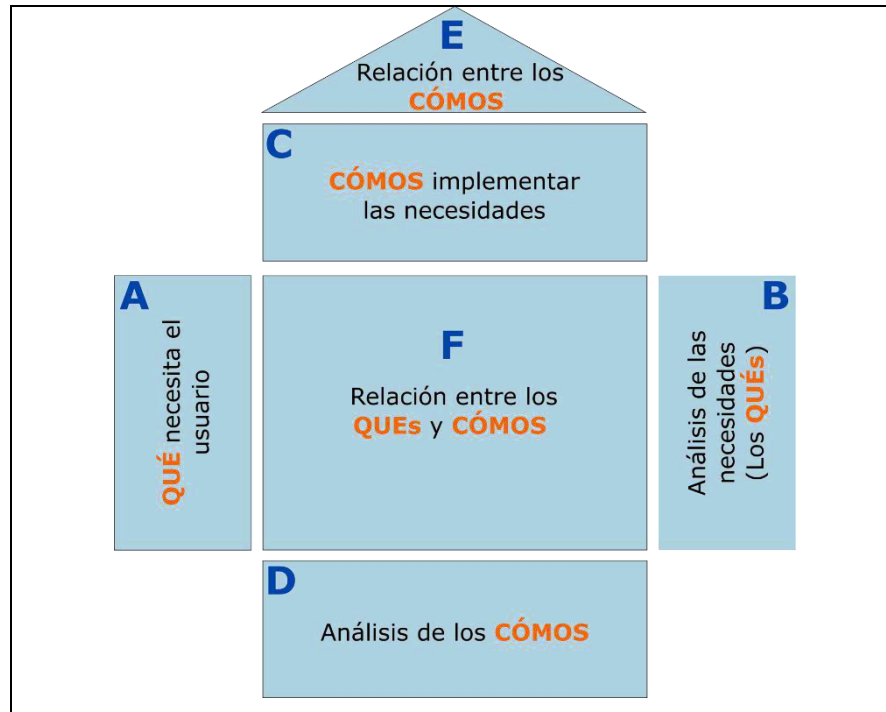


Figura 15-1 Diagrama de despliegue de función de la calidad.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

En la figura 15-1, se muestra la distribución de un diagrama QFD, con cada una de sus partes. Las mismas que describiremos a continuación:

- A. Comprende una lista de los requerimientos del usuario para el producto, por ejemplo, para un celular se podría especificar lo siguiente: que tenga batería de larga duración, que tendrá acabados metálicos, que tenga una pantalla de 5 pulgadas, que tenga cámara frontal de 5 megapíxeles, que tenga acabados curvilíneos, que tenga detector de huellas digitales, que tenga reconocimiento facial, etc. Se debe plantear la mayor cantidad de características sin importar en este punto su relevancia. Luego con la ponderación se determinará si es necesaria o no, para las restricciones del proceso de desarrollo.
- B. En esta parte se debe obtener el orden de importancia y la ponderación relativa de los requerimientos del usuario. Para ello la dividiremos en seis secciones o grupos de columnas: la primera corresponderá a la importancia que el usuario le da a su requerimiento en una escala de 1 al 5, siendo 1 poco importante y 5 imprescindible; esto se obtendrá por medio de entrevistas a los potenciales usuarios del equipo. La segunda sección de columnas corresponde a la comparación del producto con su competencia, igualmente ponderando en un rango entre 1 y 5. Siguiendo el ejemplo del celular, si nuestro producto tiene cámara frontal, tendrá un

valor de 1 si esta es mala y 5 si es excelente. De igual forma para los competidores. La tercera sección de columnas la comprende las restricciones del fabricante, como son: el objetivo a alcanzar, que pondera los requerimientos del producto en base a si es poco importante (1) o muy importante (5); la siguiente columna comprende la ratio de mejora que es el cociente entre el objetivo a alcanzar y la calificación comparativa de nuestro producto con el competidor. La siguiente columna corresponde al argumento de venta, que pondera cuan significativa será la característica en relación a las ventas. La última sección comprende las ponderaciones tanto absoluta como relativa y el nivel de importancia del requerimiento.

- C. Comprende una lista de las características técnicas que tendrá el producto. Estas características deben estar relacionadas con los requerimientos del usuario. Debe tener las unidades, valores de referencia o selección, si este es opcional. Por ejemplo, para el celular se especifica: la carga de la batería en (mA), el tamaño de la pantalla en pulgadas, la resolución de la pantalla de (dpb)m, etc.
- D. La relación entre **cómos** y **qués**, se evalúa en la forma en que se relacionan los requerimientos del usuario con las características del producto. De esta forma se determina que requerimientos son necesarios y cuáles no. Además, de darnos las pautas de que características nos permitirán cumplir con los requerimientos. La relación puede evaluarse usando valores cuantitativos o cualitativos, de preferencia se debe usar valores cuantitativos. Para nuestro trabajo usaremos los siguientes valores: 1 no relacionado, 2 relación mínima, 4 relación media, 6 relación alta y 8 relación directa.
- E. El análisis requiere los datos de la ponderación de las relaciones de requerimientos del usuario y las características técnicas del producto. determinando con esto la relevancia de cada característica. En la primera fila se establece la orientación de las características técnicas. Por ejemplo: en el caso del celular más batería es mejor, pero más peso empeora el diseño. Estos se pueden expresar mediante flechas hacia arriba o hacia abajo, respectivamente. Las siguientes filas tiene la ponderación absoluta y relativa de la característica técnica,
- F. Se determina la relación entre las características técnica, tomando en cuenta su efecto positivo o negativo entre ellas. Por ejemplo, si el celular tiene flash esto reduce la durabilidad de la batería, si la pantalla es de 5 pulgadas esto aumenta el tamaño del dispositivo, que es algo negativo., etc.

En el capítulo de diseño se plantea el diagrama QFD, para el diseño del equipo de reducción PET.

1.3.10.2. Matrices comparativas para selección de opciones de diseño

En las etapas de diseño conceptual es necesario tener criterios que permitan tomar decisiones sobre las características idóneas para un producto. Es por esto que existen muchos métodos que intentan ponderar la relevancia entre ellas. Pero todo método emplea dos elementos que comprenden: las alternativas y los criterios de selección.

El método que usaremos en nuestro trabajo de rediseño y automatización, es el método de ordinal corregido de criterios ponderados. Que, al ser un método ordinal, tendremos que clasificar por orden las alternativas en relación a los criterios de selección. Para ello se utilizará un conjunto de valores que cuantifican la relación entre elementos, dicho conjunto de valores es: 0 la alternativa o criterio de la fila tiene menor valor que el de la columna, 0.5 si el valor entre fila y columna son iguales y 1 si el valor de fila es mayor que el de la columna.

El procedimiento que se debe seguir para aplicar este método es el siguiente:

1. Determinación de las alternativas de solución y los criterios de selección. Se deben enlistar las soluciones encontradas para el diseño, así como criterios que se consideran bajo juicio de valor, importantes para el diseño.
2. Evaluación del peso específico de los criterios de selección. Se aplica una matriz de ponderación entre criterios. Evaluándolos como más o menos “pesados” o importantes uno de otro. En la tabla 4-1 se muestra un ejemplo.

Tabla 4-1 Tabla demostrativo de evaluación de peso específico de criterios de selección.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN								
RELACION DE PESO:	Criterio A > Criterio B = Criterio C > Criterio D > Criterio E						SUMA +1	Ponderación
	Criterio A	Criterio B	Criterio C	Criterio D	Criterio E		n	
Criterio A		1	1	1	1	5	0,3448	
Criterio B	0		0,5	1	1	3,5	0,2414	
Criterio C	0	0		1	1	3	0,2069	
Criterio D	0	0	0		1	2	0,1379	
Criterio E	0	0	0	0		1	0,0690	
					TOTAL	14,5	1	

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3. Evaluación de peso específico de las alternativas de solución en relación a cada criterio de selección. La matriz o tabla es muy parecida a la de evaluación de criterios de selección.

Tabla 5-1 Tabla demostrativa de evaluación de peso específico de soluciones en relación a un criterio de selección.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE CRITERIO A							
RELACION DE PESO:	Solución A > Solución B = Solución C > Solución D > Solución E						
	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	SUMA +1	Ponderación
Solución A		1	1	1	1	5	0,3448
Solución B	0		0,5	1	1	3,5	0,2414
Solución C	0	0		1	1	3	0,2069
Solución D	0	0	0		1	2	0,1379
Solución E	0	0	0	0		1	0,0690
					TOTAL	14,5	1

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

- Evaluación general de las alternativas. En esta parte se determina el valor de prioridad de las soluciones, tomando en cuenta el orden descendente. Para ello, hay que sumar el producto entre las ponderaciones de los criterios de selección y los valores de ponderación de las soluciones sobre el criterio de selección correspondiente. Luego los resultados se suman y el que tenga el mayor valor, se dice que es la mejor opción. Hay que tomar en cuenta que siempre se puede corregir las relaciones y ponderaciones para obtener un resultado más confiable.

Tabla 6-1 Tabla demostrativa de evaluación general de soluciones en base a criterios de selección.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES							
	Criterio A	Criterio B	Criterio C	Criterio D	Criterio E	SUMA	Prioridad
Solución A	0,563	0,442	0,061	0,832	0,046	1,381	4
Solución B	0,46	0,033	0,32	0,897	0,063	1,313	5
Solución C	0,59	0,461	0,966	0,191	0,578	2,196	1
Solución D	0,644	0,597	0,017	0,867	0,604	2,085	2
Solución E	0,917	0,209	0,646	0,723	0,158	1,736	3

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

- Conclusiones del proceso de selección. Al final, con una visión cuantitativa de cuál puede ser la mejor opción para nuestro diseño, se puede concluir que alternativa es la mejor y dar paso a la evaluación de otros aspectos del producto o al diseño de ingeniería.

1.3.10.3. Matriz de costos de materiales y mano de obra

La matriz de costos es semejante a una factura, se establece en columnas los precios unitarios de materiales, luego las cantidades y al final el valor total. Se suma la columna de valor total, si es posible se evalúan impuestos como el IVA, y al final se presenta el costo total. Se debe tomar en cuenta, todos los costos de ejecución del proyecto, incluidos transporte, adquisición de materiales, compra de licencias de software, mano de obra, etc. No es necesario profundizar en un formato para esta tabla simplemente se presentará con las características antes mencionadas.

1.4. Beneficios directos e indirectos

1.4.1. Directos

Los beneficiarios directos del desarrollo del proyecto son los estudiantes y docentes de las cátedras relacionadas al equipo de reducción de tamaño. Además de los beneficios que aportan a la facultad en general.

1.4.2. Indirectos

Investigadores, docentes y personal de mantenimiento de la ESPOCH.

CAPITULO 2

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

Rediseñar y automatizar un equipo triturador de botellas plasticas tipo pet.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudio de la viabilidad técnica y económica para el rediseño y optimización.
- Determinar las variables del proceso que darán pautas para el rediseño y automatización del equipo.
- Reducir el tamaño de partícula producida a la granulometría necesaria para el proceso complementario de extracción de filamento plástico.
- Instalar bajo estudios técnicos el sistema de control óptimo para el proceso de reducción de tamaño.
- Realizar la validación del equipo, bajo distintos escenarios para comprobar la correcta operación.

CAPITULO 3

3. ESTUDIO TECNICO PRELIMINAR

3.1. Localización del proyecto

El presente estudio técnico para el diseño de un reductor de botellas plásticas PET, para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo. Latitud: -1.653241 y longitud: -78.681558 a una altura de 2767 metros sobre el nivel del mar.



Figura 1-3 Localización del proyecto.

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E.

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Alcance de funciones y capacidades

Para establecer que características debe tener el equipo a rediseñar, se utiliza el método de despliegue de función de la calidad. Con se describió en la parte teórica, es necesario seguir los pasos para la construcción de la matriz. El proceso que seguimos se describe a continuación:

1. Enlistar los requisitos del usuario. Primero crearemos una lista de los requisitos que se consideran necesarios para el equipo:

1. Que tenga un sistema de corte resistente.
2. Que el producto tenga dimensiones idóneas.
3. Que tenga sistema de control (proceso automático).
4. Que tenga alarmas de seguridad y paro de emergencia.
5. Que emita menos ruido.
6. Que tenga una tolva que permita la entrada automática de las botellas al sistema de corte.
7. Que tenga mayor capacidad de procesamiento.
8. Que tenga un sistema de corte fácil de dar mantenimiento.
9. Que pueda cortar materiales más duros que el plástico.
10. Que no se atore el sistema de corte.
11. Que tenga señales de seguridad.
12. Que tenga una disposición que facilite el uso en postura erguida.
13. Que tenga un bonito color.
14. Que tenga un sistema más seguro de alimentación.
15. Que tenga control inalámbrico a corta distancia (conexión WIFI).

Para obtener estos requisitos se entrevistó a estudiantes, técnicos y docentes que usan el equipo y el laboratorio de operaciones unitarias.

2. Enlistar las características técnicas relevantes para el reductor PET. Ahora tenemos que buscar características que se encuentren relacionadas a los requerimientos del usuario, no es necesario que se encuentren en orden, y al menos deben ser iguales en número a los requisitos.

1. Sistema de corte con cuchillas de acero templado. (si/no)
2. Capacidad de tolva de carga de material a triturar. (m³)
3. Diámetro de partícula pequeño. (m)
4. Panel de control con funciones básicas. (si/no)
5. Seguridad electrónica (alarmas y señales). (si/no)
6. Estructura anti vibraciones y ruido. (si/no)
7. Tolva automatizada. (si/no)
8. Sistema de corte de fácil des-ensamblaje. (si/no)
9. Torque de sistema de corte. (Nm)
10. Des atascamiento automático de sistema de corte. (si/no)
11. Señalética de seguridad adherida. (si/no)

12. Ergonomía y disposición de elementos en base a normativa. (si/no)
 13. Pintura de recubrimiento. (si/no)
 14. Compuertas de seguridad para alimentación. (si/no)
 15. Control inalámbrico. (si/no)
 16. Manuales de seguridad, operación y mantenimiento. (si/no)
3. Determinar importancia de los requerimientos mediante entrevista con los posibles usuarios. No se usó el método de encuesta porque la población es muy pequeña. Por tanto, se optó por un preguntar a los docentes, técnicos de laboratorio y estudiantes, sobre la importancia bajo su juicio de valor de una lista de requerimientos. En este proceso también se agregaron requerimientos, quedando al final la lista antes presentada.

Los resultados de los niveles de importancia se muestran a continuación:

Tabla 1-3 Ponderación de importancia de requerimientos del usuario.

N	REQUERIMEINTO DEL USUARIO	IMP.
1	Que tenga un sistema de corte resistente	5
2	Que el producto tenga dimensiones idóneas	3
3	Que tenga sistema de control (proceso automático).	4
4	Que tenga alarmas de seguridad y paro de emergencia.	5
5	Que emita menos ruido	3
6	Que tenga una tolva automática	4
7	Que tenga mayor capacidad de procesamiento	3
8	Que tenga un sistema de corte fácil de dar mantenimiento	4
9	Que pueda cortar materiales más duros que el plástico	3
10	Que no se atasque el sistema de corte	4
11	Que tenga señales de seguridad	3
12	Que tenga una disposición que facilite el uso	5
13	Que tenga un bonito color	2
14	Que tenga un sistema más seguro de alimentación	3
15	Que tenga control inalámbrico a corta distancia	3

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

4. Establecer productos de la competencia con los que se puede comparar nuestro producto. Para ello investigamos sobre fabricantes y productos que se asemejen al equipo que queremos construir. Fue difícil encontrarlos porque la mayor parte de los fabricantes tiene modelos que son de escala industrial, o bien cortadores para papel. En la tabla 2-3, se muestran los equipos con los que se comparara el diseño.

Tabla 2-3 Tabla de equipos reductores para comparación.

MODELO EQUIPO	FABRICANTE	GRÁFICO
<p>DUAL-SHEAR® M45</p>	<p>SSI SHREDDING SYSTEM</p>	
<p>ST 5 stationary Hard Drive Shredder</p>	<p>SHRED TECH</p>	
<p>ZMS</p>	<p>HADRDEGA TIANJIN MACHINERY CO., LTD</p>	

Realizado por: Janeta B. & Vizueté E., 2018

- Determinar las relaciones entre las características técnicas de los equipos. Para ellos se establecen cuatro valores posibles, acotados con símbolos: (vacío) Ninguna relación, (\equiv) Correlación fuertemente negativa, (-) Correlación negativa, (+) Correlación positiva y (\oplus) Correlación fuertemente positiva. Estos valores van en el “techo” del diagrama QFD.

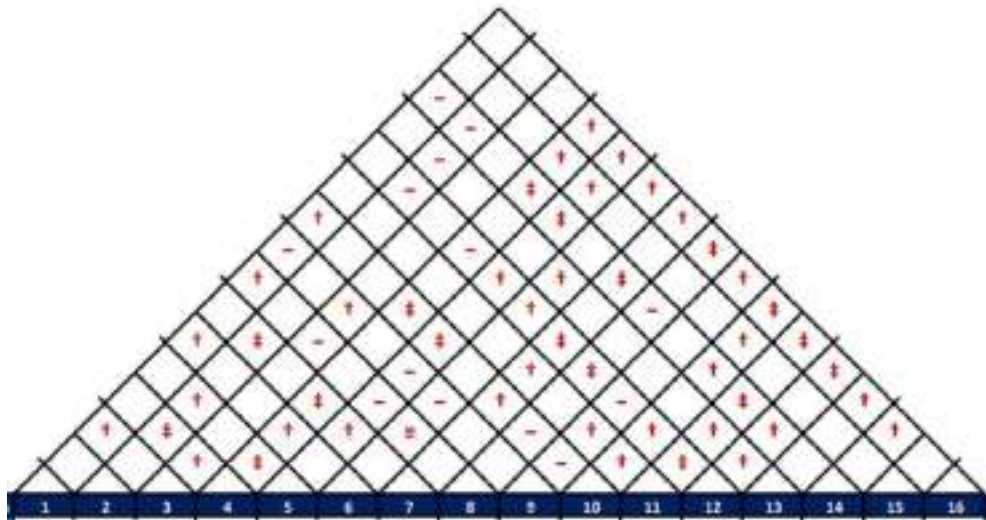


Figura 2-3 Disposición de relaciones entre características técnicas del producto, “techo” de diagrama QFD.
 Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

- Determinar las relaciones entre requisitos del usuario y características técnicas. Para ellos se establecen valores posibles, acotados con símbolos: (vacío) Ninguna relación, (\square) Poca relación, (\circ) Relación media y (\bullet) Relación directa.

