

**DISEÑO DE UN PROCESADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA USO  
DOMÉSTICO**

**JHON ALEXANDER SUAREZ GUAPACHA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA, RISARALDA  
2015**

**DISEÑO DE UN PROCESADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA USO  
DOMÉSTICO**

**TRABAJO DE GRADO**  
**Requisito final para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Autores**  
**JHON ALEXANDER SUAREZ GUAPACHA**

**Asesor**  
**Ingeniero GIOVANNI TORRES CHARRY**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**PEREIRA, RISARALDA**  
**2015**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, Julio de 2015

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.1 DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN PROBLEMA .....	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
2. JUSTIFICACIÓN .....	14
3. OBJETIVOS .....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. MARCO REFERENCIAL.....	16
4.1 MARCO DE ANTECEDENTES.....	16
4.1.1 Historia de la evolución de la basura.....	16
4.1.2 La situación de las basuras en Colombia.....	17
4.1.3 Empresas de tratamiento de basuras en la ciudad de Pereira .....	19
4.1.4 Producción de residuos sólidos urbanos en el municipio de Pereira.....	20
4.2 MARCO TEÓRICO.....	21
4.2.1 Clasificación de las basuras.....	21
4.2.1.1 De acuerdo con su composición .....	21
4.2.1.2 De acuerdo con la fuente productora .....	22
4.2.1.3 Desde el punto de vista ecológico.....	23
4.2.2 Sistema de manejo de residuos.....	23
4.2.2.1 Etapas del manejo de residuos .....	23
4.2.2.2 Riesgo asociado al manejo de los residuos sólidos.....	24
4.2.3 Gestión de residuos sólidos domiciliarios .....	25
4.2.3.1 Conceptos en la gestión de residuos domiciliarios .....	25

4.2.3.2 Recuperación de recursos .....	26
4.2.3.3 Reciclaje.....	27
4.2.3.4 Técnicas para la Gestión de Residuos.....	28
4.2.3.5 Vertederos.....	28
4.2.3.6 Incineración .....	29
4.2.3.7 Tecnología Residuo Cero.....	29
4.2.3.8 Compostaje y digestión anaerobia .....	30
4.2.3.9 Tratamiento mecánico biológico .....	30
4.2.3.10 Pirólisis y gasificación .....	31
4.2.3.11 Gestión de Residuos Peligrosos.....	31
4.2.4 Métodos de separación de residuos sólidos.....	32
4.2.4.1 Triage manual .....	32
4.2.4.2 Cribación.....	32
4.2.4.3 Separación neumática (Clasificación neumática) .....	33
4.2.4.4 Separación magnética .....	34
4.2.5 Trituración y métodos .....	34
4.2.5.1 Molienda por aplastamiento.....	34
4.2.5.2 Molienda por desintegración .....	34
4.2.5.3 Molienda por cizallamiento .....	34
4.2.5.4 Molienda por desgarramiento .....	35
4.2.5.5 Molienda por rodaje (sistema Dorr Oliver) .....	35
4.2.5.6 Molienda por tromel .....	35
4.2.5.7 Molienda por discos.....	35
4.2.5.8 Molienda por centrifugación.....	35
4.2.5.9 Molienda por martillos.....	35
4.2.5.10 Molienda seca .....	36
4.2.5.11 Trituración de residuos de comida caseros .....	36
4.2.5.12 Funcionamiento de un triturador casero .....	36
4.2.5.13 Ventajas de un triturador.....	37
4.2.6 Métodos de extracción de líquidos.....	37
4.2.6.1 Aparato de extracción de líquidos por diferencia de densidades.....	37
4.2.6.2 Sistema para extraer líquido de un contenedor de pasta residual .....	37
4.2.6.3 Prensas htr para extracción de líquidos de residuos sólidos municipales.....	37
4.2.7 Compactación.....	37
4.2.7.1 Unidades de compactación domésticas.....	38
4.2.7.2 Compactadoras para grandes bloques de vivienda .....	38
5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA.....	39

5.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO .....	49
5.2 DESCOMPOSICION FUNCIONAL .....	56
5.3 GENERACIÓN DE CONCEPTOS .....	59
5.3.1 Combinación de conceptos.....	62
5.3.1.1 Evaluación basada en el juicio de viabilidad.....	67
5.3.1.2 Evaluación basada en tecnología-valoración de disponibilidad .....	68
5.3.1.3 Evaluación basada en el tamizado pasa/no pasa.....	69
5.3.1.4 Evaluación basada en la matriz de decisión.....	71
6. PARÁMETROS DE DISEÑO .....	74
6.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR .....	75
6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA .....	76
6.2.1 Potencia de diseño del motor.....	76
6.2.2 Relación de reducción de velocidad.....	77
6.2.3 Relación de transmisión de poleas .....	77
6.2.4 Distancia entre centros de polea.....	78
6.2.5 Longitud de Banda de transmisión.....	78
6.2.6 Ángulo de contacto de la banda de transmisión.....	79
6.2.7 Cálculo de la tensión transmitida por la banda.....	79
6.2.8 Cálculo del factor de corrección.....	80
6.2.9 Número de Bandas .....	81
6.3 DISEÑO DE LAS CUCHILLAS DE TRITURACIÓN .....	81
6.3.1 Tiempo de Impacto.....	82
6.3.2 Ángulo de Rotación.....	82
6.3.3 Velocidad angular.....	83
6.3.4 Tiempo de Impacto.....	83
6.3.5 Aceleración Angular.....	84
6.3.6 Diseño de las cuchillas .....	84
6.3.7 Peso de la Cuchilla .....	86
6.3.7.1 Peso total de la cuchilla .....	87
6.3.7.2 Inercia de las Cuchillas.....	87
6.3.7.3 Fuerza de impacto con base a la inercia .....	87
6.3.7.4 Fuerza de Impacto Total .....	87
6.3.7.5 Número de cuchillas Necesarias.....	88
6.3.7.6 Velocidad Tangencial y factor $f$ .....	88

6.3.7.7 Diagrama de fuerzas .....	89
6.4 TOLVA DE ALIMENTACIÓN .....	94
6.5 DISEÑO DEL TAMIZ.....	96
6.5.1 Tamiz Metálico.....	96
6.5.2 Esfuerzo Permisible.....	99
6.5.3 Módulo de sección.....	99
6.5.4 Espesor de la criba.....	99
6.5.5 Número de agujeros del tamiz.....	100
6.5.6 Flujo volumétrico de salida .....	100
6.6 DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL .....	103
6.6.1 Fuerzas actuantes en el plano X-Y del eje.....	103
6.6.2 Fuerzas actuantes en el plano X-Z del eje .....	105
6.6.3 Cálculo de la fuerza de corte .....	105
6.6.4 Tensiones producidas por la correa .....	107
6.6.6 Cálculo del momento resultante máximo.....	110
6.6.7 Cálculo de los factores que modifican el límite a fatiga del eje rotor .....	110
6.6.8 Factor de resistencia de superficie $K_a$ .....	111
6.6.9 Factor de resistencia de tamaño $K_b$ .....	111
6.6.10 Factor de carga $K_c$ .....	111
6.6.11 Factor de resistencia de temperatura $K_d$ .....	112
6.6.12 Factor de diversos $K_e$ .....	112
6.6.13 Factor de límite de resistencia a la fatiga $S_e$ .....	114
6.6.14 Cálculo del par motor .....	114
6.7 DISEÑO DE LA SOLDADURA.....	115
6.8 SELECCIÓN DE LA CUÑA O CHAVETA.....	119
6.9 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS.....	121
6.9.1 Vida Nominal del Rodamiento.....	122
6.9.2 Vida Nominal en número de horas.....	122
6.10 ESTRUCTURA SOPORTE.....	123
6.10.1 Cálculo del centro de gravedad de la estructura.....	123
6.10.2 Calculo de Soporte .....	125
6.11 CÁLCULO DE MOTOR PARA EJE SECUNDARIO .....	127

6.12 DISEÑO DEL EJE ADICIONAL.....	129
6.12.1 Esfuerzo Cortante .....	129
6.13 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN.....	130
6.14 DISEÑO DE TOLVA DE DESCARGUE.....	131
7. RECOMENDACIONES.....	134
8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	135
8.1 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	135
9. CONCLUSIONES .....	140
10. APORTES .....	142
11. ANEXOS .....	144
12. BIBLIOGRAFIA .....	165



## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de gestión de residuos domiciliarios .....	25
Figura 2. Caja negra .....	56
Figura 3. Desarticulación funcional .....	60
Figura 4. Concepto 1 .....	64
Figura 5. Concepto 2 .....	65
Figura 6. Concepto 3 .....	66
Figura 7. Concepto 4 .....	67
Figura 8. Impacto de la trituración de la basura .....	82
Figura 9. Ángulos de las cuchillas de corte .....	85
Figura 10. Forma considerada para las cuchillas (autor) .....	85
Figura 11. Fimensiones consideradas (autor).....	86
Figura 12. Fuerzas ejercidas sobre la cuchilla .....	89
Figura 13. Porta cuchillas (autor).....	93
Figura 14. Bloque sujetador (autor) .....	94
Figura 15. Geometría de tolvas de alimentación.....	94
Figura 16. Ubicación de malla (autor) .....	97
Figura 17. Diagrama de cuerpo libre malla de cribado (autor) .....	98
Figura 18. Tamiz solid works (autor).....	102
Figura 19. Solidworks tamiz renderizado (autor) .....	102
Figura 20. Diagrama de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momentos (autor).....	104
Figura 21. Fuerza resultante en la polea del eje rotor (autor) .....	107
Figura 22. Diagrama de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momentos (autor).....	108
Figura 23. Soldadura del eje y porta-cuchillas (autor).....	116
Figura 24. Chavetas paralelas UNE 17102 .....	120
Figura 25. Configuración geométrica de la chaveta (autor).....	120
Figura 26. Eje y accesorios (autor) .....	121
Figura 27. Centro de gravedad, procesador de residuos sólidos (solid works).....	123
Figura 28. Soporte procesador de residuos sólidos renderizado (autor) .....	125
Figura 29. Diagrama de fuerzas .....	126
Figura 30. Fuerza corte eje rotor secundario (autor).....	130
Figura 31. Cámara de trituración renderizado (autor).....	131
Figura 32. Tolva de descargue renderizado (autor) .....	132
Figura 33. Solidworks procesador de residuos sólidos para uso doméstico (autor) .....	132

## TABLAS

Tabla 1. Producción de basura en Pereira .....	20
Tabla 2. Necesidades de los clientes .....	40
Tabla 3. Necesidades de los clientes interpretadas .....	41
Tabla 4. Necesidades jerarquizadas .....	42
Tabla 5. Indicador relativo .....	44
Tabla 6. Indicador de calificación .....	44
Tabla 7. Necesidades.....	45
Tabla 8. Calificación de las necesidades categorizada.....	48
Tabla 9. Unidades.....	50
Tabla 10. Matriz simple .....	53
Tabla 11. Especificaciones finales .....	55
Tabla 12. Tabla morfológica para el módulo de energía .....	62
Tabla 13. Tabla morfológica para el módulo de basura.....	63
Tabla 14. Concepto 1, evaluación pasa-no pasa .....	70
Tabla 15. Concepto 2, evaluación pasa-no pasa .....	70
Tabla 16. Concepto 3, evaluación pasa-no pasa .....	70
Tabla 17. Concepto 4, evaluación pasa-no pasa .....	71
Tabla 18. Matriz de decisión parte 1 .....	72
Tabla 19. Matriz de decisión parte 2.....	73
Tabla 20. Factor de corrección.....	80
Tabla 21. Ángulo máximo de inclinación .....	95
Tabla 22. Pesos de elementos .....	103
Tabla 23. Diagrama de factores de concentración de esfuerzos teóricos $K_t$ .....	113
Tabla 24. Diagrama de sensibilidad a la muesca .....	113
Tabla 25. Costos de fabricación .....	136
Tabla 26. Elementos de sujeción.....	138
Tabla 27. Elementos estándar .....	139

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó el diseño de un procesador de residuos sólidos para uso doméstico, basado en el diseño y desarrollo de productos de manera conceptual utilizando un enfoque multidisciplinario que abarca aspectos importantes como el marketing, la manufactura y el diseño en sí. Para ello se siguen los métodos y procedimientos del texto guía “Diseño y Desarrollo de Productos”, al igual que métodos de otros autores y conocimientos propios, por lo que se cuenta con un conjunto de teorías que soportan cada uno de los pasos a seguir.

El trabajo de grado inicia con una investigación bibliográfica, en la cual se consulta información puntual relacionada con el proyecto, seleccionando la más relevante para el desarrollo del procesador de residuos sólidos para uso doméstico.

Para obtener el diseño del procesador de residuos sólidos para uso doméstico, se identifican las necesidades del cliente, por lo que se realiza una recopilación de datos mediante encuestas o estudios existentes sobre el tema, analizando los resultados obtenidos, organizando las necesidades de forma jerárquica y estableciendo la importancia relativa entre estas. De esta manera se establecen las especificaciones objetivo del procesador de residuos sólidos que permiten realizar un análisis medible y cuantificable de cada necesidad del cliente, para finalmente efectuar una evaluación de alternativas y selección del diseño final.

Se utiliza la teoría existente para definir los parámetros de diseño del procesador de residuos sólidos para uso doméstico, en el caso de selección del motor, banda de transmisión, cuchillas de trituración, tamiz metálico, estructura soporte, ejes principales y secundarios, tolvas de alimentación y descargue; los componentes estructurales, dimensionales y funcionales del procesador de residuos sólidos se verifican mediante CAD's.

Finalmente se efectúa el análisis económico que permite establecer la factibilidad y rentabilidad del proyecto, mostrando la descripción de los costos por concepto de construcción y montaje de los elementos mecánicos para los diferentes sistemas, teniendo en cuenta el material, tiempo de construcción, mano de obra, gastos de fabricación, costos de producción, gastos administrativos y costos de operación.

## INTRODUCCIÓN

Ante los actuales problemas de contaminación y las limitaciones de capacidad de carga para la disposición de basuras, una gran preocupación es el volumen de residuos que se generan diariamente en los hogares, los cuales no son tratados, clasificados ni aprovechados y que finalmente terminan formando parte de la basura común entregada al vehículo recolector.

Por esta razón en el presente trabajo de grado se pretende diseñar un procesador de residuos sólidos domiciliarios para uso doméstico que tenga como propósito la utilización de estos residuos en plantas de compostaje, en procesos industriales y comerciales. El objetivo principal de este diseño es procesar los residuos orgánicos de medianos bloques de vivienda y obtener una reducción de su volumen desde el hogar, lo cual minimizaría la cantidad de residuos, generando un impacto positivo a nivel social, económico y ambiental.

Para determinar la caracterización de diseño del procesador de residuos sólidos para uso doméstico, se usan métodos y procedimientos de textos guías como “Diseño y Desarrollo de Productos” y “Diseño Conceptual”, que cuentan con un conjunto de guías que soportan cada uno de los pasos a seguir en la búsqueda de especificaciones iniciales con una finalización óptima de la selección del concepto a diseñar.

El trabajo de grado es soportado por cálculos existentes para el diseño de máquinas, aunque en algunos momentos fue necesario interpretar y ajustar según la necesidad del procesador de residuos sólidos.

Este proyecto busca que el diseño del procesador de residuos sólidos de uso doméstico cumpla satisfactoriamente con las necesidades de trabajo requeridas y que ofrezca un buen grado de confianza en su funcionalidad.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN PROBLEMA**

El manejo de los residuos caseros a lo largo de la historia ha presentado numerosas dificultades en lo que se refiere a contaminación ambiental; se han evidenciado problemas tales como desastres ecológicos, enfermedades y mala disposición de residuos en centros urbanos. Una gran preocupación es el volumen de basuras que se genera diariamente en los hogares y aunque en la actualidad existen dispositivos que permiten triturar residuos domésticos, estos no son fácilmente accesibles al público y no cumplen con las funciones de procesamiento, es decir, aprovechar los residuos sólidos de la mejor manera posible. Colombia no es ajena a esta problemática, motivo por el cual se pretende en este trabajo de grado diseñar un dispositivo que permita procesar los residuos orgánicos caseros en la ciudad de Pereira, antes de que estos sean entregados al vehículo recolector de basuras, planteando así la posibilidad de aprovechar los residuos en compostaje u otros procesos industriales y comerciales.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es posible diseñar un dispositivo que permita procesar residuos orgánicos domésticos de manera segura y eficiente, de tal manera que sus productos puedan ser utilizados como materia prima para compostaje, procesos industriales y comerciales?

## 2. JUSTIFICACIÓN

En el mundo moderno con el creciente avance de la tecnología y con la gran preocupación de sus efectos ambientales, es de vital importancia pensar en la creación de nuevas alternativas industriales y comerciales que disminuyan los efectos sobre el medio ambiente. Todos estos tipos de problemáticas latentes se pueden evidenciar en fenómenos como el calentamiento global, la liberación al medio de sustancias dañinas, enfermedades, desastres ecológicos, la contaminación del agua, pérdida de tierras, incendios subterráneos, basura en el aire, pérdida de materiales y energías recuperables, entre otros. Por otro lado también existe la necesidad de aprovechar y manejar de una manera adecuada los residuos caseros ya que el problema de la utilización de grandes depósitos de basura es cada vez más molesto; esto se debe a la falta de conciencia de las personas y la ausencia de dispositivos que permitan dar un manejo eficiente y eficaz al problema de las basuras.

Con la realización de este proyecto, se pretende procesar los residuos orgánicos de medianos bloques de vivienda y obtener una reducción de su volumen desde el hogar, potenciando un mejor manejo de los diferentes tipos de desechos que se producen habitualmente en una casa promedio. De lograr este objetivo se obtendría un beneficio tanto económico como social y ambiental, redundando en una mejor calidad de vida de los habitantes actuales de nuestras ciudades así como de las futuras generaciones.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un procesador de residuos sólidos para uso doméstico en los hogares colombianos que permita la utilización de estos residuos en plantas de compostaje, procesos industriales y comerciales.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los diferentes tipos de residuos caseros
- Establecer el método adecuado para el procesamiento de residuos orgánicos caseros
- Diseñar un procesador de residuos sólidos para uso doméstico con base en la investigación previa
- Verificar el diseño y calculo estático del procesador de residuos sólidos para uso doméstico mediante teorías de diseño adecuadas

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO DE ANTECEDENTES

#### 4.1.1 Historia de la evolución de la basura

Un problema importante del sedentarismo fue que debido a la permanencia de comunidades relativamente grandes en un mismo lugar, el qué hacer con los desechos se volvió un asunto serio, empezando por los despojos dejados por las necesidades más perentorias. Habría que recordar que esos beneméritos inventos que son el excusado y el drenaje sanitario tienen menos de 160 años. Ese reto en particular lo resolvió cada civilización de la manera intuitiva. De hecho, en algunos casos esas tecnologías definían a la civilización. Durante varios siglos, la obra que los romanos le presumían a los visitantes no era un templo, foro o edificio público, sino la cloaca máxima, el drenaje profundo de la ciudad, sistema que aún se utiliza.

De los desechos de otro tipo se disponía también según el ambiente y necesidades de la colectividad. A partir de cómo se hacían cargo de sus basuras, se ha desarrollado toda una rama de la arqueología, ya existen especialistas en determinar hábitos, costumbres y alimentación, sólo a partir del tipo de desechos, la ubicación de los basureros y la forma que tenían de lidiar con ellos.

Al crecer las ciudades la gente disponía de la basura en la calle misma. El grito de “¡aguas!” mostraba la buena educación de quien avisaba a sus coterráneos que desde la ventana iba a arrojar los productos líquidos de la noche anterior. Los sistemas sanitarios eran inexistentes, lo mismo que la recolección de basura.

Con la Revolución Industrial vino la gran explosión en la generación de basura, por dos razones: los procesos industriales generan escorias y desechos en una escala muchísimo mayor que los artesanales, y la segunda siendo los productos más accesibles y baratos, la tentación de echarlos a la basura cuando se dañaban o dejaban de funcionar correctamente, se volvía mayor.

Por supuesto que, en muchas partes del mundo, y ya en este siglo XXI, existen numerosas comunidades que no se pueden dar el lujo de desperdiciar nada, y de hecho reciclan en su provecho la basura de sociedades más prósperas.

Hace medio siglo irrumpió la cultura de lo desechable: esto es, artículos que se convertían en basura con el tiempo o el uso; estos estaban fabricados expresamente para serlo en un mínimo de tiempo. El resultado es notable: cada ser humano genera cada vez más basura, las cantidades varían de acuerdo con la región, pero no dejan de ser abrumadoras, [1].

Hoy en día se siguen implementando los métodos convencionales de eliminación de



residuos que consisten básicamente en el entierro y almacenamiento bajo tierra o en la incineración de miles de toneladas de basura en una zona específica de una ciudad.

Sin embargo, hay otras alternativas para la solución de dichos problemas, que no son implementadas masivamente, pero que contribuyen al mejoramiento del ambiente y el aprovechamiento de los residuos sólidos. Uno de estos es el proceso de oxidación térmica que es un proceso simple en el que un camión descarga los desechos directamente en una celda primaria del sistema de gasificación (no es necesario una preclasificación del material) y mediante un quemador a base de cualquier combustible se incrementa la temperatura aproximadamente hasta 700° K para eliminar por completo los residuos y transformarlos en gases. Estos gases son tratados y liberados presentando una contaminación casi nula y pueden ser aprovechados para generar calor y electricidad, [2].

Otro método para el tratamiento de basuras es la implementación de trituradores industriales que son máquinas para servicio pesado aptas para la reducción volumétrica de diferentes tipos de residuos del sector industrial y doméstico tales como chatarra, residuos municipales, neumáticos, muebles, cartón, plásticos, etc. Algunos de estos Trituran utilizando un rotor cilíndrico que gira en su eje horizontal el cual es accionado por motores que se encuentran en los extremos laterales. La superficie de este rotor está dotada de placas cortadoras y un sistema de pistones que empujan el material hacia el rotor. El material es triturado en la tolva y sale a través de una parrilla cuando el tamaño reducido ha sido alcanzado. Este sistema usa un software que gestiona todas las operaciones del triturador, [3].

En la actualidad, existe un triturador de desperdicios de uso doméstico, el cual fue inventado en el año 1927 por Juan W. Harres, arquitecto que trabajaba en Racine, Wisconsin. Después de once años de desarrollo, su compañía puso el aparato en el mercado en 1938. El dispositivo llegó a ser extremadamente popular en las cocinas americanas en los años 70 y 80, en la actualidad es un electrodoméstico de uso habitual en la comunidad estadounidense, pero aún hoy en día sigue siendo poco común en los hogares europeos. Este triturador de desperdicios trabaja bajo un sistema de martillos mucho más seguro que el sistema de cuchillas que se utilizaban en el pasado, y solo maneja residuos orgánicos y cumple con ciertas funciones de trituración, no de procesamiento, valga la pena aclarar, que sus costos elevados no permiten que este aparato sea adquirido masivamente, [4].

#### **4.1.2 La situación de las basuras en Colombia**

El promedio mundial de emisión por persona, se encuentra por encima de un kilogramo diario, cifra bastante elevada, teniendo en cuenta que, en el mundo, hay más de 7.200 millones de habitantes, aproximadamente. Por otra parte, en Colombia, una persona, en sus labores cotidianas, produce 0,5 y 0,6 kg/habitante en promedio de residuos sólidos por día, [5].

De acuerdo con el promedio mundial, la producción colombiana de residuos sólidos se encuentra muy por debajo de esta cifra; No obstante, debe tenerse en cuenta, que la economía colombiana es incipiente en cuanto a procesos tecnificados se refiere.

El manejo de los residuos sólidos en Colombia ha aumentado paralelamente con la urbanización, crecimiento económico e industrialización. Se estima que Colombia genera 27.000 toneladas de residuos al día, que representa 0,5 kilogramos de residuos al día por cada ciudadano, de los cuales, sólo un 10% son aprovechados por los denominados recicladores informales; el 90% restante de los residuos son dispuestos en botaderos a cielo abierto, enterramientos o rellenos sanitarios, [5].

El 55% de esos desperdicios corresponde a residuos con características orgánicas, el 10 % a plásticos, el 13% a papel y cartón, el 7% a vidrio, el 3 % a metales y el 12 % a otros, como textiles, cueros y cerámicas. De ellos, el de mayor dificultad de degradación es el plástico cuyo periodo es superior a los 30 años, condición que lo hace altamente contaminante, más si se tiene en cuenta que cuando se quema produce gases venenosos; adicionalmente, tiene unos proceso agregados antes de ser reutilizado: tiene que ser lavado, comprimido en su forma primaria y para su reutilización requiere insumos nuevos.

A Bogotá le corresponde el 20% de esas basuras con aproximadamente 5.500 toneladas diarias constituyéndose en la ciudad con mayor producción de basuras en Colombia; sin embargo, la capital no cuenta con una planta integral de residuos sólidos. Las mejores plantas de aprovechamiento de residuos sólidos no plásticos están en ciudades pequeñas. La mejor planta de aprovechamiento de residuos sólidos, según la Superintendencia de Servicios Públicos, está en la ciudad de Arauca y pertenece a Emserpa E.S.P. Otras plantas importantes están ubicadas en el departamento del Huila, en los municipios de Garzón, Pitalito y La Plata y en Medellín (La Pradera). En el municipio de Pereira actualmente se cuenta con una sola planta que trabaja el proceso de compostaje con la basura orgánica de la ciudad, [5].

En Colombia el porcentaje de reciclaje de papel y cartón sigue en aumento, ubicando a nuestro país en la posición número 18 en este tipo de reciclaje, superando a países como Estados Unidos, Alemania y Japón que recuperan menos toneladas por cantidad producida, lo cual es de suma importancia teniendo en cuenta que el consumo per cápita nacional es inferior al de los países desarrollados. Esto pone a Colombia como ejemplo de varios países a nivel de Latinoamérica; sin embargo, en el reciclaje de plásticos el tema es incipiente.

Por otra parte, en Colombia hay 230 empresas prestadoras de servicios públicos, de las cuales 63 son dedicadas exclusivamente a la recolección y el aseo; 35 de servicio integral triple A (acueducto, alcantarillado y aseo) y el resto son pequeñas empresas que operan en municipios menores de 2.500 usuarios o ubicadas en áreas rurales localizadas fuera del perímetro urbano, [5].

Aunque el manejo de las basuras en Colombia es bueno (con una cobertura de recolección y disposición de residuos del 98%) en las grandes ciudades, la situación es crítica en

ciudades intermedias y menores y en asentamientos urbanos marginales. Al respecto, la Superintendencia de Servicios Públicos de la capital, informa que en el país no hay una verdadera cultura de manejo de las basuras y reciclaje cuyo propósito sea el de separar en la fuente, reutilizar el material y disponer adecuadamente de los residuos. En la mayoría de las ciudades colombianas se utilizan espacios públicos como sitios de acumulación de residuos sólidos.

La problemática de las basuras en todo el territorio colombiano es originada en gran medida por la limitada capacidad institucional de gran parte de las entidades ejecutoras y en consecuencia por la falta de cumplimiento por parte de las empresa encargadas de los instrumentos legales, falta de difusión y falta de aplicación del plan maestro ya formulado, por falta de gestión, recurso humano capacitado y cualificado e insuficientes recursos físicos, entre los más significativos. Existen otros componentes adicionales pero uno de los que más se destaca es la falta de consciencia y educación ecológica y ambiental del usuario en el manejo adecuado de los residuos sólidos en la fuente, [5].

Lo anterior, muestra un hecho concreto y es que el número de empresas de recolección y aseo existentes no realiza un cubrimiento total del proceso y que una buena parte de esta tarea es asumida por recicladores que de manera informal y organizada realizan esta labor en los sitios de disposición (botaderos, rellenos) y desde la fuente de generación de los residuos (calle, vertederos, entre otros), [5].

#### **4.1.3 Empresas de tratamiento de basuras en la ciudad de Pereira**

##### **Atesa de Occidente S.A. E.S.P**

Atesa de Occidente S.A E.S.P es una empresa prestadora del servicio público de aseo que ofrece servicios de recolección, barrido de vías y áreas públicas, transporte y disposición final; A continuación se muestra el detalle de estos servicios:

- Barrido y limpieza integral de vías y áreas públicas.  
Atesa realiza la limpieza de calles, aceras, separadores y áreas públicas, incluyendo la recolección y el transporte, hasta el sitio de disposición final de los residuos generados, mediante la utilización de herramientas manuales y mecánicas; labores que incluyen el despápele y limpieza de bordillos.
- Recolección y transporte de residuos ordinarios producidos por grandes generadores.  
Se hace la recolección de los residuos industriales, institucionales, de plazas de mercado y centros comerciales con la frecuencia requerida por el tipo y volumen del residuo generado, cuya producción de material no compactado sea mayor a un metro cúbico mensual, [22].

- Recolección y transporte de los residuos generados por el servicio ordinario de usuarios residenciales y pequeños productores.  
Se atiende la recolección de los residuos sólidos urbanos de los usuarios residenciales y multiusuario de conjuntos cerrados y edificios que presenten sus desechos en bolsas plásticas, canastas o cajas públicas o privadas, en los sitios y frecuencias de recolección indicados
- Disposición Final en el Relleno Sanitario Regional (La Glorita).  
Se realiza la disposición final de residuos sólidos domiciliarios, industriales y comerciales mediante su depósito definitivo en el suelo, de conformidad con la ley; de esta forma se da solución a las necesidades de evacuación de más de 18.000 toneladas mensuales de basuras de 17 municipios del occidente del Eje Cafetero y norte del Valle.
- Servicio especiales.  
Recolección de Escombros.  
Limpieza y aseo de monumentos públicos.  
Atención a Eventos Especiales  
Servicio Integral de aseo a municipios del occidente del Eje Cafetero y norte del Valle, [22].

### **Biorgánicos del Otún**

Biorgánicos del Otún es una planta de procesamiento de residuos sólidos que recupera plástico, vidrio, chatarra, aluminio, cobre, papel y que al mismo tiempo produce Materia Orgánica en grandes cantidades.

#### **4.1.4 Producción de residuos sólidos urbanos en el municipio de Pereira**

En la tabla 1 se presenta los resultados del estudio de caracterización física de los residuos sólidos urbanos realizado por la Unidad de Gestión Ambiental y de Servicios Públicos Domiciliario del municipio de Pereira, Departamento de Risaralda. La realización del estudio tuvo como finalidad ser un insumo para la planificación, además de proporcionar información actualizada para la reformulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio, [6].

Tabla 1. Producción de basura en Pereira

<b>ESTRATO</b>	<b>KILOGRAMOS RECOLECTADOS</b>	<b>NÚMERO DE HABITANTES</b>	<b>PPC(kg/hab-día)</b>	<b>PPV (kg/viv-día)</b>
<b>GRUPO 1</b>	1650	1301	0,317	1,083
<b>GRUPO 2</b>	2060	1293	0,398	1,352
<b>GRUPO 3</b>	2330	1025	0,544	1,483

El estudio de la caracterización de la producción de residuos sólidos domiciliarios, se realizó según su composición y generación, y el alcance real de la clasificación se fijó en términos descriptivos.

La cantidad y caracterización física de los residuos sólidos se obtuvo a partir de mediciones directas realizadas bajo protocolos establecidos. La estructura de usuarios se obtuvo de la base de datos que tiene la empresa ATESA de Occidente S.A. ESP y de la estratificación socioeconómica adoptada por el municipio.

El vehículo se pesaba en la entrada del relleno sanitario, para obtener el peso total de los residuos sólidos recolectados durante la jornada. Previo a la caracterización se establecía el tamaño y el tipo de bolsas que eran necesarios para la presentación de los residuos y se seleccionaba un lugar adecuado para realizar el proceso de separación y caracterización.

PPC: producción de residuos per cápita

PPV: producción de residuos por vivienda

Grupo 1: estrato 1 y 2

Grupo 2: estrato 3 y 4

Grupo 3: estrato 5 y 6

Por consiguiente realizando el cálculo de la producción ponderada del municipio de Pereira, se obtiene una producción per-cápita de 0,420 (kg/hab-día), [6].

## **4.2 MARCO TEÓRICO**

### **4.2.1 Clasificación de las basuras**

Referente a los residuos caseros es necesario conocer su cantidad, su composición física y química y se debe reconocer que existen diversas formas de clasificación según distintos puntos de vista:

#### **4.2.1.1 De acuerdo con su composición**

- **Residuos orgánicos**

Son todo desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo, o fue parte de un ser vivo.

- **Residuos inorgánicos**

Son todo desecho de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural.

Algunos de los residuos que se encuentran en esta categoría son:

- Vidrio
- Papel
- Chatarra
- Los envoltorios y envases
- Plástico

- **Residuos peligrosos**

Son todo desecho, ya sea de origen biológico o no, que constituye un peligro potencial, como son productos de limpieza, pinturas, medicinas y pilas son altamente tóxicos; las pilas son uno de los productos tóxicos más peligrosos por su contenido en mercurio y cadmio, [8].