# Fila	# Columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	•															
2	2		•														
3	3			•													
4	4				•												
5	5					•											
6	6						•										
7	7							•									
8	8								•								
9	9									•							
10	10										•						
11	11											•					
12	12												•				
13	13													•			
14	14														•		
15	15															•	
16	16																•

Figura 3-3 Disposición de relación entre requerimientos de usuario y características técnicas.
 Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

7. El siguiente paso, es calcular los pesos relativos de requerimientos del usuario y características técnicas.
8. Luego se establece la prioridad de los requerimientos del usuario y las características técnicas del producto.

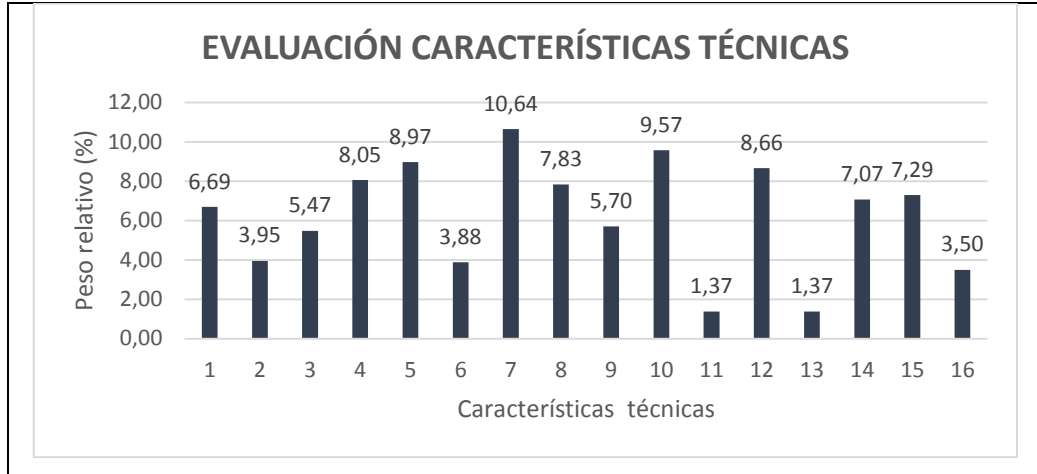


Gráfico 1-3 Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del equipo reductor PET.

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

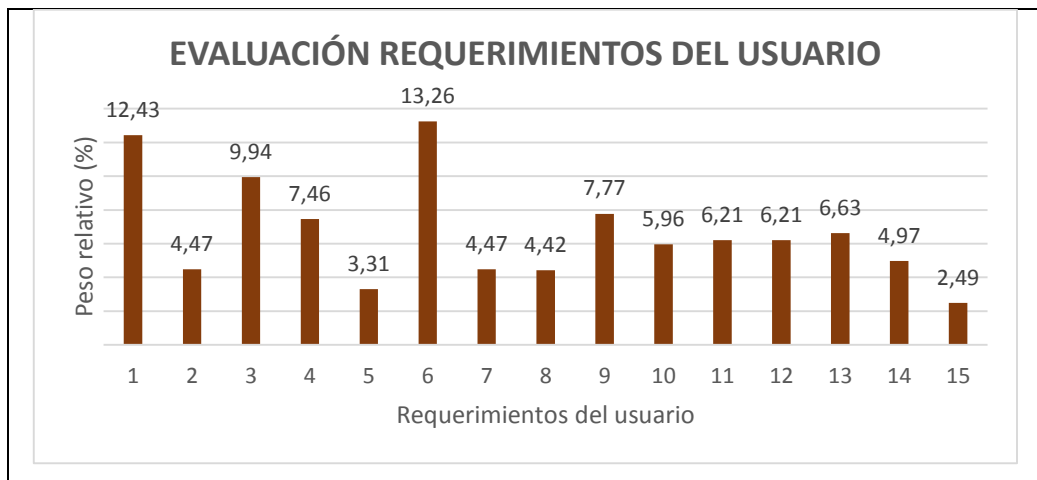


Gráfico 2-3 Resultados de ponderación de importancia de las características técnicas del equipo reductor PET.

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

De esta forma se puede observar que los requerimientos de usuario más relevantes serian: 6,1,3,9,4,13. Sobre estos, se planteara el diseño. De igual forma para las características técnicas, se tiene las siguientes como las de mayor importancia: 7, 10, 5, 12, 4, 8.

9. Conclusión sobre las características relevantes para el diseño, que permitirán cumplir con la mayor parte de los requerimientos de los usuarios.

Los requerimientos que se deben cumplir según los resultados son los siguientes: que tenga una tolva automática, que tenga un sistema de corte resistente, que tenga sistema de control (proceso automático), que pueda cortar materiales más duros que el plástico, que tenga alarmas de seguridad y paro de emergencia, y que tenga un bonito color.

Las características técnicas que permiten cumplir con una buena parte de los requerimientos son: Tolva automatizada, des-atascamiento automático de sistema de corte, seguridad electrónica (alarmas y señales), ergonomía y disposición de elementos en base a normativa, panel de control con funciones básicas y sistema de corte de fácil des-ensamblaje.

Con estos indicios podemos empezar a evaluar las soluciones posibles para nuestro diseño.

3.2.2. Selección de modo de corte

3.2.2.1. Criterios de valoración





Los criterios con los que se aplicara el método ordinal corregido de criterios ponderados, son los siguientes:


- **Fiabilidad:** El sistema de corte debe ser resistente, brindando seguridad en el corte de materiales y un tamaño de partícula pequeño. Evitando el desgarre del plástico.
- **Facilidad de diseño y construcción:** El sistema debe ser simple de tal forma que garantice su fabricación y mantenimiento.
- **Costos:** Garantizar un correcto funcionamiento y seguridad a un bajo costo.
- **Versatilidad:** El sistema debe ser fácil de ensamblar, para las tareas de mantenimiento, y tener aditamentos que aseguren el funcionamiento.

3.2.2.2. Soluciones

Las soluciones planteadas para el sistema de corte se presentan en la tabla 3-3.

Tabla 3-3 Soluciones posibles para el sistema de corte.

N	SOLUCIÓN	ACRÓNIMO	FOTO
1	Un eje con cuchillas estáticas	1ECE	
2	Dos ejes sin cuchillas estáticas	2ENCE	
3	Molino de martillos	MM	
4	Un eje con cuchillas dentadas (Tipo sierra)	1ECD	

5	Cuatro ejes sin cuchillas estáticas	4ENCE	
---	--	-------	--

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

En la tabla 3-3, observamos el nombre completo que describe la solución del sistema de corte, su acrónimo (nombre corto o código) con el que se tratara en el resto de este capítulo y una imagen que permite una mejor comprensión de la solución.

3.2.2.3. Evaluación de grado importancia de criterios de valoración.

Una vez establecidos los criterios de valoración, se establece en base a las reglas del método ordinal de criterios ponderados, el grado de importancia de estos. El resultado de la ponderación se usará para la evaluación general de las soluciones. Justificando la razón de porque se estableció la regla de relación de peso, podemos decir los siguiente: el criterio de fiabilidad es el de mayor importancia, porque buscamos cumplir con los requerimientos de usuario. El costo está en segundo lugar por ser un trabajo de titulación se tiene un presupuesto pequeño. El diseño tiene igual importancia que los costos porque se encuentran directamente relacionados, mientras más difícil es construirlo mayor es su costo. Como último se encuentra la versatilidad.

Tabla 4-3 Evaluación de importancia de criterios de valoración – sistema de corte.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN						
RELACIÓN DE PESO:	Fiabilidad > Costo = Diseño > Versatilidad					
	Fiabilidad	Diseño	Costo	Versatilidad	SUMA +1	Ponderación
Fiabilidad		1	1	1	4	0,4000
Diseño	0		0,5	1	2,5	0,2500
Costo	0	0,5		1	2,5	0,2500
Versatilidad	0	0	0		1	0,1000
TOTAL					10	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

Como resultado se obtiene que el criterio fiabilidad tiene un 40% de importancia, el diseño y el costo un 25%, cada uno. El 10% restante le corresponde a la versatilidad del diseño.

3.2.2.4. Evaluación de soluciones en relación a la fiabilidad.

La justificación de la regla de relación de peso es la siguiente: En relación a la fiabilidad bajo nuestro criterio de valor, determinamos que es más fiable un sistema de corte de dos ejes paralelos sin cuchillas estáticas (2ENCE), tiene mayor fiabilidad que le resto de soluciones. Esto, porque es mucho más sencilla su operación, cumpliendo de forma eficaz el corte. Se podría decir que el sistema de cuatro ejes serie mucho mejor en esta tarea, pero los único que mejora con esa alternativa es el aumento de la capacidad de producción. En detrimento de la eficiencia energética, peso y la facilidad de mantenimiento. Pero como el objetivo es triturar el material los dos diseños cumplen con ello. En tercer lugar, se encuentra el sistema de un eje con cuchillas estáticas, este sistema no es tan confiable, por problemas de atascamiento. Y el final es el sistema de molino de martillos, como su nombre lo indica pulveriza el material y este no es la función del equipo.

Tabla 5-3 Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación a la fiabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE FIABILIDAD							
RELACIÓN DE PESO:	2ENCE > 4ENCE > 1ECE > 1ECD = MM						
	1ECE	2ENCE	MM	1ECD	4ENCE	SUMA +1	Ponderación
1ECE		0	1	1	0	3	0,2000
2ENCE	1		1	1	1	5	0,3333
MM	0	0		0,5	0	1,5	0,1000
1ECD	0	0	0,5		0	1,5	0,1000
4ENCE	1	0	1	1		4	0,2667
TOTAL						15	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.2.5. Evaluación de soluciones en relación a la facilidad de diseño y construcción.

La justificación de la regla de relación de peso es la siguiente: En relación a la facilidad del diseño, determinamos que el sistema de un eje con cuchillas estáticas es el más fácil de diseñar y construir. Seguido del molino de martillos y el sistema de corte de un eje con cuchillas estáticas. Luego están los más difíciles de construir por el número de piezas que se requieren que son los sistemas de dos y cuatro ejes sin cuchillas estáticas. Esto es porque se requiere de la fabricación de cada eje, cuchilla y separadores. Fijar rodamientos y sistema de transmisión (piñones y engranajes), para que tengan sentido de giro opuesto. Todos los diseños anteriores tienen un único eje, y cuchillas adosadas al chasis (cuchillas extáticas) como al eje.

Tabla 6-3 Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación de facilidad de diseño.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE FACILIDAD DISEÑO							
RELACIÓN DE PESO:	1ECE > MM = 1ECD > 2ENCE > 4ENCE						
	1ECE	2ENCE	MM	1ECD	4ENCE	SUMA +1	Ponderación
1ECE		1	1	1	1	5	0,3125
2ENCE	0		1	1	1	4	0,2500
MM	0	0		0,5	1	2,5	0,1563
1ECD	0	1	0,5		1	3,5	0,2188
4ENCE	0	0	0	0		1	0,0625
TOTAL						16	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.2.6. Evaluación de soluciones en relación al costo de fabricación.

Los costos se relacionan directamente con los materiales y el trabajo de mecanizado necesario para poder fabricarlo. Por tanto, el siguiente orden es el establecido en relación al costo: El menos costoso es el molino de martillos, como es de amplio uso su fabricación es muy conocida, y sencilla. Con un costo muy parecido se encuentra el sistema de un eje con cuchillas dentadas (sierras), aunque las sierras son algo costosas vienen ya prefabricadas, reduciendo trabajo mecánico. En tercer lugar, se encuentra el sistema de un eje con cuchillas estáticas, se le da este lugar por requerir el mecanizado de cuchillas con tratamiento térmico para aumentar su dureza. Los sistemas más costosos son los de ejes múltiples sin cuchillas estáticas. Tienen este lugar por requerir el mecanizado de cuchillas, separadores, eje, rodamientos con tratamiento térmico.

Tabla 7-3 Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación de costo.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE COSTO (MENOR)							
RELACIÓN DE PESO:	MM = 1ECD > 1ECE > 2ENCE > 4ENCE						
	1ECE	2ENCE	MM	1ECD	4ENCE	SUMA +1	Ponderación
1ECE		1	0	0	1	3	0,2143
2ENCE	0		0	0	1	2	0,1429
MM	0	1		0,5	1	3,5	0,2500
1ECD	1	1	0,5		1	4,5	0,3214
4ENCE	0	0	0	0		1	0,0714
TOTAL						14	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.2.7. Evaluación de soluciones en relación a su versatilidad.

Como el objetivo de este trabajo no es crear un equipo multifuncional, si no que cumpla con triturar plástico de forma eficiente, el resultado del análisis versatilidad de las soluciones

planteadas para el sistema de corte es el siguiente: El sistema más versátil es el de 2 ejes sin cuchillas estáticas (2ENCE), porque se puede triturar cosas diferentes al plástico.

Tabla 8-3 Evaluación de soluciones de sistema de corte en relación a su versatilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE VERSATILIDAD							
RELACIÓN DE PESO:	2ENCE > 1ECE > 4ENCE > 1ECD = MM						
	1ECE	2ENCE	MM	1ECD	4ENCE	SUMA +1	Ponderación
1ECE		0	1	1	1	4	0,2667
2ENCE	1		1	1	1	5	0,3333
MM	0	0		0,5	0	1,5	0,1000
1ECD	0	0	0,5		0	1,5	0,1000
4ENCE	0	0	1	1		3	0,2000
TOTAL						15	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.2.8. Evaluación general de las soluciones.

Al final se evalúa en base al grado de importancia de los criterios de valoración y las ponderaciones de las soluciones en relación a cada criterio. Se obtiene los siguientes resultados. La solución con mayor prioridad es la de dos ejes sin cuchillas estáticas (2ENCE), la segunda opción es el sistema de un eje con cuchillas estáticas (1ECE).

Tabla 9-3 Evaluación general de soluciones para sistema de corte.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
	Fiabilidad	Diseño	Costo	Versatilidad	SUMA	Prioridad
1ECE	0,0800	0,0781	0,0536	0,0267	0,2384	2
2ENCE	0,1333	0,0625	0,0357	0,0333	0,2649	1
MM	0,0400	0,0391	0,0625	0,0100	0,1516	5
1ECD	0,0400	0,0547	0,0804	0,0100	0,1850	3
4ENCE	0,1067	0,0156	0,0179	0,0200	0,1601	4

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.3. Selección de tolva

3.2.3.1. Criterios de valoración


Los criterios con los que se aplicara el método ordinal corregido de criterios ponderados, son los siguientes:

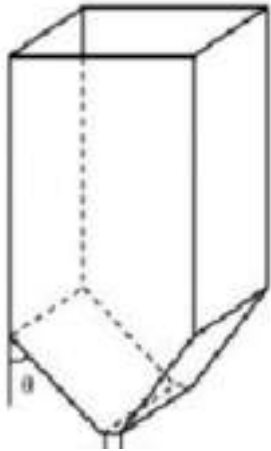
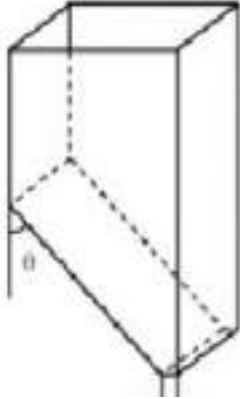
- **Fiabilidad:** La tolva permita el paso de las botellas de tamaños adecuados, evitando retroceso y salida de material triturado.
- **Facilidad de diseño y construcción:** Ser simple en estructura, pero cumpliendo las prestaciones del modelo.
- **Costos:** Garantizar un correcto funcionamiento y seguridad a un bajo costo.
- **Versatilidad:** La tolva debe permitir la alimentación de forma adecuada, seguridad y facilidad de mantenimiento.

3.2.3.2. Soluciones

Las soluciones planteadas para el sistema de corte se presentan en la tabla 10.3.

Tabla 10-3 Soluciones posibles para el sistema de corte.

N	SOLUCIÓN	ACRÓNIMO	FOTO
1	Tolva cilíndrica cónica	TCC	

2	Tolva rectangular simétrica	TRS	
3	Tolva rectangular asimétrica	TRAS	

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.3.3. Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración.

La justificación de regla de relación de peso, es la siguiente: Se establece como el criterio de mayor importancia la fiabilidad, puesto no importa tanto el diseño, la versatilidad o el costo. Puesto lo que nos interesa es que cumpla con su función.

Tabla 11-3 Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración – tolva.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
RELACIÓN DE PESO:	Fiabilidad > Versatilidad > Costo = Diseño					
	Fiabilidad	Diseño	Costo	Versatilidad	SUMA +1	Ponderación
Fiabilidad		1	1	1	4	0,4000
Diseño	0		0,5	0	1,5	0,1500
Costo	0	0,5		0	1,5	0,1500
Versatilidad	0	1	1		3	0,3000
TOTAL					10	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.3.4. Evaluación de soluciones en relación a la fiabilidad.

La justificación de la regla de relación de peso, es la siguiente: Se establece mayor fiabilidad la tolva rectangular asimétrica (TRAS), esto por tener un extremo inclinado de tal forma que evita los atascos, siendo la abertura de salida igual al ancho de la tolva, a diferencia de las otras dos que tiene la abertura de salida centrada y de ancho menor al ancho de la tolva.

Tabla 12-3 Evaluación de soluciones de tolva en relación de su fiabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE FIABILIDAD					
RELACIÓN DE PESO:	TRAS > TCC > TRS				
	TCC	TRS	TRAS	SUMA +1	Ponderación
TCC		1	0	2	0,3333
TRS	0		0	1	0,1667
TRAS	1	1		3	0,5000
TOTAL				6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

3.2.3.5. Evaluación de soluciones en relación a la facilidad de diseño y construcción.

Para variar la forma de evaluar las soluciones se decidió invertir la relación de pesos, ahora se partirá del más difícil de fabricar. Siendo más difícil de fabricar la tolva cilíndrica, por requerir de curvado de la lámina de acero, tanto en forma cilíndrica como cónica. Las otras dos tolvas al ser rectangulares solo requieren de la operación de corte y soldadura.

Tabla 13-3 Evaluación de soluciones de tolva en relación a la facilidad de diseño.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE DISEÑO (MAYOR DIFICULTAD)					
RELACIÓN DE PESO:	TCC > TRS > TRAS				
	TCC	TRS	TRAS	SUMA +1	Ponderación
TCC		1	1	3	0,5000
TRS	0		1	2	0,3333
TRAS	0	0		1	0,1667
TOTAL				6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

3.2.3.6. Evaluación de soluciones en relación al costo de fabricación.

La justificación de la regla de relación de pesos es la siguiente: La solución menos costosa es la tolva rectangular simétrica (TRS), por tener piezas simples de cortar y suelda. La tolva más costosa es la cilíndrica porque se necesita las siguientes operaciones: cortado, curvado y soldado.

Tabla 14-3 Evaluación de soluciones de tolva en relación al costo.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE COSTO (MENOR)					
RELACIÓN DE PESO:	TRS > TRAS > TCC				
	TCC	TRS	TRAS	SUMA +1	Ponderación
TCC		0	0	1	0,1667
TRS	1		1	3	0,5000
TRAS	1	0		2	0,3333
TOTAL				6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.3.7. *Evaluación de soluciones en relación su versatilidad.*

La versatilidad no es mucha importancia para una pieza tan simple en su funcionalidad, pero se ha tomado en cuenta la posibilidad de modificaciones posteriores, y el aumento de la funcionalidad que tendría la solución. De esta forma se estableció que la tolva rectangular asimétrica (TRAS), es la más versátil esto porque al tener una inclinación y un ancho igual al de la tolva se puede adaptar una compuerta para automatizar la alimentación.

Tabla 15-3 Evaluación de soluciones de tolva en relación a su versatilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE VERSATILIDAD					
RELACIÓN DE PESO:	TRAS > TRS > TCC				
	TCC	TRS	TRAS	SUMA +1	Ponderación
TCC		0	0	1	0,1667
TRS	1		1	3	0,5000
TRAS	1	0		2	0,3333
TOTAL				6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.3.8. *Evaluación general de soluciones.*

Como resultado final se obtiene que la solución con mayor prioridad es: La tolva rectangular asimétrica (TRAS), ya que es compatible con la forma en que se quiere alimentar las botellas plásticas.

Tabla 16-3 Evaluación general de soluciones de tolva.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
	Fiabilidad	Diseño	Costo	Versatilidad	SUMA	Prioridad
TCC	0,1333	0,0750	0,0250	0,0500	0,2833	3
TRS	0,0667	0,0500	0,0750	0,1500	0,3417	2
TRAS	0,2000	0,0250	0,0500	0,1000	0,3750	1

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.4. Selección de sistema de transmisión

3.2.4.1. Criterios de valoración

Los criterios con los que se aplicara el método ordinal corregido de criterios ponderados, son los siguientes:

- **Fiabilidad:** El sistema tiene que tener la menor perdida de potencia, asegurando que se tenga la capacidad de triturar materiales de distinta dureza. Debe ser seguro y compacto.
- **Facilidad de diseño y construcción:** Ser simple en estructura, pero cumpliendo las prestaciones del modelo.
- **Costos:** Garantizar un correcto funcionamiento y seguridad a un bajo costo.
- **Versatilidad:** El sistema de transmisión debe ser de fácil mantenimiento, y adaptable a posibles mejoras.

3.2.4.2. Soluciones

Las soluciones planteadas para el sistema de transmisión se presentan en la tabla 17-3.

Tabla 17-3 Soluciones para sistema de transmisión de potencia.

N	SOLUCIÓN	ACRÓNIMO	FOTO
1	Sistema de transmisión de correa y polea	STCP	
2	Sistema de transmisión de cadena	STCC	

3	Sistema de transmisión motorreductor	STMR	
---	--------------------------------------	------	--

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.4.3. Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración.

La justificación de la regla de relación de peso es la siguiente: Se determinó como de mayor importancia la fiabilidad, ya que se busca que cumpla con su función, sin importarnos tanto la versatilidad, diseño y el costo. Pero en relación al diseño se buscará que sea lo más simple posible. Siendo el costo lo menos importante.

Tabla 18-3 Evaluación de grado de importancia de criterios de valoración – STP.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN						
RELACIÓN DE PESO:	Fiabilidad > Versatilidad > Diseño > Costo					
	Fiabilidad	Diseño	Costo	Versatilidad	SUMA +1	Ponderación
Fiabilidad		1	1	1	4	0,4000
Diseño	0		1	0	2	0,2000
Costo	0	0		0	1	0,1000
Versatilidad	0	1	1		3	0,3000
TOTAL					10	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.4.4. Evaluación de soluciones en relación a la fiabilidad.

En relación a la fiabilidad el sistema de transmisión más confiable es el de transmisión por reductor mecánico (STMR). Aunque sus pérdidas de potencia son mayores, soporta mejor las cargas y la fricción. Los otros sistemas se consideran menos confiables, por tener un elemento de transmisión susceptible a roturas y desgaste.

Tabla 19-3 Evaluación de soluciones de STP, en relación a su fiabilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE FIABILIDAD					
RELACIÓN DE PESO:	STMR > STCC > STCP				
	STCP	STCC	STMR	SUMA +1	Ponderación
STCP		0	0	1	0,1667
STCC	1		0	2	0,3333
STMR	1	1		3	0,5000
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

3.2.4.5. *Evaluación de soluciones en relación a la facilidad de diseño y construcción.*

En razón de la facilidad de diseño y construcción, se estableció como el más simple a la transmisión por reductor mecánico de velocidad, por ser prefabricados y requerir únicamente adecuaciones para su instalación. Los otros sistemas requieren de la fabricación de poleas y ruedas dentadas.

Tabla 20-3 Evaluación de soluciones STP, en relación a la facilidad de diseño.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE DISEÑO					
RELACIÓN DE PESO:	STMR > STCP > STCC				
	STCP	STCC	STMR	SUMA +1	Ponderación
STCP		1	0	2	0,3333
STCC	0		0	1	0,1667
STMR	1	1		3	0,5000
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

3.2.4.6. *Evaluación de soluciones en relación al costo de fabricación.*

En este punto el sistema de transmisión por reductor mecánico está en desventaja, ya que es muy costoso dependiendo de tamaños, potencias y marcas. Esto si se compara con los sistemas de transmisión por correa y cadena (STCP y STCC), que son muchísimo más baratos.

Tabla 21-3 Evaluación de soluciones de STP, en relación al costo.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE COSTO (MENOR)					
RELACIÓN DE PESO:	STCP > STCC > STMR				
	STCP	STCC	STMR	SUMA +1	Ponderación
STCP		1	1	3	0,5000
STCC	0		1	2	0,3333
STMR	0	0		1	0,1667
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.4.7. *Evaluación de soluciones en relación su versatilidad.*

Por su versatilidad el sistema de transmisión por reductor mecánico se ubica en primer lugar. Ya que dependiendo de la necesidad se puede adaptar en cualquier posición y con distintas configuraciones de transmisión. A diferencia de los sistemas de correa y cadena que son prácticamente inalterables una vez instalados.

Tabla 22-3 Evaluación de soluciones de STP, en relación a su versatilidad.

EVALUACIÓN PESO ESPECÍFICO DE VERSATILIDAD					
RELACIÓN DE PESO:	STMR > STCP == STCC				
	STCP	STCC	STMR	SUMA +1	Ponderación
STCP		0,5	0	1,5	0,2500
STCC	0,5		0	1,5	0,2500
STMR	1	1		3	0,5000
			TOTAL	6	1,0000

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.4.8. *Evaluación general de soluciones.*

En la evaluación general se obtiene que el sistema de transmisión con mayor prioridad es el que tiene un reductor mecánico. Pero esto no quiere decir que no se pueda en el proceso de construcción cambiar a otro sistema. Las cosas pueden cambiar dependiendo de distintos factores como: la disponibilidad de reductores mecánicos adecuados en el mercado o el presupuesto.

Tabla 23-3 Evaluación general de soluciones de STP.

EVALUACIÓN GENERAL DE SOLUCIONES						
	Fiabilidad	Diseño	Costo	Versatilidad	SUMA	Prioridad
STCP	0,0667	0,0667	0,0500	0,0750	0,2583	3
STCC	0,1333	0,0333	0,0333	0,0750	0,2750	2
STMR	0,2000	0,1000	0,0167	0,1500	0,4667	1

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.5. Estructura del equipo

3.2.5.1. Volumen total ocupado por la base del equipo

Se calcula el volumen total que ocupa el equipo, como información necesaria para su instalación.

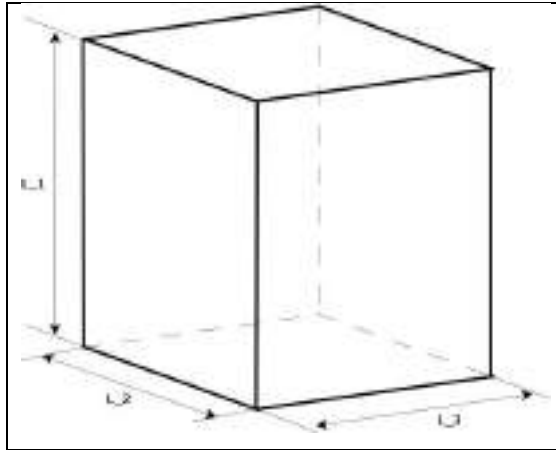


Figura 4-3 Esquema con cotas para el cálculo de volumen total.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

$$V_b = L_1 * L_2 * L_3$$

Ecuación 1

$$V_b = \frac{(639 * 495 * 790)}{1000^3} = 0,2499 \text{ m}^3$$

$$A_t = \frac{2(L_1L_2 + L_1L_3 + L_2L_3)}{1000^2}$$

Ecuación 2

$$A_t = \frac{2(639 * 495 + 639 * 790 + 495 * 790)}{1000^2} = 2,4243 \text{ m}^2$$

Donde:

V_b Volumen total referencia de base. [m^3]

L_1 Altura de la base. [mm]

L_2 Ancho de la base. [mm]

L_3 Profundidad de la base. [mm]

3.2.5.2. División de secciones de la base

La base está dividida en dos plataformas: una sujeta el motor eléctrico (la inferior) y la superior sujeta el reductor. En la figura 5-3, se muestra las secciones y el volumen vacío de la base.

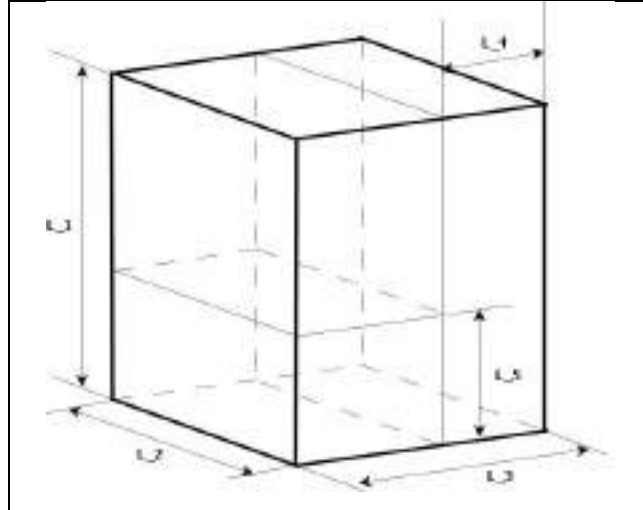


Figura 5-3 Esquema de división de las secciones de la base del reductor.

Realizado por: Janeta B.& Vizuite E., 2018

$$V_{op} = V_b - ((L_1 - L_5)(L_3 - L_4)L_2) = V_b - V_v \quad \text{Ecuación 3}$$

$$V_{op} = 0,2499 - \frac{((639 - 350)(790 - 390,5) \cdot 495)}{1000^3} = 0,1927 \text{ m}^3$$

$$10^2 A_{op} = (L_2 L_4) + 2\{(L_1 L_3) - [(L_3 - L_4)(L_1 - L_5)]\} + [(L_1 - L_5)L_2] + [(L_3 - L_4)L_2] + L_5 L_2 + L_2 L_3 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$A_{op} = \frac{(495 \cdot 390,5) + 2\{(639 \cdot 790) - [(790 - 390,5)(639 - 350)]\} + [(639 - 350) \cdot 495]}{1000^2} = 1.8771 \text{ m}^2$$

$$A_{si} = L_2 L_3 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$A_{si} = (495 \cdot 790) = 0,3911 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{op} Volumen operativo de base. [m^3]

A_{op} Superficie operativa de la base. [m^2]

A_{si} Superficie de la base inferior [m^2]

L_4 Ancho de sección superior. [mm]

L_5 Altura de sección inferior. [mm]

V_v Volumen vacío de la base. [m^3]

3.2.5.3. Cálculo de volumen de triturador

Volumen del triturador, que está compuesto de la caja de cuchillas y la tolva. En la figura 6-3, podemos observar un esquema del volumen total del triturador con sus cotas.

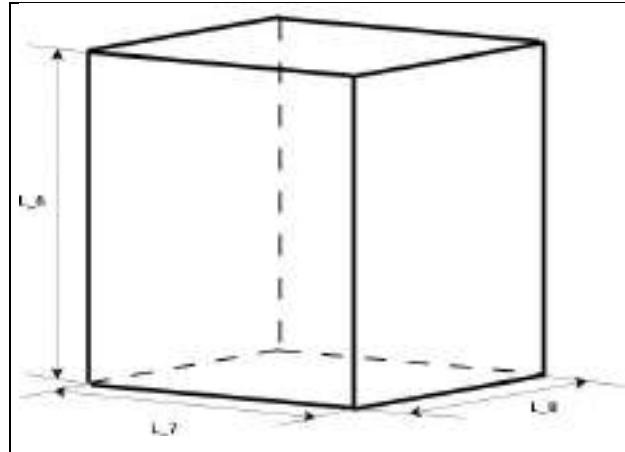


Figura 6-3 Esquema general del volumen de triturador (tolva + caja de cuchillas).

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

$$V_{tr} = L_6 L_7 L_8$$

Ecuación 6

$$V_{tr} = (398 \cdot 260 \cdot 172) = 0,0178 \text{ m}^3$$

$$A_{tr} = \frac{2(L_6 L_7 + L_6 L_8 + L_7 L_8)}{1000^2}$$

Ecuación 7

$$A_{tr} = \frac{2(398 \cdot 260 + 398 \cdot 172 + 260 \cdot 172)}{1000^2} = 0,4333 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{tr} Volumen operativo de base. [m^3]

A_{tr} Superficie total del reductor [m^2]

L_6 Altura de triturador. [mm]

L_7 Ancho de triturador. [mm]

L_8 Profundidad de triturador. [mm]

3.2.5.4. División de secciones del triturador – caja de cuchillas

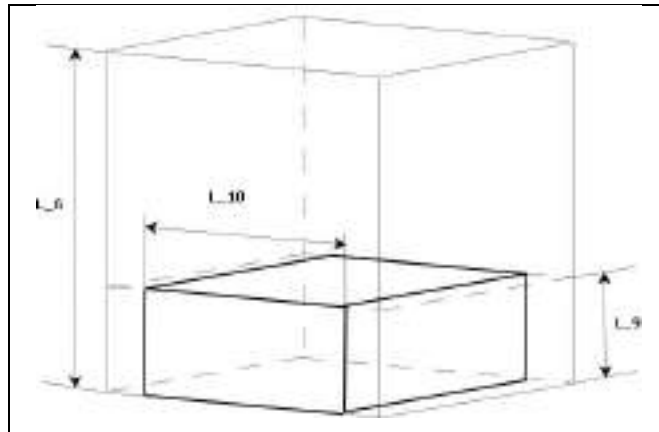


Figura 7-3 Esquema con cotas de sección de caja de cuchillas.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

$$V_{cc} = \frac{L_{10}L_9L_8}{1000^3}$$

Ecuación 8

$$V_{cc} = \frac{(200 \cdot 100 \cdot 172)}{1000^3} = 0,0034 \text{ m}^3$$

$$A_{cc} = \frac{2(L_{10}L_9 + L_8L_9 + L_{10}L_8)}{1000^2}$$

Ecuación 9

$$A_{cc} = \frac{2(100 \cdot 200 + 172 \cdot 100 + 200 \cdot 172)}{1000^2} = 0,1432 \text{ m}^2$$

Donde:

V_r Volumen operativo de base. [m^3]

L_9 Altura de caja de cuchillas. [mm]

L_{10} Ancho de caja de cuchillas. [mm]

L_8 Profundidad de triturador. [mm]

3.2.5.5. División de secciones del triturador – tolva

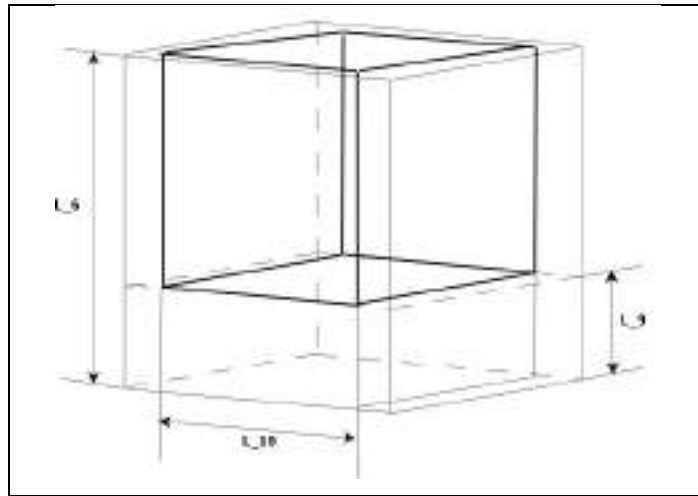


Figura 8-3 Esquema con cotas de sección de tolva.
Realizado por: Janeta B.& Vizuetete E., 2018

$$V_{tv} = \frac{(L_6 - L_9)L_{10}L_8}{1000^3}$$

Ecuación 10

$$V_{tv} = \frac{(398 - 100) \cdot 200 \cdot 172}{1000^3} = 0,0103 \text{ m}^3$$

$$A_{tv} = \frac{2((L_6 - L_9)L_{10} + (L_6 - L_9)L_8 + L_{10}L_8)}{1000^2}$$

Ecuación 11

$$A_{tv} = \frac{2((398 - 100) \cdot 200 + (398 - 100) \cdot 172 + 200 \cdot 172)}{1000^2} = 0,2905 \text{ m}^2$$

Donde:

V_{tv} Volumen total de tolva. [m^3]

A_{tv} Superficie total de tolva. [m^2]

L_9 Altura de caja de cuchillas. [mm]

L_{10} Ancho de caja de cuchillas. [mm]

L_8 Profundidad de triturador. [mm]

3.2.5.6. Diseño de cuchilla

Geometría

Las cuchillas siguen una geometría radial, con un orificio rectangular en el centro acorde con la geometría de los ejes que las portaran. Se les cortaran tres dientes a las cuchillas con un largo igual a dos veces el espesor de las cuchillas. El lado del orificio cuadrado (L_d) tiene una dimensión de 20 mm, el diámetro externo de la cuchilla (ϕ_{ce}) será de 70mm y el diámetro de corte (ϕ_{cce}) de 58mm. El material a usarse para las cuchillas es un acero inoxidable AISI 441C, el cual tiene un límite de elasticidad de 689,00 MPa.