#### **4.2.1.2 De acuerdo con la fuente productora**

La clasificación de la fuente productora es basada en [7]:

- Residenciales o domésticas: Son las que por su cantidad, calidad, naturaleza, composición y volumen, son generadas en las actividades de la vivienda del hombre o en cualquier establecimiento asimilable a estos. Normalmente tienen alto contenido de materia orgánica.
- Comerciales: son las generadas en establecimientos comerciales y mercantiles tales como almacenes y depósitos. Generalmente presentan altos contenidos de papel y cartón.
- Comerciales de alimentos: es necesario separarlas, porque, éstas presentan altos contenidos de materia orgánica ya que son producidos por cafeterías, restaurantes y hoteles.
- Plazas de mercado: Concentrado en pocos lugares y su alto contenido de materia orgánica, normalmente de tipo vegetal, justifican su clasificación independiente.
- Industriales: Son generadas en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción; su composición está de acuerdo con el tipo de industria.
- Institucional: Son las generadas en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales, aéreos, terrestres, entre otros; normalmente tienen alto contenido de papel y cartón.
- Especiales: son las producidas en espectáculos o lugares especiales como en ferias Nacionales o Internacionales o presentaciones deportivas; generalmente tienen alto contenido de papel y cartón.

- Barrido de calles: Son el producto del aseo de las calles y avenidas. Presentan alto contenido de materia inerte y papel.
- Lugares públicos: son las recogidas en parques o zonas de recreación; generalmente tiene altos contenidos de papel y cartón.
- Residuo hospitalario: deshechos que son catalogados por lo general como residuos peligrosos y pueden ser orgánicos e inorgánicos.

#### **4.2.1.3 Desde el punto de vista ecológico**

La clasificación desde el punto de vista ecológico es basada en:

- **Residuos biodegradables**

Se consideran biodegradables a aquellos residuos que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos, como lombrices, hongos y bacterias, principalmente; Este tipo de residuos (basura orgánica) se deriva de fuentes orgánicas; estas son aquellas que se originan de los restos de los seres vivos, [9].

- **Residuos no biodegradables**

Son aquellos que no pueden ser degradados o desdoblados naturalmente; o bien, si esto es posible sufren una descomposición demasiado lenta. Este factor los hace más peligrosos que los anteriores, ya que su acumulación en la naturaleza es progresiva, [9].

#### **4.2.2 Sistema de manejo de residuos**

##### **4.2.2.1 Etapas del manejo de residuos**

Básicamente el sistema de manejo de los residuos se compone de cuatro subsistemas:

- a) Generación: Cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una organización usualmente se vuelve generadora cuando su proceso genera un residuo, lo derrama o no utiliza más un material.
- b) Transporte: Es aquel que lleva el residuo. El transportista puede transformarse en generador si el vehículo que transporta derrama su carga, o si cruza los límites internacionales (en el caso de residuos peligrosos), o si acumula lodos u otros residuos del material transportado.
- c) Tratamiento y disposición: El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus

constituyentes. Respecto a la disposición la alternativa comúnmente más utilizada es el relleno sanitario.

d) Control y supervisión: Este subsistema se relaciona fundamentalmente con el control efectivo de los otros tres sub sistemas.

#### **4.2.2.2 Riesgo asociado al manejo de los residuos sólidos**

- **Gestión negativa**

a) Enfermedades provocadas por vectores sanitarios: Existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos.

b) Contaminación de aguas: La disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios.

c) Contaminación atmosférica: El material particulado, el ruido y el olor representan las principales causas de contaminación atmosférica.

d) Contaminación de suelos: Los suelos pueden ser alterados en su estructura debida a la acción de los líquidos percolados dejándolos inutilizada por largos periodos de tiempo.

e) Problemas paisajísticos y riesgo: La acumulación en lugares no aptos de residuos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener en algún caso asociado un importante riesgo ambiental, pudiéndose producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes.

f) Salud mental: Existen numerosos estudios que confirman el deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas.

- **Gestión positiva**

a) Conservación de recursos : El manejo apropiado de las materias primas, la minimización de residuos, las políticas de reciclaje y el manejo apropiado de residuos traen como uno de sus beneficios principales la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales. Por ejemplo puede recuperarse el material orgánico mediante el compostaje.

b) Reciclaje: Un beneficio directo de una buena gestión lo constituye la recuperación de recursos mediante el reciclaje o reutilización de residuos que pueden ser convertidos en materia prima o ser utilizados nuevamente.



c) Recuperación de áreas: Otros de los beneficios de disponer los residuos en forma apropiada un relleno sanitario es la opción de recuperar áreas de escaso valor y convertirlas en parques y áreas de esparcimiento, acompañado de una posibilidad real de obtención de beneficios energéticos (biogás), [10].

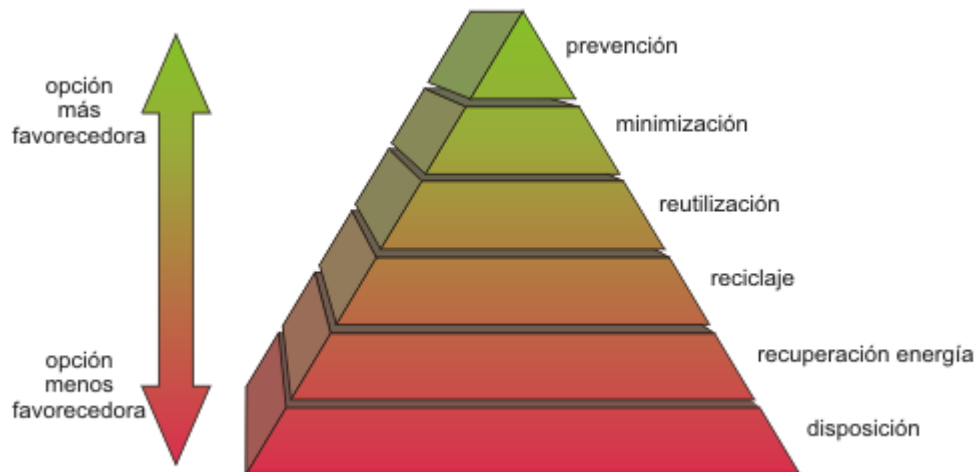
#### 4.2.3 Gestión de residuos sólidos domiciliarios

Gestión de residuos referidos estrictamente a residuos domiciliarios, es la recolección, transporte, procesamiento tratamiento de residuos, reciclaje o disposición de material de desecho, generalmente producida por la actividad humana, en un esfuerzo por reducir efectos perjudiciales en la salud humana y la estética del entorno, aunque actualmente se trabaja en reducir los efectos perjudiciales ocasionados al Medio Ambiente y en recuperar los recursos del mismo.

La gestión de residuos puede involucrar a sustancias sólidas, líquidas o gaseosas con diferentes métodos para cada uno, de igual forma los residuos peligrosos.

La gestión de residuos difiere para países desarrollados y en desarrollo, para zonas urbanas y rurales, residenciales, industriales y productores comerciales. La gestión de desechos no peligrosos para zonas residenciales y/o en áreas metropolitanas generalmente es responsabilidad del gobierno local, mientras que para desechos no-peligrosos provenientes de la industria es responsabilidad del propio generador de residuos, [11].

Figura 1. Pirámide de gestión de residuos domiciliarios



##### 4.2.3.1 Conceptos en la gestión de residuos domiciliarios

Existen una serie de conceptos y estrategias sobre la gestión de residuos, lo cuales puede diferir en su uso entre diferentes regiones.

- Las 3Rs: Reducir, Reutilizar, Reciclar
- Clasifica la estrategia del tratamiento del residuo acorde con su conveniencia de un modo jerárquico como lo muestra la figura 1 para conseguir el máximo beneficio práctico de los productos y generar la mínima cantidad posible de residuos.
- Algunos expertos en la gestión de residuos han incorporado recientemente una 'cuarta R': "Re-Think" (Re-planteamiento), con el significado implícito de que el actual sistema puede tener defectos, y de que el sistema efectivo para la gestión de residuos podría necesitar una forma totalmente nueva de "mirar" los residuos.
- La reducción desde el origen implica un esfuerzo para reducir los residuos peligrosos y otros materiales modificando la producción industrial. Los métodos para la reducción desde el origen implican cambios en la tecnología de fabricación, entradas de materia prima, y la formulación del producto. A veces, el término "prevención de la contaminación" puede referirse a la reducción desde el origen.

#### **4.2.3.2 Recuperación de recursos**

Una idea relativamente reciente en la gestión de residuos ha sido la de tratar al material de desecho como un recurso para ser explotado, en vez de simplemente como un problema que hay que eliminar. Hay un número de métodos diferentes por los cuales los recursos pueden ser extraídos desde los residuos, los materiales pueden ser extraídos y reciclados, o el contenido calorífico de los residuos puede ser convertido en electricidad.

El proceso de extraer recursos de los residuos se denomina de varias formas recuperación de recursos secundaria, reciclaje, etc. La práctica de tratar materiales de desecho como un recurso se hace más común, sobre todo en áreas metropolitanas donde el espacio para nuevos vertederos se hace más escaso. Hay también un conocimiento creciente que la eliminación sin más es insostenible a largo plazo, ya que hay un suministro finito de la mayor parte de materias primas.

Hay una serie de métodos de recuperación de recursos, con nuevas tecnologías y métodos que están siendo desarrollados continuamente.

En algunas naciones en desarrollo, todavía se realiza mediante mano de obra manual, el tamizaje de la basura no segregada para recuperar el material que puede ser vendido en el mercado de reciclaje. En Colombia son los conocidos recicladores que son parte del sector informal, pero juegan un papel significativo en reducir los RSU (Residuos Sólidos Urbanos). Hay una tendencia creciente en reconocer su contribución al Medio Ambiente y hay esfuerzos para intentar integrarlos en los sistemas de gestión de residuos formales, que son útiles, son rentables y ayudan en el alivio de la pobreza urbana (empleo). Sin embargo, el alto costo humano de estas actividades incluyendo la enfermedad, los accidentes y la

esperanza de la vida reducida por el contacto con materiales tóxicos o infecciosos no sería tolerado en un país desarrollado.

#### **4.2.3.3 Reciclaje**

El reciclaje significa recuperar para otro uso un material que de otra manera sería considerado un desecho. El significado popular de 'reciclaje' en la mayor parte de países desarrollados ha venido refiriéndose al almacenaje y reutilización de artículos desechables de uso diario. Estos son recogidos y clasificados en grupos comunes, de modo que las materias primas de estos artículos puedan ser usadas otra vez (reciclado).

La manera más fácil de aprender a reciclar es aplicar la norma de las tres R: Reducir, Reutilizar y Reciclar.

#### **I. Reduzca**

Todo aquello que se compra y consume tiene una relación directa con lo que se vota a la basura.

Reducir es consumir racionalmente y evitar el derroche:

- Elija los productos con menos envoltorios
- Reduzca el uso de productos tóxicos y contaminantes
- Lleve al mercado una bolsa reutilizable o el carrito
- Disminuya el uso de papel de aluminio
- Limite el consumo de productos de usar y tirar
- Reduzca el consumo de energía y agua
- Cuando vaya de compras intente reflexionar: ¿es realmente necesario?, ¿es o no desechable?, ¿se puede reutilizar, rellenar, retornar o reciclar?

#### **II. Reutilice**

Reutilizar consiste en darle la máxima utilidad a las cosas sin necesidad de destruirlas o deshacerse de ellas. De esta forma se ahorra la energía que se hubiera destinado para hacer dicho producto.

Cuanto más objetos se reutilicen, menos basura se producirá y menos recursos agotables se gastarán.

- Compre líquidos en botellas de vidrio retornables
- Utilice el papel por las dos caras
- Regale la ropa que le ha quedado pequeña

#### **III. Recicle**

Reciclar consiste en usar los materiales una y otra vez para hacer nuevos productos reduciendo en forma significativa la utilización de nuevas materias primas.

Se recicla todo lo que se puede usar para hacer nuevos productos. Así podemos separar los residuos en:

- Materia orgánica (restos de comidas)
- Papel y cartón
- Vidrio
- Metales (hojalata, aluminio, plomo, zinc, etc)
- Plásticos (polietileno, polipropileno, PVC, etc.)

Reciclar se traduce en:

- Ahorro de energía
- Ahorro de agua potable
- Ahorro de materias primas
- Menor impacto en los ecosistemas y sus recursos naturales
- Ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo, [12].

#### **4.2.3.4 Técnicas para la Gestión de Residuos**

La gestión de los residuos urbanos, industriales y comerciales tradicionalmente ha consistido en la recolección seguido por la disposición. Dependiendo del tipo de residuo y el área, el proceso puede continuar con un tratamiento específico. Este tratamiento puede reducir su peligrosidad, recuperar material para el reciclaje, producir energía, o reducir su volumen para una disposición más eficiente.

Los métodos de recolección varían ampliamente entre países diferentes y regiones, y sería imposible describir todos ellos. Para el caso de Pereira, la recolección se hace por medio de un carro de recolección de basuras.

Los métodos de disposición también varían extensamente. En Australia, el método más común de disposición de basura sólida son los vertederos, por ser un país grande con una densidad de población baja. Por el contraste, en Japón es más común la incineración, al ser un país pequeño y con escaso terreno libre.

#### **4.2.3.5 Vertederos**

La disposición en los vertederos es el método más tradicional de recogida de basuras, y se mantiene como una práctica común en la mayor parte de países. Un vertedero correctamente diseñado y bien gestionado puede ser un método higiénico y relativamente barato de eliminar materiales de desecho de una forma que reduce al mínimo su impacto sobre el entorno local. Vertederos más viejos, mal diseñados o mal gestionados pueden generar un impacto ambiental adverso como la basura arrastrada por el viento, la atracción de insectos, y la generación de lixiviados que pueden contaminar aguas subterráneas. Otro subproducto de los vertederos es el gas de vertedero (compuesto sobre todo de gas metano y dióxido de carbono), que es producido por la descomposición de la basura orgánica. Este

gas puede crear problemas de olor, mata a la vegetación de superficie, y es un gas de efecto invernadero.

Las características de diseño de un vertedero moderno incluyen métodos de contener lechadas, como la arcilla o el plástico que raya el material. La basura es comprimida para aumentar su densidad y cubierta para prevenir atraer animales (como ratones o ratas) y reducir la cantidad de basura arrastrada por el viento. Muchos vertederos también tienen un sistema de extracción de gas instalado después del cierre para extraerlo de los materiales en descomposición. El gas es bombeado fuera del vertedero usando tubos perforados y prendido o quemado en un motor de gas para generar la electricidad. Prender el gas es una mejor solución ambiental que soltarlo directamente a la atmósfera, ya que esto consume el metano, que es un gas invernadero mucho más nocivo que el dióxido de carbono.

#### **4.2.3.6 Incineración**

La incineración es un método de recogida de basuras que implica la combustión de la basura a altas temperaturas. La incineración y otros sistemas de tratamiento a altas temperaturas son descritos como "tratamiento térmico". En efecto, la incineración de materiales de desecho convierte la basura en calor, emisiones gaseosas y ceniza residual sólida. Otros tipos de tratamiento térmico incluyen pirólisis y gasificación.

Una planta de generación de energía a partir de residuos, o Waste-to-Energy (WtE), es un término moderno para un incinerador que quema desechos en un horno de alta eficacia para producir vapor y/o electricidad e incorpora sistemas de control de contaminación del aire modernos y monitores de emisión continuos. A veces llaman este tipo de incinerador una energía-desde-basura (energy-from-waste o EfW).

La incineración es popular en países como Japón donde la tierra es un recurso escaso. Suecia ha sido un líder en la utilización de energía generada por incineración desde 1985. Dinamarca también hace un uso extensivo de la incineración WtE en generación de calor y electricidad que se utiliza para calefacción urbana.

La incineración se realiza tanto para una pequeña escala, como para una escala mayor como la industria. Es reconocido como un método práctico de eliminar ciertos materiales de desecho peligrosos (como los desechos biológicos de los hospitales), aunque esto sea un método polémico en muchos sitios debido a cuestiones como la emisión de residuos contaminantes gaseosos.

#### **4.2.3.7 Tecnología Residuo Cero**

Se preseleccionan los residuos según su composición. Por un lado, se apartan para su reciclado metales, aluminio, vidrios, papel, cartón, plásticos, y por el otro aquellos residuos sólidos urbanos susceptibles de ser transformados en materiales de construcción (orgánicos, escombros, maderas, gomas, etc.), mediante el método de solidificación y estabilización de residuos. La solidificación y estabilización se logra aplicando el sistema denominado

microencapsulado. Este último consiste en mezclar, amasar, moldear y conformar los residuos sólidos urbanos no reciclables con un aglomerante que actúa como confinador a través de un proceso adecuado. Al producto obtenido mediante este proceso se lo denomina “Compound”. El mismo tiene igual o mejores características que sus similares para la obtención de materiales de construcción y a un costo sensiblemente menor.

#### **4.2.3.8 Compostaje y digestión anaerobia**

Los materiales de desecho que son orgánicos en la naturaleza, como las plantas, restos de alimentos, y productos derivados del papel, cada vez están siendo más reciclados. Estos materiales son puestos en un compost y/o sistema de digestión para controlar el proceso biológico para descomponer la materia orgánica y matar los patógenos. El material orgánico resultante es entonces reciclado como paja o compost para agricultura.

Hay una gran variedad de métodos de compostaje, de digestión y tecnologías, variando desde el simple compost de plantas trituradas, a la digestión automatizada en un recipiente con basura variada. Estos métodos de descomposición biológica se distinguen como aerobios en métodos de compost o anaerobios en métodos de digestión, aunque existen híbridos que usan los dos métodos.

Pero de la digestión anaerobia el compost no es el único producto, los principales son el dióxido de carbono y el metano, que hoy terminan en la atmósfera, siendo sabido, que son de los gases productores del efecto invernadero, dado que afectan la capa de ozono.

Hay una tremenda responsabilidad en la sociedad sobre este asunto, aunque la realidad muestra ser un tema directamente ignorado desde este punto de vista. Sin embargo, se busca exigir en este sentido a las empresas, habiendo un largo camino por recorrer, persona a persona, familia por familia, casa por casa, para que la presión sobre las industrias sea tal, que no sea posible entrar en un mercado sino se prueba que realmente se trata de una producción MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio).

#### **4.2.3.9 Tratamiento mecánico biológico**

El tratamiento mecánico biológico (TMB) es un tipo de tecnología que combina la clasificación mecánica y el tratamiento mecánico biológico de los residuos. TMB también es llamado a veces TBM -Tratamiento Biológico Mecánico - aunque esto simplemente se refiere al orden del tratamiento.

El elemento "clasificación mecánica" puede ser una cinta. Aquí se separan de residuos peligrosos como aceites, pilas de coches etc.; elementos reciclables de la cadena de residuos que pueden ser variados (como metales, plásticos y cristal) o los procesa para producir un combustible de alto poder calorífico, denominado Combustible Sólido Recuperado (CSR) que puede ser usado en hornos de cemento o centrales eléctricas. Los sistemas que son configurados para producir CSR incluyen Herhofand Ecodeco. También existe la forma de usar los residuos con alto valor calorífico directo como sustitución de combustible. Es una idea falsa común que todos los procesos de TMB producen CSR,

algunos sistemas como ArrowBio simplemente recuperan los elementos reciclables de la basura en una forma que luego pueden ser utilizados para el reciclaje. El tratamiento mecánico se refiere a la homogeneización de los desechos para su tratamiento biológico.

El elemento "biológico" se refiere a la digestión anaerobia o aerobia. En caso de puros desechos orgánicos se habla de compostaje. La digestión anaerobia "degrada" los componentes biodegradables de la basura para producir biogás. El biogás puede ser usado para generar energía renovable. Procesos más avanzados como el Proceso de ArrowBio permiten una gran producción de gas y energía verde sin la producción de CSR. Esto es gracias al procesamiento de los residuos en el agua.

Biológico también puede referirse a una degradación aerobia en que la parte orgánica de los residuos es tratada con microorganismos aeróbicos, eliminando así el potencial de peligro al medio ambiente y a la salud humana. Además por la degradación de los orgánicos a dióxido de carbono y vapor carece de biogás. Por la carencia total de biogás este proceso es muy recomendable para un mecanismo de desarrollo limpio. Con la combustión de la fracción con alto valor calorífico se puede producir energía verde en incineradoras especiales. Por la ausencia de alta tecnología se deja de elaborar bonos de carbono en una forma segura y una inversión mínima.

#### **4.2.3.10 Pirólisis y gasificación**

La pirólisis y la gasificación son dos formas de tratamiento térmico en las que los residuos se calientan a altas temperaturas con una cantidad de oxígeno limitada. El proceso se lleva a cabo en un contenedor sellado a alta presión. Convertir el material en energía es más eficiente que la incineración directa, se genera energía que puede recuperarse y usarse, mucho más que en la combustión simple.

La pirólisis de los residuos sólidos convierte el material en productos sólidos, líquidos y gaseosos. El aceite líquido y el gas pueden ser quemados para producir energía o refinado en otros productos. El residuo sólido puede ser refinado en otros productos como el carbón activado.

La gasificación es usada para convertir materiales orgánicos directamente en un gas sintético (syngas) formado por monóxido de carbono e hidrógeno. El gas se puede quemar directamente para producir vapor o en un motor térmico para producir electricidad. La gasificación se emplea en centrales eléctricas de biomasa para producir la energía renovable y calor.

#### **4.2.3.11 Gestión de Residuos Peligrosos**

Los residuos peligrosos son dañinos para la salud humana y el medio ambiente. Su gestión es bastante diferente a la de un residuo domiciliario ya que la acción digestora microbiana es el centro del tratamiento; para el caso del Residuo Peligroso, la acción química conducente a energizar los residuos constituye la base de los tratamientos.

Su procedencia es casi exclusivamente de la industria química pesada, la agroindustria (pesticidas), la industria forestal (persevantes), la gran minería (elementos tóxicos extrínsecos) y los hornos de fundición asociados a la minería cuya tasa de emisión de contaminantes a los biotopos son altísimas. Las leyes sanitarias y medioambientales de muchos países desarrollados o en vías de desarrollo que tienen políticas sustentables, obligan a este tipo de industrias a disponer sus residuos en empresas autorizadas para disposición final.

Para el caso de los residuos peligrosos, el tratamiento consiste en someter a cierta clase de residuos peligrosos a una serie de reacciones químicas y físicas de energización, realizando co-tratamientos previos a la disposición en un depósito de seguridad construido de modo semejante al de los residuos domiciliarios pero reforzado en algunos aspectos técnicos. La gestión final o cierre del depósito es algo diferenciado a aquel que está destinado a los domiciliarios.

#### **4.2.4 Métodos de separación de residuos sólidos**

Existen varios procedimientos de separación de materiales que son los siguientes:

##### **4.2.4.1 Triaje manual**

Los residuos son depositados en una cinta y los trabajadores que están situados a los lados van separando los residuos.

##### **4.2.4.2 Cribación**

Es un proceso unitario utilizado para separar mezclas de materiales de tamaños distintos en dos o más fracciones de tamaño mediante una o más superficies de cribado. Se puede llevar a cabo un cribado seco o húmedo, el primero es el más común en los sistemas de procesamiento de residuos sólidos. Las aplicaciones principales de los aparatos de cribado en el procesamiento de residuos sólidos urbanos incluyen:

1. Separación de materiales grandes.
2. Separación de materiales pequeños.
3. Separación de residuos en combustibles ligeros y combustibles pesados.
4. Recuperación de papel, plásticos y otros materiales ligeros a partir de vidrio y metal.
5. Separación de vidrio, arenisca y arena a partir de materiales de combustibles.
6. Separación de rocas y otros escombros grandes a partir de tierra excavada en lugares de construcción.
7. Separación de materiales gruesos a partir de ceniza de incineración. Los tipos de cribas más frecuentemente utilizados para la separación de materiales de residuos sólidos.



Las cribas típicas utilizadas para la separación de residuos sólidos son:

**Cribas vibratorias.** Se usan para materiales pequeños a partir de residuos sólidos urbanos separados de origen y no seleccionados, para procesar residuos de construcción y demolición. Se pueden diseñar cribas vibratorias para que vibren de un lado a otro, verticalmente o longitudinalmente. Las cribas vibratorias utilizadas para la separación de residuos sólidos urbanos son inclinadas y utilizan un movimiento vertical. El movimiento vertical permite que el material que hay que separar esté en contacto con la criba cada vez en puntos distintos.

**Cribas giratorias.** El tipo más común de criba giratoria utilizada en el procesamiento de residuos es el tromel. Los tromeles se utilizan para separar materiales residuales en varias fracciones de tamaño. Operacionalmente se introduce el material que hay que separar en el fondo delantero de tromel giratorio inclinado. Mientras gira el tromel, cae el material separado y contacta con la criba numerosas veces mientras desciende a lo largo de la misma. Caen las partículas pequeñas a través de los agujeros de la criba mientras el material más grande permanece en ella. El material que cae a través de la criba es conocido colectivamente como fracción fina o de pequeño tamaño o cribado y fracción gruesa o de gran tamaño o rechazo. Los tromeles equipados con cuchillas o dientes metálicos que sobresalen del tambor también se usan como rompedores de bolsas. Normalmente las cuchillas se localizan en el primer tercio del tromel. Los residuos gruesos que han pasado a través del tromel se seleccionan manualmente. En algunos sistemas, se emplea la separación magnética de metales féreos antes de la separación manual. Los metales féreos también son separados de los materiales residuales de la fracción fina que pasaron de tromel.

**Cribas de disco.** Consisten en series de ejes horizontales paralelos equipados con discos entrelazados (o en forma de estrella). La fracción ligera que hay que separar cae entre los espacios de los discos y los materiales de la fracción gruesa corren por encima de los discos como en una cinta transportadora. Se pueden separar diferentes tamaños de residuos utilizando la misma criba mediante el ajuste de espacio entre los discos giratorios. Las cribas de discos tienen varias ventajas sobre otros tipos de cribas, incluyendo la auto limpieza y la ajustabilidad del espaciamiento de los discos sobre los ejes de conducción. Se utilizan las cribas de discos para las mismas aplicaciones que los tromeles, [13].

#### **4.2.4.3 Separación neumática (Clasificación neumática)**

Es el proceso unitario utilizado para separar materiales ligeros, como el papel y plástico, de materiales más pesados, como metal férreo, basándose en la diferencia de peso del material en una corriente de aire. Si se introducen materiales de pesos distintos en una corriente de aire que se mueve con suficiente velocidad. Se llevarán los materiales ligeros, mientras los materiales pesados caerán en sentido contracorriente. Se ha utilizado la clasificación neumática durante algunos años en operaciones industriales para la separación de diversos componentes a partir de mezclas secas.

La clasificación neumática también se ha utilizado para la separación de vidrios y plásticos no seleccionados. Un sistema completo de clasificación neumática está formado por un clasificador neumático y un ciclón separador, que se utiliza para separar los materiales sólidos de la corriente de aire, [13].

#### **4.2.4.4 Separación magnética**

Es un proceso unitario mediante el cual se separan los metales féreos de otros materiales residuales utilizando sus propiedades magnéticas. Frecuentemente se utiliza la separación magnética para separar latas de aluminio de las latas de hojalata en residuos separados en origen, donde los dos tipos de metales están mezclados. Usualmente se recuperan los metales féreos después de la trituración y clasificación neumática. En algunas instalaciones grandes, se han utilizado sistemas magnéticos superiores para recuperar materiales féreos antes de la trituración.

Cuando se queman los residuos sólidos urbanos no seleccionados en incineradoras, se utiliza la separación magnética para separar materiales féreos de los rechazos de incineración. Los sistemas de recuperación magnética también han sido utilizados en zonas de evacuación de vertedero, [13].

#### **4.2.5 Trituración y métodos**

La trituración es uno de los métodos para reducir materiales, que tiene como función reducir el volumen de la basura y a su vez facilitar su transporte. Este método se clasifica según los tamaños de entrada de dichos materiales que van desde 1 cm a 1 m. Para llevar a cabo la trituración se hace uso de fuerzas en la reducción de tamaño como son la compresión, el cizallamiento, la percusión o impacto y la atrición o abrasión, [14].

A continuación se describen algunos métodos de trituración que actúan por compresión e impacto, además aspectos generales acerca del triturador de residuos caseros.

##### **4.2.5.1 Molienda por aplastamiento**

Consiste en triturar los desechos sólidos golpeándolos hasta comprimirlos y reducirlos a su menor cantidad de volumen.

##### **4.2.5.2 Molienda por desintegración**

Un distribuidor gira a gran velocidad, particularmente adoptado a las materias duras.

##### **4.2.5.3 Molienda por cizallamiento**

Especialmente adaptado para la trituración de madera y destrucción de vehículos.

#### **4.2.5.4 Molienda por desgarramiento**

Sistema muy vulnerable para la basura y por tal motivo no es muy recomendable. Apto para la trituración de materiales fibrosos como papel y cartón.

#### **4.2.5.5 Molienda por rodaje (sistema Dorr Oliver)**

Es un aparato de grandes dimensiones (6m diámetro) en el cual el rotor gira a 5 o 6 vueltas por minuto; los residuos son compactados contra la parte inferior perforado con orificios de 4 cm o 5 cm de diámetro. Después de varias vueltas los materiales que no han pasado a través de la malla son rechazados al exterior.

Las basuras, después de pasar por un separador magnético se introducen uniformemente en el tambor del Dorr Oliver. Este tambor está constituido por un cilindro vertical de acero y de doble fondo, el fondo superior esta perforado y con dientes.

Sirve, en combinación con los brazos articulados, para desgarrar y homogenizar la basura eliminando periódicamente los rechazos; el fondo superior recoge las basuras orgánicas y las va vertiendo hacia una cinta transportadora. Este sistema requiere poca energía pero involucra elevados gastos de entrenamiento.

#### **4.2.5.6 Molienda por tromel**

El tromel tiene de 70 a 100 cm de diámetro, el cual puede ser circular, octogonal o hexagonal; gira a unas 11 vueltas por minuto aproximadamente; las basuras van descendiendo hacia la boca exterior de salida por donde sale solamente lo que no ha pasado por los orificios del tromel. Esta operación se puede realizar por vía seca, o por vía húmeda agregando agua en el proceso.

#### **4.2.5.7 Molienda por discos**

Los discos entre los cuales se aplasta la basura giran a gran velocidad y no admiten más que materias con dimensiones de unos 500 mm de diámetro. Se efectúa un molido fino y preciso, además se dispone de una potencia considerable.

#### **4.2.5.8 Molienda por centrifugación**

Basado en el uso de un rotor que gira a  $5 \text{ min}^{-1}$ ; las basuras mezcladas con el 90% de agua, forman un conjunto en el cual los productos removidos se proyectan unos contra otros, o contra las paredes del estator a una velocidad de 1,5 m / min.

#### **4.2.5.9 Molienda por martillos**

Es el procedimiento más usado para el molido de las basuras domésticas; los martillos pueden estar ubicados sobre el rotor en forma oscilante o fija. Los desechos pueden ser proyectados por los martillos sobre una parrilla perforada que define la figura del molido, o

bien sobre los dientes de un rotor semejante al primero, definiendo la figura del número de dientes. Los productos que no se pueden moler se proyectan al exterior por efecto balístico.

#### **4.2.5.10 Molienda seca**

Los métodos por vía seca se basan principalmente en dos procedimientos especiales: molienda por rodaje y molienda por martillos, [15].

#### **4.2.5.11 Trituración de residuos de comida caseros**

En los últimos 20 años, el uso de trituradoras de cocina para los residuos de comida se ha utilizado en Europa y principalmente en Estados Unidos, han ganado una aceptación tan amplia que casi todas las viviendas nuevas son equipadas con ellas y su instalación en las viviendas más antiguas es muy común. Las trituradoras de residuos de comida se usan principalmente para los residuos precedentes de la preparación, cocción y servicio de comida. La mayoría de las trituradoras de uso doméstico no sirven para huesos grandes u otros artículos voluminosos.

Funcionalmente, las trituradoras dejan el material que pasa a través de ellas apto para su transporte en el sistema de alcantarillas. Como el material orgánico añadido a las aguas residuales ha ocasionado una sobrecarga de muchas instalaciones de tratamiento, ha sido necesario prohibir en muchas comunidades las instalaciones de trituradoras de residuos de comida en las nuevas construcciones hasta que esté disponible una capacidad adicional de tratamiento.

Cuando se usan las trituradoras extensamente, el peso de los residuos escogidos por persona tendera a ser menor. En términos de operación de recogida, el uso de trituradoras domésticas no tiene un impacto importante sobre el volumen de residuos recogidos. Incluso la diferencia en peso no es importante. En algunos casos cuando se utilizan trituradoras, ha sido posible incrementar el tiempo entre viajes de recogida porque no se almacenan residuos que puedan descomponerse fácilmente, [16].

#### **4.2.5.12 Funcionamiento de un triturador casero**

Un triturador de desperdicios es un pequeño electrodoméstico que se coloca debajo del fregadero y se conecta al desagüe, para deshacer inmediatamente los restos de comida, y así evitar la acumulación de bolsas y bolsas de basura orgánica que impregnan de olores toda la vivienda.

Su funcionamiento es muy sencillo: se deja correr el agua fría, posteriormente se acciona el botón de encendido para que se ponga en marcha y, como último pasó, se dejan caer las sobras por el sumidero. Luego, se escucha cómo el triturador licua los desperdicios de los alimentos para que, acto seguido, el desagüe se los lleve a través de las tuberías. Es importante que hasta que el triturador no finalice su trabajo, no desconectarlo.

Este tipo de electrodoméstico no admite todo tipo de desperdicios. Su función es la de transformar los restos de comida en pequeñas partículas de fácil evacuación por la tubería. No se debe utilizar como si fuera el cubo de la basura, los elementos no orgánicos o reciclables como plásticos o cartones pueden causar una avería grave. Además existe cierta clase de residuos que no pueden pasarse por el triturador tales como los restos de carácter fibroso como el apio, las hojas de mazorca de maíz, las cebollas, etc. Las fibras de las que están compuestos estos alimentos también pueden obstruir algunos de los elementos de los que están formados estos aparatos, [17].

#### **4.2.5.13 Ventajas de un triturador**

Lo más importante es que no necesita mantenimiento preventivo. Si en alguna ocasión se atasca, el propio aparato dispone de una llave o mecanismo similar que despeja la obstrucción al ser accionado. Los trituradores tienen un consumo medio de apenas tres litros diarios por persona lo que, traducido a porcentaje de gasto de agua, significa un 0,04% de aumento en el consumo, [17].

#### **4.2.6 Métodos de extracción de líquidos**

Estos son algunos de los dispositivos que se utilizan para la extracción de líquidos en el ámbito industrial:

##### **4.2.6.1 Aparato de extracción de líquidos por diferencia de densidades**

Este aparato sirve para la extracción centrífuga de componentes líquidos de residuos, que trabaja con dos componentes líquidos con un peso específico diferente y un componente sólido, [18].

##### **4.2.6.2 Sistema para extraer líquido de un contenedor de pasta residual**

Este sistema se dispone dentro de un contenedor de residuos, pasta residual, [19].

##### **4.2.6.3 Prensas htr para extracción de líquidos de residuos sólidos municipales**

Para la extracción de líquidos se utilizan prensas como por ejemplo HTR que realizan la expulsión de los líquidos producidos durante la compactación de los residuos sólidos municipales, se lleva a cabo a través de unos conductos especialmente instalados en la base de la cámara de compactación. De esta forma, estos líquidos, que aún no se han convertido en lixiviados, no se transportarán al vertedero.

#### **4.2.7 Compactación**

Los dos tipos principales de compactadoras utilizadas para el procesamiento de residuos en viviendas residenciales son:

1. Pequeñas unidades de compactación (individuales) domésticas.

2. Grandes compactadoras, utilizadas para compactar residuos de un gran número de apartamentos o casas.

#### **4.2.7.1 Unidades de compactación domésticas**

En los últimos años, están disponibles en el mercado una gran variedad de pequeñas compactadoras diseñadas para el uso doméstico. Las pretensiones de los fabricantes de estas unidades, en términos de relación de compactación, normalmente están basadas en la compactación de papel suelto y ondulado. Aunque las compactadoras pueden reducir el volumen original de los residuos hasta el 70%, sólo se pueden utilizar para una pequeña proporción de los residuos sólidos generados. También mediante la compactación los residuos llegan a estar tan saturados con los líquidos presentes en los residuos de comida que la recuperación de papel u otros componentes quizás no sean factibles, porque no se satisfacen las especificaciones del producto.

#### **4.2.7.2 Compactadoras para grandes bloques de vivienda**

Para reducir el volumen de los residuos sólidos que hay que manipular, es muy frecuente instalar unidades de compactación en los grandes edificios de viviendas. Normalmente, se instala un compactador al fondo de un conducto de residuos sólidos. Los residuos que caen por el conducto activan la compactadora mediante celdas fotoeléctricas o interruptores de límite. Una vez activados estos interruptores, se comprimen los residuos. Según el diseño de la compactadora, los residuos comprimidos pueden formar balas o ser expulsados y cargados automáticamente en contenedores de metal o bolsas de papel.

Cuando se ha formado una bala o se ha llenado un contenedor o bolsa, la compactadora automáticamente se apaga y se enciende una luz de advertencia. Entonces el operario debe atar y quitar la bala de la compactadora, o retirar la bolsa llena y reemplazarla por una vacía. En algunas aplicaciones se puede justificar el uso de equipo completamente automatizado. Cuando se elige el tamaño del equipo de compactación para ser utilizado conjuntamente con conductos de residuos en bloques de viviendas, es común adoptar las mismas suposiciones que aquellas utilizadas para elegir el tamaño de los conductos.

Aunque el uso de compactadoras reduce el volumen en bruto de los residuos que hay que manejar, el peso, por supuesto, sigue igual. Normalmente, el volumen compactado varía desde 20% al 60% o menos respecto al volumen original. Si no se rompen las balas de residuos sólidos, es posible recuperar los componentes individuales de los residuos compactados. Cuando se utilizan las incineradoras, hay que romper los residuos compactados para evitar una combustión retrasada en el horno y altas pérdidas de materiales combustibles no quemados. Todos estos factores deben ser considerados cuando se estén evaluando el uso de compactadoras, [21].

## 5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

En esta primera fase del trabajo de grado se abarcó todo lo concerniente con la planeación diseño del producto, es decir del procesador de residuos sólidos para uso doméstico y la identificación de las necesidades de los clientes, lo que permitió definir el producto, el tipo de proyecto a desarrollar y las oportunidades de desarrollo identificadas por varias fuentes, incluyendo sugerencias para marketing, clientes, equipos de desarrollo de productos actuales.

Como texto guía utilizado a utilizar fue “*Diseño y Desarrollo de Productos Enfoque Multidisciplinario*” de los autores Karla T. Urich y Steven D. Eppinger de editorial Mc Graw Hill; este libro contiene material sobre el desarrollo de productos combinando las perspectivas del marketing, manufactura y el diseño en un solo enfoque para el desarrollo de productos; los métodos presentados son procedimientos típicos de paso a paso para completar las labores de desarrollo, [48].

A partir de este capítulo se mostrará el desarrollo obtenido utilizando la metodología de apoyo, no se dispondrá la teoría ya que redundaríamos en información explícita en el libro.

El proyecto en el cual se trabajó, pese a que guarda relación con ciertos productos de procesamiento de basura doméstica, es un producto fundamentalmente nuevo que dirige sus esfuerzos a diseñar un procesador de residuos sólidos netamente orgánicos, que lo diferencia de las trituradoras de desperdicios caseros que utilizan en su proceso basura doméstica de todo tipo y que no aprovecha los subproductos de la misma, lo que es el caso de este proyecto, en el que se podrían generar dividendos del tratamiento de la basura orgánica.

Habiendo definido el tipo de proyecto a desarrollar y teniendo en cuenta que se trata de un producto nuevo que implicará el uso de tecnología existente o por desarrollar; por lo cual se procedió a identificar las necesidades del cliente mediante cinco etapas sucesivas que se describirán a continuación:

### **Etapas 1. Recopilar datos sin procesar de los clientes**

Recopilar datos de alta calidad, involucra el contacto con los clientes y con su experiencia con el ambiente de uso del producto; abarcan tres métodos básicos que son las entrevistas, los grupos de enfoque, es decir reuniones con grupos de personas previamente seleccionados, y finalmente observar el producto en uso, lo cual en este caso se hace para productos que guardan cierta similitud. Para ello se hicieron preguntas a personas del común, a las empresas ATESA DE OCCIDENTE Y BIORGANICOS DEL OTUN, quienes aportaron valiosa información para el proceso. Igualmente se establecieron conclusiones propias basadas en experiencias personales, y finalmente se recurrió a consultas bibliográficas que ayudaron a definir un poco más esta primera etapa. Resultado de esto son 47 necesidades determinadas las que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

<b>PROYECTO PROCESADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA USO DOMÉSTICO (PRS)</b>	
<b>Necesidades de los clientes</b>	
1	Que no se corroa.
2	Que se pueda lavar fácilmente.
3	Necesita poca intervención del usuario.
4	Puede operar rápidamente.
5	De fácil instalación.
6	Necesita poco mantenimiento.
7	Resiste el agua.
8	Facilidad de Repuestos.
9	Buena relación costo-beneficio.
10	Que no haga mucho ruido cuando esté en funcionamiento.
11	Acepta cualquier tipo de residuos orgánicos.
12	Enciende y apaga fácilmente.
13	Que no se atasque.
14	Que no se apague sin motivo aparente.
15	Sonido agradable.
16	Que funcione mucho tiempo sin dañarse.
17	No consuma mucha energía.
18	De buena apariencia.
19	Que sea un dispositivo fiable
20	Que no sea un dispositivo que contamine el medio.
21	Que no lesione el usuario.
22	Dispositivo pequeño.
23	Reducir el tamaño de las basuras.
24	Minimiza olor.
25	De fácil funcionamiento.
26	Que sea confiable.
27	Que sea seguro.
28	Que no produzca derrames.
29	Permite fácil recolección por las empresas encargadas.
30	Es resistente a los lixiviados
31	Permite fácil recolección de lixiviados por parte de las empresas.
32	Permite fácil almacenamiento de los lixiviados.
33	Permite el ingreso de grandes cantidades de basuras.
34	Separa líquidos contenidos en los Residuos orgánicos.
35	Que sea bonito.
36	Que tenga muchas funciones.
37	Que los residuos puedan formar balas o sean fácilmente almacenables.
38	Que tenga señalización para su funcionamiento
39	Permite un funcionamiento constante
40	Que los materiales de fabricación sean de baratos
41	Se pueda llevar de un lugar a otro fácilmente
42	Que su nivel de vibraciones sea normal



43	Que no produzca cortos
44	Que no se recalienta
45	Que no se dañe cuando se introduzcan objetos extraños
46	Reduce el volumen de las basuras.
47	De fácil mantenimiento.

## **Etapa 2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades del cliente**

Para que las necesidades obtenidas fueran fácilmente interpretadas fue necesario reformularlas, expresándolas en términos de lo que el procesador de residuos sólidos hace, mas no de lo que puede hacer, conservando el mismo detalle que las necesidades sin procesar, teniendo en cuenta que fueran enunciados positivos y que se deberían enunciar como atributos del procesador de residuos sólidos. Todo esto para evitar malinterpretaciones de lo que el cliente realmente quiso decir y para hacer que la necesidad fuera clara, entendible y que guardara plena relación con el proyecto a desarrollar. Los resultados de esta etapa se muestran en la tabla 3, [48].

Tabla 3

<b>PROYECTO PROCESADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA USO DOMÉSTICO (PRS)</b>	
<b>Necesidades de los clientes interpretadas</b>	
1	El PRS resiste a la corrosión.
2	El PRS se puede lavar fácilmente.
3	El PRS requiere poca intervención del usuario.
4	El PRS opera rápidamente.
5	El PRS se instala fácilmente.
6	El PRS requiere poco mantenimiento.
7	El PRS es resistente al agua.
8	El PRS permite un fácil reemplazo de las partes que se desgasten.
9	El PRS tiene una buena relación costo-beneficio.
10	El PRS tiene sonido agradable.
11	El PRS se utiliza para cualquier tipo de residuo orgánico.
12	El PRS se enciende y apaga fácilmente.
13	El PRS opera sin atascarse.
14	El PRS no se apaga inadvertidamente.
15	El PRS hace poco ruido cuando está funcionando.
16	El PRS funciona tiempo continuo sin deteriorarse.
17	El PRS tiene bajo consumo de energía.
18	El PRS tiene buena apariencia.
19	El PRS es fiable.
20	El PRS maneja un entorno limpio.
21	El PRS no corta ni lesiona las manos del usuario.
22	El PRS tiene un tamaño adecuado.
23	El PRS reduce en gran porcentaje el tamaño de las basuras.
24	El PRS minimiza el olor de los residuos domiciliarios.

25	El PRS tiene un fácil funcionamiento.
26	El PRS es confiable.
27	El PRS es seguro.
28	El PRS no produce derrames.
29	El PRS permite fácil recolección de residuos orgánicos.
30	El PRS es resistente a los lixiviados.
31	El PRS permite un fácil almacenamiento de lixiviados.
32	El PRS permite fácil recolección de lixiviados.
33	El PRS permite un ingreso de grandes cantidades de basura orgánica.
34	El PRS separa los líquidos contenidos en los residuos orgánicos.
35	El PRS es atractivo a la vista.
36	El PRS tiene alta funcionalidad.
37	El PRS permite un fácil almacenamiento de residuos orgánicos.
38	El PRS cuenta con señalización y etiquetas para su funcionamiento.
39	El PRS mantiene los parámetros de operación constante durante su funcionamiento.
40	El PRS es fabricado con materiales de costo razonable.
41	El PRS se puede transportar en vehículos de carga pequeña.
42	El PRS presenta un nivel de vibración bajo.
43	El PRS está protegido contra un corto circuito accidental.
44	El PRS no se recalienta.
45	El PRS opera bajo límites de diseño, ante elementos extraños en la basura orgánica

### Etapa 3. Organizar las necesidades en una jerarquía

Ya que es difícil resumir toda la información hallada previamente, se hace un análisis profundo de todas las necesidades, eliminando las que fueran redundantes y jerarquizando las seleccionadas. Se agruparon aquellas que guardaran factores en común y en la medida de lo posible se crearon macro grupos o sub grupos con el fin de asignarles posteriormente a cada grupo un título de categoría que facilitara su identificación. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 4, [48].

Tabla 4

<b>PROYECTO PROCESADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA USO DOMÉSTICO</b>		
<b>N°</b>	<b>Necesidad</b>	<b>Necesidad categorizada</b>
		<b>El PRS es durable.</b>
1	16	El PRS funciona tiempo continuo sin deteriorarse.
2	30	El PRS es resistente a los lixiviados.
3	1	El PRS es resistente a la corrosión.
4	7	El PRS es resistente al agua.
		<b>El PRS es de fácil mantenimiento.</b>
5	6	El PRS requiere poco mantenimiento.
6	2	El PRS se puede lavar fácilmente.
7	8	El PRS permite un fácil reemplazo de las partes que se desgasten.
		<b>El PRS es seguro.</b>
8	21	El PRS no corta ni lesiona las manos del usuario.

9	27	El PRS es seguro.
10	38	E PRS cuenta con señalización y etiquetas para su funcionamiento.
11	43	El PRS está protegido contra un corto circuito accidental.
		<b>El PRS es de fácil instalación y transporte.</b>
12	5	El PRS se instala fácilmente.
13	41	El PRS se puede transportar en vehículos de carga pequeña.
		<b>El PRS es de fácil operación.</b>
14	25	El PRS tiene un fácil funcionamiento.
15	4	El PRS opera rápidamente.
16	12	El PRS se enciende y apaga fácilmente.
17	3	El PRS requiere poca intervención del usuario.
18	39	El PRS mantiene los parámetros de operación constante durante su funcionamiento.
	19	<b>El PRS es fiable.</b>
19	13	El PRS opera sin atascarse.
20	14	El PRS no se apaga inadvertidamente.
21	26	El PRS es confiable.
22	42	El PRS presenta un nivel de vibración bajo.
23	44	El PRS no se recalienta.
24	45	El PRS opera bajo límites de diseño, ante elementos extraños en la basura orgánica.
	36	<b>El PRS tiene alta funcionalidad.</b>
25	11	El PRS se utiliza para cualquier tipo de residuo orgánico.
26	33	El PRS permite un ingreso de grandes cantidades de basura orgánica.
27	34	El PRS separa los líquidos contenidos en los residuos orgánicos.
28	23	El PRS reduce en gran porcentaje el tamaño de las basuras.
		<b>El PRS permite una fácil recolección de sus productos.</b>
29	32	El PRS permite fácil recolección de lixiviados.
30	29	El PRS permite fácil recolección de residuos orgánicos.
	20	<b>El PRS maneja un entorno limpio.</b>
31	28	El PRS no produce derrames.
32	24	El PRS minimiza el olor de los residuos domiciliarios.
		<b>El PRS tiene sonido agradable.</b>
33	15	El PRS hace poco ruido cuando está funcionando.
34	10	El PRS tiene sonido agradable.
		<b>El PRS tiene buena apariencia.</b>
35	35	El PRS es atractivo a la vista.
36	18	El PRS tiene buena apariencia.
37	22	El PRS tiene un tamaño adecuado.
		<b>El PRS tiene una buena relación costo-beneficio.</b>
38	17	El PRS tiene bajo consumo de energía.
39	9	El PRS tiene una buena relación costo-beneficio.
40	40	El PRS es fabricado con materiales de costo razonable.
		<b>El PRS permite un fácil almacenamiento de sus productos.</b>
41	31	El PRS permite un fácil almacenamiento de lixiviados.
42	37	El PRS permite un fácil almacenamiento de residuos orgánicos.

#### **Etapla 4. Establecer la importancia relativa de las necesidades**

Con el fin de conocer las necesidades que requerían especial atención y las que no fuese tan importante satisfacer, se estableció un sistema de calificación que permitiera realizar una comparación mediante la construcción de una matriz relativa de necesidades Vs necesidades, con los siguientes indicadores de calificación mostrados en la tabla 5; [48].

Tabla 5

<b>INDICADOR DE NECESIDADES VERSUS MEDIDAS</b>	
Valor	Interpretación
0	No aplica
1	Inferior
2	Menor importancia
3	Igual importancia
4	Mayor importancia
5	Superior

Después de obtener los resultados de esta matriz se procedió a otorgar valores de importancia a cada necesidad bajo el criterio mostrado en la tabla 6:

Tabla 6

<b>INDICADOR CALIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES</b>	
Valor	Interpretación
1	Sin importancia
2	Algo importante
3	Importante
4	Muy importante

Los resultados de esta etapa se muestran en las tablas 7 y 8 respectivamente.

Tabla 7

N°	Necesidades	Necesidades															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		El PRS resiste a la corrosión.															
1	El PRS resiste a la corrosión.	0	5	4	4	4	3	5	5	2	4	2	5	2	5	4	3
2	El PRS se puede lavar fácilmente.	1	0	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1
3	El PRS requiere poca intervención del usuario.	2	5	0	3	3	2	4	1	2	3	1	4	3	4	3	2
4	El PRS opera rápidamente.	2	5	3	0	4	2	4	2	2	3	2	4	4	2	3	2
5	El PRS se instala fácilmente.	2	5	3	2	0	2	3	1	2	2	1	4	2	4	2	1
6	El PRS requiere poco mantenimiento.	3	5	4	4	4	0	5	3	3	4	3	4	3	4	3	3
7	El PRS es resistente al agua.	1	3	2	2	3	1	0	2	1	2	1	3	3	4	3	1
8	El PRS permite un fácil reemplazo de las partes que se desgasten.	1	5	5	4	5	3	4	0	2	2	1	4	2	4	2	2
9	El PRS tiene una buena relación costo-beneficio.	4	5	4	4	4	3	5	4	0	5	3	5	4	4	4	3
10	El PRS tiene sonido agradable.	2	5	3	3	4	2	4	4	1	0	1	4	1	2	3	2
11	El PRS se utiliza para cualquier tipo de residuo orgánico.	4	5	5	4	5	3	5	5	3	5	0	5	4	5	4	4
12	El PRS se enciende y apaga fácilmente.	1	4	2	2	2	2	3	2	1	2	1	0	1	4	2	1
13	El PRS opera sin atascarse.	4	5	3	2	4	3	3	4	2	5	2	5	0	4	2	3
14	El PRS no se apaga inadvertidamente.	1	5	2	4	2	2	2	2	2	4	1	2	2	0	4	2
15	El PRS hace poco ruido cuando esta funcionando.	2	5	3	3	4	3	3	4	2	3	2	4	4	2	0	2
16	El PRS funciona tiempo continuo sin deteriorarse.	3	5	4	4	5	3	5	4	3	4	2	5	3	4	4	0

Tabla 7 (Continuación)

N°	Necesidades	Necesidades															
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
		El PRS tiene bajo consumo de energía.															
17	El PRS tiene bajo consumo de energía.	0	5	1	4	3	4	4	1	1	5	3	4	4	4	4	4
18	El PRS tiene buena apariencia.	1	0	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
19	El PRS no corta ni lesiona las manos del usuario.	5	5	0	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	5	4
20	El PRS tiene un tamaño adecuado.	2	3	3	0	2	2	3	1	1	1	2	2	3	3	3	2
21	El PRS reduce en gran porcentaje el tamaño de las basuras.	3	5	2	4	0	3	4	2	2	2	3	3	4	4	3	3
22	El PRS minimiza el olor de los residuos domiciliarios.	2	4	2	4	3	0	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2
23	El PRS tiene un fácil funcionamiento.	2	5	2	3	2	4	0	2	2	2	3	2	2	2	3	2
24	El PRS es confiable.	5	5	3	5	4	4	4	0	3	3	3	3	3	3	3	2
25	El PRS es seguro.	5	5	3	5	4	5	4	3	0	3	3	3	3	3	2	2
26	El PRS no produce derrames.	1	5	3	5	4	3	4	3	3	0	3	3	3	3	4	3
27	El PRS permite fácil recolección de residuos orgánicos.	3	5	3	4	3	4	3	3	3	3	0	2	3	3	4	3
28	El PRS es resistente a los lixiviados.	2	5	2	4	3	4	4	3	3	3	4	0	3	3	3	3
29	El PRS permite un fácil almacenamiento de lixiviados.	2	5	2	3	2	4	4	3	3	3	3	3	0	3	4	3
30	El PRS permite fácil recolección de lixiviados.	2	5	2	3	2	4	4	3	3	3	3	3	3	0	4	3
31	El PRS permite un ingreso de grandes cantidades de basura orgánica.	2	4	1	3	3	4	3	3	4	2	2	3	2	2	0	3
32	El PRS separa los líquidos contenidos en los residuos orgánicos.	2	5	2	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	0



Tabla 8

<b>PROYECTO PROCESADOR DE RESIDUOS DOMÉSTICOS</b>			
<b>Primeras especificaciones del producto</b>			
<b>N°</b>	<b>Necesidad</b>	<b>Necesidad categorizada</b>	<b>Importancia</b>
		<b>El PRD es durable.</b>	3
1	16	El PRD funciona tiempo continuo sin deteriorarse.	3
2	30	El PRD es resistente a los lixiviados.	3
3	1	El PRD es resistente a la corrosión.	3
4	7	El PRD es resistente al agua.	2
		<b>El PRD es de fácil mantenimiento.</b>	2
5	6	El PRD requiere poco mantenimiento.	3
6	2	El PRD se puede lavar fácilmente.	1
7	8	El PRD permite un fácil reemplazo de las partes que se desgasten.	3
		<b>El PRD es seguro</b>	3
8	21	El PRD no corta ni lesiona las manos del usuario.	4
9	27	El PRD es seguro.	4
10	38	E PRD cuenta con señalización y etiquetas para su funcionamiento.	2
11	43	El PRD está protegido contra un corto circuito accidental.	3
		<b>El PRD es de fácil instalación y transporte</b>	2
12	5	El PRD se instala fácilmente.	2
13	41	El PRD se puede transportar en vehículos de carga pequeña.	2
		<b>El PRD es de fácil operación.</b>	2
14	25	El PRD tiene un fácil funcionamiento.	3
15	4	El PRD opera rápidamente.	2
16	12	El PRD se enciende y apaga fácilmente.	1
17	3	El PRD requiere poca intervención del usuario.	2
18	39	El PRD mantiene los parámetros de operación constante durante su funcionamiento.	3
	19	<b>El PRD es fiable.</b>	3
19	13	El PRD opera sin atascarse.	3
20	14	El PRD no se apaga inadvertidamente.	2
21	26	El PRD es confiable.	4
22	42	EL PRD presenta un nivel de vibración bajo.	3
23	44	El PRD no se recalienta.	3
24	45	El PRD opera bajo límites de diseño, ante elementos extraños en la basura orgánica	4
	36	<b>El PRD tiene alta funcionalidad.</b>	3
25	11	El PRD se utiliza para cualquier tipo de residuo orgánico.	4



26	33	El PRD permite un ingreso de grandes cantidades de basura orgánica.	3
27	34	El PRD separa los líquidos contenidos en los residuos orgánicos.	3
28	23	El PRD reduce en gran porcentaje el tamaño de las basuras.	3
		<b>El PRD permite una fácil recolección de sus productos.</b>	3
29	32	El PRD permite fácil recolección de lixiviados.	3
30	29	El PRD permite fácil recolección de residuos orgánicos.	3
	20	<b>El PRD maneja un entorno limpio.</b>	3
31	28	El PRD no produce derrames.	3
32	24	El PRD minimiza el olor de los residuos domiciliarios.	3
		<b>El PRD tiene sonido agradable.</b>	2
33	15	El PRD hace poco ruido cuando está funcionando.	2
34	10	El PRD tiene sonido agradable.	2
		<b>El PRD tiene buena apariencia.</b>	2
35	35	El PRD es atractivo a la vista.	2
36	18	El PRD tiene buena apariencia.	2
37	22	El PRD tiene un tamaño adecuado.	3
		<b>El PRD tiene una buena relación costo-beneficio.</b>	4
38	17	El PRD tiene bajo consumo de energía.	4
39	9	El PRD tiene una buena relación costo-beneficio.	4
40	40	EL PRD es fabricado con materiales de costo razonable.	3
		<b>EL PRD permite un fácil almacenamiento de sus productos.</b>	3
41	31	El PRD permite un fácil almacenamiento de lixiviados.	3
42	37	El PRD permite un fácil almacenamiento de residuos orgánicos.	3

La etapa final del método consiste en reflejar resultados que permitan dimensionar el alcance del proyecto. Después de los pasos anteriores se procede a establecer las especificaciones del producto; a continuación se explicará brevemente la metodología utilizada:

## 5.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Por lo general se establecen un conjunto de especificaciones las cuales explican con detalle preciso y medible lo que el producto tiene que hacer. Las especificaciones del producto no explican cómo encarar las necesidades del cliente, pero si representan un acuerdo bastante claro sobre lo que se intenta lograr para satisfacer esas necesidades. Se pretende que el término especificaciones del producto signifique la descripción precisa de lo que el producto tiene que hacer, [48].

En la tabla 9 se realiza una agrupación de las actividades según las medidas y posteriormente se le asigna la unidad de medida correspondiente:

Tabla 9

<b>PROYECTO PROCESADOR DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA USO DOMÉSTICO</b>			
<b>Especificaciones iniciales</b>			
<b>N°</b>	<b>N° Necesidad</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidades</b>
1	1	Ensayo de corrosión uniforme.	ppa, pulg/año
2	2	Tiempo de limpieza de la máquina.	h
3	3	Número de personas requeridas por operación.	#
4	4	Flujo de basura.	kg/s
5	5	Tiempo de instalación del procesador de residuos solidos	h
6	6	Número de horas sin necesidad de mantenimiento.	h
7	7,30	Tiempo en cámara de atmosfera controlada sin presentar falla.	h
8	8	Tiempo de reemplazo de repuestos.	s
9	9	Tasa de retorno de la inversión.	Días
10	10,15	Intensidad de ruido.	Db
11	11	Tipos de desechos orgánicos.	#
12	12	Tiempo de encendido.	S
13	12	Tiempo de apagado.	S
14	13	Número de atascadas por año.	#/año
15	14	Número de apagadas no programadas por año.	#/año
16	16	Tiempo de operación de la máquina.	S
17	17	Consumo de potencia máxima en operación.	kW/h
18	18,35	De buena apariencia y atractivo.	Subjetivo
19	21,27	Número de accidentes por manipulación del procesador de residuos sólidos por año.	#
20	22	Volumen de ocupación del dispositivo.	m <sup>3</sup>
21	23	% de volumen de basura reducido.	%
22	24	Intensidad de olor.	OlfS
23	25	Número de operaciones para operar el equipo.	#
24	26	% confiabilidad (encuesta).	%
25	28	Cantidad de líquido derramado.	ml
26	29	Tiempo de recolección de residuos orgánicos.	S
27	31,37	Capacidad de almacenamiento del dispositivo.	kg
28	32	Tiempo de recolección de lixiviado.	S
29	33	Peso de la basura.	kg
30	34	Cantidad de líquido separado.	L

31	38	Número de señalizaciones y etiquetas.	#
32	39	Tiempo de ajuste de los parámetros.	S
33	40	Costo en pesos de los materiales a utilizar en la fabricación de la máquina.	S
34	41	Peso del dispositivo.	kg
35	42	Nivel de vibración.	Hz
36	43	Calidad del cableado, conexiones, protecciones y presencia de fusible	Subjetivo
37	44	Temperatura de funcionamiento.	°C
38	45	Potencia de operación.	hp

En una matriz simple de necesidades vs medidas, las filas corresponden a las necesidades del cliente y las columnas a las medidas. Una marca en una celda de la matriz significa que la necesidad y la medida asociadas con la celda están relacionadas; el desempeño con relación a la medida influirá en el grado en que el producto satisface la necesidad del cliente. Esto se muestra en la tabla 10.

- **Especificaciones Finales**

En la tabla 11 se muestran especificaciones finales que se desarrollan valorando las restricciones tecnológicas reales, utilizando modelos analíticos y físicos. Durante esta fase de depuración, se deben equilibrar las características deseadas del producto. Utilizando este enfoque, se calculan los valores de especificación que elevan al máximo la participación en el mercado. Los detalles del análisis son bastantes simples, a continuación se muestran los valores que necesitaron un poco más de análisis, los demás no se muestran debido a su simplicidad.

El procesador de residuos sólidos para uso doméstico se diseñó primordialmente para medianos bloques de viviendas. Un conjunto promedio tiene 500 personas, que corresponden a más o menos 4 habitantes por apartamento. Para determinar la producción de basuras para este número de personas se conocen las siguientes cifras:

- Producción de basuras de Pereira promedio personas:

0,42 kg/Hab-día, [6].

- Producción de basuras organizado por estrato en la ciudad de Pereira:

Estrato 1 y 2 (68%), estrato 3 y 4 (59,60%), estrato 5 y 6 (52%). Con las cifras anteriores se toma un promedio de las tres el cual arroja como resultado un 59,86% de producción de basura orgánica en la ciudad de Pereira, [6].

Ahora con el promedio 59,86% se calcula la producción de basura por día:

$$0.4 \text{ kg/hab} - \text{día} * 0,5986 = 0.25 \text{ kg/hab} - \text{día} \text{ Basura orgánica.}$$

Para saber cuánto producen de basuras orgánicas por día, se multiplica por el número de personas promedio en un conjunto.

$$500 \text{ Hab} * 0.25 \text{ kg/hab} - \text{día} = 125 \text{ kg} - \text{día}$$

Para calcular cuánto producen de basura orgánica por semana, se debe multiplicar por los 7 días.

$$125 \text{ kg} - \text{día} * 7 \text{ días} = 875 \text{ kg Aproximadamente } 900 \text{ kg} - \text{sem}$$

El carro de la basura en la ciudad de Pereira, hace el recorrido por la zona dos veces por semana, lo que recogería aproximadamente 450 kg - semanal en medianos bloques de vivienda. El dispositivo se diseña para procesar 450 kg - semanal con una tolerancia considerable para evitar inconvenientes.

De acuerdo con las necesidades planteadas anteriormente, el dispositivo tiene un volumen de carga tentativo de  $1,52 \text{ m}^3$ , teniendo en cuenta que la densidad de la basura es aproximadamente  $300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , estos valores fueron rectificadas o ajustados en el capítulo 6.

Resultado de la investigación se evidenció que los dispositivos disponibles en el mercado en los que se procesa materia prima como papel, plástico, residuos biológicos, materiales de construcción, granos, madera, etc, sirven de fundamento en el diseño del dispositivo para la basura orgánica domiciliar.

Esta máquina de acuerdo con las necesidades planteadas y el tamaño del dispositivo, procesará 450 kg/h; esta cifra se selecciona teniendo en cuenta que empresas como Bomatic, Rsc, Arisa, Tritton, Retsch, entre otros, poseen máquinas con capacidad de procesar entre 180-400 Kg/h. El diseño debe estar en capacidad de competir en el mercado con este flujo y tamaño ya que de no serlo así difícilmente podría tener éxito en el futuro.

También de acuerdo con las necesidades de los clientes el flujo de basura será aproximadamente de:

$$0,45 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} = 450 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,125 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} = 0,00041 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \text{ Ideal}$$

$$0,40 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} = 400 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,111 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} = 0,00037037 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \text{ Real}$$

**Nota:** Los datos mencionados anteriormente sufrieron algunas modificaciones durante el proceso de cálculos de diseño, ya que fueron cifras tentativas y no totalmente certificadas por ser el inicio del proyecto.