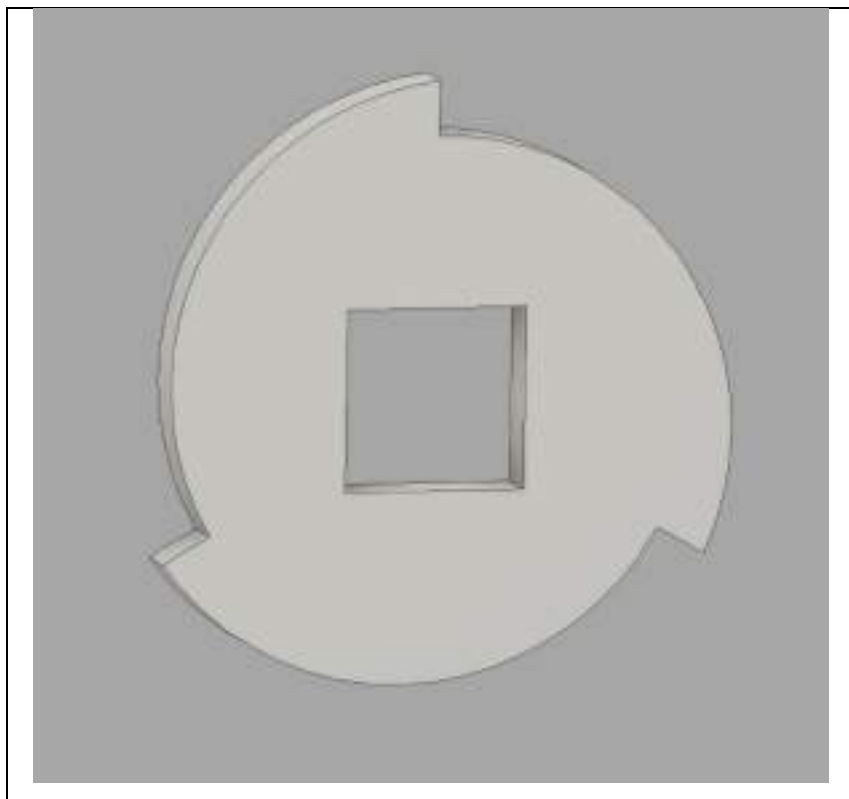


Figura 9-3 Geometría de las cuchillas.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

Fuerza de corte

Para continuar con el diseño se requiere saber la cantidad de fuerza requerida para cortar el material de interés. En nuestro caso son las botellas de plástico PET, del cual debemos encontrar el valor de su propiedad de resistencia a la rotura. Algunos almanaques de propiedades mecánicas de materiales señalan que la resistencia a la rotura del plástico tipo PET se encuentra en un rango de 7,85 a 8,65 MPa. Tomando esto en cuenta, y que el espesor del plástico en una botella es de aproximadamente 1mm, y tomando en cuenta que se aplastaran las botellas antes de ingresar al

triturador. Estimaremos el espesor del material en 3 ms. La fuerza que deberá transmitir la cuchilla para cortar el plástico viene dada por la siguiente expresión:

$$F_c = \tau A_c = \tau e_c e_p \quad \text{Ecuación 12}$$
$$F_c = \tau A_c = (8,65 \times 10^6)(0,06)(0,03) = 1557 \text{ N}$$

Donde:

- F_c Fuerza de corte de material [N]
- τ Resistencia del material a la rotura. [MPa]
- A_c Área de corte del material. [m^2]
- e_c Espesor de cuchillas. [m]
- e_p Espesor de material. [m]

Análisis estático de las cuchillas

Usando la herramienta informática para diseño y modelado 3D, Autodesk Inventor 2018, licencia de estudiante procedimos a analizar la resistencia del material seleccionado a razón de la fuerza que deben soportar las aristas de los dientes de las cuchillas. Esta parte de las cuchillas estarán sometidas a estrés, originado en el proceso de corte.

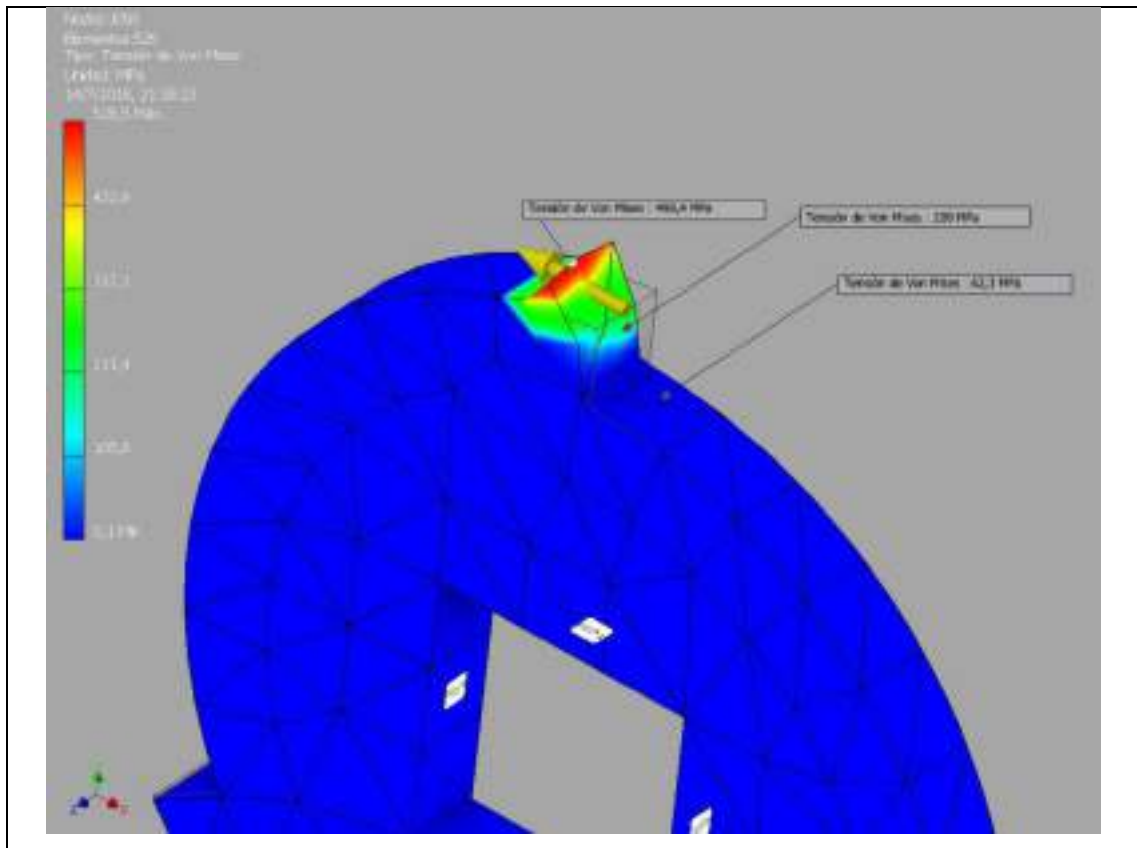


Figura 10-3 Análisis de tensión de Von Mises de la cuchilla para respuesta elástica del material, frente proceso de corte. (Autodesk Inventor 2018)

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

En la Figura 10-3, se observa el resultado de la simulación del proceso de corte. Donde se aplicó en la arista del diente de la cuchilla una fuerza de 1557 N, en la dirección que muestra la flecha amarilla. Además, se insertó restricciones de posición estática a las paredes del orificio cuadrado, de esta forma se representa el empuje del eje sobre la cuchilla, en el momento justo del choque entre el filo o arista y el material a cortar. La tensión de Von Mises máxima es de 498,8 MPa y la mínima de 0,1 MPa, el valor máximo se encuentra bajo el límite de resistencia elástica del acero AISI inoxidable 440C, habilitando el diseño de las cuchillas.

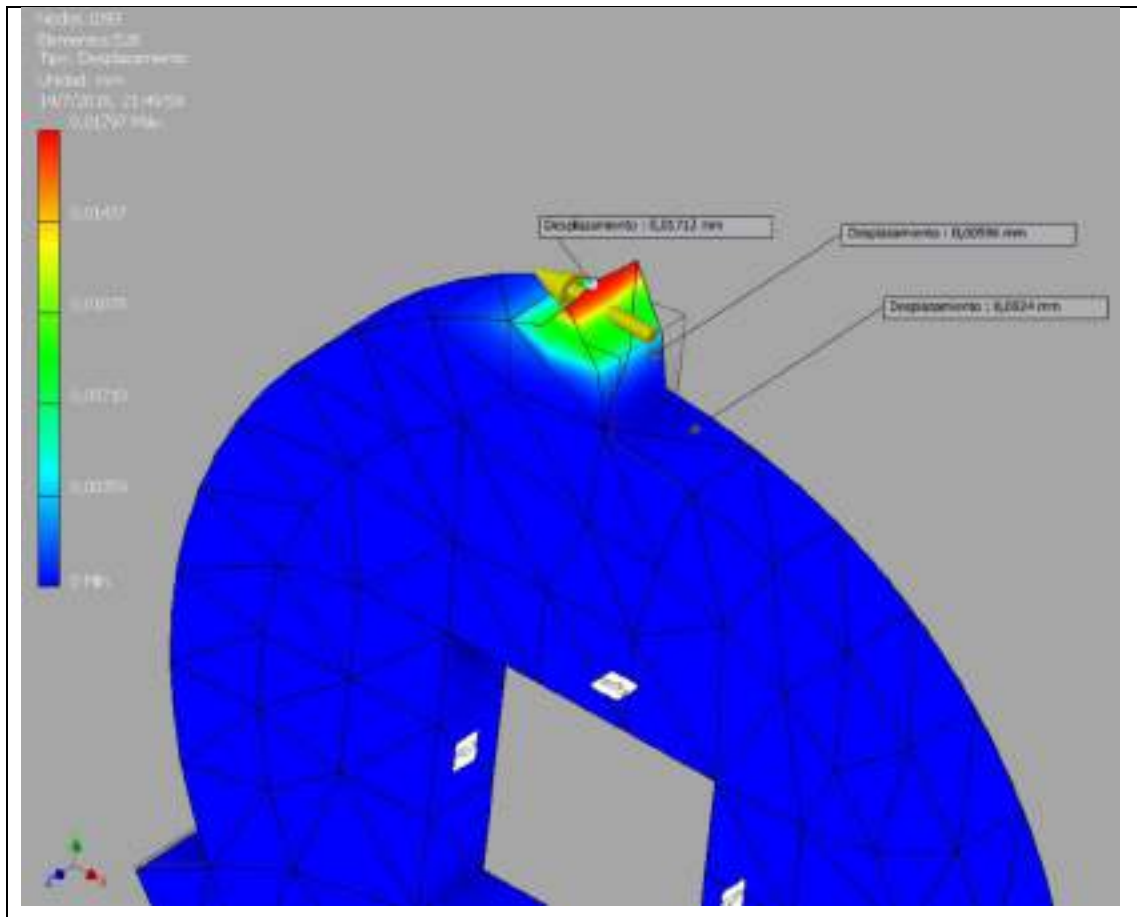


Figura 11-3 Análisis de desplazamiento o deformación de la cuchilla para respuesta elástica del material, frente proceso de corte. (Autodesk Inventor 2018)

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

El desplazamiento del material frente al proceso de corte, aplicando una fuerza 1557N necesaria para cortar botellas PET, es en un valor máximo de 0,01712mm. Siendo un desplazamiento de desgaste considerable, aunque no es crítico, define que con el continuo uso puede generar deformación en el filo de las cuchillas.

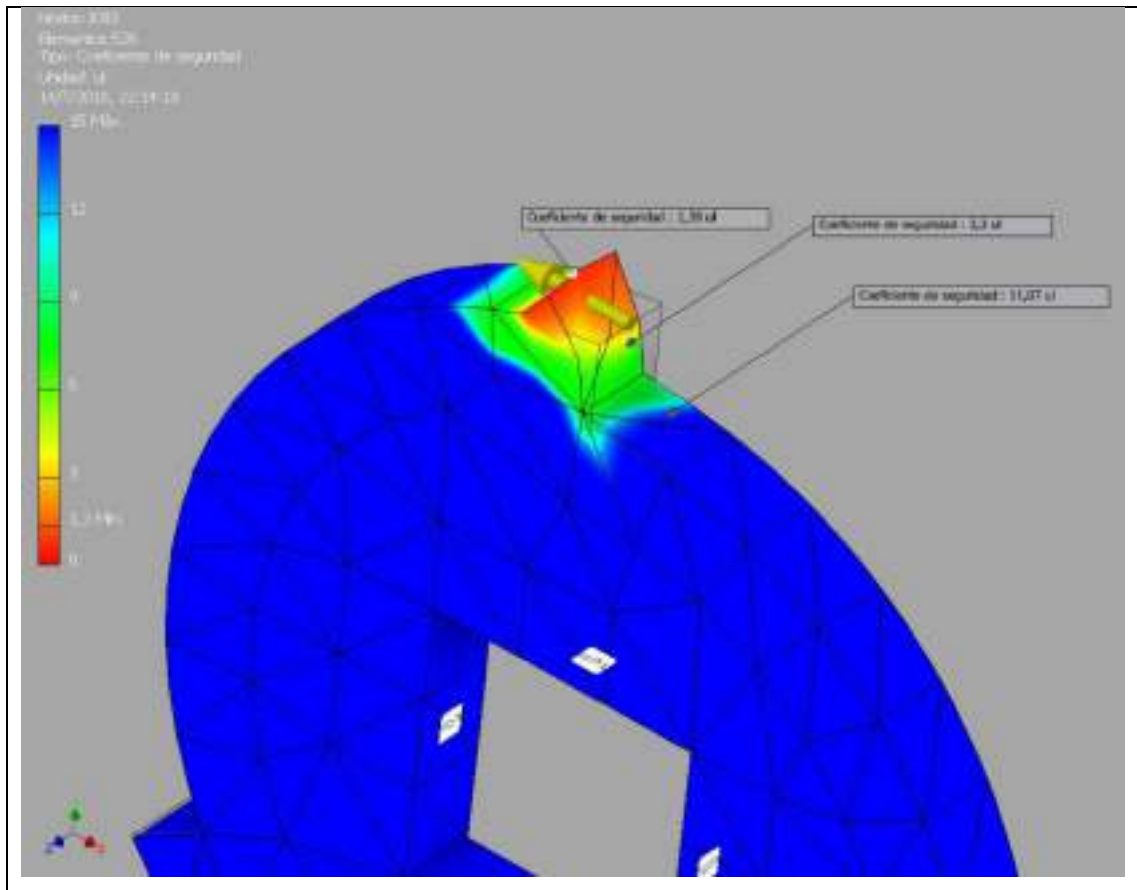


Figura 12-3 Análisis del factor de seguridad de la cuchilla para la respuesta elástica del material, frente proceso de corte. (Autodesk Inventor 2018)

Realizado por: Janeta B.& Vizúete E., 2018

En el caso del análisis del factor de seguridad se muestra como mínimo el valor de 1,3 siendo aceptable, pero muestra la necesidad de realizar un tratamiento térmico al material para obtener una mejor resistencia al proceso de corte. Este valor suele ser el valor típico en la fabricación de piezas de alto rendimiento, y tomando en cuenta que el material a cortar es plástico, un material no muy duro, con una resistencia a la rotura de 8,65 MPa, decidimos no ser tan rigurosos en favor de reducir el coste total del equipo.

3.2.5.7. *Diseño de los ejes del sistema de corte*

Para realizar el diseño de ambos ejes el eje conductor y el conducido, se tiene que realizar el análisis estático de las fuerzas y momentos que actúan sobre la estructura de los ejes. Los dos ejes son simétricos y se encuentran conectados por dos engranajes rectos de similares dimensiones. El diseño de los engranajes se discutirá en posteriores secciones de este trabajo.

Elementos

Los elementos que conforman el sistema de corte a parte de los ejes, son: los engranajes, separadores, cuchillas y los rodamientos sobre los que estarán montados lo ejes, como punto de apoyo. Cada uno debe ser dimensionado de tal forma que soporten las cargas del sistema en el momento del cortar el material. La división en secciones del eje se muestran la Figura 13-3, para ello se estableció la convención de utilizar el símbolo (L_e) y luego en secuencia colocarles un número.