Tabla 10

N°	Necesidades	Medidas																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		Ensayo de corrosión uniforme	Tiempo de limpieza de la máquina	Número de personas requeridas por operación	Flujo de basura	Tiempo de instalación del procesador	Número de horas sin necesidad de mantenimiento	Tiempo en cámara de atmosfera controlada sin presentar falla	Tiempo de reemplazo de repuestos	Tasa de retorno de la inversión	Intensidad de ruido	tipos de desechos orgánicos	Tiempo de encendido	Tiempo de apagado	Número de atascadas por año	Número de apagadas no programadas por año	Tiempo de operación de la máquina	Consumo de potencia máxima en operación	De buena apariencia y atractivo	Número de accidentes por manipulación del procesador por año
1	El PRS resiste a la corrosión.	X																		
2	El PRS se puede lavar fácilmente.		X																	
3	El PRS requiere poca intervención del usuario.			X																
4	El PRS opera rápidamente.				X															
5	El PRS se instala fácilmente.					X														
6	El PRS requiere poco mantenimiento.						X													
7	El PRS es resistente al agua.							X												
8	El PRS permite un fácil reemplazo de las partes que se desgasten.								X											
9	El PRS tiene una buena relación costo-beneficio.									X										
10	El PRS tiene sonido agradable.										X									
11	El PRS se utiliza para cualquier tipo de residuo orgánico.											X								
12	El PRS se enciende y apaga fácilmente.												X	X						
13	El PRS opera sin atascarse.														X					
14	El PRS no se apaga inadvertidamente.															X				
15	El PRS hace poco ruido cuando esta funcionando.										X									
16	El PRS funciona tiempo continuo sin deteriorarse.																X			
17	El PRS tiene bajo consumo de energía.																	X		
18	El PRS tiene buena apariencia.																		X	
19	El PRS no corta ni lesiona las manos del usuario.																			X

Tabla 10 (Continuación)

N°	Necesidades	Medidas																		
		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	31	32	33	34	35	36	37	38
		Volumen de ocupación del dispositivo	% de volumen de basura reducido	Intensidad de olor	Número de operaciones para operar el equipo	% confiabilidad (encuesta)	Cantidad de líquido derramado	Tiempo de recolección de residuos	Capacidad de almacenamiento del dispositivo	Tiempo de recolección de lixiviado	Volumen de basura	Cantidad de líquido separado	Número de señalizaciones y etiquetas	Tiempo de ajuste de los parámetros	Costo en pesos de los materiales a utilizar en la fabricación de la máquina	Peso del dispositivo	Nivel de vibración	Calidad del cableado, conexiones, protecciones y presencia de fusible	Temperatura de funcionamiento	Potencia de operación
20	El PRS tiene un tamaño adecuado.	X																		
21	El PRS reduce en gran porcentaje el tamaño de las basuras.		X																	
22	El PRS minimiza el olor de los residuos domiciliarios.			X																
23	El PRS tiene un fácil funcionamiento.				X															
24	El PRS es confiable.					X														
25	El PRS es seguro.																			
26	El PRS no produce derrames.						X													
27	El PRS permite fácil recolección de residuos orgánicos.							X												
28	El PRS es resistente a los lixiviados.																			
29	El PRS permite un fácil almacenamiento de lixiviados.								X											
30	El PRS permite fácil recolección de lixiviados.									X										
31	El PRS permite un ingreso de grandes cantidades de basura orgánica.										X									
32	El PRS separa los líquidos contenidos en los residuos orgánicos.											X								
33	El PRS es atractivo a la vista.																			
34	El PRS permite un fácil almacenamiento de residuos orgánicos.								X											
35	El PRS cuenta con señalización y etiquetas para su funcionamiento.												X							
36	El PRS mantiene los parámetros de operación constante durante su funcionamiento.													X						
37	El PRS es fabricado con materiales de costo razonable .														X					
38	El PRS se puede transportar en vehículos de carga pequeña.															X				
39	EL PRS presenta un nivel de vibración bajo.																X			
40	El PRS esta protegido contra un corto circuito accidental.																	X		
41	El PRS no se recalienta.																		X	
42	El PRS opera bajo limites de diseño, ante elementos extraños en la basura orgánica																			X

Tabla 11

<b>PROYECTO PROCESADOR DE RESIDUOS DOMÉSTICOS</b>					
<b>Especificaciones finales</b>					
<b>N°</b>	<b>N° Necesidad</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor marginal</b>	<b>Valor ideal</b>
1	1	Ensayo de corrosión uniforme	ppa, pulg/año	<0,4	0,1
2	2	Tiempo de limpieza de la máquina	h	1	0.5
3	3	Número de personas requeridas por operación	#	2	1
4	4	Flujo de basura	kg/s	0,111	0,125
5	5	Tiempo de instalación del procesador	h	3	1
6	6	Número de horas sin necesidad de mantenimiento	h/año	100-150	150
7	7,30	Tiempo en cámara de atmosfera controlada sin presentar falla	h	>100	>150
8	8	Tiempo de reemplazo de repuestos	s	3600	1800
9	9	Tasa de retorno de la inversión	Días	<730	<365
10	10,15	Intensidad de ruido	db	≤70	≤60
11	11	tipos de desechos orgánicos	#	Todos	Todos
12	12	Tiempo de encendido	s	5	1
13	12	Tiempo de apagado	s	10	3
14	13	Número de atascadas por año	#/año	≤2	0
15	14	Número de apagadas no programadas por año	#/año	≤2	0
16	16	Tiempo de operación de la máquina	h/semana	2-3	2
17	17	Consumo de potencia máxima en operación	kW/h	<0,3	<0,25
18	18,35	De buena apariencia y atractivo	subjetivo	Bueno	Excelente
19	21,27	Número de accidentes por manipulación del procesador por año	#	0	0
20	22	Volumen de ocupación del dispositivo	m <sup>3</sup>	1x1x1,2	1x1x1,1
21	23	% de volumen de basura reducido	%	40-50	70
22	24	Intensidad de olor	olfs	5	2
23	25	Número de operaciones para operar el equipo	#	2	1
24	26	% confiabilidad (encuesta)	%	≥90	100
25	28	Cantidad de líquido derramado	ml	<150	0
26	29	Tiempo de recolección de residuos orgánicos	s	300-600	120
27	31,37	Capacidad de almacenamiento del dispositivo	kg	190-200	200
28	32	Tiempo de recolección de lixiviado	s	<180	60

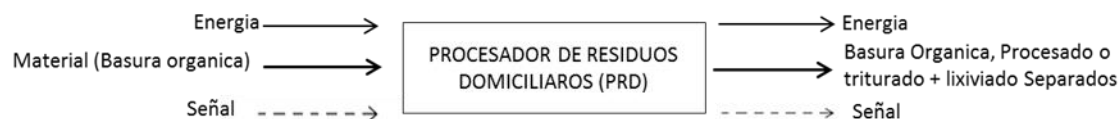
29	33	Peso de basura	kg	180-190	190
30	34	Cantidad de líquido separado	ml	>1	>4
31	38	Número de señalizaciones y etiquetas	#	5	8
32	39	Tiempo de ajuste de los parámetros	s	15	5
33	40	Costo en pesos de los materiales a utilizar en la fabricación de la máquina	\$	Subjetivo	Subjetivo
34	41	Peso del dispositivo	kg	150-200	100-150
35	42	Nivel de vibración	Hz	20-30	≤20
36	43	Calidad del cableado, conexiones, protecciones y presencia de fusible	Subjetivo	Aceptable	Excelente
37	44	Temperatura de funcionamiento	°C	35-40	20-35
38	45	Potencia de operación	N/m	0,5-0,75	0,5

## 5.2 DESCOMPOSICION FUNCIONAL

Muchos retos de diseño son demasiado complejos para que se resuelvan como un solo problema y por lo tanto, se pueden dividir en varios subproblemas más simples. Esta división se denomina desarticulación del problema. Existen muchos esquemas por medio de los cuales se puede descomponer un problema, [48].

El primer paso para desarticular un problema de manera funcional es representarlo como una sola caja negra que opera en material, energía y flujos de señal, tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Caja negra



Luego de completar la desarticulación del problema, se eligen soluciones a algunos subproblemas. Estas búsquedas pueden ser externas, mediante entrevistas de usuarios líderes, consulta de expertos, búsqueda de patentes, etc. A continuación se muestran algunas soluciones para los problemas del dispositivo.

- Almacenar o aceptar energía:
  - Eléctrico: Tomacorriente pared.
  - Electroquímico: Batería.
- Regular energía:
  - Regulador de voltaje: Regulador integrado, regulador conmutado, regulador electromecánico, regulador electrónico.



- Energizar dispositivo:
  - Contactores.
  - Cargador (tipo batería).
  
- Activar energía:
  - Interruptores.
  - Sensores.
  - Pulsadores.
  
- Convertir energía en rotación:
  - Generadores de corriente alterna y directa.
  - Motores giratorios de corriente alterna y directa.
  - Motores lineales de corriente alterna y directa.
  
- Convertir energía en traslación:
  - Generadores de corriente alterna y directa.
  - Motores giratorios de corriente alterna y directa.
  - Motores lineales de corriente alterna y directa.
  
- Reducir vibraciones:
  - Anclaje de máquina.
  - Aislante acústico.
  - Carcasa aislante.
  - Juntas de polímero.
  
- Reducir ruido:
  - Anclaje de máquina.
  - Aislante acústico.
  - Carcasa aislante.
  - Juntas de polímero.
  
- Ingresar basura:
  - Tolva (Cónica, rectangular, mixta).
  - Deposito (cilíndrico, rectangular).
  - Superficie (plana, inclinada).
  
- Almacenar basura:
  - Tolva de compuerta (Cónica, rectangular, mixta).
  - Depósito (cilíndrico, rectangular).
  
- Trasladar basura:
  - Compactación.
  - Banda alimentadora.
  - Banda transportadora (plana, acanalada).

- Elevador de cangilones.
  - Transportador helicoidal.
  - Sistema neumático.
  - Sistema hidráulico.
  - Por gravedad.
  - Herramienta mecánica (manual, automática).
- Posicionar basura:
    - Desnivel.
    - Cambio de sección.
    - Movimiento de rotación y traslación.
- Reducir volumen basura:
    - Compactación.
    - Trituración (mandíbulas, giratoria, cilindros, rotores).
    - Molienda (aplastamiento, desintegración, cizallamiento, desgarramiento, rodaje, tromel, discos, centrifugación, martillos, seca).
    - Enfardamiento.
    - Selección manual.
    - Rebanado.
    - Cortado.
    - Rallado y desmenuzado.
    - Picado.
- Extraer líquidos:
    - Tamiz.
    - Diferencia de densidades.
    - Contenedores de residuos.
    - Prensado.
    - Centrifugación.
    - Filtración.
- Almacenar basura:
    - Bandeja.
    - Recipiente (cilíndrico, rectangular).
- Almacenar líquidos:
    - Bandeja.
    - Recipiente (cilíndrico, rectangular).
- Evacuar basura:
    - Pozo.
    - Recipiente.
    - Herramienta mecánica (manual, automática).

- Cinta transportadora.
- Evacuar líquidos:
  - Recipiente.
  - Llave mecánica.
  - Válvula (globo, compuerta).

### 5.3 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

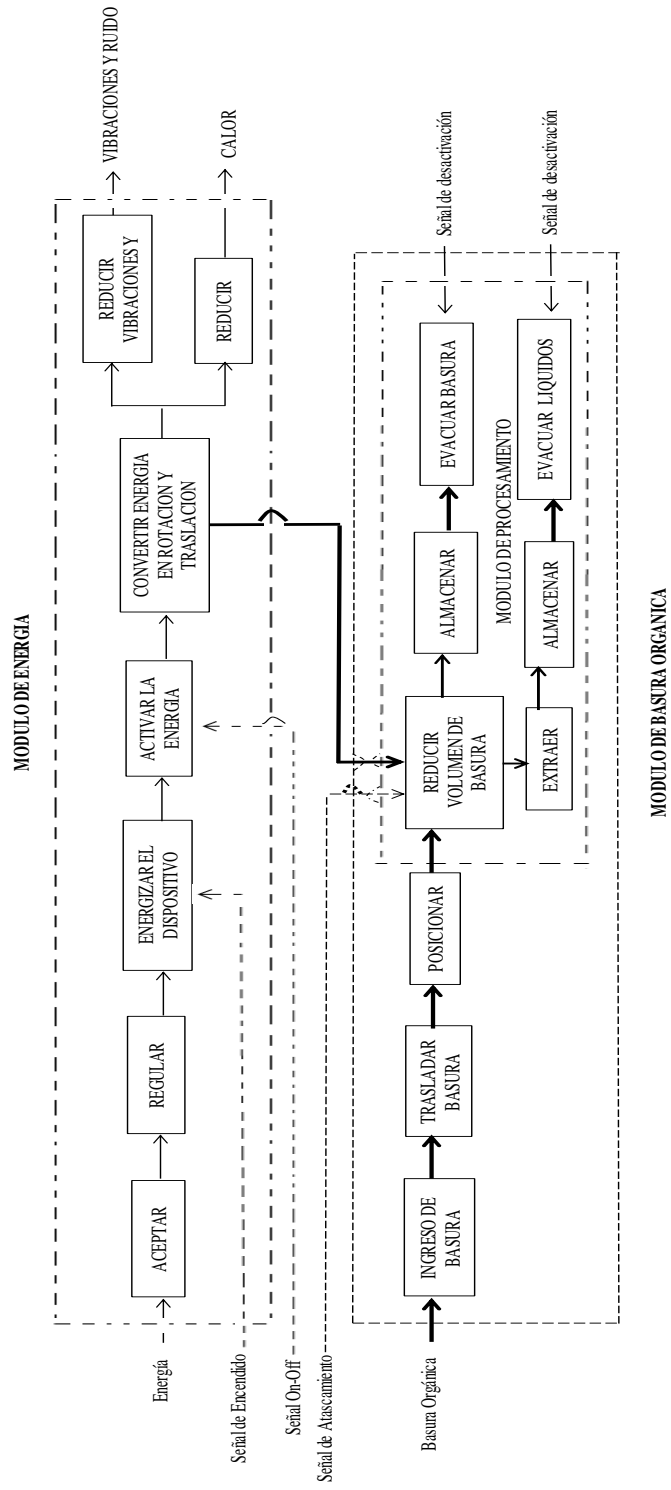
Después de tener un conjunto de soluciones que corresponden a cada una de las funciones del dispositivo, se procede a crear conceptos de solución, que no es más que un bosquejo de máquina funcional en el que se han seleccionado previamente posibles soluciones al problema que se está abordando. Para ello es necesario que no se juzguen dichos conceptos de manera temprana sino, por el contrario, se generen una gran cantidad de ideas con relación a la información de la que ya se tiene posesión, esto sin importar que no sean viables en un principio.

El número inicial de combinación de soluciones para esta etapa es de 1508855040000 el cual resulta bastante abrumador. Por lo tanto se recurren a las primeras decisiones de generación de conceptos como se muestran a continuación:

- Agrupar ciertas funciones del dispositivo como es el caso de la reducción del ruido y la vibración, la transformación de energía tanto en rotación como traslación.
- Eliminar la función de almacenaje ya que se considera impráctica.
- Definir el módulo de energía desde el principio para facilitar la posterior selección del concepto.
- Definir el módulo de almacenamiento final de basura reducida y líquidos para facilitar la posterior selección del concepto.
- Discutir en una fase más avanzada el problema de la reducción del ruido, vibración y calor en el dispositivo. Todo esto para analizar profundamente el problema principal que es el procesamiento de la basura con un menor número de soluciones a las que se tenían inicialmente.

Resultado de las anteriores decisiones ahora se cuenta con una desarticulación funcional representada en la Figura 3.

Figura 3



## **Módulo de energía**

Se realizó una selección de soluciones previas para los casos mencionados anteriormente, a continuación se muestra su correspondiente análisis en la tabla 12.

**Aceptar la energía:** Se escoge la conexión a toma corriente como la forma más simple y efectiva de suministrar energía eléctrica. Esta opción satisface los requerimientos normativos, es la solución ideal para ambientes severos, se instala rápidamente y es de fácil utilización.

**Regular la energía:** Se selecciona el regulador de voltaje como elemento que garantiza el funcionamiento permanente y seguro del dispositivo con relación a las variaciones de voltaje de la red eléctrica del sector donde se disponga.

**Energizar el dispositivo:** Se escoge el contactor para esta función, ya que éste se adapta con rapidez e impide que el dispositivo se ponga en marcha sin que se haya tomado todas las precauciones necesarias, además protege el receptor contra caídas de tensión importantes y funciona tanto en servicio intermitente como continuo.

**Activar la energía:** se selecciona el interruptor eléctrico como el dispositivo más simple para desviar o interrumpir el curso de la corriente eléctrica según las necesidades del usuario.

**Convertir la energía en rotación y traslación:** se escogen los motores como forma de convertir la energía tanto en rotación como en traslación según la aplicación que se desee. Estos no emiten contaminantes, tienen un rendimiento muy elevado (típicamente alrededor de 75%) aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina, tienen un par de giro elevado y según el tipo de motor, prácticamente constante y se pueden encontrar de diferentes tamaños, pesos, potencias, etc, según las necesidades de la aplicación ingenieril.

Tabla 12. Tabla morfológica para el módulo de energía

Aceptar la energía	Regular la energía	Energizar el dispositivo	Activar la energía	Convertir energía en rotación y traslación	Reducir Vibraciones y ruido	Reducir calor
Tomacorriente	Regulador de voltaje	Contactores	Interruptor	Motor de corriente alterna	Anclaje de maquina	Manguera de agua
					Reductor de velocidades	Ventilador
					Aislante acústico	Aislante Térmico
					Carcaza aislante	
					Juntas de polímero	

### 5.3.1 Combinación de conceptos

La combinación de conceptos proporciona una manera sistemática de considerar combinaciones de fragmentos de solución. La tabla 13 muestra la combinación que se utilizó para considerar las combinaciones de fragmentos para el dispositivo. Las columnas en la tabla 13 corresponden a los subproblemas identificados. Las entradas en cada columna corresponden a los fragmentos de solución para cada uno de estos subproblemas derivados de la búsqueda externa e interna. Combinando un fragmento de cada columna se pueden obtener las soluciones potenciales para el problema global. La combinación de fragmentos no conduce de manera espontánea a una solución para el problema global. En algunas formas, la tabla de combinación es sólo una forma de realizar asociaciones forzadas entre los fragmentos para estimular el pensamiento creativo adicional; de ninguna manera el mero acto de seleccionar una combinación da como resultado una solución completa.

Para el caso del diseño se crearon múltiples conceptos a partir de la tabla morfológica (tabla 13) aproximadamente 13 conceptos con posible éxito de diseño.

Tabla 13. Tabla morfológica para el módulo de basura

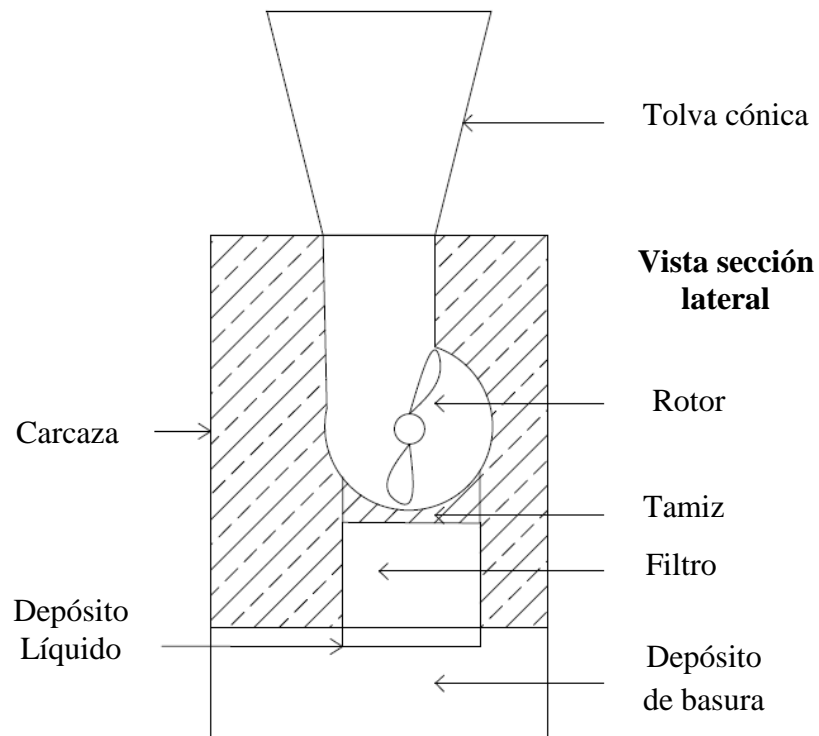
Ingreso de basura	Trasladar Basura	Posicionar Basura	Reducir volumen basura	Extracción de líquidos	Almacena miento de basura	Almacenamiento de líquidos	Evacuación de basura	Evacuación de líquidos
Tolva cónica	Compactación	Desnivel	Compactación	Tamiz	Bandeja	Bandeja	Pozo	Recipiente
Tolva rectangular	Banda alimentadora	Cambio de sección	Trituración por mandíbulas	Diferencia de densidades	Recipiente cilíndrico	Recipiente cilíndrico	Recipiente	Llave mecánica
Tolva mixta	Banda transportadora acanalada	Movimiento de rotación y traslación	Trituración giratoria	Prensado	Recipiente rectangular	Recipiente rectangular	Herramienta mecánica manual	Válvula de globo
Deposito cilíndrico	Banda transportadora mixta		Trituración de cilindros	Centrifugación			Herramienta mecánica automática	Válvula de compuerta
Deposito Rectangular	Elevador de cangilones		Trituración por rotores	Filtración			Cinta Transportadora	
Superficie plana	Transportador helicoidal		Molienda por aplastamiento					
Superficie inclinada	Sistema neumático		Molienda por desintegración					
	Sistema hidráulico		Molienda por desgarramiento					
	Por gravedad		Molienda por rodaje					
	Herramienta mecánica manual		Molienda por tromel					
	Herramienta mecánica automática		Molienda de discos					
			Molienda por centrifugación					
			Molienda seca					
			Enfardamiento					
			Selección Manual					
			Rebanado					
			Cortado					
			Rallado y desmenuzado					
			Picado					

En esta parte del trabajo de grado se suprimieron algunos conceptos, sólo se mostrará como ejemplo los 4 conceptos finales el cual se llegó con los métodos anteriores y con los cuales se realizó el procedimiento para la selección final del concepto:

- **Concepto 1**

Este dispositivo tiene un funcionamiento muy simple, la basura ingresa en una tolva rectangular y por acción de la gravedad cae la basura, esta se va posicionando por un cambio de sección; para triturar la basura se utilizará un rotor de corte paralelo (cuchillas) que también haría presión con el tamiz, logrando que la basura triturada pase a través de ella. Los líquidos que quedan después del triturado serán colados gracias a un filtro que se ubica en la caída de la basura después de ser procesada, este se posicionará con un ángulo determinado, luego los líquidos pasarán a un compartimiento de almacenamiento, igualmente la basura triturada pasará a otro compartimiento para ser almacenada; en la figura 4 se muestra un esquema del diseño propuesto.

Figura 4



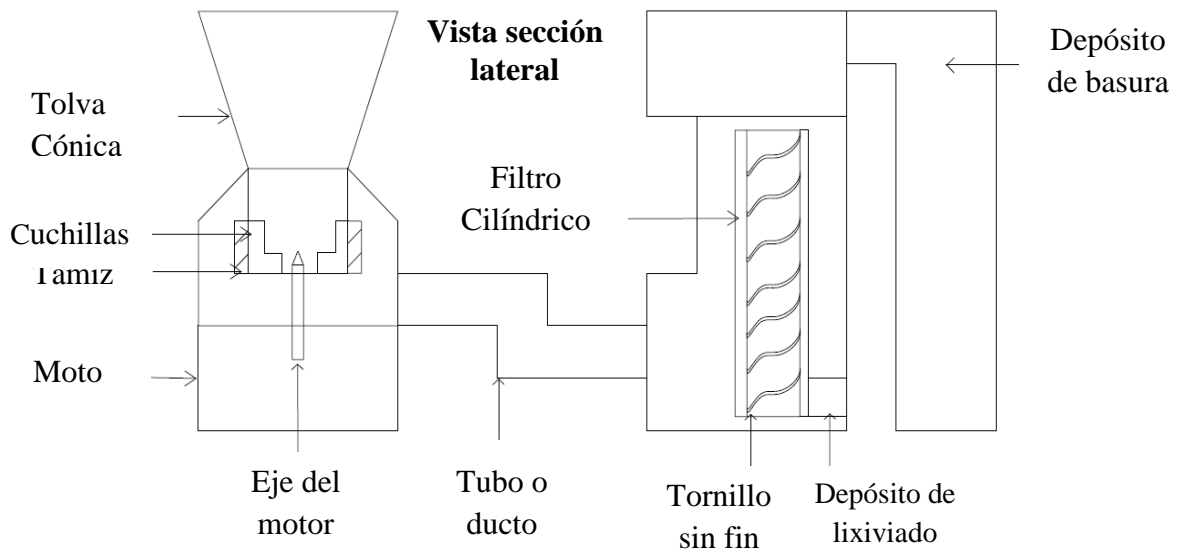
- **Concepto 2**

Este dispositivo, mostrado en la figura 5 reúne varios conceptos. La entrada de la basura se lleva a cabo a través de una tolva cónica, la basura cae por acción de la gravedad y ésta se



va posicionando por un cambio de sección. La forma de reducir el volumen de la basura es por medio de unas cuchillas que giran y hacen que la basura golpee el tamiz, esta basura pasa a través del tamiz en pequeñas porciones. La basura triturada pasa por un ducto llegando a un tornillo sin fin, el cual ejerce una presión en las paredes de un cilindro con agujeros, este método facilita la extracción de lixiviado que se recoge en un recipiente cilíndrico, después de pasar todo este proceso la basura se puede almacenar en un recipiente rectangular.

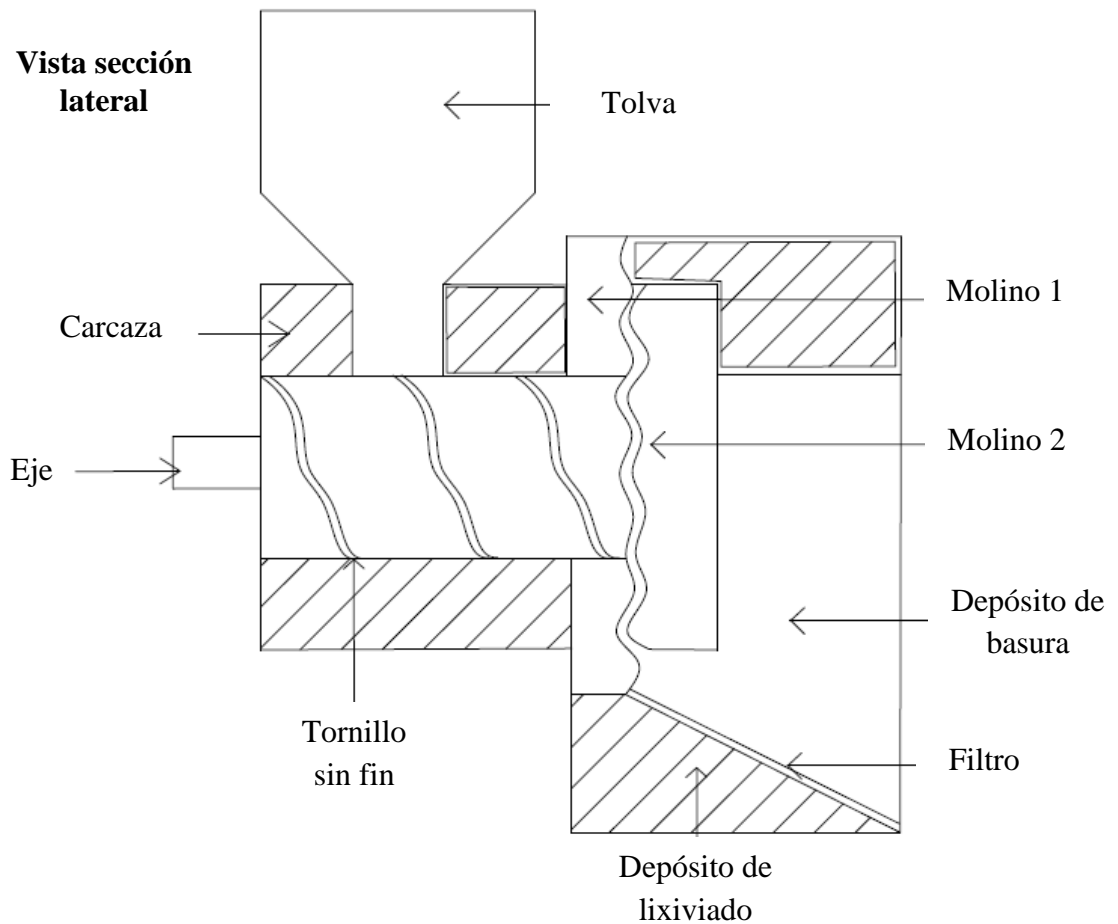
Figura 5



- **Concepto 3**

La máquina propuesta en la figura 6, funciona bajo el mismo principio de una máquina de moler doméstica; el ingreso de la basura se lleva a cabo a través de una tolva rectangular, la acción de ingreso se hace mediante gravedad y por un cambio de sección se posiciona la basura. Cuenta también con un tornillo sin fin que sirve para trasladar la basura y al mismo tiempo realiza un rozamiento con las paredes del tornillo; esta presión que ejercen los molinos sobre la basura, hace que se reduzca de tamaño cuando pase a través de ellas. Cuando la basura sale del proceso de triturado cae en un filtro que tiene una inclinación y separa solo un poco el lixiviado del sólido. Por último por gravedad hace que la basura se traslade a un depósito rectangular.

Figura 6

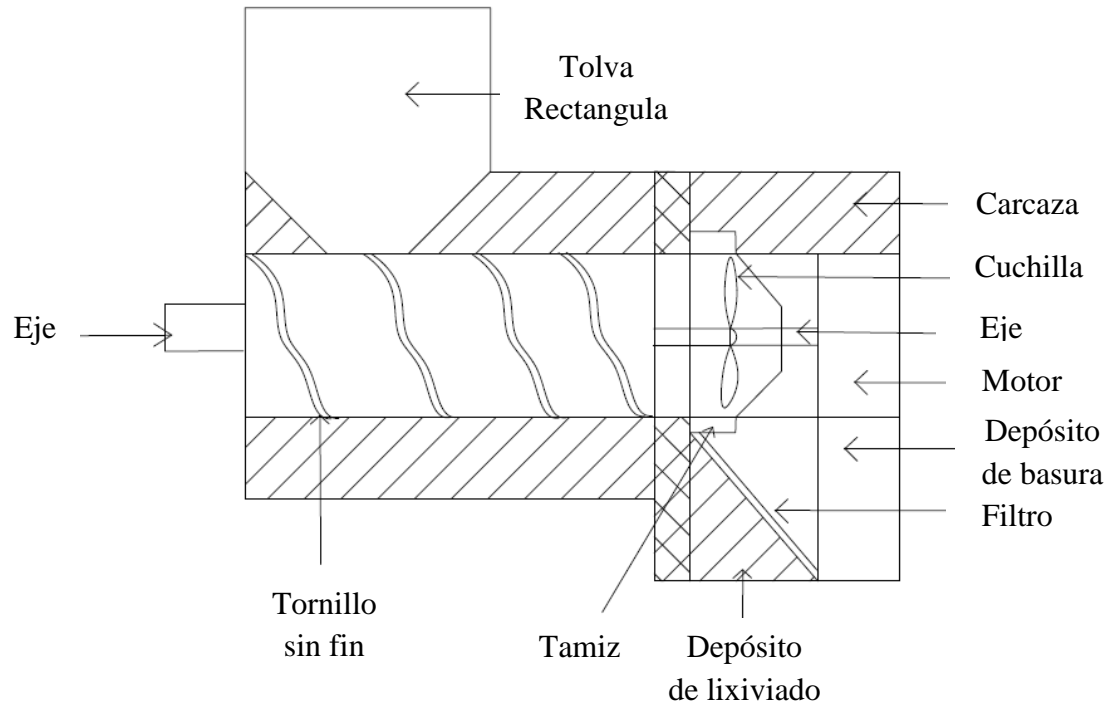


- **Concepto 4**

Este dispositivo mostrado en la figura 7, utiliza los conceptos 2 y 3 explicados anteriormente, el ingreso de la basura lo hace por medio de una tolva rectangular y por acción de la gravedad se posiciona la basura.

Mediante un cambio de sección y el tornillo sin fin se traslada la basura; al final del tornillo cuenta con un espacio donde se ubicada un tamiz con cuchillas que al girar golpea la basura contra las paredes del tamiz y hace que pase a través de ella en un tamaño reducido. Cuando la basura es procesada pasa por un filtro que retiene un poco el lixiviado de la basura, el líquido se almacena en un recipiente cilíndrico y por último la basura procesada es dejada en un recipiente rectangular.

Figura 7



Después de tener varios conceptos, se utilizan cuatro técnicas para reducir la cantidad de alternativas generadas a otras más promisorias para ser desarrollados en productos de calidad. Las técnicas son las siguientes:

### 5.3.1.1 Evaluación basada en el juicio de viabilidad

Al generar el concepto de diseño, se evaluaron tres reacciones instantáneas: 1) Esto no es viable, nunca trabajará; 2) Esto puede trabajar si algo más ocurre; 3) Vale la pena considerarlo. Estos juicios acerca de la viabilidad de los conceptos fueron basados en el instinto, una comparación hecha contra experiencia previamente almacenada como conocimiento previo, [49].

**Concepto 1.** Es viable, es un concepto muy práctico, funciona para cualquier tipo de residuos.

**Concepto 2.** Es viable, es un concepto que actualmente utilizan dispositivos con las cuchillas mencionadas, funciona con la basura doméstica y también tiene en cuenta un poco la separación de líquidos y basura.

**Concepto 3.** Es viable, es un concepto que ha sido práctico durante muchos años, es de los primeros de su tipo y hasta ahora no ha pasado de ser eficiente, claro está que debe tener un pequeño cambio para ajustarse a la idea.

**Concepto 4.** Vale la pena considerarlo, es un concepto difícil para evaluar, ya que no es evidente y claro, si es una buena idea o no.

### **5.3.1.2 Evaluación basada en tecnología-valoración de disponibilidad**

Esta evaluación se utiliza para determinar la disponibilidad de las tecnologías que pueden ser utilizadas en el concepto, [49].