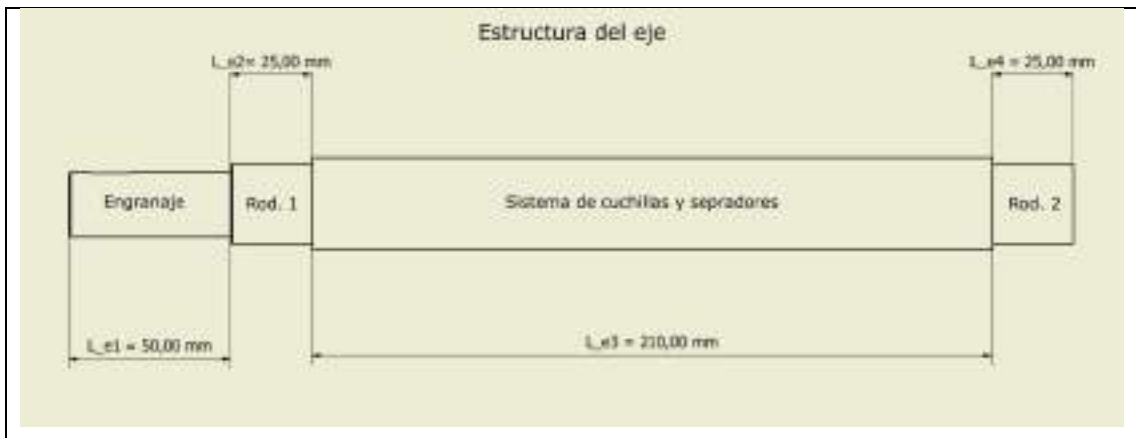


Figura 13-3 Secciones que conforman los ejes del sistema de corte. (Autodesk Inventor 2018)

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

Calculo de fuerzas sobre el eje

Lo primero que se debe calcular es el peso del propio eje, el cual es una fuerza normal a superficie horizontal del eje. Para ello usaremos la siguiente expresión, para las secciones circulares y cuadradas:

$$W_e = \underbrace{\left(\frac{\pi \rho_e g}{4} \sum_{i=1}^n n_{ei} \phi_i^2 L_{ei} \right)}_{Circular} + \underbrace{\left(\rho_e g \sum_{j=1}^m n_{ej} L_j^2 L_{ej} \right)}_{Cuadrada} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$W_e = \left\{ \frac{\pi(7750)(9,81)}{4} [(1 \times 0,020^2 \times 0,050) + (2 \times 0,024^2 \times 0,025)] \right\} + [(7750)(9,81)(0,02828)^2(0,21)] = 15,68 \text{ N}$$

Donde:

W_e Fuerza de corte de material [N]

n_{ei} Numero de secciones iguales en el eje. [unidad]

- ρ_e Densidad del material de construcción (7750 kg/m³) [kg/m³]
- ϕ_i Diámetro de la sección i del eje. [m]
- L_{ei} Longitud de sección i del eje. [m]
- L_{ec} Longitud lado de sección cuadrada del eje [m]
- L_{e3} Longitud de sección cuadrada en el eje [m]
- g Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²) [m]

El valor aproximado por Autodesk Inventor para el peso del eje fue de 15,7744 N, siendo el valor calculado bastante aproximado. Ahora es hora de calcular el torque aplicado por el sistema de transmisión, que deriva de la cantidad de potencia necesaria para cortar el material. Valor que fue calculado en la sección de diseño de las cuchillas. Para ello requerimos el radio de corte de las cuchillas el número de cuchillas y el número de ejes que tendrán que ser movidos, todo expresado en la siguiente ecuación:

$$T_{cT} = n_{ca} n_e F_c \frac{\phi_{cce}}{2} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$T_{cT} = (7)(2)(1557)(0,029) = 632,142 \text{ Nm}$$

Donde:

- T_{cT} Momento o torque comunicado por la transmisión [Nm]
- n_{ca} Numero de cuchillas activas durante corte. [unidad]
- n_e Numero de ejes instalados en el equipo (2) [kg/m³]
- $\frac{\phi_{cce}}{2}$ Radio de corte de la cuchilla. [m]

Necesitamos calcular el valor del peso de las cuchillas y los separadores, para establecerlos como una carga distribuida rectangular. Para ello usaremos la siguiente expresión:

$$W_{cs} = \rho g \left[n_c e_c \left(\frac{\pi \phi_{ce}^2}{4} - L_d^2 \right) + n_s e_s \left(\frac{\pi \phi_{se}^2}{4} - L_d^2 \right) \right] \quad \text{Ecuación 15}$$

$$W_{cs} = (7750)(9,81) \left[15 \times 0,06 \left(\frac{\pi(0,07)^2}{4} - (0,02828)^2 \right) + 15 \right. \\ \left. \times 0,08 \left(\frac{\pi(0,04)^2}{4} - (0,02828)^2 \right) \right] = 250,21 \text{ N}$$

Donde:

- W_{cs} Peso del sistema de corte (cuchillas/separadores). [N]

- n_c, n_s Número de cuchillas y separadores respectivamente, instalados. [unidad]
- e_c, e_s Espesor de cuchillas y separadores respectivamente. [m]
- ϕ_{ce}, ϕ_{cs} Diámetros externos de cuchillas y separadores respectivamente. [m]

Ahora calculamos la fuerza distribuida por el peso de las cuchillas (F'_{cs}) en la sección donde se insertan las cuchillas y los separadores. Para ello dividimos el peso calculado para el sistema cuchillas y separadores para la longitud de la sección.

$$F'_{cs} = \frac{W_{cs}}{L_{e3}} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$F'_{cs} = \frac{250,21}{0,21} = 1191,48 \text{ N/m}$$

De la misma manera se determina la fuerza distribuida por el peso del eje (F'_e), usando una expresión similar a la ecuación 16.

$$F'_e = \frac{W_e}{L_e} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$F'_e = \frac{15,68}{0,31} = 50,58 \text{ N/m}$$

Dimensionamiento de engranes

Para saber la forma en la que las fuerzas son distribuidas en el proceso de transmisión del momento desde el motor. Debemos calcular las dimensiones de los engranajes que permitirán transmitir el momento del eje conductor al conducido. A continuación, se presentan una tabla con los resultados del dimensionamiento de los engranes.

Tabla 24-3 Dimensiones del engrane conductor.

ENGRANE CONDUCTOR (Normalizado)			
Dimensión	Símbolo	Valor	Unidades
Circunferencia primitiva	d_1	70	[mm]
Número de dientes	z_1	35	[diente]
Paso del diente (perfil normalizado)	p_1	6,2832	[mm/diente]
Módulo (perfil normalizado)	m_1	2,0000	[ADIM]
Paso diametral (perfil normalizado)	dp_1	12,7000	[diente/in]
Adendo o altura de cabeza (perfil normalizado)	ha_1	2,0000	[mm]
Dedendo o altura de pie (perfil normalizado)	hf_1	2,5000	[mm]

Altura total de diente (perfil normalizado)	h_1	4,5000	[mm]
Tolerancia (perfil normalizado)	c_1	0,5000	[mm]
Altura de trabajo o activa (perfil normalizado)	h_{w1}	4,0000	[mm]
Espesor de diente (perfil normalizado)	s_1	3,1416	[mm]
Espacio o hueco entre dientes (perfil normalizado)	e_1	3,1416	[mm]
Circunferencia de cabeza (perfil normalizado)	R_{a1}	72,0000	[mm]
Circunferencia de pie (perfil normalizado)	R_{f1}	67,5000	[mm]
Circunferencia de tolerancia o base (perfil normalizado)	R_{b1}	68,0000	[mm]
Angulo de presión (perfil normalizado)	α_1	13,7291	[Grados]

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

Tabla 25-3 Dimensiones del engrane conducido.

ENGRANE CONDUcido (Normalizado)			
Dimensión	Símbolo	Valor	Unidades
Circunferencia primitiva	d_2	62	[mm]
Número de dientes	z_2	31	[diente]
Paso del diente (perfil normalizado)	p_2	6,2832	[mm/diente]
Módulo (perfil normalizado)	m_2	2,0000	[ADIM]
Paso diametral (perfil normalizado)	dp_2	12,7000	[diente/in]
Adendo o altura de cabeza (perfil normalizado)	ha_2	2,0000	[mm]
Dedendo o altura de pie (perfil normalizado)	hf_2	2,5000	[mm]
Altura total de diente (perfil normalizado)	h_2	4,5000	[mm]
Tolerancia (perfil normalizado)	c_2	0,5000	[mm]
Altura de trabajo o activa (perfil normalizado)	h_{w2}	4,0000	[mm]
Espesor de diente (perfil normalizado)	s_2	3,1416	[mm]
Espacio o hueco entre dientes (perfil normalizado)	e_2	3,1416	[mm]
Circunferencia de cabeza (perfil normalizado)	R_{a2}	64,0000	[mm]
Circunferencia de pie (perfil normalizado)	R_{f2}	59,5000	[mm]
Circunferencia de tolerancia o base (perfil normalizado)	R_{b2}	60,0000	[mm]
Angulo de presión (perfil normalizado)	α_2	14,5926	[Grados]

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

Los engranes no son perfectamente iguales, esto se debe a que la base donde se va a montar el equipo cuenta con un limitado espacio (base reutilizada del equipo anterior). Este reducido espacio no permitió construir cuchillas con una mejor proporción, y fruto de normalizar las dimensiones de las cuchillas el sistema de transmisión, en específico los engranes, no pueden tener un índice de reducción igual a la unidad, tras cálculo se determina que se tiene un índice de reducción de 0,88.

La fuerza transmitida por el engranaje (F_{en}), se calcula con los datos de las tablas de diseño del engrane conductor y la siguiente expresión:

$$F_{en} = \frac{T_{cT}}{d_1 + d_2} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$F_{en} = \frac{632,14}{0,1320} = 4788,93 \text{ N}$$

Ahora debemos calcular la fuerza radial del engranaje y sus componentes. Para ello, necesitamos el ángulo de presión de los engranajes que es de 15° .

$$F_{ren} = F_{en} \tan(\alpha) \quad \text{Ecuación 19}$$

$$F_{ren} = 4788,93 \tan(15) = 1283,19 \text{ N}$$

Se sabe que las cuchillas tienen un ángulo de corte de $\beta = 45^\circ$, esto iguala las componentes de la fuerza transmitida.

$$F_{cz} = F_{cy} = F_c \text{sen}(\beta) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$F_{cz} = F_{cy} = 1557 * \text{sen}(45) = 1100,97 \text{ N}$$

3.2.5.8. *Diseño de ejes conductor y conducido*

En esta parte del trabajo introducimos el procedimiento de diseño del sistema de ejes paralelos, apoyados en una premisa: los ejes son simétricos y idénticos. Por ello, si diseñamos el eje conductor, las mismas dimensiones se aplicarán al eje conducido. Lo primero es realizar un análisis sobre las fuerzas actuantes sobre los planos xz e xy, siendo el eje x paralelo al eje. Tras el análisis de las fuerzas actuantes, el resultado de los diagramas de fuerzas en los planos mencionados se muestra en las figuras 14-3 y 15-4. Todo esto en relación al eje conductor, ya que es igual al eje conducido y este sufre la mayor parte de las cargas del sistema de corte. Este transfiere mediante engranajes el momento al eje conductor, recibe las cargas por el corte de las cuchillas del eje conducido, aparte de soportar su propio peso y de todas las cuchillas y separadores montados sobre él. En el plano xz, se observan cargas de igual magnitud, pero de diferente sentido, esto se debe a que las cargas hacia abajo, pertenecen a las cuchillas con las que corta el eje. Las cargas hacia arriba, son las cargas ejercidas sobre el eje por las cuchillas del otro eje (conducido). En el plano xy, se toma en cuenta las cargas de las cuchillas del eje conductor y conducido; todas tienen el mismo sentido hacia abajo, por el sentido de giro de las cuchillas de

ambos ejes, más las cargas por el peso de todos los separadores ($F'cs$) y el peso del mismo eje ($F'e$), estas se representan como cargas distribuidas rectangulares.

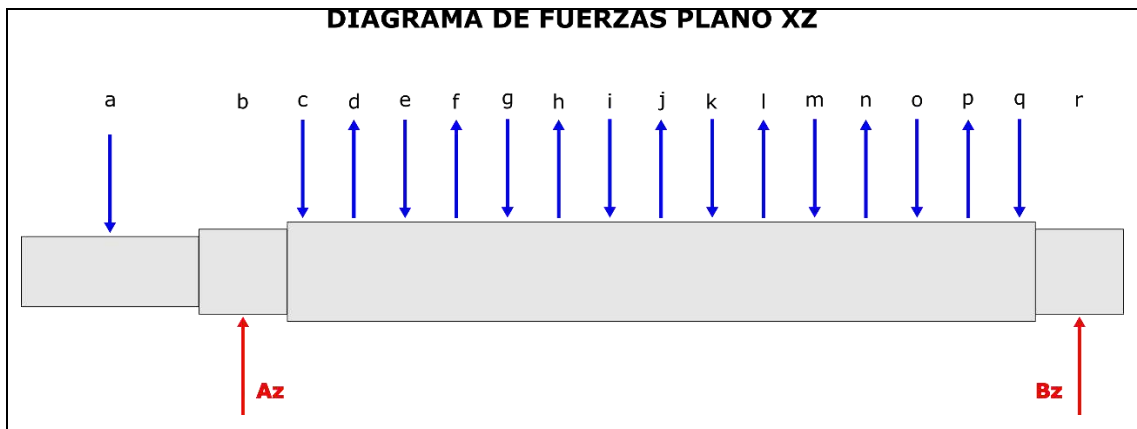


Figura 14-3 Diagrama de fuerzas distribuidas en el plano XZ, del eje conductor.
Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

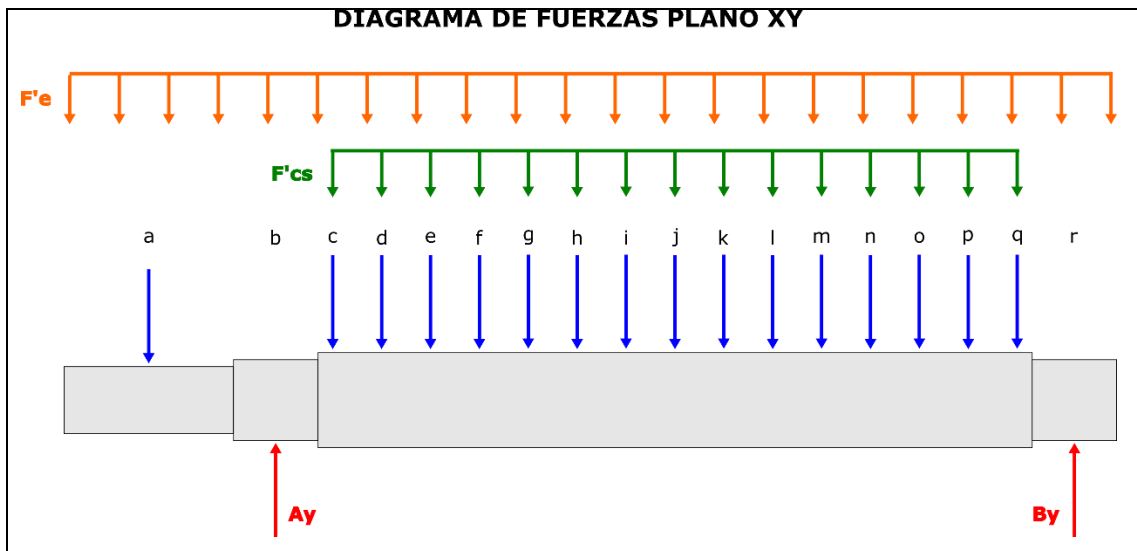


Figura 15-3 Diagrama de fuerzas distribuidas en el plano XY, del eje conductor.
Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

En los diagramas de distribución de fuerzas para ambos planos, se denota la posición del punto donde se aplican las cargas con letras minúsculas. La posición de la carga en el punto a, es igual a la mitad de la longitud de la sección de engranajes (25 mm), la posición del apoyo A (reacción Ay) es igual a la mitad de la longitud de la sección del rodamiento más la longitud de la sección de engranajes ($50 + 12,5 = 62,5$ mm), igualmente para el apoyo B (reacción By) es igual a la suma de las secciones previas más la mitad de la longitud de la sección del segundo rodamiento ($50+25+210+12,5=297,5$ mm). Para el caso de la posición de las cargas desde la “c” hasta la “q”, se requiere las siguientes ecuaciones:

$$x_c = (L_{e1} + L_{e2}) + \left(\frac{2n-1}{2}\right)e_c + (n-1)e_s \quad \text{Ecuación 21}$$

$$x_s = (L_{e1} + L_{e2}) + \left(\frac{2n-1}{2}\right)e_s + ne_c \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

- x_c, x_s Posición de la cuchilla n de eje conductor y conducido, respectivamente. [mm]
- n Numero de cuchilla de eje conductor o conducido. [unidad]
- e_c, e_s Espesor de cuchillas y separadores respectivamente. [mm]
- L_{e1}, L_{e2} Longitudes de sección 1 (engranes) y 2 (primer rodamiento) del eje conductor. [mm]

Usando las ecuaciones 21 y 22, de forma alternada se encuentran las posiciones de las cuchillas de los dos ejes. El resultado se muestra en la tabla:

Tabla 26-3 Posiciones de las cargas por las cuchillas del eje conductor y conducido.

Punto	x (mm)
a	25,00
c	78,00
d	99,00
e	106,00
f	127,00
g	134,00
h	155,00
i	162,00
j	183,00
k	190,00
l	211,00
m	218,00
n	239,00
o	246,00
p	267,00
q	274,00
r	297,50

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

Ahora vienen, más matemáticas y física, una vez se tiene las posiciones es hora de realizar el análisis estático de las cargas sobre el eje en los dos planos. Para eso tenemos que obtener las ecuaciones que nos permitirán obtener las reacciones en los apoyos (A y B), y luego el esfuerzo cortante y el momento flector en cualquier posición dentro de la longitud del eje. Para ello,

llegamos a la conclusión de que hacer un análisis profundo nos permitiría obtener las ecuaciones generales para cualquier sistema con cargas puntuales y dos apoyos, y convertir el procedimiento en un algoritmo computacional que dé con los argumentos y parámetros necesarios resuelvan de pocos pasos el tedioso cálculo manual. Bueno, manos a la obra.

Lo primero es definir qué información se requiere para todos los cálculos manuales: se requiere la magnitud de las cargas (P) que debe estar en [N], la posición en relación al origen de coordenadas (extremo izquierdo del eje) que debe estar en [mm], la dirección de esta en relación al centro del eje (hacia arriba y hacia abajo), las posiciones de los soportes en [mm] y la convención de signos usada para el sentido positivo de las fuerzas y momentos. Por defecto, las fuerzas que van hacia arriba y los momentos que generen movimiento en sentido antihorario se toman como positivas.