Una manera de hacerlo es evaluar las siguientes consideraciones:

- Puede ser la tecnología producida con procesos conocidos.
- Están identificados los parámetros críticos que controlan la función.
- Son conocidos la flexibilidad de operación segura y la sensibilidad de los parámetros.
- Han sido identificados los modos de falla.
- Existe hardware que exhiba respuestas positivas a los cuatro ítems anteriores.
- Es controlable la tecnología a lo largo de ciclo de vida del producto.

A continuación se muestra como se evaluó la disponibilidad de la tecnología para el trabajo de grado.

#### **Concepto 1**

- Se puede producir con procesos conocidos.
- Parámetros críticos: (motor, velocidad del motor, potencia nominal, rotor o cuchillas, tamiz, granulometría inicial, granulometría final).
- Se conocen los parámetros de funcionamiento de máquinas similares.
- Se puede adaptar frenos al motor como modo de falla.
- Hardware, existen dispositivos parecidos que se pueden observar en modo de ejemplo para nuestro diseño.
- Ciclo de vida, es un producto con un alto porcentaje para el reciclaje de sus partes.

#### **Concepto 2**

- Se puede producir con procesos conocidos.
- Si se conocen los parámetros críticos como: velocidad de giro o frecuencia, clases de cuchillas para diseños similares.
- Se conocen parámetros de funcionamiento para diseños similares.
- Puede contar con módulos de falla como un sistema de frenado del motor.
- Hardware, este concepto cumple con este punto.

- Su ciclo de vida es largo y tiene un alto porcentaje de ser reciclable.

### **Concepto 3**

- Se produce con procesos conocidos.
- No se conocen los parámetros de diseño, pero se sabe que es muy efectivo, sirve para moler carne entre otros. Sus parámetros pueden ser fáciles de calcular, o pueden ser similares a los conceptos anteriores.
- No se conocen parámetros de funcionamiento, pero son similares a los conceptos anteriores.
- Puede tener modos de falla, pues puede utilizar freno de motor.
- Hardware, cumple con este requerimiento, ya que se ha probado para triturar cualquier tipo de comida o materiales similares.
- Su ciclo de vida es largo y es reciclable.

### **Concepto 4**

- Este concepto se puede producir con procesos conocidos.
- Se conocen los parámetros críticos ya que es una fusión del concepto 1 y 2.
- Se conocen los parámetros de funcionamiento para este tipo de dispositivo.
- Puede contar con un sistema de modo de falla (sistema de frenado de motor).
- Hardware, cumple con esta condición, ya que hay dispositivos similares parecidos.
- Su ciclo de vida es largo y puede ser reciclable en gran parte de su materia prima.

#### **5.3.1.3 Evaluación basada en el tamizado pasa/no pasa**

Cada requerimiento de los clientes debe ser transformado en una pregunta para ser direccionada a cada concepto. Las preguntas deben responder: si, o tal vez (pasa), o no (no pasa), [49].

En las tablas 14 a la 17 se evalúa con el método del tamizado pasa/no pasa; este punto se realiza con la tabla de necesidades de los clientes interpretadas (Tabla 3).

Tabla 14

ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN
1	Si	11	Si	21	Si	31	Tal vez	41	Si
2	Si	12	Si	22	Si	32	Tal vez	42	Tal vez
3	Si	13	Si	23	Si	33	Si	43	Si
4	Si	14	Si	24	Tal vez	34	Tal vez	44	Tal vez
5	Si	15	Tal vez	25	Si	35	Si	45	Si
6	Si	16	Si	26	Si	36	Si		
7	Si	17	Tal vez	27	Si	37	Si		
8	Si	18	Si	28	Si	38	Si		
9	Tal vez	19	Si	29	Si	39	Tal vez	<b>Resultado</b>	
10	Tal vez	20	Si	30	Si	40	Tal vez	Tal vez	12

Tabla 15

ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN
1	Si	11	Si	21	Si	31	Si	41	Si
2	Si	12	Si	22	Si	32	Si	42	Tal vez
3	Si	13	Si	23	Si	33	Si	43	Si
4	Si	14	Pasa	24	Tal vez	34	Si	44	Tal vez
5	Si	15	Tal vez	25	Si	35	Si	45	Tal vez
6	Si	16	Si	26	Si	36	Si		
7	Si	17	Tal vez	27	Si	37	Si		
8	Si	18	Si	28	Si	38	Si		
9	Tal vez	19	Si	29	Si	39	Si	<b>Resultado</b>	
10	Tal vez	20	Si	30	Si	40	Si	Tal vez	8

Tabla 16

ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN
1	Si	11	Si	21	Si	31	Tal vez	41	Si
2	Si	12	Si	22	Si	32	Tal vez	42	Tal vez
3	Si	13	Si	23	Si	33	Si	43	Si
4	Si	14	Pasa	24	Tal vez	34	Tal vez	44	Tal vez
5	Si	15	Tal vez	25	Si	35	Si	45	Tal vez
6	Si	16	Si	26	Si	36	Si		
7	Si	17	Tal vez	27	Si	37	Tal vez		
8	Si	18	Si	28	Si	38	Si		
9	Tal vez	19	Si	29	Si	39	Si	<b>Resultado</b>	
10	Tal vez	20	Si	30	Si	40	Si	Tal vez	12

Tabla 17

ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN	ÍTEM	EVALUACIÓN
1	Si	11	Si	21	Si	31	Tal vez	41	Si
2	Si	12	Si	22	Si	32	Tal vez	42	Tal vez
3	Si	13	Si	23	Si	33	Si	43	Si
4	Si	14	Pasa	24	Tal vez	34	Tal vez	44	Tal vez
5	Si	15	Tal vez	25	Si	35	Si	45	Tal vez
6	Si	16	Si	26	Si	36	Si		
7	Si	17	Tal vez	27	Si	37	Tal vez		
8	Si	18	Si	28	Si	38	Si		
9	Tal vez	19	Si	29	Si	39	Si	<b>Resultado</b>	
10	Tal vez	20	Si	30	Si	40	Si	Tal vez	12

En la evaluaciones mostradas en las tablas 14 a la 17, la mayoría obtienen resultados de *Tal Vez*, esto no quiere indicar que no es viable, si no por el contrario muestra que se debe mejorar el concepto; Además se debe tener en cuenta que hay resultados en las que sólo se puede evaluar cuando se está diseñando y difícilmente se sabrá antes de su ejecución.

### 5.3.1.4 Evaluación basada en la matriz de decisión

Es un método de evaluación iterativa que evalúa la integridad y el entendimiento de los requerimientos, rápidamente identifica los conceptos más fuertes y ayuda a escoger nuevos conceptos. Se cuentan con cuatros pasos para este método; [49].

- **Paso 1. Seleccionar el criterio de comparación.** Es necesario conocer las bases sobre las que los conceptos van a ser comparados uno con otro, las bases para comparar el diseño deben ser los requerimientos del cliente.
- **Paso 2. Seleccione los ítems a ser comparados.** Son las diferentes ideas desarrolladas durante la generación del concepto.
- **Paso 3. Genere puntuaciones. Para cada comparación.** El concepto que está siendo evaluado es juzgado y puede ser *mejor que*, *aproximadamente el mismo que*, o *peor que* la referencia. Si es mejor que la referencia, al concepto se le da una puntuación +, si es juzgado como aproximadamente el mismo que la referencia o si existe ambivalencia, es utilizada un S (same), si el concepto no cumple el criterio también como lo hace la referencia se le da un -.
- **Paso 4. Compute la puntuación total.** Después que un concepto es comparado con la referencia para cada criterio, cuatro puntuaciones son generadas: el número de puntuaciones positivas, el número de puntuaciones negativas, el global total y la ponderación total.  
El global total es la diferencia entre el número de puntuaciones positivas y el número de puntuaciones negativas. La ponderación total es la suma de cada

puntuación multiplicada por la importancia de cada requerimiento. Una S cuenta como un 0, un + como +1 y – como -1.

En la tabla 18 se muestra como se evalúa con el método basado en la matriz de decisión, los criterios de selección son las necesidades del cliente pero analizada por grupos.

Tabla 18

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS			
	Concepto 1	Concepto 3	Concepto 4	Concepto 2 Referencia
El PRD es durable	0	+	0	0
El PRD es de fácil mantenimiento	0	0	-	0
Es Seguro	0	0	0	0
El PRD es de fácil instalación y transporte	0	0	0	0
El PRD es de fácil operación	+	+	-	0
El PRD es fiable	0	0	0	0
El PRD tiene alta funcionalidad	0	-	-	0
El PRD permite una fácil recolección de sus productos	-	-	-	0
El PRD maneja un entorno limpio	0	0	0	0
El PRD tiene sonido agradable (Subjetivo)	0	0	0	0
El PRD tiene buena apariencia (Subjetivo)	+	0	0	0
El PRD tiene buena relación costo-beneficio (Subjetivo)	+	+	0	0
El PRD permite fácil almacenamiento de sus productos	-	-	-	0
Ventajas (+)	3	3	0	
Igual	8	9	8	
Inconveniente (-)	2	6	4	
Neto (+)-(-)	1	0	-4	
Clasificación	1	2	3	
Continuar	Si	Si	No	

De la tabla 18, se puede descartar el concepto 4, debido a que tiene dificultades con los criterios de selección con respecto la referencia y con los demás conceptos. Claro está, que en algún futuro de este proyecto, algunos criterios que satisfacen la matriz pueden ser utilizados para mejorar los conceptos que aún permanecen.

En la tabla 19 se muestra la matriz de decisión con los conceptos restantes, donde ya no está el concepto de referencia y definitivamente se puede identificar la idea correcta.



Tabla 19

CRITERIOS DE SELECCIÓN	CONCEPTOS						
	Ponderación (%)	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Clasif.	Puntuación ponderada	Clasif.	Puntuación ponderada	Clasif.	Puntuación ponderada
El PRD es durable	12	3	0.36	3	0.36	4	0.48
El PRD es de fácil mantenimiento	8	4	0.32	3	0.24	3	0.24
Es Seguro	12	3	0.36	3	0.36	3	0.36
El PRD es de fácil instalación y transporte	8	3	0.24	3	0.24	3	0.24
El PRD es de fácil operación	8	5	0.4	4	0.32	4	0.32
El PRD es fiable	8	5	0.4	3	0.24	3	0.24
El PRD tiene alta funcionalidad	12	5	0.4	3	0.36	2	0.24
El PRD permite una fácil recolección de sus productos	4	5	0.4	2	0.08	2	0.08
El PRD maneja un entorno limpio	4	3	0.12	3	0.12	3	0.12
El PRD tiene sonido agradable (Subjetivo)	4	3	0.12	3	0.12	3	0.12
El PRD tiene buena apariencia (Subjetivo)	4	3	0.12	4	0.16	3	0.12
El PRD tiene buena relación costo-beneficio (Subjetivo)	12	4	0.48	4	0.48	4	0.48
El PRD permite fácil almacenamiento de sus productos	4	5	0.2	2	0.08	2	0.08
Ponderación Ponderada		3.92		3.16		3.12	
Clasificación		1		2		3	
Continuar?		Desarrollar		No		No	

En esta parte del análisis se requirió utilizar un sistema de valoración más fino que en el sistema de la tabla 18, la escala fue adaptada para tener calificaciones positivas siendo el número uno como la calificación más baja y el número cinco como la calificación más satisfactoria.

Al final de esta fase existen conceptos claramente identificados para ser desarrollados, generado una documentación específica, soportada en la disponibilidad de la tecnología y datos de los modelos. Con esta información finalmente la fase preliminar del trabajo de grado estuvo completa para ser desarrollado; En el capítulo 6 se presenta los criterios establecidos para el concepto 1, que de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio realizado, es el diseño más adecuado a desarrollar.

## 6. PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros que fueron tomados en cuenta para diseñar el dispositivo son:

- Potencia requerida por el motor para triturar la basura.
- Tiempo de funcionamiento diario del motor.
- Selección del sistema de transmisión de potencia adecuado.
- Cantidad y tipo de bandas a utilizar.
- Posición, dimensiones de bandas y poleas.
- Cargas soportadas en el eje.
- Concentraciones de esfuerzos existentes en el eje.
- Diámetro del eje y selección del material.
- Selección de elementos normalizados.

Las especificaciones técnicas preliminares del dispositivo en base a los requerimientos de los clientes son:

- Horas de funcionamiento: 2 horas/semana.
- Potencia del motor 3 hp
- Capacidad de alimentación 24 kg.
- Sistema de transmisión: bandas y poleas
- Número de cuchillas: 3 o 4.

### **Requisitos mínimos de diseño**

Para el diseño debe cumplir con los requerimientos de los clientes o datos iniciales:

- Capacidad del dispositivo 24 kg.
- Tiempo de funcionamiento: 2 horas/semana.
- Garantizar un tamaño final de aproximadamente de 6-8 mm.
- Facilidad de operación.

## Elemento Crítico

El elemento crítico en el diseño del procesador de residuos sólidos para uso doméstico es el eje, ya que éste tiene que soportar el peso de las cuchillas y las vibraciones causadas por su rotación.

## Diseño de Sistemas Mecánicos

En el estudio realizado en el capítulo 5, se seleccionó el concepto de diseño por cuchillas giratorias (Concepto 1), que satisface las necesidades para el diseño del procesador de residuos sólidos para uso doméstico.

Para el cálculo de los parámetros no se encuentran estudios eficientes sobre algunas propiedades de la basura orgánica domiciliaria, por esta razón el diseño se basa en las trituradoras de plástico y de madera, ya que algunas propiedades o cálculos de corte podrían ser iguales.

### 6.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

La potencia necesaria para realizar el molido del material (basura orgánica) es calculada con base al caudal de alimentación ( $Q$ ) y el grado de desmenuzamiento ( $i_d$ ), esta expresada en la siguiente ecuación empírica, [25].

$$N = 0,15 * i_d * Q \quad \text{Ec (1)}$$

Donde:

$N$ : Potencia necesaria del motor para el molido, en kW.

$Q$ : Caudal o flujo másico de entrada en ton/h.

$i_d$ : Grado de desmenuzamiento, adimensional.

El grado de desmenuzamiento es la relación existente entre la mayor dimensión lineal del material antes de su subdivisión ( $D$ ), y la mayor dimensión lineal del material desmenuzado ( $d$ ), en consecuencia  $i_d$  está representado por; [25].

$$i_d = \frac{D}{d} \quad \text{Ec (2)}$$

A partir del capítulo 6 se establecieron las características del procesador de residuos sólidos para uso doméstico; las partículas que ingresan al proceso poseen diferentes dimensiones, siendo la de mayor tamaño de 100 mm. Para este cálculo también se ha considerado la posibilidad de ingresar pedazos de huesos, los que se recomienda no tengan un tamaño superior a 130 mm, [24].

El tamaño de la partícula una vez desmenuzada debe llegar a ser de 8 mm, este valor es el resultado de las especificaciones a cumplir, soportadas en el estudio del desarrollo del proyecto,

Calculando se obtiene:

Grado de desmenuzamiento:

$$i_d = 16,25$$

Potencia necesaria del motor:

$$N = 1,09 \text{ kW} = 1,46 \text{ hp}$$

El cálculo de la potencia mecánica determina que se requiere 1,46 hp.

## **6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA**

El dispositivo diseñado, utilizará un sistema de transmisión de potencia por medio de bandas, por lo que hay que considerar algunos aspectos como el tipo de bandas a utilizar y los diámetros correspondientes de las poleas.

### **6.2.1 Potencia de diseño del motor**

El primer paso es escoger el factor de servicio adecuado, según la tabla del anexo 1.1 (Factor de Servicio), tomando en cuenta el tipo de motor, tipo de máquina y régimen de trabajo.

La potencia de diseño es igual al factor de servicio por la potencia del motor, [26].

$$P_{\text{diseño}} = F_{\text{serv}} * N \quad \text{Ec (3)}$$

$F_{\text{serv}}$ : 2 (Factor de servicio según el trabajo de la máquina).

$N$ : Potencia necesaria para el molido.

$$P_{\text{diseño}} = 2,92 \text{ hp}$$

A continuación utilizando la gráfica del anexo 1.2 (Forma de correas para transmisión de potencia), se selecciona la sección adecuada para la combinación de potencia y velocidad. 3V o 3VX para transmitir 3 hp a  $1750 \text{ min}^{-1}$ , [26].

La velocidad de giro del eje del motor se escoge de acuerdo con el tipo de material, en este caso la velocidad es para material semiduro-elástico, características de la basura orgánica. Finalmente se decide utilizar una velocidad de  $1750 \text{ min}^{-1}$ , [24].

Utilizando la tabla del anexo 1.3 (Diámetro mínimo para poleas montadas en motores), se verifica el diámetro mínimo de polea recomendado para el motor que se va a emplear, obteniendo como resultado que para un motor eléctrico de 3 hp a  $1750 \text{ min}^{-1}$ , se sugiere que el diámetro de la polea motriz sea mayor o igual a 3 pulgadas.

### 6.2.2 Relación de reducción de velocidad

La relación de reducción es igual a la relación entre velocidad de la polea motriz y la velocidad de la polea conducida, [28].

$$r_{\text{red}} = \frac{\text{Velocidad de giro polea motriz}}{\text{Velocidad de giro polea conducida}} \quad \text{Ec (4)}$$

La relación de reducción está en el rango de 25% - 35% para maquinas similares, de esta manera el eje principal aumentara el par de trabajo; para el cálculo se elige el promedio entre el rango, [25].

$$1750 \text{ min}^{-1} * 0.7 = 1225 \text{ min}^{-1}$$

Por lo tanto la relación de reducción de velocidad es:

$$r_{\text{red}} = \frac{1750}{1225} = 1,4285$$

### 6.2.3 Relación de transmisión de poleas

Correspondiente a la selección en el anexo 1.3 (Diámetro mínimo para poleas montadas en motores), se escoge una combinación de poleas que ofrezca la relación deseada y que tenga un diámetro aproximado recomendado.

$$\frac{D_p}{d_p} \quad \text{Ec (5)}$$

$D_p$ : Diámetro mayor, polea conducida.

$d_p$ : 3 pulg = 76,2 mm, Diámetro menor, polea conductora.

Diámetro de polea conducida:

$$\frac{D_p}{d_p} = 1,4285$$

$$D_p = 1,4285 * 3 \text{ pulg} = 4,2857 \text{ pulg} = 108,85 \text{ mm}$$

#### 6.2.4 Distancia entre centros de polea

La distancia entre centros de poleas debe ser elegida de forma tal que permita colocar las poleas sin chocar (criterio  $a_{\text{mín}}$ ) y que la distancia no sea excesivamente grande ante las condiciones (criterio  $a_{\text{máx}}$ ), [28].

$$a_{\text{mín}} \leq a_0 \leq a_{\text{máx}}$$

Donde:

Criterio de distancia Máx y Mín:

$$\text{Distancia mínima entre centros } a_{\text{mín}} = 0,7(d + D) \quad \text{Ec (6)}$$

$d$ : 76,2 mm

$D$ : 108,85 mm

$$a_{\text{mín}} = 129,53 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia máxima ente centros } a_{\text{máx}} = 2(d + D)$$

$$a_{\text{máx}} = 370,1 \text{ mm}$$

#### 6.2.5 Longitud de Banda de transmisión

La longitud de la banda de transmisión se determina por la siguiente ecuación; [28].

$$L_o = 2 * a_o + 1,57 * (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 * a_o} \quad \text{Ec (7)}$$

Donde:

$a_o$ : 300 mm; Distancia previa entre centros de la polea  $a_{\text{mín}} \leq a_o \leq a_{\text{máx}}$ .

$$L_o = 890,68 \text{ mm} = 35,06 \text{ pulg}$$

Según la tabla de longitudes normalizadas para bandas 3v anexo1.4, se escoge la longitud  $L_n = 901.7 \text{ mm} = 35.5 \text{ pulg}$

La distancia exacta entre ejes se calcula por medio de la siguiente expresión; [28].

$$a_{\text{nom}} = \frac{L_o - \frac{\pi}{2}(D + d)}{4} + \sqrt{\left[ \frac{L_o - \frac{\pi}{2}(D + d)}{4} \right]^2 - \frac{(D - d)^2}{8}} \quad \text{Ec (8)}$$

$$a_{\text{nom}} = 284,98 \text{ mm} = 285 \text{ mm}$$

### 6.2.6 Ángulo de contacto de la banda de transmisión

Con el objetivo de calcular el ángulo de contacto en una transmisión por correa abierta y de dos poleas, puede ser empleada por la siguiente formula; [28].

$$\alpha_1 = 2 * \text{acos} \left[ \frac{D - d}{2a_0} \right] \quad \text{Ec (9)}$$

$$\alpha_1 = 173,76^\circ$$

### 6.2.7 Cálculo de la tensión transmitida por la banda

Existen dos fuerzas presentes en las poleas que son la tensión 1 ( $F_1$ ), ejercida por el motor de accionamiento que es el lado tenso y la tensión 2 ( $F_2$ ) que es producida por el eje rotor o lado flojo; [33].

$$F_1 = 41,250 \frac{Npd}{NV} \quad \text{Ec (10)}$$

$$F_2 = 33,000 * (1,25 - N) \frac{Npd}{Nv} \quad \text{Ec (11)}$$

Donde:

$F_1$ : Tensión en el lado tenso (lb)

$F_2$ : Tensión en lado flojo (lb)

$Npd$ : Potencia de diseño (hp)

$N$ : Factor de corrección por arco de contacto.

$v$ : Velocidad de las correas, (ft/min)

$$v = 0,262 * n * D \quad \text{Ec (12)}$$

Donde:

$v$ : Velocidad de las correas. (ft/min).

$n$ :  $1750 \text{ min}^{-1}$  Velocidad de la p Polea conductora o del motor eléctrico.

$D$ : 4, 28 Diámetro de la p Polea mayor (mm)

$$V = 1962,38 \text{ ft/min}$$

### 6.2.8 Cálculo del factor de corrección

Este criterio es la relación directa entre los diámetros de las poleas, dividido la distancia entre centros. Este valor resultante se encuentra codificado para la facilidad del cálculo, y está dado por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{D - d}{C} \quad \text{Ec (13)}$$

Donde:

$F$ : Factor para corrección.

$D$ : 108,85 mm, diámetro de la polea mayor (mm).

$d$ : 76,2 mm, diámetro de la polea menor (mm).

$C$  = 300 mm, distancia entre centros (mm)

$$F = 0,10$$

Con el valor de  $F = 0,10$  correspondiente al factor de corrección del arco de contacto se ubica en la columna del factor (N) mostrada en la tabla 20, y se tiene que; [33].

$$N = 0,99$$

Tabla 20

Arc	D-d C	Factors						
		A	B	H	K	M	N	O
180°	0.000	∞	1.000	2.000	24.750	1.000	1.00	0.75
179°	0.017	57.288	1.000	1.999	24.842	1.000	1.00	0.75
178°	0.034	28.647	1.000	1.999	24.936	1.000	1.00	0.76
177°	0.052	19.100	1.000	1.999	25.032	1.000	0.99	0.76
176°	0.069	14.326	0.999	1.998	25.128	0.999	0.99	0.76
175°	0.087	11.462	0.999	1.998	25.226	0.999	0.99	0.76
174°	0.104	9.553	0.999	1.997	25.326	0.999	0.99	0.77
173°	0.121	8.190	0.998	1.996	25.427	0.998	0.98	0.77
172°	0.139	7.168	0.998	1.995	25.529	0.998	0.98	0.77
171°	0.156	6.373	0.997	1.993	25.632	0.997	0.98	0.77
170°	0.173	5.737	0.996	1.992	25.737	0.996	0.98	0.77
169°	0.190	5.217	0.995	1.990	25.844	0.995	0.97	0.78
168°	0.207	4.783	0.995	1.989	25.952	0.995	0.97	0.78
167°	0.224	4.417	0.994	1.987	26.061	0.994	0.97	0.78
166°	0.241	4.103	0.993	1.985	26.172	0.993	0.97	0.78

Reemplazando los valores de la distancia entre centros y el factor (N) en la ecuación 10 de la tensión 1 y la ecuación 11 de la tensión 2 se tiene:

$$F_1 = 63,70 \text{ lbf} = 283,35 \text{ N}$$

$$F_2 = 13,24 \text{ lbf} = 58,85 \text{ N}$$



### 6.2.9 Número de Bandas

El número de bandas necesarias está en dependencia de la potencia de diseño, la corregida, el coeficiente de ángulo de contacto ( $C_\theta$ ), y coeficiente por corrección de la longitud ( $C_L$ ), [26].

Se determinaron los factores de corrección con los anexos 1.7 y 1.8 Para un  $\theta = 173^\circ$ ,  $C_\theta = 0,985$ , para  $L = 35,5$  pulg,  $C_L = 0,855$ .

$$Potencia\ corregida = C_\theta C_L P \quad Ec\ (14)$$

$$P = P\ nominal\ por\ banda + P\ nominal\ agregada \quad Ec\ (15)$$

$$P = 2,25\ hp + 1,55\ hp = 3,8\ hp$$

Potencia nominal por banda: Anexo 1.7

Potencia nominal agregada: Anexo 1.6

$$Potencia\ corregida = 0,985 * 0,855 * 3,8\ hp = 3,2\ hp$$

### Número de bandas

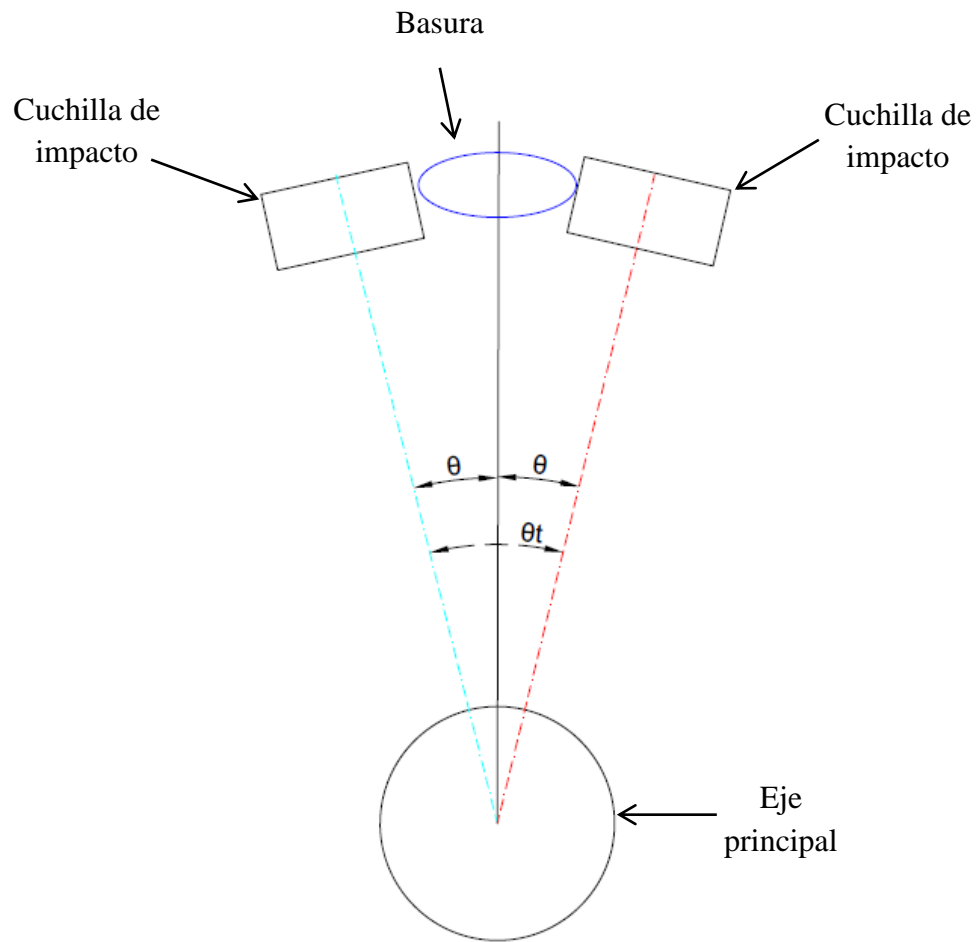
$$Z = \frac{P_{diseño}}{P_{corregida}} \quad Ec\ (16)$$

$$Z = 0,93\ Bandas \approx 1\ Bandas$$

## 6.3 DISEÑO DE LAS CUCHILLAS DE TRITURACIÓN

La basura un momento antes de la trituración hace contacto con las cuchillas, en ese preciso instante se procede a analizar qué ocurrirá con la basura al ser triturada. En la figura 8 se puede observar el esquema para entendimiento del proceso; Es por eso que se procede a calcular la fuerza de trituración, el tiempo de impacto de los martillos contra los residuos, la aceleración del sistema, la velocidad angular, etc.

Figura 8



### 6.3.1 Tiempo de Impacto

De acuerdo con la figura 8 se puede tomar el triángulo equilátero formado por el diámetro de la basura, (por motivos de diseño se asume que el residuo es circular), hasta el centro del eje principal.

### 6.3.2 Ángulo de Rotación

De esta manera se puede calcular el ángulo de rotación, mediante la función trigonométrica seno.

$$\sin(\theta) = \frac{L_{CAT}}{L_{HIP}}$$

$L_{CAT}$ : Media de la granulometría de los residuos de mayor tamaño.

$L_{HIP}$ : Radio de acción de las cuchillas, 90 mm.

Para la determinación de la longitud del cateto opuesto, se ha tomado la media de la granulometría de los residuos con mayor tamaño, por lo tanto es igual 50 mm.

$$\theta = \text{asin} \frac{0,05 \text{ m}}{0,09 \text{ m}} = 33,74^\circ$$

Como se puede observar en la figura 8, el ángulo  $\theta_T$  es igual a dos veces  $\theta$ , de esta manera queda un ángulo total de derogación de:

$$\theta_T = 2\theta = 67,49^\circ = 1,17 \text{ rad}$$

Este valor es el desplazamiento angular en ese instante.

### 6.3.3 Velocidad angular

La velocidad angular  $\omega$  está dada por la relación entre el desplazamiento angular dividido el tiempo, lo que se muestra en la ecuación; [30].

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \text{Ec (17)}$$

El valor de la frecuencia de giro es  $\omega = 1225 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$ , y para efectos de cálculo, se realiza la conversión de las unidades a radianes por segundo.

$$1225 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{ s}} = 128,28 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

### 6.3.4 Tiempo de Impacto

Para calcular el valor del tiempo de impacto, se despeja de la ecuación 17 el valor del tiempo ( $t$ ) y se reemplaza los valores de desplazamiento angular ( $\theta$ ) y la velocidad angular ( $\omega$ ) calculadas previamente y reemplazando estos valores se obtiene:

$$t = \frac{\theta}{\omega} = \frac{1,17 \text{ rad}}{128,28 \text{ rad/s}} = 0,009120 \text{ s}$$

### 6.3.5 Aceleración Angular

Utilizando las ecuaciones de cinemática rotacional se puede calcular la aceleración angular ( $\alpha$ ), la ecuación de cinemática a usar es la siguiente, [30].

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 * \alpha(\theta - \theta_0) \quad \text{Ec (18)}$$

Despejando la aceleración angular  $\alpha$  de la ecuación 18, y reemplazando los valores calculados previamente se obtiene:

$$\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2 * (\theta - \theta_0)} \quad \text{Ec (19)}$$

Considerando:

$$\omega_0 = 0$$

$$\theta_0 = 0$$

Por lo tanto

$$\alpha = \frac{(128,28 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2}{2 * 1,17 \text{ rad}} = 7032,37 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

### 6.3.6 Diseño de las cuchillas

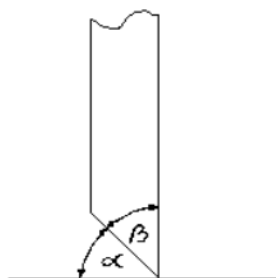
Las cuchillas cuentan con un amplio historial de diseño, sin embargo para no redundar en información se explican las principales características que influyeron para escoger este tipo de aditivos:

Poseen tres orificios para el alojamiento de los pernos de sujeción, se encuentran fabricadas en acero de alta resistencia al desgaste y rotura, es un acero tratado térmicamente para la fabricación de herramientas de corte.

Las cuchillas para corte constan de tres partes que son:

- Ángulo de la cuña ( $\beta$ ).
- Ángulo de despullo ( $\alpha$ ).
- El filo de la cuña.

Figura 9. Ángulos de las cuchillas de corte

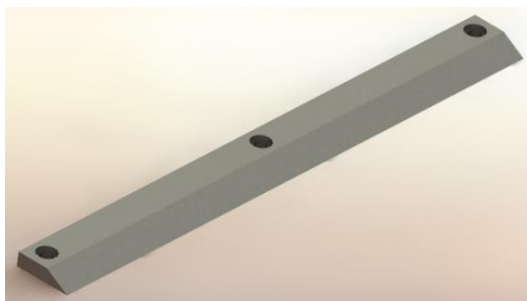


- **Ángulo de cuña ( $\beta$ ).** Es el formado por la superficie de ataque y la superficie destalonada. Cuanto menor es el ángulo de cuña, menor es el gasto de energía. El ángulo de cuña debe estar adaptado al material a trabajar. Por consiguiente mientras más duro sea el material a cortar, mayor ha de ser el ángulo de cuña.
- **Ángulo de despullo ( $\alpha$ ).** Es el formado por la superficie destalonada y la de corte, de él depende el rozamiento y calentamiento del material. Debe escogerse de manera que la herramienta corte con suficiente libertad. Los materiales blandos requieren un gran ángulo de despullo.
- **Filo de cuña.** Está formado por el ángulo de cuña y el ángulo de despullo por lo general el filo de la cuña debe ser más duro que el material a cortar.