Si definimos una matriz “mF” que contenga la información de: carga, posición y dirección. Esta tendría 3 columnas y n-esimas filas dependiendo de la cantidad de fuerzas puntuales a tratar. A su vez, definimos un vector de dos filas “mS” como el que contendrá las posiciones de los apoyos. Y un vector C_s de dos columnas como el que contendrá la información de la convención de signos para fuerzas y momentos. Si planteamos el balance de fuerzas y momentos (referencia apoyo A) obtendríamos lo siguiente:

$$B = \frac{1}{(x_B - x_A)} \sum_{i=1}^n P_i d_i (x_i - x_A) \quad \text{Ecuación 23}$$

$$A = \left(\sum_{i=1}^n P_i d_i \right) - B \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

- A, B Reacciones en los apoyos A y B. [N]
- x_A, x_B Posiciones de los apoyos A y B en el eje. [mm]
- P_i, d_i Magnitud y dirección la carga i que actúa sobre el eje. [N], (1 o -1)
- x_i Posición de la carga i sobre el eje. [mm]

Para las ecuaciones del esfuerzo cortante y el momento flector, se requiere del uso de funciones discontinuas (*singularity function*), que me permiten descartar términos cuando la condición de encontrarse bajo el rango de posición, se descartan para la evaluación de la ecuación. Realizando el análisis de esfuerzo cortante y momento flector obtenemos las siguientes ecuaciones.

$$V = \left(\sum_{i=1}^n P_i d_i \langle x - x_i \rangle^0 C_s^F \right) + A d_A^+ \langle x_A - x_i \rangle^0 C_s^F + B d_B^+ \langle x_B - x_i \rangle^0 C_s^F \quad \text{Ecuación 25}$$

$$M = \left(\sum_{i=1}^n P_i d_i \langle x - x_i \rangle^1 C_s^M \right) + A d_A^+ \langle x_A - x_i \rangle^1 C_s^M + B d_B^+ \langle x_B - x_i \rangle^1 C_s^M \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

- A, B Reacciones en los apoyos A y B. [N]
- x_A, x_B Posiciones de los apoyos A y B en el eje. [mm]
- P_i, d_i Magnitud y dirección la carga i que actúa sobre el eje. [N], (1 o -1)
- x_i Posición de la carga i sobre el eje. [mm]
- x Posición de evaluación de esfuerzo cortante o momento flector. [mm]
- d_A^+, d_B^+ Dirección de las reacciones de los apoyos A y B (siempre son positivas).
- C_s^F, C_s^M Operador de convención de signos, dependiendo de la convención pueden tomar valores de 1 o -1.

Es momento de convertir estas ecuaciones en código en este caso usaremos VBA, dentro de Excel. Lo primero es reconocer que las partes de sumatorios corresponde a bucles y usando la nomenclatura de matrices y vectores presentados anteriormente, se programan dos funciones “rx_support” y “vm_analysis”. La primera función resuelve las ecuaciones 23 y 24, mientras que la segunda resuelve las cuatro ecuaciones: 23,24,25 y 26, para una posición “x” que se encuentre dentro de la longitud del eje. Sin más vueltas el código se presenta en las ilustraciones 10.3 y 11.3.

Ahora viene explicar el código que se observa en la Figura 10.3. En la línea 1 se declara la función con el nombre “rx_support” con argumentos: la matriz de propiedades de las cargas “mF” y “mS” un vector con las posiciones de los soportes. En las líneas 6 y 7, se declaran variables que contendrán datos de forma intermedia (ps1, ps2 y rsolve). En las líneas 9 y 10, se inicializa en 0 las variables de presuma (ps1, ps2). EN las líneas 12 al 15, se inicia un ciclo “for” para resolver la parte de sumatorios de la ecuación 23 y 24. En las líneas de código 17 y 18, Se calcula y almacena la información en un vector rsolve, los correspondientes a las reacciones en el soporte B y A.

```

1  Function rx_support(mF, mS) As Variant
2
3  ' Calcula las reacciones de dos puntos de apoyo (A, B) para una viga
4  ' bajo acción de cargas, cuyas propiedades estan definidas en mF.
5
6  Dim ps1, ps2 As Double
7  Dim rsolve(1)
8
9  ps1 = 0
10 ps2 = 0
11
12 For i = 1 To UBound(mF.Value2, 1) ' Bucle de cargas puntuales
13     ps1 = ps1 + mF(i, 1) * (mF(i, 2) - mS(1)) * mF(i, 3)
14     ps2 = ps2 + mF(i, 1) * mF(i, 3)
15 Next i
16
17 rsolve(0) = (1 / (mS(1) - mS(2))) * ps1 'Reacción en B
18 rsolve(1) = -(ps2 + rsolve(0))         'Reacción en A
19
20 rx_support = rsolve
21
22 End Function

```

Figura 16-3 Código en VBA de la función “rx_support” para Excel.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

Explicaremos de igual forma el código que se muestra en la Figura 16-3, que corresponde al código de la función “vm_analysis”. En la línea 1, se declara la función con el nombre “vm_analysis” y se establece como parámetros: “x”, “mF”, “mS” y “fcs”. “x” es la posición de evaluación del esfuerzo cortante y momento flector; “mF” es una matriz con las propiedades: magnitud, posición y dirección de las cargas. En “mS” contiene los datos de las posiciones de los soportes del sistema. Y “fcs” es el indicador numérico del tipo de convención de signos para las fuerzas y momentos. En las líneas 6 a 8, se declaran variables requeridas para las sumas parciales (ps1, ps2), el vector que contendrá los resultados (rsolve) y “cs” que contendrá el código de convención de signos. En las líneas 10 a 30, se encuentra código de asignación de variables. Entre las líneas 33 a 37, se encuentra el bucle para el cálculo de la sumatoria de la ecuación 25 y 26, con el comportamiento que tienen las funciones de discontinuidad, en las líneas de 41 a 51 se agrega el esfuerzo y el momento de las reacciones de los apoyos. En las líneas 53 y 54, se asigna los resultados de esfuerzo cortante y momento flector, al vector “rsolve” de resultados.

```

1  Function vm_analysis(x, mF, mS, fcs)
2
3  ' Calcula el esfuerzo cortante y el momento flector para un punto x
4  ' dado, que se encuentre dentro de la longitud de la viga o eje.
5
6  Dim ps1, ps2 As Double
7  Dim ssolve As Variant
8  Dim cs(1), rsolve(1) As Double
9
10 ps1 = 0
11 ps2 = 0
12
13 ssolve = rx_support(mF, mS) 'Calculo reacciones A y B
14
15 Select Case fcs 'Convención de signos
16 Case 0
17     cs(0) = 1
18     cs(1) = 1
19 Case 1
20     cs(0) = -1
21     cs(1) = 1
22 Case 2
23     cs(0) = -1
24     cs(1) = -1
25 Case 3
26     cs(0) = 1
27     cs(1) = -1
28 Case Else
29     MsgBox "Índice no válido"
30 End Select
31
32 ' Calculo de cargas puntuales
33 For i = 1 To UBound(mF.Value2, 1)
34     If (x - mF(i, 2)) >= 0 Then
35         ps1 = ps1 + mF(i, 1) * mF(i, 3) * cs(0)
36         ps2 = ps2 + mF(i, 1) * (x - mF(i, 2)) * mF(i, 3) * cs(1)
37     End If
38 Next i
39
40 ' Reacción de apoyo A
41 If (x - mS(1)) >= 0 Then
42     ps1 = ps1 + ssolve(1) * cs(0)
43     ps2 = ps2 + ssolve(1) * (x - mS(1)) * cs(1)
44 End If
45
46 ' Reacción de apoyo B
47 If (x - mS(2)) >= 0 Then
48     ps1 = ps1 + ssolve(0) * cs(0)
49     ps2 = ps2 + ssolve(0) * (x - mS(2)) * cs(1)
50 End If
51
52 rsolve(0) = -ps1 ' Esfuerzo cortante en x [N]
53 rsolve(1) = ps2 ' Momento flector en x [N mm]
54
55 vm_analysis = rsolve
56
57 End Function
58

```

Figura 17-3 Código en VBA de la función “vm_analysis” para Excel.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

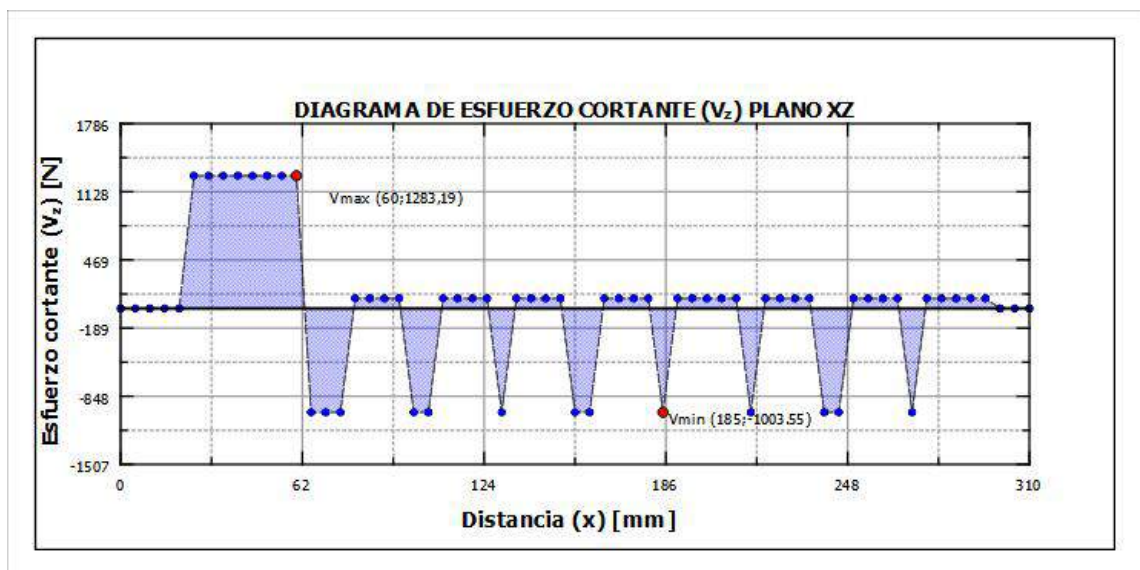
Ahora queda, aplicar las funciones. Para ello, vamos a presentar los datos que se asignaran como parámetros para el análisis en cada plano. Para ello presentamos en las siguientes tablas los valores utilizados.

Tabla 27-3 Datos introducidos en la función “rx_support” y “vm_analysis”, para plano XZ.

Punto	P	x (mm)	d
a	1283,19	25,00	-1
c	1100,97	78,00	-1
d	1100,97	99,00	1
e	1100,97	106,00	-1
f	1100,97	127,00	1
g	1100,97	134,00	-1
h	1100,97	155,00	1
i	1100,97	162,00	-1
j	1100,97	183,00	1
k	1100,97	190,00	-1
l	1100,97	211,00	1
m	1100,97	218,00	-1
n	1100,97	239,00	1
o	1100,97	246,00	-1
p	1100,97	267,00	1
q	1100,97	274,00	-1
A	--	62,50	1
B	--	297,50	1

Realizado por: Janeta B. & Vizuet E., 2018

Los resultados obtenidos del análisis se muestran en la figura 18-3, donde se muestran el diagrama del momento flector y esfuerzo cortante del eje en el plano XZ. De esto se puede obtener que el esfuerzo cortante máximo es igual a 1283,19 N, y un momento flector máximo de 2191,88 Nmm.



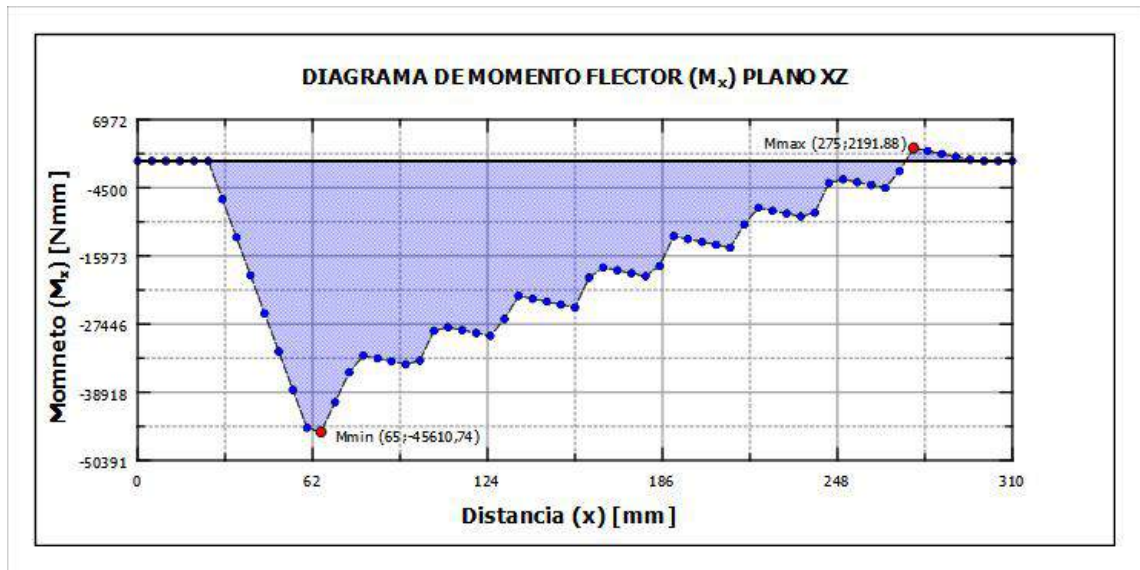


Figura 18-3 Diagrama de a) momento flector para el plano XZ y b) Diagrama del esfuerzo cortante para el plano XZ del eje.

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

Para el caso del análisis de las cargas en el plano XY, la información necesaria para el análisis de esfuerzos cortantes y momentos flectores para el plano indicado.

Tabla 28-3 Datos introducidos en la función “rx_support” y “vm_analysis”, para plano XY.

n	P	x (mm)	d
a	4788,93	25,00	-1
c	1100,97	78,00	-1
d	1100,97	99,00	-1
e	1100,97	106,00	-1
f	1100,97	127,00	-1
g	1100,97	134,00	-1
h	1100,97	155,00	-1
i	1100,97	162,00	-1
j	1100,97	183,00	-1
k	1100,97	190,00	-1
l	1100,97	211,00	-1
m	1100,97	218,00	-1
n	1100,97	239,00	-1
o	1100,97	246,00	-1
p	1100,97	267,00	-1
q	1100,97	274,00	-1
s	250,2108	180,00	-1
t	15,6798	155,00	-1
A	--	62,50	1
B	--	297,50	1

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

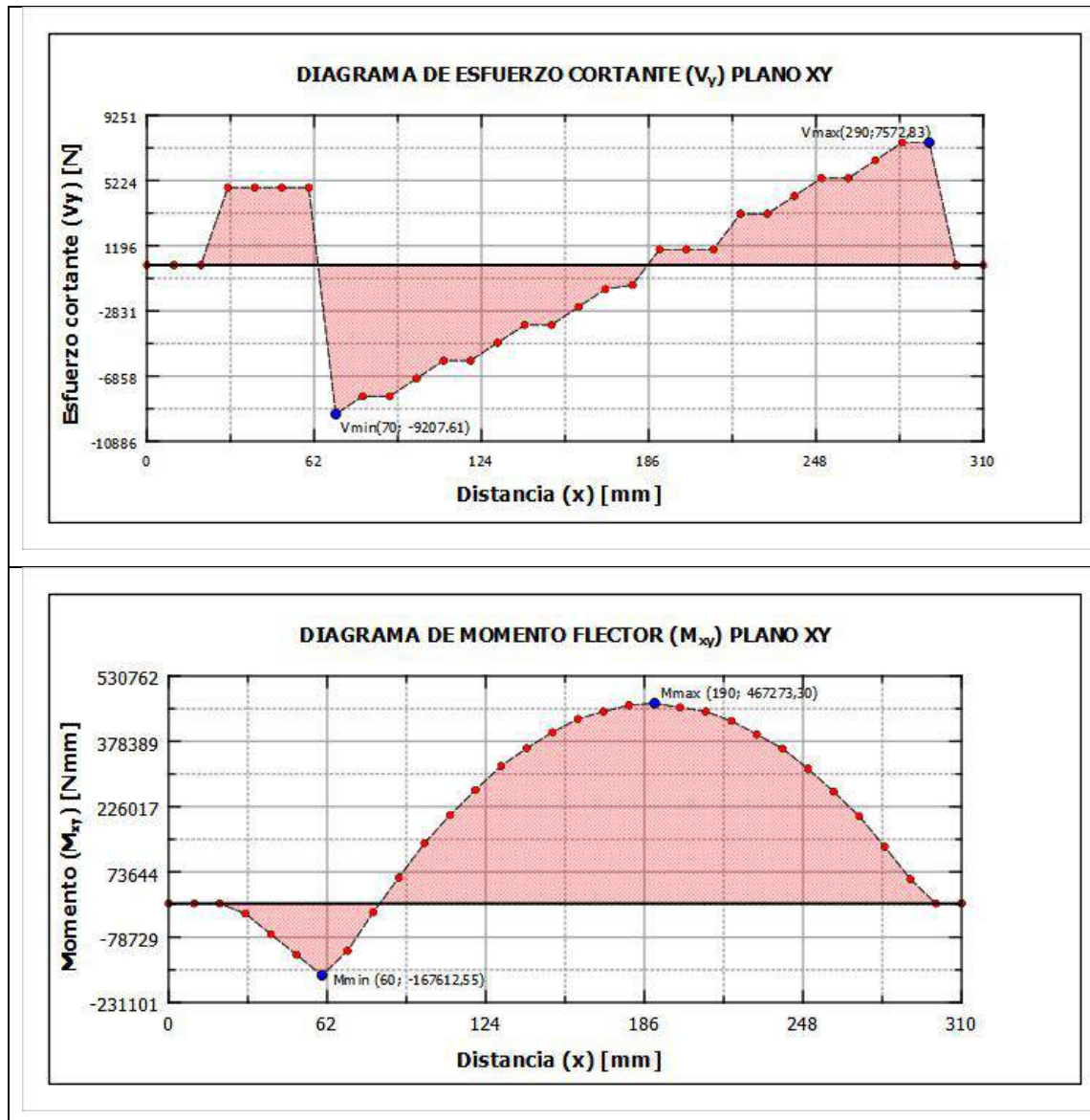


Figura 19-3 Diagrama de a) momento flector para el plano XY y b) Diagrama del esfuerzo cortante para el plano XY del eje.

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018

En la Figura 19-3, se observa los diagramas con los resultados del análisis del esfuerzo cortante y momento flector. Siendo el momento flector máximo igual a 467273,30 Nmm o 476,273 Nmm.

Diámetro del eje

El cálculo del diámetro del eje se realizó por medio de teoría de distorsión, este cálculo lo realizó el ingeniero mecánico que fabricaría las piezas obteniéndose un valor de 20 mm, para la sección de rodamientos y 23 mm para la sección de cuchillas. Al final para la sección de rodamiento de utilizo un diámetro de 24 mm y para la sección de las cuchillas un diámetro de 28 mm. Asegurando la resistencia del eje.

3.2.5.9. Estructura final de pletina frontal

Las dimensiones de la placa frontal se encuentran en los planos adjuntos. No se plantean ecuaciones que relacionen las dimensiones. Todo depende de las condiciones del diseño. En la figura de 20-3, se observa los esquemas lateral y frontal de la pletina frontal.

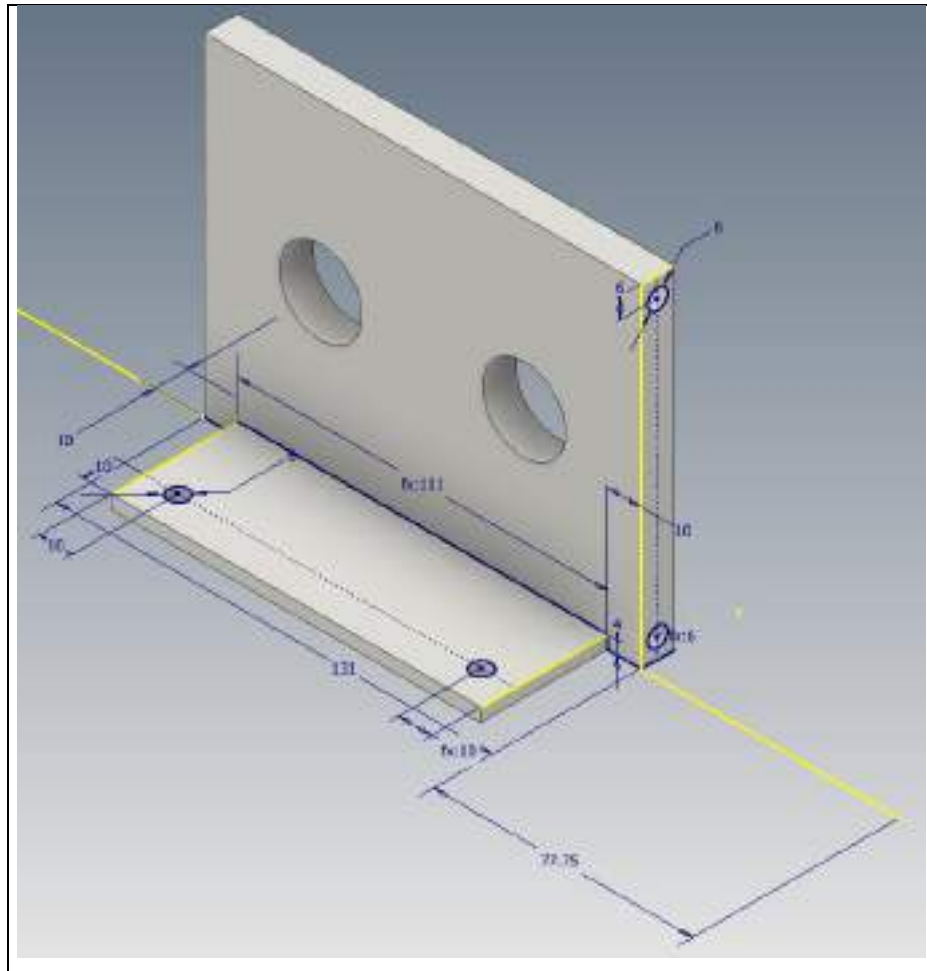


Figura 20-3 Esquemas con cotas de pletina frontal, vista lateral.

Realizado por: Janeta B. & Vizúete E., 2018

3.2.5.10. Estructura final la pletina lateral

Las dimensiones de la pletina lateral se encuentran en los planos adjuntos. No se plantean ecuaciones que relacionen las dimensiones. Todo depende de las condiciones del diseño, el esquema con cotas de la pletina lateral se observa en la Figura 21-3.

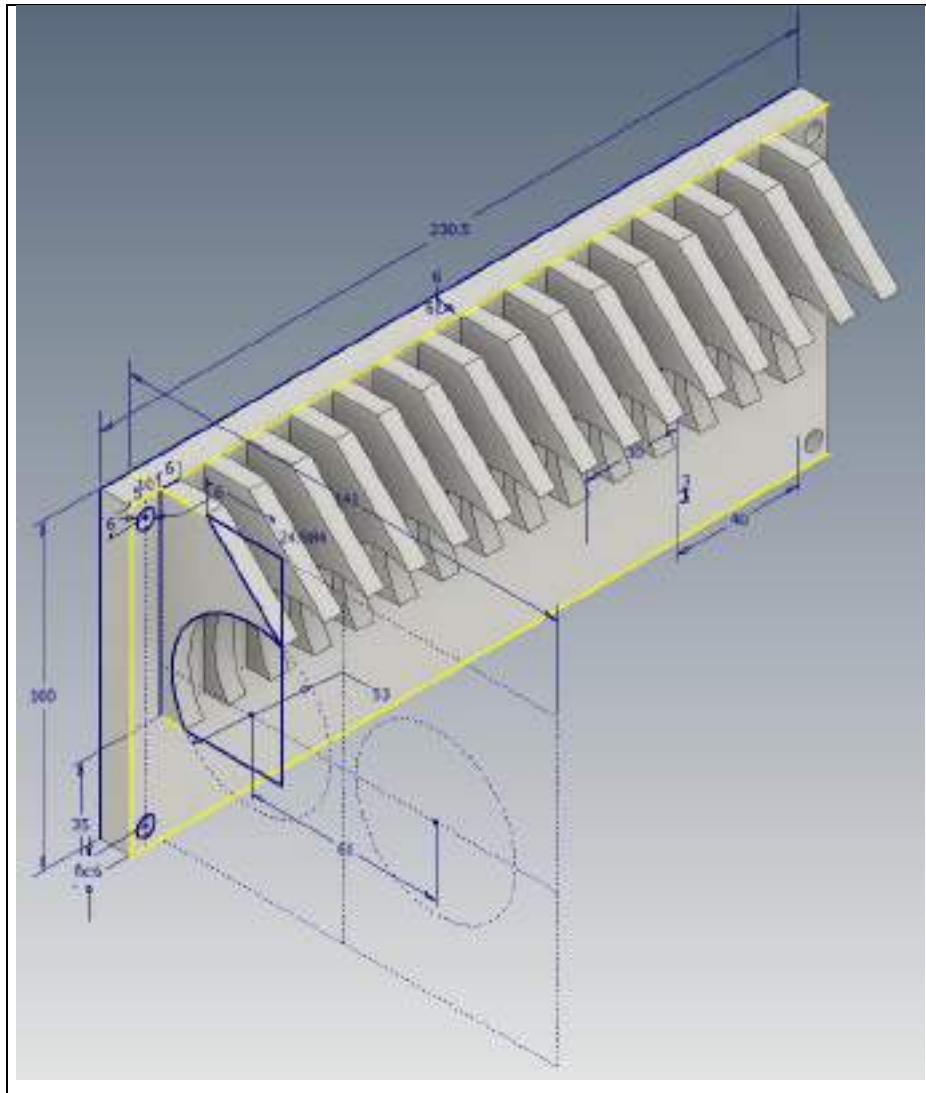


Figura 21-3 Esquemas con cotas de pletina lateral, vista lateral.

Realizado por: Janeta B.& Vizuet E., 2018

3.2.5.11. Estructura final de sistema eje-cuchilla-separador

Se diseña un sistema de 14 cuchillas y 14 separadores, con un eje cuadrado. Como se muestra en la figura 22-3.

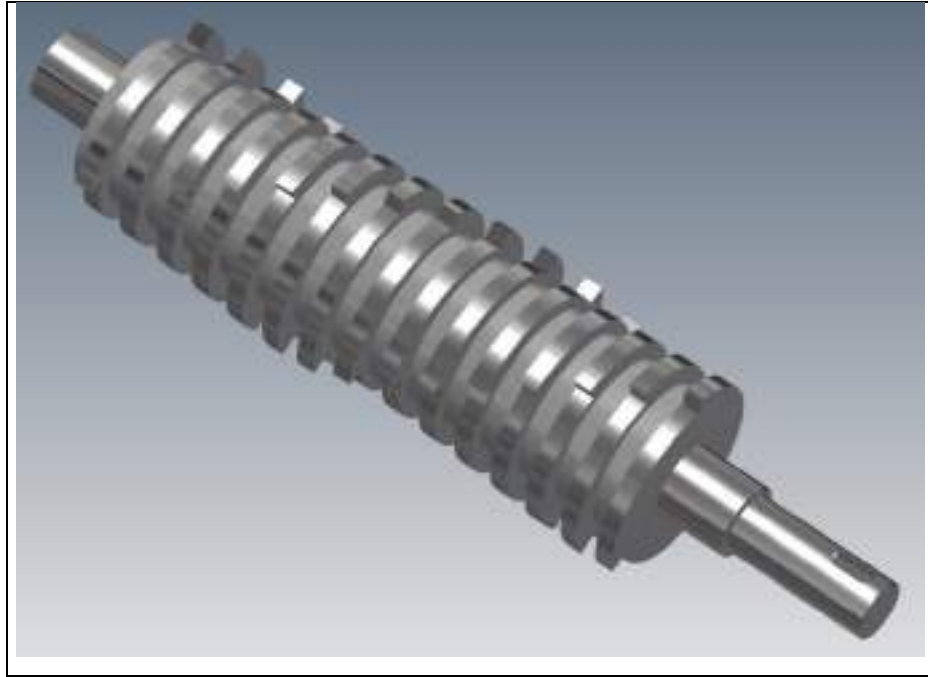


Figura 22-3 Esquema con cotas y marcas de sistema eje-cuchilla-separadores.

Realizado por: Janeta B.& Vizuite E., 2018

3.2.5.12. Estructura final de eje

Los cálculos de diseño del eje no se presentan por haber sido realizados por un ingeniero mecánico, para asegurar su confiabilidad. En la Figura 23-3, se observa el esquema con cotas tanto en vista frontal y lateral del eje.

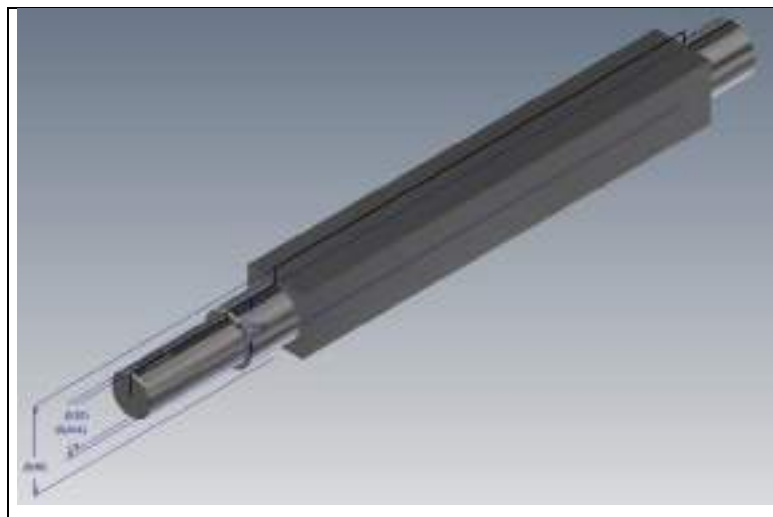


Figura 23-3 Esquema con cotas del eje del sistema eje-cuchilla-separador.

Realizado por: Janeta B.& Vizuite E., 2018

3.2.5.13. Estructura final de cuchillas y separadores

Los cálculos de diseño de las cuchillas no se presentan por haber sido realizados por un ingeniero mecánico, para asegurar su confiabilidad. En la Figura 23-3, se observa el esquema con cotas tanto en vista frontal y lateral de las cuchillas.

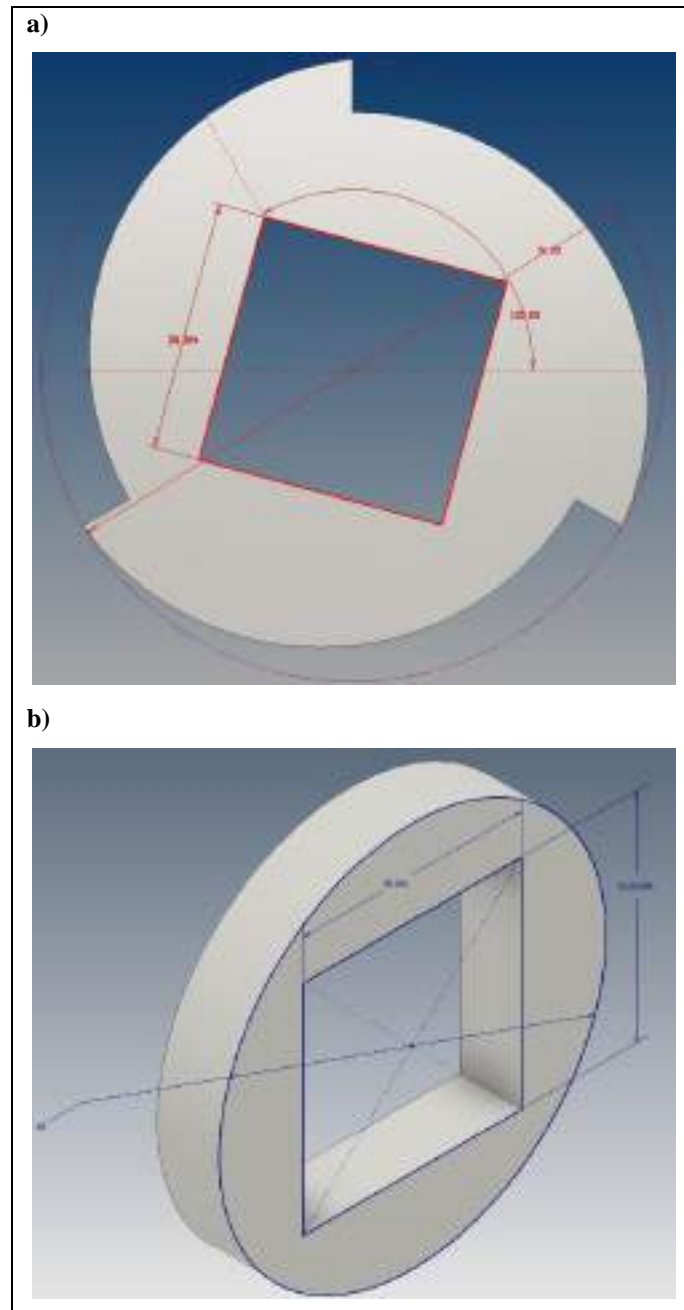


Figura 24-3 Esquemas con cotas de cuchillas y separadores: a) Cuchillas y b) Separadores.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.2.5.14. Diseño de tolva

La tolva se diseñó para garantizar la seguridad del operario, se tomó parte de la estructura de la tolva anterior, y se la modificó para ser de menor tamaño. La entrada permite el ingreso de botellas previamente aplastadas. Para evitar el atasco de las botellas al ingresar al sistema de corte, se instalaron varillas de direccionamiento que orientan la botella de forma lateral para que la superficie de contacto sea la mayor posible.

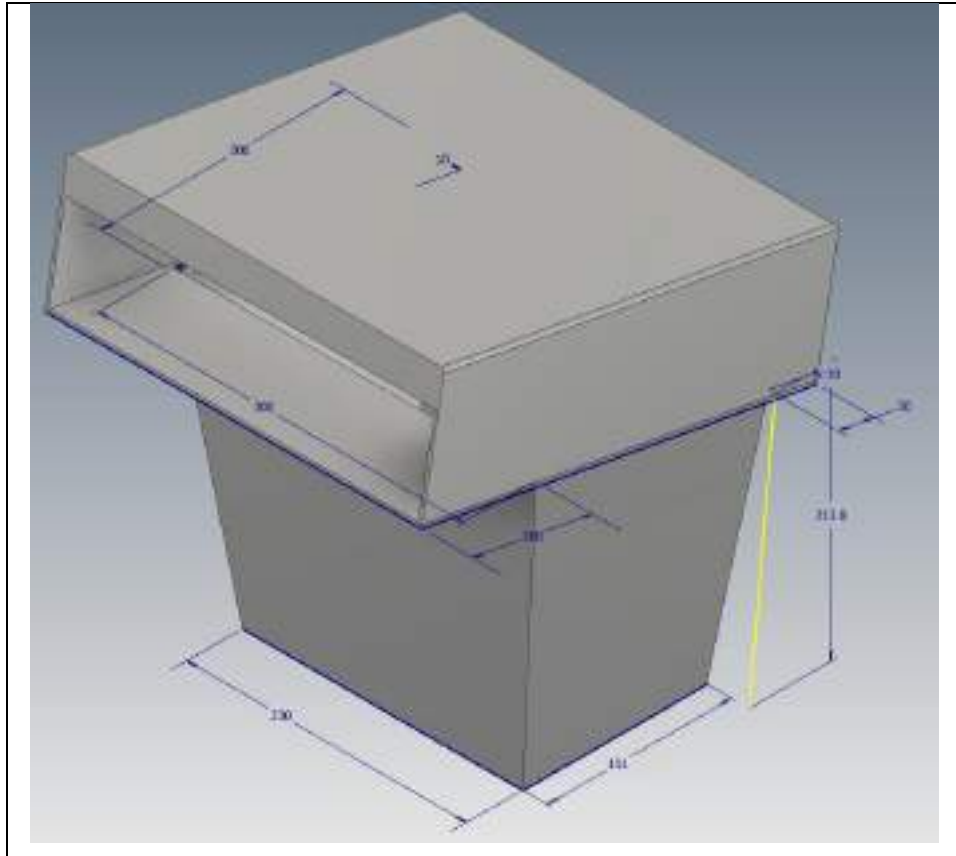


Figura 25-3 Esquemas con cotas de tolva.

Realizado por: Janeta B. & Vizúete E., 2018

3.2.5.15. Esquema del sistema de control

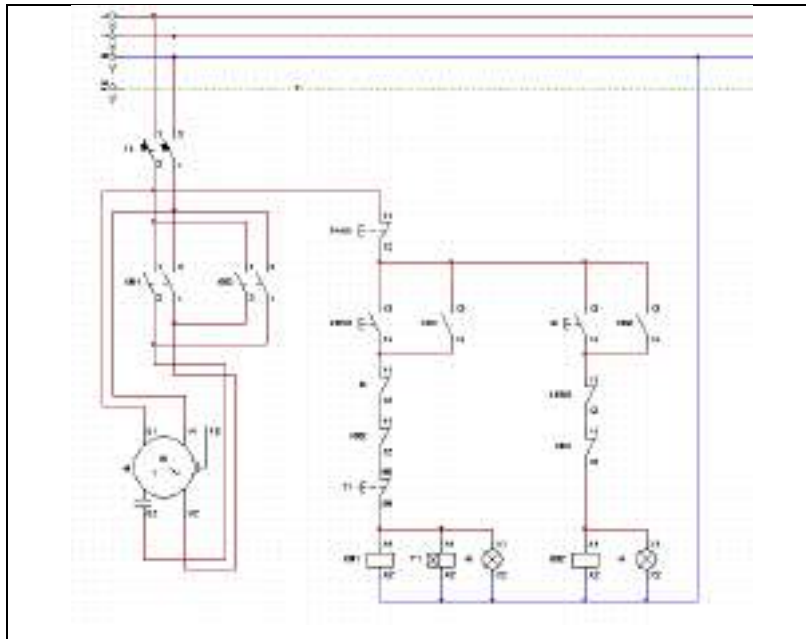


Figura 26-3 Diagrama del sistema de control, del equipo triturador PET.