El esfuerzo de corte de la basura orgánica, se presume similar a un simple esfuerzo de cizallamiento, el cual corta al material usando la cuchilla que gira a una determinada velocidad; esto hace que el material quede seccionado, además de corte se produce un desgarró en las fibras por la fuerza que posee las cuchillas al girar a grandes revoluciones.

En la figura 10 se muestra la forma asumida para la cuchilla y su debida sujeción.

Figura 10



Las cuchillas son de forma rectangular y tienen un cierto ángulo que va a ser el ángulo de corte.

Para los cálculos, se ha asumido que la superficie de corte de la cuchilla tiene un ángulo de inclinación de  $30^\circ$ , por considerarse un ángulo que disminuye el esfuerzo en el plano vertical, según las observaciones hechas por algunos textos, [50].

Estas consideraciones se tienen que conocer para determinar un ángulo que no aumente las vibraciones y los impactos que pueden ser peligrosos si se considera que se pueden formar armónicos que logren colapsar el eje donde se encuentran dispuestos todos los elementos.

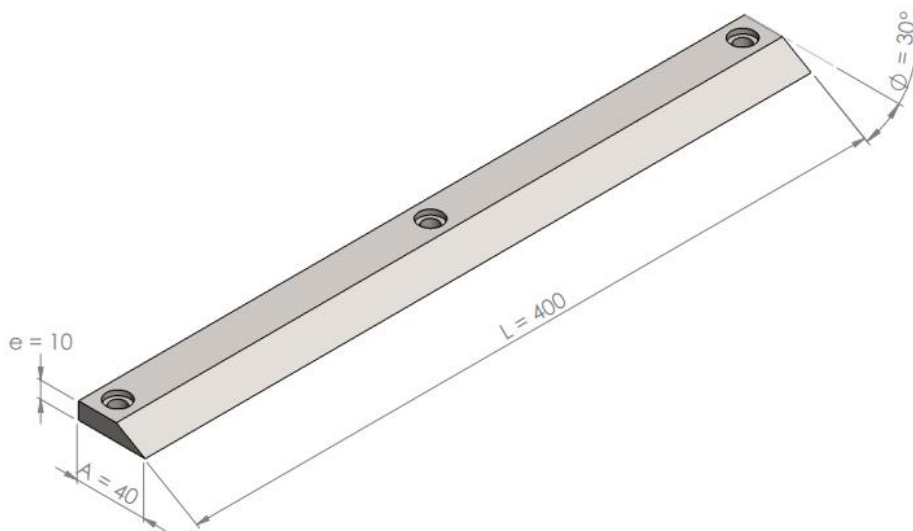
Las dimensiones que tiene la cuchilla se pueden observar en la figura 12; es de una forma muy sencilla, debido a que se deben simplificar las operaciones para obtener un mejor resultado.

### 6.3.7 Peso de la Cuchilla

Con base en el diseño requerido, se eligen las medidas de las cuchillas

- Medida de la cuchilla,  $e = 10$  mm,  $A = 40$  mm,  $L = 400$  mm,  $\theta = 30^\circ$ .

Figura 11. Dimensiones consideradas (Autor)



Con ayuda del programa Solidworks se puede hallar la masa de la cuchilla utilizando como dato inicial de la densidad del acero de  $7,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

$$m = 1 \text{ kg}, \quad \text{Dato suministrado por el CAD}$$

### 6.3.7.1 Peso total de la cuchilla

$$W = m * g = 1 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \text{ N}$$

### 6.3.7.2 Inercia de las Cuchillas

La inercia rotacional se manifiesta por la tendencia de los cuerpos que giran a mantener su velocidad angular, es decir la velocidad de giro. La manera en que se distribuye la masa en un cuerpo de cualquier forma geométrica y la distancia entre esta masa al eje de giro, son las variables a calcular el momento de inercia de un cuerpo, [31].

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad \text{Ec (20)}$$

Donde:  $r$  = Radio de acción de las cuchillas, 90 mm.

$$I_{\text{Cuchilla}} = 0,00405 \text{ kg} * \text{m}^2$$

### 6.3.7.3 Fuerza de impacto con base a la inercia

El principio de D`Lambert establece que la sumatoria de los momentos es igual a la sumatoria de las inercias multiplicando por las aceleraciones angulares, [30].

$$\begin{aligned} \sum &= M_o = \sum I_o * \alpha \\ \sum F * d &= \sum I_o * \alpha \quad \text{Ec (21)} \end{aligned}$$

Despejando la fuerza  $F$  y aplicando la inercia de las cuchillas se tiene:

$$F_{\text{impacto}} = \frac{I_o * \alpha}{d} = \frac{0,00405 \text{ kg} - \text{m}^2 * 7032,37 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}}{0,09 \text{ m}} = 316,45 \text{ N} = 0,3164 \text{ kN}$$

Esta es la fuerza que se produce cuando la cuchilla impacta con la basura en el instante del contacto.

### 6.3.7.4 Fuerza de Impacto Total

La fuerza total, será la sumatoria de la carga viva y muerta (peso).

$$F = 0,3164 \text{ kN} + \frac{9,81 \text{ kN}}{1000} = 0,32 \text{ kN}$$

### 6.3.7.5 Número de cuchillas Necesarias

El cálculo de cuchillas depende de distintas variables, las cuales se determinan con base en expresiones empíricas, de esta manera el número de cuchillas esta expresada por; [25].

$$NC = \frac{PR * 800000 * \eta}{Mc * rg^2 * N^3 * f} \quad \text{Ec (22)}$$

Donde:

La potencia de diseño del motor en CV es:

$Pr$ : 3 hp = 3,04 CV

La eficiencia de un motor eléctrico es de 70%, ya que anteriormente se determinó que las pérdidas eran del 30%.

$\eta$ : 0,7

La masa de las cuchillas es:

$m_c$ : 1 kg

El radio de giro de la cuchilla es:

$$rg = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ m}$$

La velocidad de giro del eje del motor es:

$N = 1225 \text{ min}^{-1}$

### 6.3.7.6 Velocidad Tangencial y factor $f$

El factor  $f$  dependiente de la velocidad de rotación de las cuchillas, es decir de la velocidad tangencial que está dada por; [25].

$$Vt = \frac{rn\pi}{30} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ec (23)}$$

Reemplazando tenemos:

$$Vt = 11,54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con la velocidad tangencial de las cuchillas se obtiene el valor de  $f = 0,0220$  del anexo 1.9 (Factor de diseño).



## Número de cuchillas

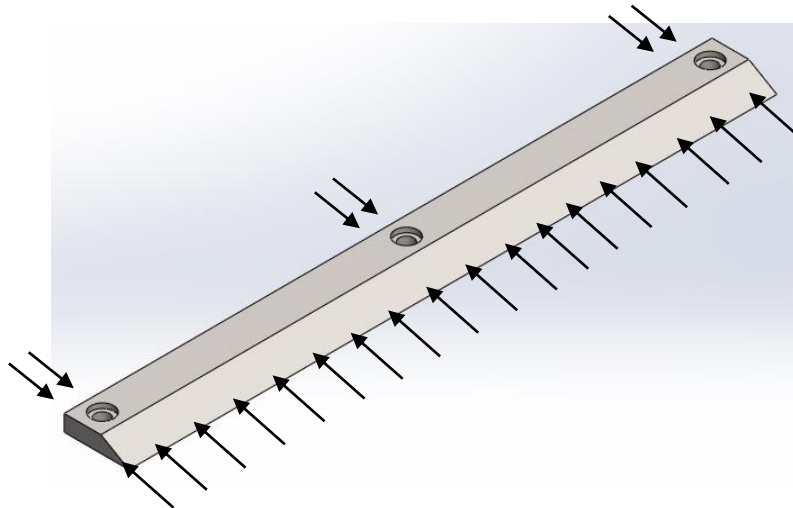
$$NC = 3,73 \approx 4 \text{ Cuchillas}$$

Según la capacidad del dispositivo el número óptimo de cuchillas es 4. La basura antes de la trituración hace contacto con las cuchillas, en ese preciso instante se procede a analizar qué ocurrirá con la basura al ser triturada.

### 6.3.7.7 Diagrama de fuerzas

Como se muestra en la figura 12, la fuerza será ejercida sobre la cara de corte, produciendo varias clases de esfuerzos en la cuchilla, un esfuerzo de aplastamiento, un esfuerzo cortante y un esfuerzo a flexión debido al ángulo establecido.

Figura 12



La fuerza de corte actúa en dirección opuesta del esfuerzo cortante y sobre el área de la cara donde se encuentra el ángulo de corte, esta área es igual a la longitud de la cuchilla por su espesor, ya que la dirección del esfuerzo es en la cara de corte.

Según las medidas del eje del rotor se selecciona un juego de cuchillas con las siguientes dimensiones: 400 mm de largo, espesor de 10 mm y una longitud de 40 mm.

Inicialmente se ha mencionado que el diseño del procesador de residuos sólidos para uso doméstico tiene como base la teoría de trituradoras plásticas, se toma entonces la norma ASTM D732 que realiza un estudio de esfuerzos cortantes a componentes plásticos, para el cálculo del factor de seguridad; de esta práctica se tiene los siguientes datos:

El esfuerzo medio de aplastamiento es

$$\sigma = 3380 \text{ psi} = 23,3 \text{ Mpa}$$

Por las condiciones de trabajo el material que se empleará para mecanizar la cuchilla será un acero SAE/AISI S-1 que tiene como propiedades; [32].

$$S_y = 60 \text{ kpsi} = 414 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 100 \text{ kpsi} = 689 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = 17,76 \quad \text{Ec (24)}$$

### 6.3.7.8 Análisis de las cuchillas por fatiga

Se determinará el factor de seguridad para evitar fallas por fatiga producidas en la cuchilla, ya que ellas van de un esfuerzo máximo cuando actúan los dos esfuerzos combinados hasta cuando actúan sobre ellas un solo esfuerzo lo que se denomina esfuerzos fluctuantes; [32].

Una vez seleccionado el material se procede a calcular la resistencia a la fatiga.

$$S_{e'} = 0,5 * S_{ut} = 344,5 \text{ Mpa} \quad \text{Ec (25)}$$

Este resultado debe modificarse aplicando los factores de carga, para poder determinar las diferencias entre la pieza de prueba y la pieza real.

$$S_e = K_{carga} * K_{tamaño} * K_{superficie} * K_{temperatura} * K_{efectos\ varios} * S_{e'} \quad \text{Ec (26)}$$

La carga es axial por lo que  $K_{carga}$  es igual a 0,7.

Los factores que se encuentran para tamaño, son sólo válidos para partes cilíndricas por lo que conociendo el tamaño de la cuchilla, se podrá determinar el factor de carga utilizando un diámetro equivalente, según la fórmula siguiente; [32].

$$d_{equivalente} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}} \quad \text{Ec (27)}$$

Donde el valor  $A_{95}$  para una sección rectangular es:

$$A_{95} = 0,05b * h = 0,05 * 10 * 400 = 200 \text{ mm}^2$$

$$d_{\text{equivalente}} = 51,1 \text{ mm}$$

$$K_{\text{tamaño}} = 1,189 * d_{\text{equivalente}}^{-0,097} = 0,81 \quad \text{Ec (28)}$$

La temperatura de operación no es elevada por lo que se asumirá un  $K_{\text{temperatura}} = 1$ .  
Por ser un diseño preliminar se asumirá una confiabilidad del 50%,  $K_{\text{confiabilidad}} = 1$ , [32].

$$K_{\text{superficie}} = A(S_{\text{ut}})^b = 0,797 \quad \text{Ec (29)}$$

El factor de efectos varios tiene en cuenta las perforaciones que poseen las cuchillas, ya que generan esfuerzos que pueden afectar la vida útil de la pieza, su cálculo se muestra a continuación; [33].

$$K_e = \frac{1}{K_f} \quad \text{Ec (30)}$$

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \quad \text{Ec (31)}$$

Donde:

$K_f$ : Factor que relaciona los diversos diámetros.

$q$ : Coeficiente de sensibilidad.

Parte de las siguientes relaciones  $d/b$

Donde:

$d$ : Diámetro asumida de la perforación.

$b$ : Distancia de ubicación de la perforación.

$r$ : Radio de entalladura.

Se establece un diámetro de 10 mm, para la distancia de ubicación de la perforación se estiman 11,34 mm.

$$\frac{d}{b} = \frac{10}{11,34} = 0,88$$

Del anexo 2.1 (Factores de superficie del acero) se puede escoger finalmente el  $K_t = 4,9$ .

El valor de  $q$  que se obtiene a partir de:

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Ec (32)}$$

Se asume el valor de 2 mm para el radio de la discontinuidad (r) y donde  $\sqrt{a}$  es la constante de Neuber; Del anexo 2.3 (Coeficientes teóricos de concentración de esfuerzos) se puede escoger finalmente el  $\sqrt{a} = 0,31 \text{ mm}^{0,5}$

$$q = 0,82$$

Finalmente:

$$K_f = 4,19$$

$$K_e = 0,23$$

Entonces:

$$S_e = (1) * (0,81) * (0,797) * (1) * (0,23) * 344,5 \text{ Mpa} = 51,15 \text{ Mpa}$$

La cuchilla está sometida a esfuerzos fluctuantes ya que tiene un esfuerzo máximo cuando se encuentra en proceso de corte, y un esfuerzo de cero cuando está en reposo.

$$\sigma_{\text{máx}} = 23,304 \text{ Mpa} \quad \sigma_{\text{mín}} = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} = \frac{23,304 + 0}{2} = 11,652 \text{ Mpa} \quad \text{Ec (33)}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{mín}}}{2} = \frac{23,304 - 0}{2} = 11,652 \text{ Mpa} \quad \text{Ec (34)}$$

Utilizando la relación de Goodman modificada:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec (35)}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$n = 4,08$$

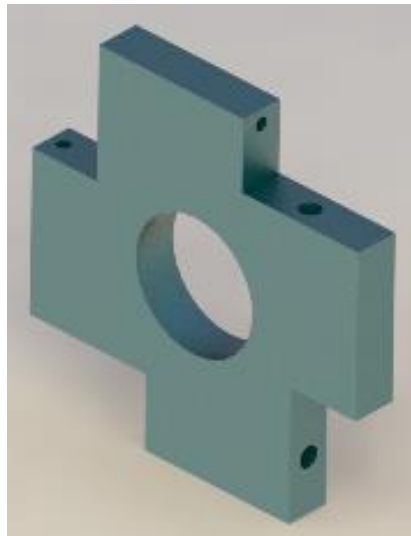
Como se observa el valor de factor de seguridad es elevado, la justificación de esto es que la operación para el cual está diseñado los elementos de corte, tienen requerimientos muy pequeños en comparación con la capacidad que brindan los materiales en el mercado; esto no quiere decir que puede usarse cualquier material para la elaboración de las cuchillas, por lo contrario, debe considerarse otros factores como la corrosión, comercialización, costos, etc.

Los anteriores cálculos para seleccionar las cuchillas, se realizaron con el material más adecuado para este proceso “S-1”, sin embargo dado que en la región no es un acero comercial, fue necesario realizar una homologación por el DF2 que presenta alta resistencia al desgaste, gran tenacidad y buena conservación de filo. Los cálculos no se afectan por dicho cambio.

### 6.3.7.9 Porta cuchillas

El porta-cuchillas es el elemento de sujeción de las cuchillas del dispositivo. Sus dimensiones son estándar de acuerdo con el radio de giro y la cuchilla seleccionada. El material adecuado para su construcción es el acero AISI 4340, por su gran resistencia al desgaste, la abrasión, el impacto y deslizamiento.

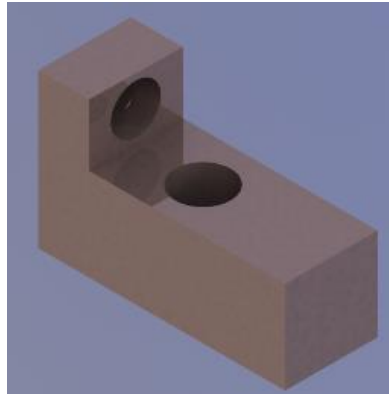
Figura 13. Porta cuchillas (Autor)



Con ayuda del programa de diseño SolidWorks se obtiene la masa aproximada del porta-cuchillas  $m = 1,3$  kg.

Para evitar el deterioro del porta-cuchillas así como de las cuchillas móviles, se ha posicionado en el medio de estos dos elementos un apoyo mecánico. Éste ha sido diseñado en acero de menores propiedades al de otras partes 1020, con el fin de preservar la integridad y la vida útil de las cuchillas y del porta- chuchillas.

Figura 14. Bloque sujetador (Autor)



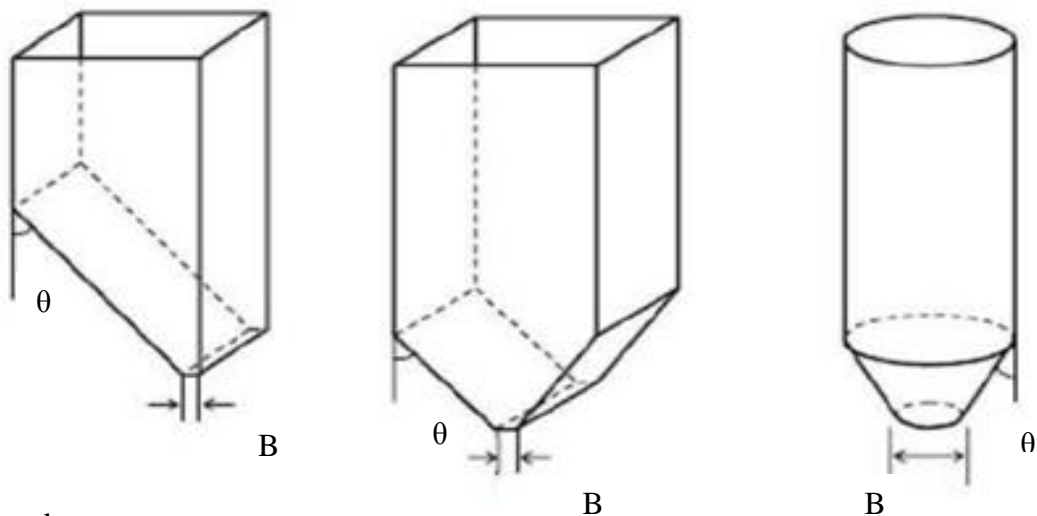
Con ayuda del programa de diseño, se puede obtener la masa aproximada del portacuchillas  $m = 0,0709$  kg.

#### 6.4 TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La tolva de alimentación del dispositivo está basada en la teoría existente para diferentes tipos de tolvas usadas para alimentación de plástico u otros materiales. La tolva está diseñada para contener aproximadamente 24 kg de basura orgánica domiciliar; este volumen de basura tiene que ser colocado poco a poco para evitar el atascamiento de las cuchillas y no sobre esforzar el motor.

Con base en la teoría de las tolvas para alimentación del plástico, existen diferentes opciones de geometría mostradas en la figura 15.

Figura 15



Donde:

$\theta$ : Flujo en planos asimétrico (1)

inación de la

Flujo en planos simétrico (2)

Flujo en planos simétrico (3)

B: Es la abertura de salida de la tolva

Se escoge una tolva en flujo en planos asimétricos ya que permite un buen flujo para la basura orgánica en este modelo el ángulo de fricción del material con la pared  $\theta$  es importante y además se escogió porque estéticamente es más vistoso.

Teniendo en cuenta lo anterior, el diseño de la tolva de alimentación se hizo basado en tablas existentes de ángulos de deslizamiento, lo cual arrojó solo la variable de la capacidad de alimentación, independiente de las propiedades de la basura orgánica domiciliar.

Como se observa en la tabla 21, la mayoría de materiales tienden a deslizarse con un ángulo superior al  $20^\circ$ , se asumió un ángulo de  $35^\circ$  para disponer la tolva de entrada de basura orgánica a ser triturada, [23].

Tabla 21. Ángulo máximo de inclinación

Material Transportado	Ángulo máximo de inclinación grados	Material transportado	Ángulo máximo de inclinación grados
Alúmina seca, flujo libre, terrones de 1/8"	10 a 12	Minerales (véase piedra)	15-20
Granos enteros	8	Paquetes	15-25
Carbón, antracita	16	Palets, dependiendo del tamaño, la capa del material y la	5-15
Carbón, bituminoso, clasificado por tamaños, terrones de más de 4 in	15	concentricidad (taconita, fertilizante, etc)	
Carbón, bituminoso, clasificado por tamaños, terrones de 4 in o menos	16	Roca (véase piedra)	15-20
Carbón, bituminoso, sin clasificar	18	Arena, flujo muy libre	15
Carbón bituminoso, finos, flujo libre	20	Arena, poca fluidez (humedad)	20
Carbón bituminoso, finos, poca fluidez	22	Arena, de fundición templada	24
Coque, clasificado por tamaños	17	Piedra, clasificada por tamaños, terrones de más de 4 in	15
Coque, sin clasificar por tamaños	18	Piedra, clasificada por tamaños, terrones de 4 in o menos, pero más	16
Coque, finos y cisco	20	de 3/8 in	
Tierram flujo libre	20	Piedra, sin clasificar por tamaños, terrones de más de 4 in	16
Tierra, poca fluidez	22	Piedra, sin clasificar por tamaños, terrones de 4 in o menos pero más	18
Grava, clasificada por tamaños, sin lavar	12	de 3/8 in	
Grava, clasificada por tamaños, lavada	15	Piedra, finos de 3/8 in o menos	20
Grava, sin clasificar por tañños	18	Astillas de madera	27
Cereales	8-16		

Las dimensiones de entrada del producto son:

$$b = 370 \text{ mm}$$

$$h = 90 \text{ mm}$$

De acuerdo al estudio realizado a las necesidades de los clientes en el capítulo 5, la longitud óptima para la manipulación es de 500 mm, ya que permite agrupar la cantidad basura orgánica necesaria y ubicarla en el rotor del dispositivo.

Dado que el peso que actúa en la tolva es igual al peso del material, se tiene que el volumen que contendrá será de:

$$V_{\text{tolva}} = V_{1 \text{ seccion cuadrada}} + V_{2 \text{ seccion cuadrada}} + V_{\text{triangular}}$$

$$V_{\text{cuadrado 1}} = 90 \text{ mm} * 500 \text{ mm} * 370 \text{ mm} = 16650000 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{cuadrado 2}} = 510 \text{ mm} * 141 \text{ mm} * 370 \text{ mm} = 26606700 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{triangular}} = 510 \text{ mm} * 370 \text{ mm} * 359 \text{ mm} * \frac{1}{2} = 33871650 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tolva}} &= V_{\text{seccion cuadrada}} + V_{2 \text{ seccion cuadrada}} + V_{\text{triangular}} \\ &= 16650000 \text{ mm} + 26606700 \text{ mm} + 33871650 \text{ mm} = 77128350 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Se conoce que:  $m = \rho * V$  y que  $W = m * g = \rho * V * g$

La densidad de la basura orgánica domiciliaria es de  $\rho = 0,3 \text{ kg/L} = 300 \text{ kg/mm}^3$

$$m = \rho * V = 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.077128350 \text{ m}^3 = 23,13 \text{ kg}$$

$$W = m * g = 23,11 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 226,98 \text{ N}$$

La tolva puede ser fabricada en acero 1010 o ASTM-A36 con un espesor de pared de 2 a 3 mm, este material usado en todo tipo de construcciones estructurales, es ampliamente recomendable para diseñar y construir estructuras metálicas, vigas, puentes, tanques de almacenamiento, autopartes, torres de alta tensión, equipos mecánicos, etc.

## 6.5 DISEÑO DEL TAMIZ

### 6.5.1 Tamiz Metálico

La función principal del tamiz es la evacuación del material triturado que es desalojado hacia el exterior de la cámara de trituración.

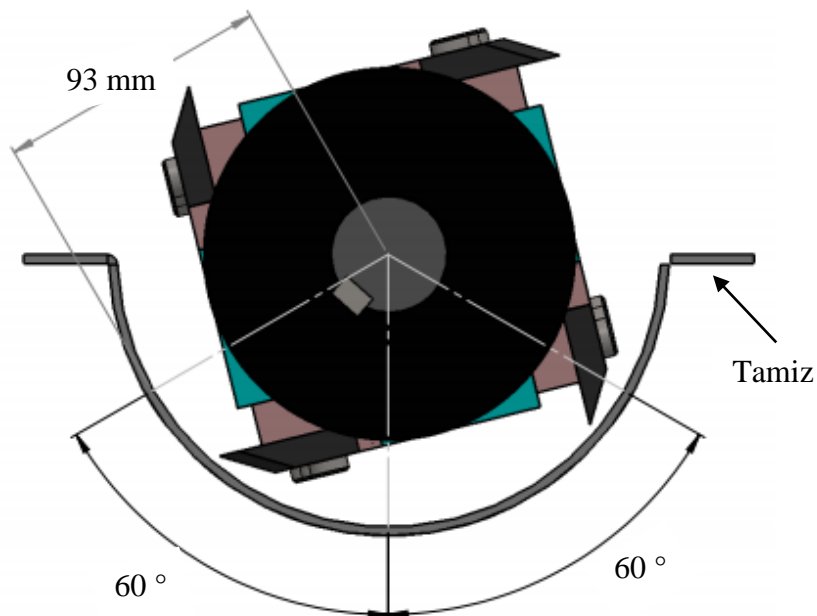
El tamiz es un elemento muy importante en el proceso de molido ya que éste asegura que el tamaño final sea el preciso. Los factores principales que garantiza el tamaño final son el



diámetro, la separación de los agujeros y el espesor del tamiz. Se desea que el diámetro final sea de aproximadamente 10 a 5 mm, por lo que se necesita que el diámetro de los agujeros del tamiz sea menor.

El tamiz de acuerdo con las consideraciones mencionadas de diseño, debe cubrir un ángulo de 60° desde el centro en ambos sentidos, es decir un ángulo total de 120°. La superficie del tamiz posee agujeros de 10 mm, debido a que la materia prima no debe superar esta dimensión para su posterior proceso. En la figura 16 se observa las dimensiones consideradas para el diseño del tamiz.

Figura 16



El tamiz según las recomendaciones de diseño deben tener una separación de 3 mm con respecto a las cuchillas, por lo tanto el radio de la malla es:

$$L_{\text{circunferencia}} = \frac{2 * \pi * r}{360^\circ} * \text{ángulo} \quad \text{Ec (36)}$$

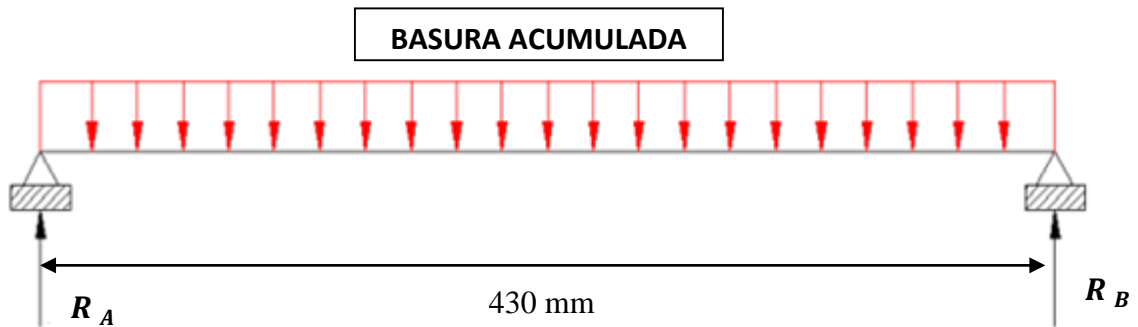
$$L_{\text{circunferencia}} = \frac{2 * \pi * 93 \text{ mm}}{360^\circ} * 120^\circ$$

$$L_{\text{circunferencia}} = 194,77 = 195 \text{ mm}$$

Para el cálculo del espesor de la malla se ha tomado como una superficie horizontal apoyada en sus extremos, la cual soporta una carga uniforme equivalente al peso de la

materia prima que se acumula sobre la malla durante el proceso de trituración, ver figura 17.

Figura 17



**Sumatoria de fuerzas**

$$\sum Fy = R_A - W + R_B = 0$$

**Peso de la basura sobre el tamiz:**

La basura sobre el tamiz va a ocupar una superficie equivalente a la superficie del tamiz y un espesor igual a la separación entre la criba y las cuchillas de trituración, por lo tanto:

$$m_{\text{basura}} = V * \rho_{\text{basura}}$$

$$m_{\text{basura}} = 0,195 \text{ m} * 0,430 \text{ m} * 0,003 \text{ m} * 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{basura}} = 0,075 \text{ kg}$$

**Peso de la basura:**

$$W_{\text{basura}} = g * m_{\text{basura}}$$

$$W_{\text{basura}} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} * 0,075 \text{ kg}$$

$$W_{\text{basura}} = 0,735 = 0,74 \text{ N}$$

Por lo tanto, las reacciones en los extremos son iguales a:

$$\sum M_B = 0,74 \text{ N} * 0,0975 \text{ m} - R_A * 0,195 \text{ m} = 0$$

$$R_A = R_B = 0,37 \text{ N}$$

### Momento Flector Máximo:

$$M_{\max} = \frac{q * L^2}{8} \quad \text{Ec (37)}$$

$$q = \frac{W_{\text{basura}}}{L} = \frac{0,74 \text{ N}}{0,430 \text{ m}} = 1,72 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \text{Ec (38)}$$

$$M_{\max} = 0,039 \text{ N * m}$$

### 6.5.2 Esfuerzo Permisible

Las especificaciones del AISC limita el esfuerzo permisible en placas de apoyo a; [30].

$$F_{ys} = 0,75 * F_y \quad \text{Ec (39)}$$

Para el cálculo del esfuerzo permisible se parte de que el esfuerzo elástico de cadencia del acero es de 250 MPa, por lo tanto:

$$F_{ys} = 188 \text{ MPa}$$

### 6.5.3 Módulo de sección

Para el cálculo del módulo de sección se parte del momento flector máximo y el esfuerzo admisible, por lo tanto:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\text{adm}}} \quad \text{Ec (40)}$$

$$S = 2 \text{ E}^{-10} \text{ m}^3$$

### 6.5.4 Espesor de la criba

Para el cálculo del espesor de criba se parte del módulo de sección y el radio de la malla, por lo tanto; [34].

$$h = \sqrt[2]{\frac{6 * S}{b}} \quad \text{Ec (41)}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{6 * 2E^{-10} m^3}{0,195 m}}$$

$$h = 0,00005163 \text{ m} = 51 \mu\text{m}$$

El espesor mínimo del tamiz calculado es de 0,051 mm, pero hay que tener en cuenta otros factores como pandeo del tamiz, fuerza de empuje de las cuchillas y material a utilizar, por lo que se recomienda utilizar una criba de espesor de 2 mm, toda esta información se toma del análisis para trituradoras de plástico que operarían de forma similar.

### 6.5.5 Número de agujeros del tamiz

El número de agujeros va a depender de varios factores, como la velocidad de salida del material, el área de salida y el flujo volumétrico de la basura a triturar.

Se considera como el flujo volumétrico de entrada al volumen producido por los bloques de viviendas mencionado anteriormente en las necesidades de los clientes.

$$\dot{V} = 450 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,125 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = 0,125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{300 \text{ kg}} = 0,00041667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 6.5.6 Flujo volumétrico de salida

Durante el proceso de trituración no existe pérdida de masa. Por lo tanto,

$$\dot{V}_{\text{entra}} = \dot{V}_{\text{sale}}$$

El diámetro de las perforaciones del tamiz se escogió con base en tablas para diseño de procesos semejantes y de acuerdo con las necesidades de los clientes planteadas anteriormente, el cual tiene de referencia el tipo de material a procesar, granulometría inicial, granulometría final y velocidad, [24].

Para obtener partículas con un tamaño de 6 – 8 mm, se ha decidido perforar agujeros de 10 mm en el tamiz, con este diámetro se obtiene la granulometría necesaria planteada por las necesidades de los clientes.