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E., 2018.

3.2.6. Esquema final del equipo

El equipo reductor de botellas plásticas, consta de cinco partes que son: base del equipo, tolva, sistema de corte, sistema de transmisión y el sistema de control. La base será reutilizada, las otras partes ya se seleccionaron mediante métodos de diseño. El sistema de control será diseñado por un ingeniero electrónico.



Figura 27-3 Estructura general propuesta para el equipo.
Realizado por: Janeta B.& Vizueté E., 2018

En la figura 26-3, se observa la estructura general propuesta para el equipo reductor de botellas plásticas. En él se observa las partes constituyentes: Sistema de corte de dos ejes sin cuchillas estáticas, tolva rectangular asimétrica y el sistema de transmisión de potencia con reductor mecánico. No está contemplado el sistema de control.

3.2.7. Procedimientos de operación

Los procedimientos a tener en cuenta serán detallados en los manuales, que se entregarán junto con el equipo. En este documento se presenta una lista de los procedimientos que se aplicarán equipo el equipo, véase la tabla

Tabla 29-3 Procedimientos necesarios para operación del equipo.

PROCEDIMIENTO	MANUAL
Encendido y apagado del equipo	Manual de operación
Triturado de materiales	Manual de operación
Des atascamiento de sistema de corte	Manual de operación
Configuración de sistema de control	Manual de operación
Mejora de triturado	Manual de operación
Verificación de conexión eléctrica	Manual de mantenimiento
Verificación de estado de cuchillas	Manual de mantenimiento
Consejos de seguridad	Manual de operación

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.3. Proceso productivo

Tabla 30-3 Descripción del proceso de producción de material triturado a partir de residuos PET.

Proceso	Detalle	Sección	Responsable
Corte de pico y cola de botellas	Se corta con la guillotina del equipo a la altura de la boca y la base de plástico grueso de la botella.	Pretratamiento	Operario
Aplastamiento de botella	Se aplasta manualmente el restante de la botella.	Pretratamiento	Operario
Triturar la botella en el equipo	Ingresar el material previamente aplasta por la tolva del equipo.	Trituración	Operario
Retiro de material triturado	En la deposito inferior una vez pasa el material por las cuchillas, se	Trituración	Operario

	almacena el material triturado. Se debe retirar una vez se haya terminado la trituración.		
Limpieza del equipo	Una pequeña cantidad del material triturado se mantienen entre las cuchillas y las paredes, se debe retirar para evitar atascos en próximas operaciones.	mantenimiento	Operario

Realizado por: Janeta B.& Vizuite E., 2018

3.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Tabla 31-3 Herramientas necesarias para el diseño y construcción del reductor PET.

CUADRO DE HEERAMIENTAS	
Herramientas	Descripción
Mecánicas	
Herramientas de medida	Comprenden: calibradores, flexómetros, balanzas, termómetros, detectores infrarrojos, etc. Dependiendo de las necesidades se usarán otros equipos de medición.
Herramientas de análisis de granulometría	Para medir se usarán tamices, mallas, coladores. La selección depende de las características buscadas para el producto de reducción de tamaño.
Herramientas para maquinar metal	Estas herramientas serian usadas por el mecánico encargado de consumir las piezas, necesarias para el rediseño. Tronos, fresadoras, cortadoras de plasma.
Herramientas de soldadura	Estas herramientas serán usadas por el mecánico encargado de construir las piezas, necesarias para el rediseño. Ejemplos: soldadura Blaster, soldadura mecánica, etc.
Herramientas de ajuste de juntas	Estas herramientas serán usadas por el mecánico encargado de construir las piezas, necesarias para el rediseño. Ejemplos: llaves, universales, destornilladores, grapadoras.

Virtuales	
Herramientas de modelado 3D (CAD, CAM)	Herramientas que ayudan al diseño mecánico y eléctrico, como: SolidWorks, Inventor Autodesk, etc.
Herramientas de cálculo asistido	Herramientas que permiten en base a un lenguaje de programación realizar cálculos complejos y repetitivos con la ayuda de un procesador de computo, como: MATLAB, Scilab, etc.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

Tabla 32-3 Maquinas usadas en el diseño y construcción del reductor PET.

CUADRO DE MAQUINARIA	
Maquina	Descripción
Equipo reductor de botellas PET	Este equipo es el que será rediseñado y automatizado, y consta de: <ul style="list-style-type: none"> • Cabina rectangular con entrada lateral • Base de tubo de acero inoxidable con sujeción para cámara de cuchillas. • Línea de transmisión por banda. • Motor de 2 hp trifásico. • Contrapeso de acero para eje de cuchillas.
Equipos de termofusión PET	Este equipo servirá para darle el tratamiento final a material reducido, no se tomará en cuenta su estructura solo las características del material de alimentación.
Multímetro	Equipo que permitirá medir resistencia, diferencia de potencia, intensidad de corriente, para el circuito de control.
Equipo de lavado de botellas PET reducidas	Este equipo comprende la siguiente etapa en el proceso de reciclaje de botellas PET, consta de: <ul style="list-style-type: none"> • Deposito con capacidad de 200 L • sistema de conexión a toma de agua y desagüe. • Agitador mecánico accionado por motor eléctrico
Otros equipos	Durante el transcurso del proceso de rediseño y automatización, serán necesarios algunos equipos que permitirán tomar datos e información relevante, que garanticen la consecución del proyecto.

Realizado por: Janeta B.& Vizuete E., 2018

3.5. Análisis de costo/beneficio del proyecto

Se gasto 3020 USD en cuestión de materiales, equipo y trabajo mecánico. Esto corresponde a la mayor parte del gasto, por motivo de que se reconstruyo completamente el sistema de corte cambiando de un sistema por cuchillas de sierra a un sistema de cuchillas adosadas a un eje de soporte. Esto incluyo la compra de materiales, el diseño mecánico, las reparaciones y el trabajo

(hora/hombre). El costo total del proyecto fue de 4292,4 USD, monto incluye los gastos por recursos humanos, materiales para la construcción del informe final y materia prima.

Tabla 33-3 Presupuesto para equipos y maquinaria.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Trabajo mecánico	1	\$ 1300	\$ 1300
Reparación mecánica	1	\$ 500	\$ 500,00
Sistema eléctrico y electrónico con componentes	1	\$ 500	\$ 500,00
Mecanizado de piezas extra	1	\$ 250	\$ 250
Motor-reductor	1	\$ 520	\$ 520
Precio total			\$ 3020,00

Realizado por: Janeta B. & Vizúete E.

Tabla 34-3 Presupuesto para recursos humanos.

Ítem	Cantidad	Valor mensual (usd)	Meses	Costo
Proponentes	2	\$ 50,00	6	\$ 600,00
Total				\$ 600,00

Realizado por: Janeta B. & Vizúete E.

Tabla 35-3 Presupuesto para materiales de oficina.

Ítem	Cantidad	Valor mensual (usd)	Monto
Alquiler computadora e internet	40 horas	\$ 1,00	\$ 40,00
Copias	600 hojas	\$ 0,02	\$ 12,00
Impresiones	600	\$ 0,20	\$ 120,00
Anillados	6	\$ 5,00	\$ 30,00
Empastado	3	\$ 15,00	\$ 45,00
Total			247,00

Realizado por: Janeta B. & Vizúete E.

Tabla 36-3 Presupuesto para materia prima.

Actividad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Plástico PET	560	\$ 0,05	\$ 28,00
Cartón	50	\$ 0,50	\$ 25,00
Total			\$ 53,00

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E.

Tabla 37-3 Presupuesto general del proyecto.

Ítem	Costo	Fuente de financiamiento	
		Interna	Externa
Construcción del triturador	\$ 3020,00	X	
Recursos Humanos	\$ 600,00	X	
Recurso Material de oficina	\$ 247,00	X	
Recurso Materia prima.	\$ 53,00	X	
Subtotal	\$ 3920,0		
Imprevistos 10%	\$ 390,24		
Total	\$ 4292,64		

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E.

Tabla 38-3 Tabla comparativa de costos entre diseño y rediseño del triturador.

Ítem	Costo anterior	Costos rediseños
Construcción del triturador	\$1915,00	\$ 3020,00
Recursos Humanos	\$760,00	\$ 600,00
Recurso Material de oficina	\$146,50	\$ 247,00
Recurso Materia prima.	\$0,00	\$ 53,00
Subtotal	\$2821,50	\$ 3920,0
Imprevistos 10%	\$0,00	\$ 390,24
Total	\$2821,50	\$ 4292,64

Realizado por: Janeta B. & Vizuete E.

3.6. Cronograma de actividades

Tabla 39.3 Cronograma del proyecto técnico.

ACTIVIDADES	TIEMPO DE EJECUCIÓN																							
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Anteproyecto	•	•	•	•																				
Revisión bibliográfica			•	•	•	•	•	•	•	•														
Revisión del equipo							•	•	•	•														
Estudio de rediseño mecánico del equipo									•	•														
Estudio de diseño eléctrico y de control									•	•														
Construcción del equipo											•	•	•	•	•	•	•	•						
Validación del equipo																	•	•						
Documentación del equipo																				•	•			
Revisión y corrección final del informe final																				•	•	•		
Defensa de Tesis																								•

Realizado por: Janeta B. & Vizuet E.

3.7. Análisis de resultados

3.7.1. Análisis de diseño estructural

Los resultados del equipo en los cálculos de diseño estructural que comprendieron las siguientes etapas: cálculos de espacio y volúmenes, diseño de cuchillas, ejes y separadores. Diseño de cámara de cuchillas, diseño de la tolva.

En el proceso de diseño de espacios y volúmenes se obtiene un volumen total que ocupa el equipo de $0,25 \text{ m}^3$ y una superficie de $2,43 \text{ m}^2$. Volumen que se segmenta en dos partes una para el soporte ($0,19 \text{ m}^3$) y otra para el triturador ($0,0178 \text{ m}^3$).

En el análisis de las cuchillas tomando en cuenta el espesor de 3mm de material, se requiere de una fuerza de 1557N, para romper el material. Tras un análisis de carga sobre el filo de los dientes de la cuchilla con el material seleccionado para fabricarlas, se tienen tensiones de Von Mises de 422,9 MPa, valor próximo a la tensión máxima que resiste el material. La deformación máxima obtenida es de 0,01712mm cantidad pequeña que significa que habrá un desgaste considerable. El índice de seguridad se encuentra en 1.3, siendo aceptable, pero denota que el material se desgastara y deformara como producto del trabajo al que se someta.

El eje se divide en cuatro secciones: una para el engranaje, dos para los rodamientos y la otra para las cuchillas. Sobre estas se hizo el análisis de cargas obteniendo los siguientes esfuerzos para los planos: XZ esfuerzo cortante máximo 1283,19N y mínimo de -1003,55N y Momento flector máximo de 2181,88Nmm y mínimo -45610,74Nmm; XY esfuerzo cortante máximo 7572,83N y mínimo de -9207,61N y Momento flector máximo de 467273,30Nmm y mínimo -167612,55 Nmm. El resultado final arroja los diámetros de sección siguiente: sección de engranajes 20mm, sección de rodamientos 23mm y para la sección de cuchillas de 24mm. Optando por las dimensiones de 23-25-40 mm.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se mejoro el rendimiento, reduccionado la dificultad y riesgos inherentes al usodel equipo triturador. Para ello, se rediseño completamente, al punto que solo reutilizar la base sobre la que se monto el nuevo equipo. Se cambio el sistema de corte, la tolva, el sistema de transmision, y el motoreductor. Se un covertedor de acero para el sistema de transmision (piñones y cadena). La camara de las cuchillas esta construida con pletinas de acero de 10mm y se dio tratamiento termico al eje y cuchillas para aumentar su resistencia. Las cuchillas por la parte inferior estan cuhiertas por una criba ajustada a la forma del el sistema de ejes y cuchillas.

Se realizao el analisis de la viabilidad tecnica y economica para el rediseño y optimización, cuyo resultado fue que se requeria un cambio casi total del equipo, para poder adaptar el nuevo sistema de corte por ejes paralelos y cuchillas, con un coste aproximado por trabajo mecanico y automatizacion de 3020 USD.

El tamaño de particula se redujo de 20-50mm, a un rango de 5 a 20 mm, mucho mas adecuada para el tranbajo con el termo extrusor para la fabricacion de laminas de plastico. Con presencia de polvo plastico, de granulometria menor a 5mm.

Una vez construido se realizo del diseño del sistema de control y se opto por un sistema de control sencillo, con opciones de arranque y parada, y la inversion de giro del motor para facilitar la extraccion de material atorado en el sistema de corte.

En la parte final, se evaluo el equipo en una practica de laboratorio bajo distintos escenario, se utilizaron varios tipos de plastico con durezas diferentes. Se uso carton y papel, evitando el uso de madera de pino y otras maderas duras. El equipo supero todas las pruebas con los materiales antes mencionados.

Recomendaciones

Recomendamos que el momento de usar el tirturador , se signa las instrucciones presentes en el manual. Debido a que el equipo puede triturar materiales con durezas cercanas a la del tereftalato de polietileno.

BIBLIOGRAFÍA

BBC. 2017. "Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina": la advertencia de un grupo científicos sobre la contaminación que acecha al nuestro planeta. *BBC Mundo*. 2017.

—. **2018.** Cómo el plástico arrojado al río Ganges se convirtió en uno de los mayores contaminantes de los océanos del mundo. *BBC Mundo*. 2018.

BBC Trowsdale, Alison. 2017. 5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta. *BBC*. 2017.

El ciudadano. 2014. Ecuador produjo más de 1.400 millones de botellas plásticas en 2013. *El ciudadano*. 2014.

EL PAÍS. 2018. América Latina frente a la basura: La Cumbre Latinoamérica Recicla discute cómo avanzar hacia un modelo de gestión sustentable de residuos sólidos. *EL PAIZ*. 2018.

Fayed, M., & Otten, L. 1997. Handbook of powder science & technology. [ed.] M. Fayed. *Handbook of powder science & technology*. Segunda. s.l. : Spinger, 1997, Vol. 1, 12, pág. 586.

Hardgrove, R. M. (1932). 1932. Grindability of coal. Trans. ASME, Fuels and Steam Power. s.l. : ASME, 1932.

Karian, H. 2003. *Handbook of polypropylene and polypropylene composites, revised and expanded*. Primera. s.l. : CRC press, 2003.

Lawson, B. 2006. *How designers think: the design process demystified*. Primera. s.l. : Routledge, 2006.

Peacock, A. 2000. *Handbook of polyethylene: structures: properties, and applications*. Baytown, Texas : Marcel Dekker, 2000. pág. 537.

Structural and optical investigations of radiation damage in transparent PET polymer films. **Shiv**

Govind Prasad, Abhijit De, and Udayan De. 2011. 2011, International Journal of Spectroscopy, Vol. vol. 2011.

WICKSON, Edward J. 1993. *Handbook of polyvinyl chloride formulating*. Primera. s.l. : Wiley, 1993.

ANEXOS

ANEXO A Fotografías del equipo previo al rediseño.



a.



b.

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: <i>JANETA B. & VIZUETE E.</i>	TEMA: Fotografías del equipo previo al rediseño.		
a. Vista frontal	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Vista lateral con cotas de medida	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2018
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO B Sistema de corte por cuchillas, corte por conversión de energía cinética.

a.



b.



NOTAS:

- a. Sistema de corte por cuchillas
- b. Material atascado en sistema de corte.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Preliminar
<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	Por aprobar
<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
 DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 REALIZADO POR:
 JANETA B. & VIZUETE E.**

TEMA: Sistema de corte por cuchillas, corte por conversión de energía cinética.

LAMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	07/02/2018

ANEXO C Granulometría de material triturado con sistema de corte por cuchillas.

a.



b.



NOTAS: a. Granulometría de material PET rígido. b. Granulometría de material biodegradable.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: <i>JANETA B. & VIZUETE E.</i>	TEMA: Granulometría de material triturado con sistema de corte por cuchillas.			
	<input type="checkbox"/>	Aprobado		<input type="checkbox"/>	LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/>	Certificado		<input type="checkbox"/>	1	1:1	07/02/2018
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>				

ANEXO D Equipo triturador rediseñado.



a.



b.

NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA				ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: <i>JANETA B. & VIZUETE E.</i>	TEMA: Equipo triturador rediseñado.		
a. Vista frontal de equipo rediseñado	<input type="checkbox"/>	Aprobado	<input type="checkbox"/>	Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. Vista lateral del equipo rediseñado	<input type="checkbox"/>	Certificado	<input type="checkbox"/>	Por aprobar		1	1:1	07/02/2018
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar				

ANEXO E Material triturado por equipo rediseñado.



NOTAS: a. Material triturado equipo rediseñado b. Material con diámetro mayor a 5mm	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: JANETA B. & VIZUETE E.	TEMA: Material triturado por equipo rediseñado.		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2018
<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar					

ANEXO F Sistema de cuchillas distribuidas en ejes paralelos



NOTAS: a. Sistema de corte por cuchillas en ejes paralelos. b. Vista inferior de sistema de cuchillas.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: <i>JANETA B. & VIZUETE E.</i>	TEMA: Sistema de cuchillas distribuidas en ejes paralelos.		
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar		LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	07/02/2018
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar				

ANEXO G Validación del equipo



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: <i>JANETA B. & VIZUETE E.</i>	TEMA: Validación del equipo.				
Tamizado de material triturado con equipo rediseñado. Estudiantes realizando una práctica de reducción de tamaño. Material triturado durante practica de estudiantes. Equipo rediseñado, sin tolva.	<input type="checkbox"/>	Aprobado		<input type="checkbox"/>	Preliminar	LAMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/>	Certificado		<input type="checkbox"/>	Por aprobar	1	1:1	07/02/2018
	<input type="checkbox"/>	Información	<input type="checkbox"/>	Por calificar				