Si se considera como caída libre la salida de las partículas, sin tomar en cuenta otras variables, de esta manera se puede plantear que [35]:

$$V_{\text{particula}} = \sqrt{2 * g * h} \quad \text{Ec (42)}$$

Donde la altura de caída asumida del material es: 2 mm

$$V_{particula} = 0,20 \frac{m}{s}$$

Área de los agujeros de salida:

$$A_{agujero} = \pi * r^2$$

$$A_{agujero} = \pi * (5mm)^2 = 78,54mm^2$$

El volumen de salida por segundo se determina mediante; [36].

$$\dot{V}_{salida} = V_{particula} * A_{agujero} * \# \text{ agujeros} \quad \text{Ec (43)}$$

$$\# \text{ agujeros} = \frac{0,00042 \frac{m^3}{s}}{0,20 \frac{m}{s} * 0,00007854m^2} = 26,73 \approx 27 \text{ agujeros}$$

La malla del tamiz tiene mínimo 27 agujeros, de 10 mm de diámetro. La malla con estas características cumple con el flujo volumétrico necesario para que el procesador de residuos sólidos para usos doméstico cumpla con:

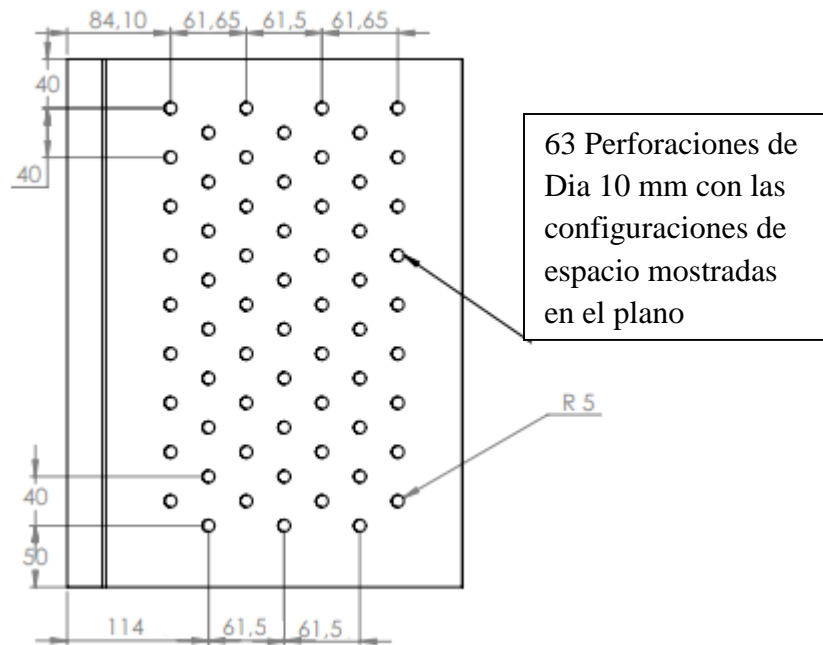
$$\dot{V}_{entra} = \dot{V}_{sale}$$

Hay que tener en cuenta factores muy importantes como son el tiempo de trituración, el amontonamiento del material sobre la malla que afectaran a la salida del material en un flujo constante.

Por las razones mencionadas se ha decidido que la mejor opción es que la malla este completamente perforada con agujeros alternados sobre toda la superficie de la misma, esto permitirá un mejor flujo de salida del material y menos amontonamiento.

De acuerdo con las características mencionadas, en la figura 18 se observa la configuración establecida:

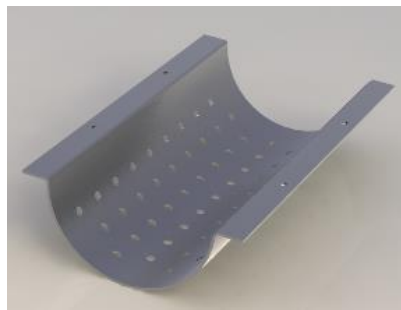
Figura 18



El tamiz está construido en acero Lamina Inoxidable 304 Calibre 14 que es de aproximadamente 2 mm de espesor, tiene las dimensiones de 250 mm de ancho por 430 mm de largo, posee 63 perforaciones de 10 mm de diámetro con una distancia entre ellas de 40 mm entre ejes, se aumentaron las perforaciones con relación al cálculo inicial con el fin de asegurar una buena velocidad de evacuación. Las perforaciones se encuentran en toda el área cóncava que tiene un radio de curvatura de 93 mm.

También se tiene que para la distancia entre el tamiz y las cuchillas se debe conservar una distancia de 2-3 mm, por lo tanto se definió que lo más que pertinente para el diseño que sea de 2 mm. Su configuración geométrica se muestra en la figura 19.

Figura 19



## 6.6 DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL

En la configuración de la geometría del eje no hay un diseño existente para usarlo como punto de partida. El mejor enfoque o planteamiento fue al estudiar los diseños similares con el fin de verificar como se resolvieron problemas y luego combinar lo mejor de ellos en el trabajo de grado.

Según la necesidad se requiere un acero SAE 1045 que es un acero para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales, como árboles de transmisiones, ejes, pines de sujeción, pasadores, etc.

Para realizar el diseño de eje, se toma en cuenta que trabaje a fatiga y se deben cuantificar las cargas producidas por los elementos constitutivos del sistema de cuchillas y por el conjunto polea-acople.

Para el cálculo de estas fuerzas, se ha realizado la suma de todas las masas que actúan sobre el eje motriz.

En la tabla 22 los datos y valores son tomados de cálculos efectuados, también por el programa de simulación de Solid Works 2009. El peso de la polea es obtenida de la selección por catálogos de poleas, [29].

Tabla 22

Nombre	Descripción	Masa (kg)	Peso (N)
W1	Eje	7, 2	70, 63
W2	Conjunto Porta cuchillas - Cuchillas	8,44	82,8
W3	Polea	1,35 Aprox.	13,24

- Potencia de transmisión 3 hp.
- Velocidad de giro de la polea con respecto al eje  $1225\text{min}^{-1}$
- Fuerza ejercida por la correa lado Tenso 155,5 N
- Fuerza ejercida por la correa lado flojo 33,58 N
- Diámetro de polea conducida  $4,28\text{ pulg} = 108,85\text{ mm}$

### 6.6.1 Fuerzas actuantes en el plano X-Y del eje

La fuerza ( $F_1$ ) que influye en este plano se considera al peso total de las cuchillas para corte que se calculó anteriormente, más el peso del porta-cuchillas y tiene un valor de:

$$F_1 = W_t \quad \text{Ec (44)}$$

Donde:

$F_1$ : fuerza 1 de aplicación en N

$W_t$ : Peso conjunto Porta-cuchillas y cuchillas en N

Reemplazando la ecuación (44) se tiene:

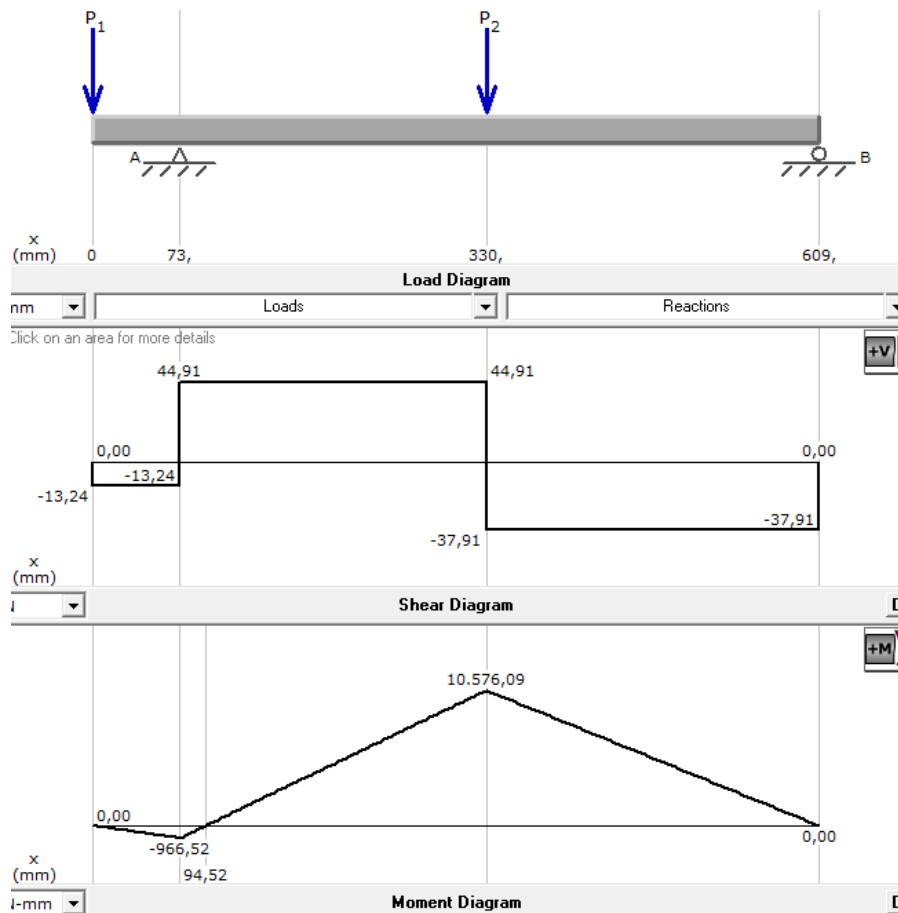
$$F_1 = 82,82 \text{ N}$$

El material de fabricación de la polea es un dato dado por el proveedor para un peso igual a 13,24 N, este un valor representativo en relación a las cuchillas.

La representación esquemática de cuerpo libre de acuerdo con la aplicación de la fuerza se muestra en la figura 20.

Se realiza el diagrama de cuerpo libre del eje con ayuda del programa MDSolid 3.4.

Figura 20





Donde:

$P_1$  es el peso de la polea,  $P_1 = 13,24 \text{ N}$ ,

$P_2$  es el peso del conjunto de cuchillas,  $P_2 = 82,82 \text{ N}$

Las reacciones en los apoyos son:

$$A_y = 58,15 \text{ N}$$

$$B_y = 37,91 \text{ N}$$

De las figura 23 se tiene:

- Esfuerzo cortante máximo = 44,91 N
- Momento flector máximo = 10,58 N

### 6.6.2 Fuerzas actuantes en el plano X-Z del eje

La deflexión del eje se produce en el eje Z, al efectuar el trabajo de corte de la basura orgánica se procede a calcular la fuerza de corte y las tensiones producidas por la polea.

### 6.6.3 Cálculo de la fuerza de corte

La fuerza de corte se determina de una forma práctica conociendo los datos experimentales del proceso en el Pet, ya que presenta características muy similares a la basura orgánica, [36].

Con la ayuda de una prensa hidráulica y un troquel para corte con un ángulo de cuña igual a  $15^\circ$  de incidencia conocido con ensayo estático de corte de un tubo de PET, se obtiene como resultado  $40 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 3,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  de presión para el corte; la relación existente entre la fuerza dinámica es de aproximadamente de 1 a 100, [36].

Luego se obtiene el área de corte del anillo con la siguiente expresión:

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad \text{Ec (45)}$$

Donde:

A: Área del anillo del tubo(mm)

D: Diámetro exterior (mm)

d = Diámetro interior (mm)

Entonces:

$$A = \frac{\pi}{4}(65^2 - 60^2)$$
$$A = 490,87 \text{ mm}^2$$

Para relacionar la diferencia entre diámetros se tiene un valor en el pico de la botella y el asiento de 5 mm de espesor.

Entonces la fuerza de corte es igual a:

$$F_c = F_{rc} * A \quad \text{Ec (46)}$$

Donde:

$F_c$ : Fuerza de corte (N)

$F_{rc}$ : Fuerza requerida para el corte.  $(3,9226 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})$

$A$ : Área del tubo ( $\text{mm}^2$ )

Aplicando la Ecuación (46), de la fuerza de corte se tiene una fuerza igual a:

$$F_c = 1925,51 \text{ N}$$

La fuerza de corte del Pet tomada como similar a la fuerza de corte de la basura orgánica, presenta una fuerza de corte de 1925,51 N; sumado al peso del conjunto del porta-cuchillas se tiene una fuerza total mostrada en la ecuación (47).

Entonces la fuerza total en el eje es igual a:

$$F_{zt} = F_c + W_t \quad \text{Ec (47)}$$

Donde:

$F_{zt}$ : Fuerza total de corte (N).

$F_c$ : Fuerza de corte (N).

$W_t$ : Peso total del conjunto porta-cuchillas y cuchillas.

Reemplazando los valores en la ecuación (47) se tiene:

$$F_{zt} = 1925,51\text{N} + 82,82\text{N}$$

$$F_{zt} = 2008,33 \text{ N}$$

#### 6.6.4 Tensiones producidas por la correa

Las tensiones o fuerzas producidas por la correa tanto del lado tenso como del lado flojo, actúan directamente en el segmento de apoyo para la polea, ver figura 21.

Figura 21



$$F_{zp} = F_f + F_t \quad \text{Ec (48)}$$

Donde:

$F_{zp}$ : Fuerza en el segmento de apoyo para la polea

$F_f$ : Fuerza lado flojo de la polea.

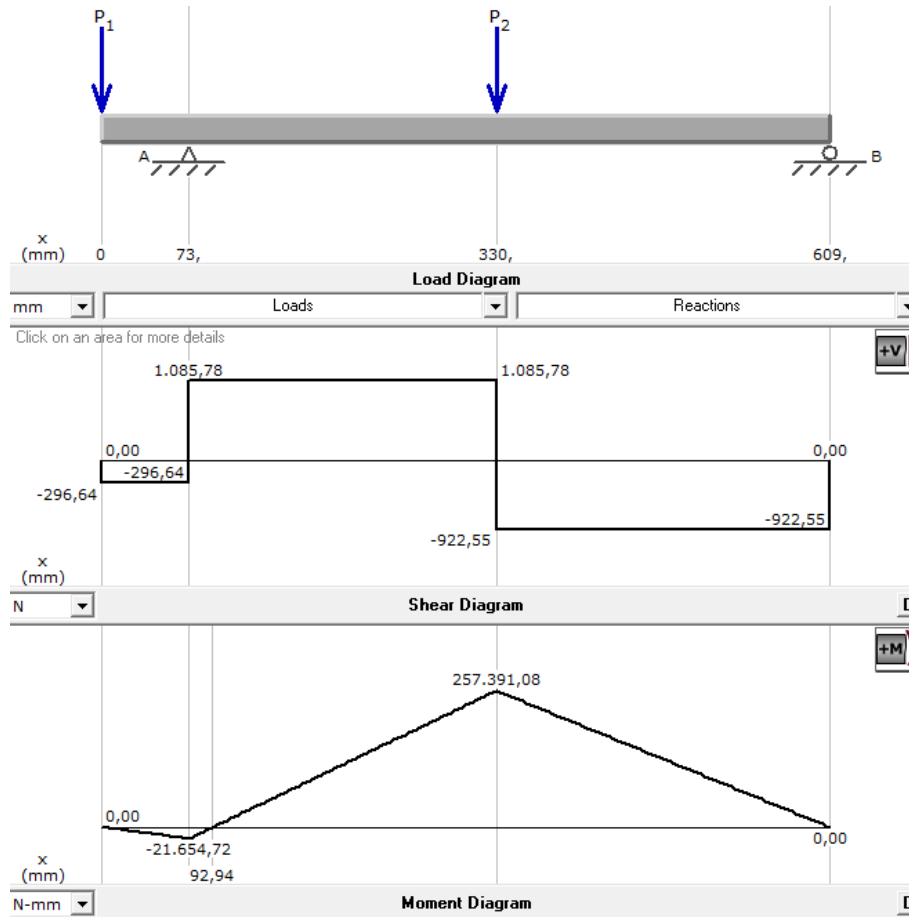
$F_t$ : Fuerza lado tenso de la polea.

Entonces:

$$F_{zp} = 296,64 \text{ N}$$

De acuerdo con los cálculos anteriores se procede a la representación del diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes, ver figura 22.

Figura 22



Donde:

$P_1$  es la fuerza de la polea,  $P_1 = 296,64$  N

$P_2$  es la fuerza conjunto cuchillas,  $P_2 = 2008,33$  N

Las reacciones en los apoyos son:

$$A_y = 1382,42$$
 N

$$B_y = 922,55$$
 N

De la figura se tiene:

- Esfuerzo cortante máximo = 1085,78 N/mm
- Momento flector máximo = 257391,08 N/mm

### 6.6.5 Diseño del eje

Para el diseño del eje se utiliza la teoría de la energía de la distorsión, considerando que el elemento a diseñar se encuentra afectado por cargas fluctuantes en inversión completa, [33].

$$\sigma_a = 32 * K_f * \frac{M_a}{\pi * D^3} \quad \text{Ec (49)}$$

$$\sigma_m = 16 * \sqrt{3} * \frac{T_m}{\pi * D^3} \quad \text{Ec (50)}$$

Donde:

$\sigma_a$ : Esfuerzo equivalente

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos por fatiga

$M_a$ : Momento resultante máximo

$D$ : Diámetro

$\sigma_m$ : Esfuerzo medio equivalente

$T_m$ : Par motor

Tomando los esfuerzos alternantes y medio, reemplazados en la fórmula de Goodman modificada y despejando el diámetro se obtiene:

$$D = \left[ \frac{32 * n}{\pi} * \left( K_f * \frac{M_a}{S_e} + \sqrt{3} * \frac{T_m}{(2 * S_u)} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec (51)}$$

Donde:

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga (N/mm<sup>2</sup>)

$S_{ut}$ : Resistencia ultima (N/mm<sup>2</sup>)

$n$ : Factor de seguridad

$D$ : Diámetro (mm)

### 6.6.6 Cálculo del momento resultante máximo

El cálculo del momento resultante máximo, parte de las variables del momento resultante máximo en el plano X-Y y el plano X-Z, ver ecuación 52; [33].

$$M_a = \sqrt{M_{max.xy}^2 + M_{max.xz}^2} \quad \text{Ec (52)}$$

Donde:

$M_a$  = Momento resultante máximo (kN\*mm)

$M_{max.xy}$  = Momento resultante máximo en el plano X-Y

$M_{max.xz}$  = Momento resultante máximo en el plano X-Z

Entonces reemplazando los valores, se tiene que el momento resultante máximo es igual a:

$$M_a = \sqrt{1085,78^2 + 257391,08^2}$$
$$M_a = 257393,3 \text{ kN} * \text{mm}$$

### 6.6.7 Cálculo de los factores que modifican el límite a fatiga del eje rotor

Para el cálculo del límite de resistencia a fatiga se utilizan factores que se modifican en función del límite de resistencia del material o acero seleccionado, [33].

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e \quad \text{Ec (53)}$$

Donde:

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga (N/mm<sup>2</sup>)

$K_a$ : Factor de resistencia de superficie (N/mm<sup>2</sup>)

$K_b$ : Factor de resistencia de tamaño

$K_c$ : Factor de resistencia de carga

$K_d$ : Factor de resistencia de temperatura

$K_e$ : Factor de resistencia de diversos efectos (tratamiento térmico, dureza de superficie, etc.)

$S'_e$ : Factor de límite de resistencia a la fatiga

### 6.6.8 Factor de resistencia de superficie $K_a$

El acero seleccionado es un AISI 1045, la resistencia última es de 580 N/mm<sup>2</sup> y un límite de fluencia de 330 N/mm<sup>2</sup>, [33].

Se calcula por la siguiente formula:

$$K_a = a * S_{ut}^b \quad \text{Ec (54)}$$

Donde:

$S_{ut}$ : Resistencia última del acero (N/mm<sup>2</sup>).

$a$ : Factor por esmerilado o rectificado = 1,58 Anexo 2.1; [38].

$b$ : Factor exponencial = -0,085 Anexo 2.1; [38].

$$K_a = 1,58 * 580^{-0,085}$$

$$K_a = 0,92$$

### 6.6.9 Factor de resistencia de tamaño $K_b$

El factor  $K_b$  se utiliza para elementos que cambian de geometría.

Para obtener una mayor resistencia de trabajo, durabilidad y garantía, en el diseño del eje rotor se estima un diámetro de 50 mm que es bastante robusto ya que la sección del eje rotor que se calcula es donde se apoyará la polea conducida que accionara al eje rotor. También proporciona estabilidad a la polea ya que si se estima que un diámetro menor produciría inestabilidad por tener menor área de alojamiento o sustentación, [33].

$$K_b = \left(\frac{D}{7,62}\right)^{-0,1133} \quad \text{Ec (55)}$$

Donde:

$D$ : Diámetro asumido (mm).

$$K_b = \left(\frac{50}{7,62}\right)^{-0,1133}$$

$$K_b = 0,8$$

### 6.6.10 Factor de carga $K_c$

El presente factor es para el tipo de esfuerzo que se aplica o actúa en el acero seleccionado, [33].

$$K_c = 0,923$$

### 6.6.11 Factor de resistencia de temperatura $K_d$

Considera la modificación de dilatación del acero en relación a la temperatura ambiente y la de trabajo a las cuales está sometido, [33].

$$K_d = 1$$

### 6.6.12 Factor de diversos $K_e$

Se utiliza directamente a los cambios que sufre al acero de acuerdo con la configuración geométrica, [33].

$$K_e = \frac{1}{K_f} \quad \text{Ec (56)}$$

$$K_f = 1 + q * (Kt - 1) \quad \text{Ec (57)}$$

Donde:

$K_f$  : Factor de relaciona los diversos diámetros.

$q$ : Coeficiente de sensibilidad.

Parte de las siguientes relaciones  $D/d$  y  $r/d$ .

Donde:

$D$ : Diámetro mayor en mm.

$d$  : Diámetro menor en mm.

$r$  : Radio de entalladura.

Se establece un diámetro mayor de 60 mm y para el cálculo del diámetro del eje se estima un diámetro de 50 mm.

$$60/50 = 1,2$$

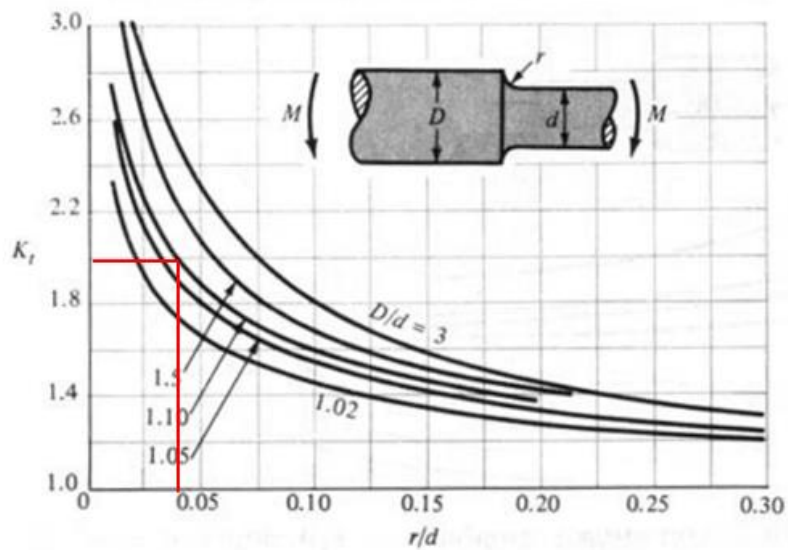
Para el radio de la entalladura se asume un valor de 2 mm.

$$1/50 = 0,02$$

El eje se encuentra sometido y en la tabla se ubica el valor de  $K_t = 2$

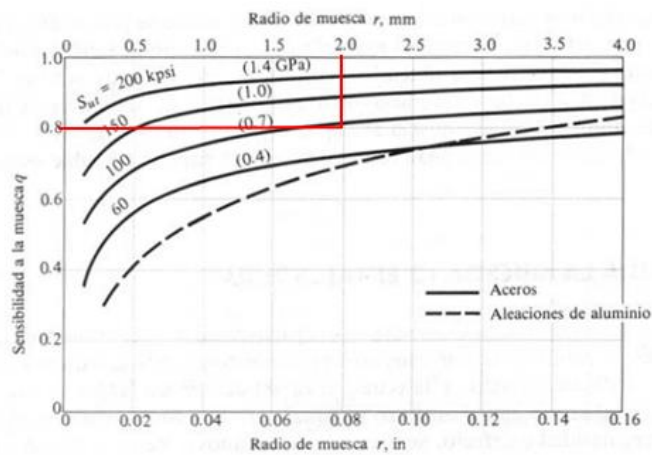


Tabla 23. Diagrama de Factores de Concentración de Esfuerzos Teóricos  $K_t$



Con el radio de la muesca igual a 2 mm y la resistencia ultima de 82 kpsi del acero seleccionado, se obtiene el factor de sensibilidad a la muesca  $q = 0,8$ , [37].

Tabla 24. Diagrama de Sensibilidad a la muesca



Reemplazando los valores de  $K_t$  y la sensibilidad de la muesca se tiene:

$$K_f = 1 + 0,8 * (2 - 1)$$

$$K_f = 1,8$$

Reemplazando en la ecuación del factor de efectos:

$$K_e = \frac{1}{1,8}$$

$$K_e = 0,55$$

### 6.6.13 Factor de límite de resistencia a la fatiga $S_e$

Se obtiene por la expresión:

$$S_e = 0,54 * S_{ut} \quad \text{Ec (58)}$$

Donde:

$S_{ut}$  = Resistencia última del acero 580 N/mm<sup>2</sup>

$$S_e = 292,32 \text{ N/mm}^2$$

Obtenidos todos los factores se reemplaza en la ecuación (53).

$$S_e = 0,92 * 0,8 * 0,923 * 1 * 0,55 * 292,32$$

$$S_e = 109,21 \text{ N/mm}^2$$

### 6.6.14 Cálculo del par motor

$$T_m = \frac{63000 * h}{N} \quad \text{Ec (59)}$$

Donde:

$T_m$  : Par motor en lb\*pulg.

$h$ : Potencia de accionamiento en hp.

$N$ : Número de revoluciones en min<sup>-1</sup>

$$T_m = \frac{63000 * 3}{1225}$$

$$T_m = 154,28 \text{ lb} * \text{pulg} = 17431,29 \text{ N} * \text{mm}$$

Reemplazando los valores de momento resultante máximo, el límite de resistencia a la fatiga, el par motor, el factor de concentración de esfuerzos, la resistencia última del acero seleccionado AISI 1045 y considerando un factor de seguridad de 1,5 en la ecuación se tiene:

$$D = \left[ \frac{32 * 1,5}{\pi} * \left( 1,8 * \frac{257393,37}{109,21} + \sqrt{3} * \frac{17431,29}{580 * 2} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 40,30 \text{ mm}$$

Normalizando el diámetro del eje quedaría de  $D = 45 \text{ mm}$

### 6.6.15 Cálculo del factor de seguridad

De igual manera con los esfuerzos constantes y alternantes reemplazando en la fórmula de Goodman modificada, y despejando el factor de seguridad se obtiene, [37].

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{\pi * D^3} * \left( K_f * \frac{M_a}{S_e} + \sqrt{3} * \frac{T_m}{2 * S_u} \right) \quad \text{Ec (60)}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{\pi * 40,30^3} * \left( 1,8 * \frac{257393,37}{109,21} + \sqrt{3} * \frac{17431,29}{2 * 580} \right)$$

$$n = 1,4999 = 1,5$$

El factor de seguridad igual a 1,5 establece que el esfuerzo máximo que actúa en el eje rotor se mantiene por debajo de la resistencia mínima del material seleccionado, por lo tanto otorga una mayor seguridad de funcionamiento para el eje.

Tomando como base el diámetro obtenido se procede a la configuración geométrica del eje teniendo en cuenta los distintos elementos que se han de montar sobre él, como rodamientos, la polea y los porta-cuchillas.

El diámetro obtenido es de 40,5 mm, en el extremo para el alojamiento de la polea pero para una mejor configuración de robustez se establece un valor de 45 mm.

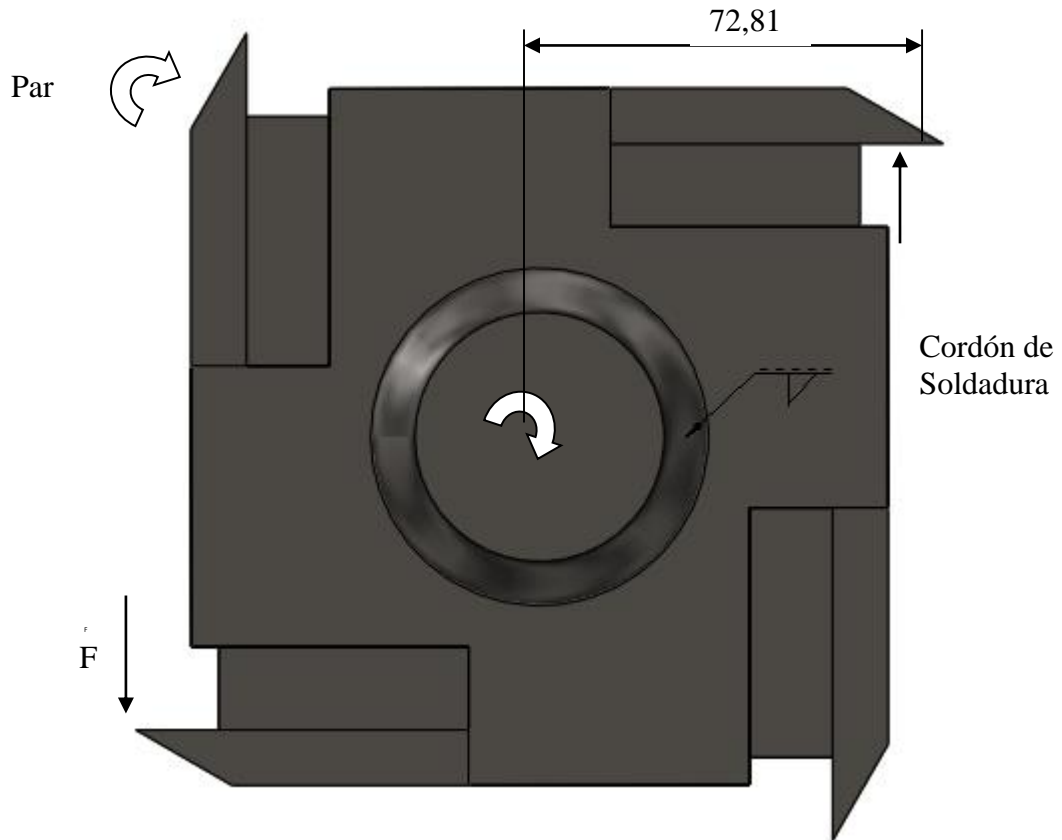
De acuerdo con los cálculos practicados para el diseño de la polea y el eje, se procede a escoger las poleas y rodamientos en catálogos de fabricantes.

- Polea Diámetro 112 mm. Anexo 2.4 [29].
- Polea Diámetro 70 mm. Anexo 2.4 [29].

### 6.7 DISEÑO DE LA SOLDADURA

El diseño del cordón de soldadura es muy importante, ya que dicho cordón permitirá la sujeción de los porta-cuchillas con el eje, además de resistir el par y las fuerzas producidas en las cuchillas; En la figura 23 se puede observar la configuración del cordón:

Figura 23



El electrodo preseleccionado es E7010, su uso principalmente es para soldar aceros de alta resistencia y baja aleación. Posee excelentes propiedades mecánicas en trabajos que requieren condiciones de servicio a temperatura inferior a 480°C, [39].

Datos para el desarrollo de la soldadura:

- Esfuerzo a la fluencia del electrodo  $S_y = 393 MP_a$
- Esfuerzo último a la tracción del electrodo  $S_u = 482 MP_a$
- Diámetro del eje  $\phi = 45 \text{ mm}$ .
- La altura del cordón de soldadura  $H = 8 \text{ mm}$  (Asumida).
- Torque producido en el eje  $T_m = 17431,21 \text{ N}\cdot\text{mm}$
- Fuerza producida en las cuchillas al producirse el corte  $F_{m\acute{a}x} = 1,30 \text{ kN}$ ,  $F_{m\acute{i}n} = 0 \text{ N}$ .

Área transversal de la soldadura es:

$$A_t = 0,707 * H * (\pi * \phi) = 0,707 * 8 * (\pi * 45) = 799,59 \text{ mm}^2 = 0,000799 \text{ m}^2$$

El momento de inercia de un cordón de soldadura circular sometido a torsión es:

$$J_U = 2 * \pi * \left(\frac{\phi}{2}\right)^3 \quad \text{Ec (61)}$$

$$J_U = 2 * \pi * \left(\frac{45}{2}\right)^3 = 71569,408 \text{ mm}^3$$

$$J = 0,707 * H * J_U \quad \text{Ec (62)}$$

$$J = 0,707 * 8 * 71569,408 = 404796,57 \text{ mm}^4$$

La distancia entre el centro de gravedad y el punto en la cuchilla en que se produce el corte es:

$$\rho = 90 \text{ mm}$$

$$\beta = 36^\circ$$

Los esfuerzos cortantes máximos y mínimos son:

$$T_{v\text{mín}} = 0 \text{ MP}_a$$

$$T_{v\text{máx}} = \frac{2 * F_{\text{máx}}}{A_t} \quad \text{Ec (63)}$$

$$T_{v\text{máx}} = \frac{2 * 1300}{0,000799} = 32,5166 \text{ MP}_a$$

El esfuerzo producido por el torque es:

$$\tau T_{\text{mín}} = 0 \text{ MP}_a$$

$$\tau T_{\text{máx}} = \frac{T_m * \rho}{J} \quad \text{Ec (64)}$$

$$\tau T_{\text{máx}} = \frac{17431,21 * 90}{404796,57} = 3,87 \text{ MP}_a$$

$$\tau = \sqrt{\tau T_{\text{máx}}^2 + T_{\text{vmáx}}^2 + 2 * \tau T_{\text{máx}} * T_{\text{vmáx}} * \cos\left(\frac{\beta}{57,3}\right)} \quad \text{Ec (65)}$$

$$\tau = \sqrt{3,87^2 + 32,51^2 + 2 * 3,87 * 32,51 * \cos\left(\frac{36}{57,3}\right)} = 36,37 \text{ MP}_a$$

El esfuerzo medio producido por la torsión es:

$$\tau_m = \frac{\tau}{2} = \frac{37,66}{2} = 18,83 \text{ MP}_a \quad \text{Ec (66)}$$

El esfuerzo medio alternante es:

$$K_f = 2$$

$$\tau_a = K_f * \tau_m = 2 * 18,83 \text{ MP}_a = 37,66 \text{ MP}_a \quad \text{Ec (67)}$$

La resistencia teórica a la fatiga es

$$S_e = 0,5 * S_u = 0,5 * 482 \text{ MP}_a = 241 \text{ MP}_a \quad \text{Ec (68)}$$

Los factores de corrección aplicables a la resistencia a la fatiga son:

Factor de carga (Torsión)  $K_{\text{car}} = 0,577$

Factor de superficie, [33].

$$K_{\text{sup}} = a * (S_u)^b \quad \text{Ec (69)}$$

Donde:

Factor para superficie  $a = 272$  Anexo 2.1; [38].

Factor exponencial  $b = -0,995$  Anexo 2.1; [38].

$$K_{\text{sup}} = 272 * (482)^{-0,995} = 0,58$$

Factor de temperatura  $T < 450^\circ\text{C}$   $K_{\text{tem}} = 1$ ; [33].

Factor de confiabilidad  $K_{\text{conf}} = 1$ , [33].

El límite de resistencia corregido a la fatiga es; [33].

$$S_e = K_{\text{carga}} * K_{\text{superficie}} * K_{\text{temperatura}} * K_{\text{confiabilidad}} * S_e' \quad \text{Ec (70)}$$

$$S_e = 0.577 * 0.58 * 1 * 1 * 241 = 80,85 \text{ MP}_a$$

La resistencia máxima al cortante en un cordón de soldadura es; [33].

$$S_{su} = \frac{2}{3} S_u \quad \text{Ec (71)}$$

$$S_{su} = \frac{2}{3} * 482 = 321,33 \text{ MP}_a$$

Según el criterio de Godman, el factor de seguridad es; [33].

$$\frac{S_{su}}{N} = \tau_m + \frac{S_{Su} * \tau}{S_e} \quad \text{Ec (72)}$$

$$\frac{321,33}{N} = 18,83 + \frac{321,33 * 36,37}{80,85}$$

$$N = 1,97$$

El factor de seguridad garantiza que el cordón de soldadura soportará sin ningún problema las cargas, el par torsor y el impacto.

## 6.8 SELECCIÓN DE LA CUÑA O CHAVETA

Las funciones principales de la cuña son servir como un elemento de seguridad para ejes o elementos de mayor costo, fijar a la polea sobre su eje y también transmitir movimiento de rotación desde un eje hasta el elemento que lo soporta.

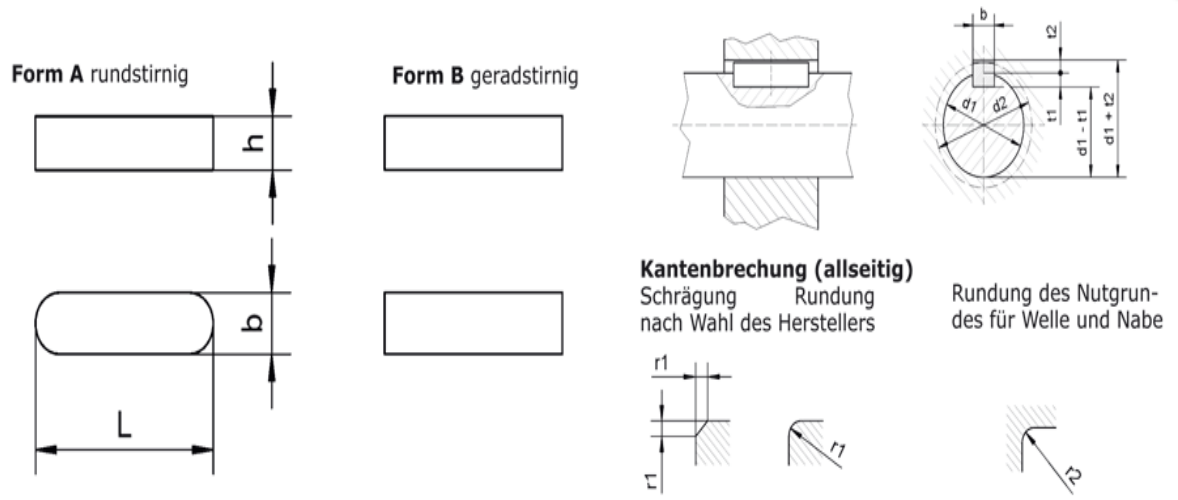
Se elige un acero AISI 1010 con una resistencia última de 320 N/mm<sup>2</sup> y un límite a la fluencia de 180 N/mm<sup>2</sup>.

Es un acero para la fabricación de piezas pequeñas tales como chavetas, pasadores y prisioneros, exigidas principalmente al desgaste.

La longitud del cubo de una polea por lo general es mayor que el diámetro del eje para que exista estabilidad; En la figura 24 se observan las especificaciones de la cuña o chaveta:

A continuación se elige una cuña o chaveta:

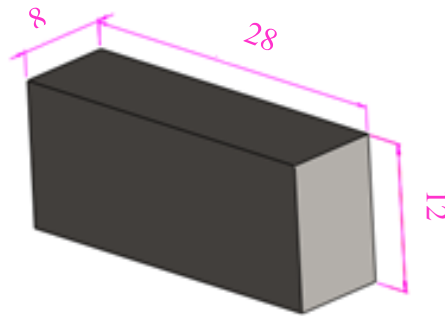
Figura 24. Chavetas paralelas UNE 17102



El diámetro del eje escogido es de 45 mm, sin embargo al final de ambos extremos se maquinó hasta 40 mm por especificaciones de las poleas y rodamientos a utilizar.

De acuerdo con el catálogo del proveedor [40], se elige una chaveta de la forma mostrada en la figura 25:

Figura 25



Los valores de la tabla para la chaveta son:

Altura 12 mm, [40].

Ancho 8 mm, [40].

La tabla de selección de chaveta del anexo 2.4, indica que el largo se puede seleccionar entre 28 y 1140 mm; Esta selección también podría ser igual al ancho del chavetero de la polea, este criterio se seleccionara más adelante por ahora se toma la menor distancia.

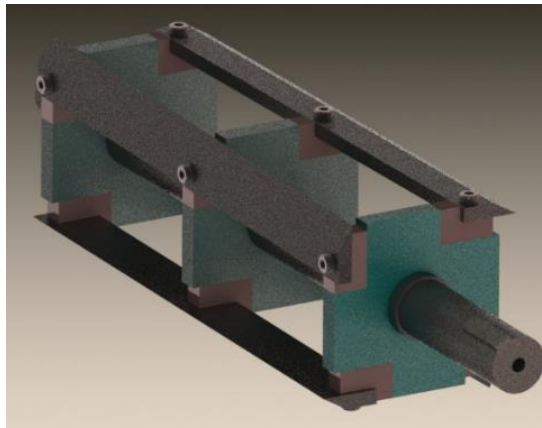


La tabla del anexo 2.4 de selección de chaveteros, también proporciona los valores para el alojamiento o la ranura de la chaveta así; [40].

Profundidad 4 y longitud 45 mm. Este valor está basado en los rangos de longitud que proporciona la tabla del anexo anexo 2.4 y directamente con el espesor de la polea, [40].

Con la finalización del diseño del eje, acompañado de las cuchillas, porta cuchillas y bloque sujetador se presenta en la figura 26 el bosquejo de eje y sus accesorios.

Figura 26



## 6.9 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS

Los rodamientos rígidos con una hilera de bolas soportan cargas radiales y axiales, además son apropiados para revoluciones elevadas. Estos rodamientos no son deslizables y su adaptabilidad angular es relativamente pequeña. Por su gran variedad de aplicaciones y debido a su precio económico, los rodamientos rígidos de bolas son los más usados entre todos los tipos de rodamientos.

La determinación del tamaño necesario del rodamiento (unidad) se basa en la vida nominal deseada.

Para una mejor aplicación se escogerá el conjunto del rodamiento con la chumacera, logrando así un mejor desempeño del dispositivo y economía en su adquisición.

El rodamiento se escoge de acuerdo con el diámetro de eje y a la carga dinámica equivalente, se escoge el rodamiento YAR 208-2F para el rotor principal y el rodamiento YAR 204-012 para el rotor secundario.

### 6.9.1 Vida Nominal del Rodamiento

En el método más utilizado por la industria, la vida nominal se calcula según la norma ISO 281:1990, siendo la ecuación para los rodamientos de bolas.

La vida nominal en número de revoluciones, [28] se determina mediante:

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^P \quad \text{Ec (73)}$$

Donde:

$L$ : Vida nominal, millones de revoluciones.

$C$ : Capacidad de carga dinámica, en kN.

$P$ : Carga dinámica equivalente (Reacción del rodamiento en el eje) kN.

$p$ : exponente de la ecuación de la vida (3 para rodamientos de bolas).

$$L = \left(\frac{30,7 \text{ kN}}{1,38242 \text{ kN}}\right)^3 = 10952,042 \text{ Millones de revoluciones}$$

### 6.9.2 Vida Nominal en número de horas

Al ser la velocidad constante, se puede obtener la vida nominal expresada en horas utilizando la fórmula;[28].

$$Lh = \frac{1000000}{60 * n} \left(\frac{C}{P}\right)^P \quad \text{Ec (74)}$$

Donde:

$Lh$  = vida nominal, horas de funcionamiento.

$n$  = Frecuencia de giro en  $\text{min}^{-1} = 1225 \text{ min}^{-1}$

$$Lh = \frac{1800000}{60 * 1225} \left(\frac{30,7 \text{ kN}}{1,38242 \text{ kN}}\right)^3 = 149007,37 \text{ Horas de funcionamiento}$$

En las especificaciones, se estima un tiempo de funcionamiento del dispositivo de 7 horas semanales aproximadamente. Gracias al cálculo del rodamiento se puede estar en funcionamiento sin parar y libre de mantenimiento, lo que quiere decir que cumple con las expectativas de diseño.

## 6.10 ESTRUCTURA SOPORTE

La estructura soporte es el lugar donde se acoplan y alojan la mayoría de elementos tales como tolva de alimentación, la cámara de trituración, eje rotor con sus cuchillas, tamiz, tolva de descarga y demás componentes para el diseño.

Para el diseño y construcción de la estructura se establecen como parámetros constructivos de mayor importancia los siguientes:

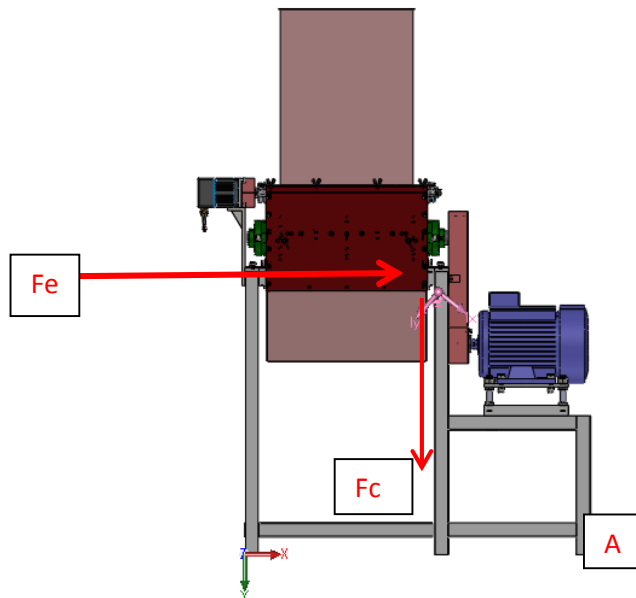
- Rigidez de la estructura para soportar el alojamiento de la cámara de trituración y los motores eléctricos.
- Estabilidad de la máquina

### 6.10.1 Cálculo del centro de gravedad de la estructura

El centro de gravedad de un cuerpo es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo. La estructura del procesador de residuos sólidos para uso doméstico es un cuerpo asimétrico proyectado en tres dimensiones por lo cual no se puede considerar como una figura plana.

Para el cálculo del centro de gravedad del procesador de residuos sólidos, se utilizó el programa Solid Works, este CAD permite identificar propiedades físicas del diseño, a continuación en la figura 27 se muestra la configuración.

Figura 27. Centro de Gravedad, Procesador de Residuos Sólidos (Solid Works)



Agregando el origen desde un extremo de la estructura soporte y escogiendo las características del material de cada componente del diseño, se puede observar que el centro de gravedad está ubicado aproximadamente en la mitad de cada coordenada, los datos son los siguientes:

$$X = 545,06 \text{ mm}$$

$$Y = 742,70 \text{ mm}$$

$$Z = 158,33 \text{ mm}$$

Esto nos ayuda a determinar que difícilmente la máquina puede sufrir un volcamiento de toda la estructura con el procesador de residuos sólidos. Para revisar más detalladamente se calculará una fuerza de empuje que permite establecer la estabilidad, por fuerzas externas o internas que afecten la buena función de la máquina.

La condición de equilibrio máximo respecto al vuelco indica que éste se puede considerar inminente cuando el momento producido por la fuerza  $F_e$  es igualado por el momento producido por el peso, los momentos se toman respecto al centro y se puede analizar con la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned} -F_e * 0,742 + W * 0,158 &= 0 \\ -F_e * 0,742 + 1336,02 * 0,158 &= 0 \\ F_e &= 284,49 \text{ N} \end{aligned}$$

Siendo  $W$  el peso correspondiente a la cámara de trituración con todos sus elementos y accesorios.

$$m = 136,19 \text{ kg}$$

$$W = 1336,02 \text{ N}$$

Si  $F_e = 284 \text{ N}$ , esta fuerza es considerable y se establece que la estructura es la adecuada para evitar el vuelco.

Finalmente se vuelve a determinar el momento pero esta vez considerando todo el peso del procesador de residuos sólidos incluyendo la estructura y el motor principal, comparándola con la fuerza de empuje.

$$\begin{aligned} -F_e * 0,742 + W * 0,158 &= M_A \\ -284,49 * 0,742 + 1861,72 * 0,158 &= M_A \\ -211,09 + 294,15 &= M_A \\ 83,06 \text{ N} &= M_A \end{aligned}$$

Siendo  $W$  el peso correspondiente a la cámara de trituración con todos sus elementos y accesorios.

$$m = 189,77 \text{ Kg}$$

$$W = 1861,64 \text{ N}$$

Se puede concluir que el sistema no sufrirá ningún problema debido a las fuerzas y el centro de gravedad; se resalta además que la estructura contará con un sistema de sujeción al suelo designado para minimizar vibraciones.

### 6.10.2 Calculo de Soporte

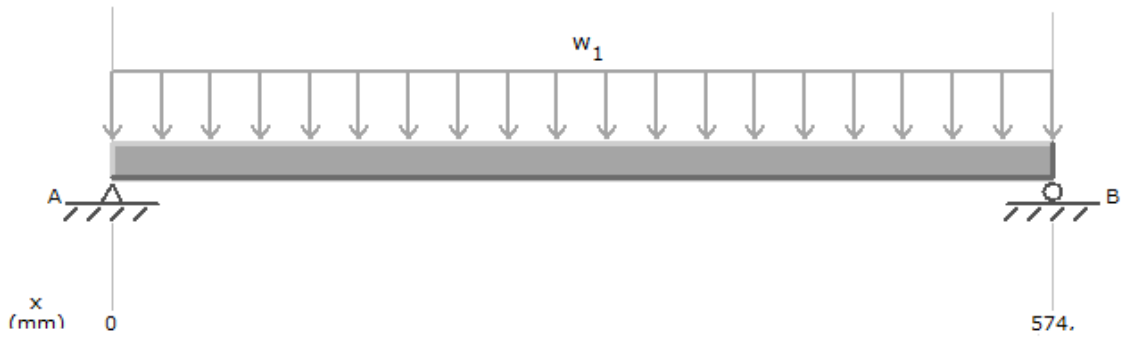
Para el cálculo se analizó solo un soporte, ya que si hay una buena estructura para el dispositivo se puede despreciar el soporte del motor pues su carga seria mínima. En la figura 28, se puede observar la división del soporte realizada.

Figura 28



En la figura 29 se muestra el diagrama de fuerzas:

Figura 29



La carga  $W$  genera un aplastamiento en soporte 1, además genera un momento que probablemente flexará a uno de los soportes. La carga  $W$  tiene un valor 1088,91 N aproximadamente, pero como es la mitad de los soportes la carga será 544,45 N, la distancia que hay entre los soportes es de 574 mm que es la mayor distancia y por lo tanto la más crítica. El esfuerzo se muestra a continuación; [42].

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \text{Ec (75)}$$

El esfuerzo de compresión que genera la carga, cuyo valor es de 544,45 N para un solo soporte será; [42]

$$\sigma = \frac{F}{Z} \quad \text{Ec (76)}$$

Por simplicidad se recomienda utilizar un perfil cuadrado de acero A-36, que tiene un  $S_y = 248,4 MP_a$ , se asume un factor de seguridad de 2, por tratarse de un elemento que soporta una carga estática, [42].

$$\sigma = \frac{S_y}{A} = \frac{248,4}{2} = 124,2 MP_a \quad \text{Ec (77)}$$

Sabiendo que  $\sigma = K(\sigma_1 + \sigma_2)$ , se escoge un factor de concentración de esfuerzos  $K = 2$ , recomendado cuando se tienen soportes de maquinaria ligera que son impulsadas con un árbol de transmisión o motor. Para determinar el espesor del perfil se tiene la siguiente ecuación; [42].

$$\frac{\sigma}{2} \geq \frac{M}{Z} + \frac{F}{A} \quad \text{Ec (78)}$$

$$\frac{124,2}{2} \geq \frac{156,3}{Z} + \frac{544,45}{A}$$

De esta ecuación, se varían los parámetros según los datos que se encuentran en la tabla anexo 2.5, hasta que satisfaga la ecuación; se tendrá entonces un perfil cuadrado para utilizarlo en la construcción de la estructura.

De la tabla del anexo 2.5 se escoge un perfil de prueba, en este caso se escogerá un perfil cuadrado, reemplazando sus características se tiene:

- Perfil de espesor 1,19 mm

$$62,1x \geq \frac{156,3}{2,03x10^{-6}} + \frac{544,45}{1,7x10^{-4}}$$

$$62,1x10^6 \geq 80,19x10^6$$

No cumple

- Perfil de espesor de 1,49 mm

$$62.1x \geq \frac{156.3}{2.47x10^{-6}} + \frac{544.45}{2.13x10^{-4}}$$

$$62.1x10^6 \geq 65.83x10^6$$

No Cumple

- Perfil de espesor de 2,032 mm

$$62.1x \geq \frac{156.3}{3.15x10^{-6}} + \frac{544.45}{2.86x10^{-4}}$$

$$62.1x10^6 \geq 51.52x10^6$$

Cumple

## 6.11 CÁLCULO DE MOTOR PARA EJE SECUNDARIO

Como se seleccionó previamente, el método que satisface las necesidades de procesamiento es el de cuchillas rotatorias; pero también es necesario idear una metodología para la disposición de las basuras dentro del procesador de residuos sólidos, ya que normalmente la basura orgánica se transportará en bolsas plásticas y es necesario resolver el problema de romper la bolsa dentro del procesador, a continuación se muestra el desarrollo.

Según la norma ASTM D 882 y ASTM D732 que realizan pruebas a los componentes físicos de películas de plástico se tiene la siguiente formula; [44].

$$P_r = \frac{33,32 * \tau * V_{ep}}{86600 * T_c * n} \quad \text{Ec (79)}$$

$P_r$ : Potencia requerida para cizallar la muestra de plástico.

$\tau$ :  $30 MP_a = 4351,13 \text{ psi}$

$V_{ep}$ : Volumen de probeta.

Dimensiones de probeta:  $3,2 \text{ cm} * 5,3 \text{ cm} * 0,3 \text{ mm}$ , [45].

$$V_{ep} = 32 * 53 * 0,3 \text{ mm} = 508,8 \text{ mm}^3 = 0,03104 \text{ in}^3$$

$t_c$  = Tiempo de desgarre, se estima en 0,25 segundo según las necesidades.

$n$  = Eficiencia del motor, la pérdida del motor está en el rango de 25% - 35%, para el cálculo se elige el rango más bajo de en 0,75% para esta clase de motores, [25];

Reemplazando:

$$Pr = 0,2771 \text{ hp}$$

Se debe seleccionar un motor de 0,2771 hp, que garantiza que la inercia del sistema se pueda mover y a la vez realizar el desgarre de la bolsa plástica.

El primer paso es escoger el factor de servicio adecuado según la tabla del anexo 1.1 tomando en cuenta el tipo de motor, tipo de máquina y régimen de trabajo.

La potencia de diseño es igual al factor de servicio por la potencia del motor, [26];

$$P_{\text{diseño}} = F_{\text{serv}} * N_m \quad \text{Ec (80)}$$

$F_{\text{serv}}$  = Factor de servicio según el trabajo de la máquina.

$N_m$  = Potencia necesaria para el molido.

$$P_{\text{diseño}} = 2 * 0,2771 \text{ hp} = 0,5542 \text{ hp} = 413,26 \text{ W} = 0,4132 \text{ kW}$$

La velocidad de giro del eje del motor se escoge de acuerdo con el tipo de material. La velocidad óptima es la usada para materiales semiduro-elástico y blando, que tiene similares características al de la basura orgánica y se recomienda utilizar una velocidad de  $1750 \text{ min}^{-1}$ , [24].

Con la velocidad de giro y la potencia de diseño, se puede seleccionar un motor de 0,75 kW a  $1750 \text{ min}^{-1}$ , con acople directo al eje rotativo.



## 6.12 DISEÑO DEL EJE ADICIONAL

En el capítulo 6.11 se calculó el motor adicional que satisface las necesidades en cuanto al rompimiento de las bolsas plásticas dentro del procesador de residuos sólidos.

El diseño del eje es muy simple, contará con pequeños pines de acero que tendrán filos en sus extremos los que al momento de girar logran romper las bolsas plásticas. Como se trata de un diseño tan simple el motor irá directamente acoplado al eje rotor secundario.

### 6.12.1 Esfuerzo Cortante

Para probar que el eje secundario cumpla con las características necesarias de diseño se calculará el esfuerzo cortante permisible y se comparará con las propiedades del material escogido; [47].

$$\tau = \frac{Tc}{\frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)} \quad \text{Ec (81)}$$

$\tau$  : Esfuerzo Cortante.

$T$ : Par torsor

$D$ : Diámetro Externo 19 mm.

$d$ : Diámetro Interno 15,7 mm.

$c$ : Radio 9,5 mm.

Para el cálculo del par torsor, se debe conocer la fuerza necesaria en el punto de contacto del pin con la bolsa plástica. Anteriormente se había explicado que esta fuerza se determinaba en forma práctica en el proceso del Pet, lo cual se tomó como base para el cálculo del eje secundario.

$F_c = 1925.51 \text{ N}$  [Ver numeral 6.6.3]

$\text{Øgiro de Pines} = 79 \text{ mm}$

$$T = F * d = 1.9255 \text{ kN} * 0.0395 \text{ m} = 0.076 \text{ kN}$$

Reemplazando se tiene:

$$\tau = \frac{0,076E^3 * 0,0095}{\frac{\pi}{32}(0,019^4 - 0,015^4)} = 92278553,63 \text{ Pa} = 92,27 \text{ MP}_a$$

Figura 30



Según sus propiedades, la tubería de acero inoxidable 304 tiene una resistencia a la fluencia, que en este caso es de  $215 MP_a$ ; es decir que el diámetro asumido para el eje secundario resiste al esfuerzo cortante de  $92,27 MP_a$ ; En la figura 30 se puede observar la configuración deseada para el diseño del eje.

### 6.13 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN

La cámara de trituración es el lugar donde se instalan la mayoría de elementos que forman el procesador de residuos sólidos para uso doméstico como son: Eje, rodamientos, cuchillas, tolva para el ingreso de material, tamiz y tolva de descargue.

Principalmente es donde se produce la acción del corte de la basura orgánica entre el cruce de las cuchillas y el tamiz.

Los rodamientos cumplen la función primordial de mantener el giro continuó en la cámara de trituración por acción del motor eléctrico, mantener el eje rotor fijo en la cámara y el alineado del eje rotor.

Para el respectivo dimensionamiento se considera el diámetro exterior y el largo del eje rotor, el acople de los rodamientos y el radio de giro.

En la parte frontal y posterior de la cámara se ubican los apoyos para el tamiz, así como guías para posicionar los bloques laterales las cuales se anclan por medio de tornillería que junto a las guías permiten un fácil montaje y eliminan vibraciones, no se encuentran sometido a esfuerzos a tracción pero si de compresión por la acción de corte.

En la parte superior de la cámara se instala la tolva de alimentación que está fijada mediante tornillos y perfiles debidamente soldados. Los tornillos son del sistema de apriete manual con el fin de montar y desmontar fácilmente la tolva, ya que periódicamente se debe limpiar porque el lixiviado es altamente corrosivo, aunque en el diseño se han utilizado materiales en acero inoxidable y posteriormente será protegido con pintura para minimizar los ataques corrosivos.

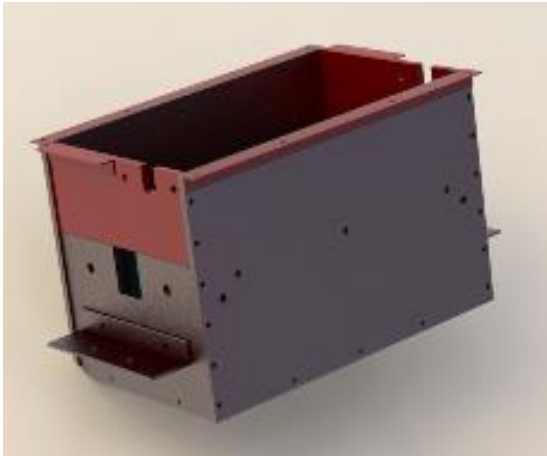
En la parte inferior de la cámara se ubica el tamiz y la tolva de descargue que permite el desalojo o la evacuación del material triturado. Están sujetos por medio de tornillos Bristol.

Las dimensiones de las placas laterales son de acero ASTM-36 de 9 mm de espesor por 454 mm de largo y 297 mm de alto.

Se elige el espesor de 9 mm de las placas frontales y laterales para la sujeción de los rodamientos ya que son del tipo sujeción de pared.

La unión de algunos perfiles se efectúan con soldadura por arco eléctrico y otras uniones se realizan por tornillos; En la figura 31 se puede observar el diseño realizado con las consideraciones establecidas para la cámara de trituración.

Figura 31

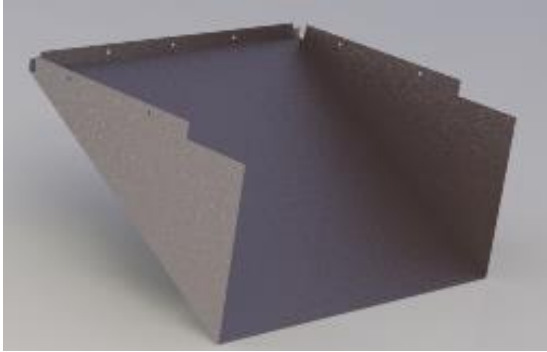


#### **6.14 DISEÑO DE TOLVA DE DESCARGUE**

Se ubica en la parte inferior del bloque “cámara” del procesador de residuos sólidos para uso doméstico por medio de tornillos y tuercas, tiene forma triangular para un mejor recogimiento del material y así de esta manera no ocupe un mayor volumen de esparcimiento.

Está construido en acero ASTM A-36 de 1,2 mm de espesor. Está formada por dos paredes laterales y una tapa inferior; la unión se efectúa por medio de soldadura por arco eléctrico; En la figura 32 se muestra la configuración geométrica:

Figura 32



Con la finalización del diseño de la tolva de descargue, acompañado de la selección de rodamientos, diseño del soporte, selección del motor y diseño del eje adicional; se presenta en la figura 33 finalmente el bosquejo el procesador de residuos sólidos para uso doméstico.

Figura 33



### **6.15 ACABADO SUPERFICIAL DEL DISPOSITIVO**

El procesador de residuos sólidos para uso doméstico, tendrá un ataque importante por el lixiviado de la basura orgánica que es altamente corrosivo. Para minimizar el impacto se escoge un producto que tiene aplicaciones de uso naval, que tiene la propiedad de resistencia a aguas dulces o saladas, ácidos, sales, disolventes alifáticos y temperaturas de 120° en seco y 70° en inmersión, ver anexo 2.6.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda no triturar material plástico, madera u otros materiales diferentes a la basura orgánica, pues podría disminuir la vida útil de las cuchillas de corte y trabar el eje rotor.
- Para realizar el mantenimiento o reemplazo de las cuchillas, se recomienda desconectar la máquina de la red eléctrica ya que podría accionarse accidentalmente y causar un gran daño físico al operador.
- El afilado de las cuchillas debe ser realizado por una persona con experiencia, sin perder el ángulo de filo 30 grados.
- Un buen mantenimiento de las chumaceras garantiza la vida útil del eje rotor principal y secundario.
- Se recomienda revisar la tensión y estado de las correas de transmisión. Si presenta pequeñas roturas cambiar por correas del mismo tipo.
- La tolva está diseñada para contener 24 kg de basura orgánica domiciliaria, este volumen de basura tiene que ser colocado poco a poco para evitar el atascamiento de las cuchillas y no sobre-esforzar el motor.
- Para un buen desempeño del procesador de los residuos sólidos para su doméstico, es necesario una preclasificación del material orgánico de otros tipos de desechos como plástico, papeles, sustancias peligrosas, cauchos, etc.

## **8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

### **8.1 ANÁLISIS ECONÓMICO**

El análisis económico permite establecer la factibilidad y rentabilidad del proyecto a realizar, por lo cual se detallarán los costos totales del proyecto.

En la tabla 25 describe los costos por concepto de construcción y montaje de los elementos mecánicos para los diferentes sistemas, teniendo en cuenta el material, la cantidad de materia prima, el tiempo de construcción, la mano de obra, los gastos de fabricación, los costos de producción, los gastos administrativos y los costos de operación.

Todos los costos han sido consultados con proveedores cercanos a la región tales como:

- Norma
- Herval
- Home Center
- Aceros MAPA
- General de Aceros
- Bronce Pereira
- Solomoflex
- Siemens.
- Otros.

Tabla 25

COSTO DE FABRICACION DISPOSITIVO													
ITEM	ARTICULO	CANT	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	VOLUMEN (mm <sup>3</sup> )	PESO (KG)	TIEMPO DE FABRICACION (hr)	COSTOS MATERIAL * KG	GASTOS DE FABRICACION	COSTO DE MATERIA PRIMA	COSTO DE PRODUCCION	PRECIO x UNIDAD	
Sistema de Corte	1	1	SAE 1045	Ø45x609	899611.86	7.06	3	\$ 38,000	\$ 45,000	\$ 268,280	\$ 135,000	\$ 403,280	
	1.2	3	AISI 4340	Ver Plano	141132.57	1.1	6	\$ 16,379	\$ 45,000	\$ 54,051	\$ 270,000	\$ 324,051	
	1.3	12	SAE 1020	Ver Plano	8978.51	0.07093	6	\$ 5,657	\$ 45,000	\$ 4,815	\$ 270,000	\$ 274,815	
	1.4	4	DF2	Ver Plano	122637.58	0.96	9	\$ 18,000	\$ 45,000	\$ 69,120	\$ 405,000	\$ 474,120	
	1.5	1	SAE 1010	25x12x8	4320.00	0.34	0.5	\$ 5,300	\$ 45,000	\$ 1,802.00	\$ 22,500	\$ 24,302	
	1.6	1	Inoxidable 304	Ø19,05	46152.54	0.362	3	\$ 4,000	\$ 5,600	\$ 1,448	\$ 16,800	\$ 18,248	
	1.7	13	Inoxidable 304	Ø6.35	2337.9	0.01835	6	\$ 5,003	\$ 5,600	\$ 1,193	\$ 33,600	\$ 34,793	
	1.8	1	Inoxidable 304	Ver Plano	891991.35	7.13	6	\$ 3,050	\$ 45,000	\$ 21,747	\$ 270,000	\$ 291,747	
	2	Tolva Cargue	1	ASTM A-36	Ver Plano	2015963.96	15.82	9	\$ 4,529	\$ 5,600	\$ 71,649	\$ 50,400	\$ 122,049
	2.2	Tolva Descargue	1	ASTM A-36	Ver Plano	320549.09	2.51	8	\$ 4,529	\$ 5,600	\$ 11,368	\$ 44,800	\$ 56,168



Tabla 25 (Continuación)

COSTO DE FABRICACION DISPOSITIVO												
ITEM	ARTICULO	CANT	MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	VOLUMEN (mm^3)	PESO (KG)	TIEMPO DE FABRICACION (hr)	COSTOS MATERIAL * KG	GASTOS DE FABRICACION	COSTO DE MATERIA PRIMA	COSTO DE PRODUCCION	PRECIO x UNIDAD
Cámara	3	2	ASTM A-36	Ver Plano	1199052.4	9.41	4.5	\$ 4,529	\$ 45,000	\$ 85,236	\$ 405,000	\$ 490,236
	3.2	2	ASTM A-36	Ver Plano	635102.42	4.97	4.5	\$ 4,529	\$ 45,000	\$ 45,018	\$ 405,000	\$ 450,018
	3.3	2	ASTM A-36	Perfil 60x30x500 t=5	67483.5	0.52	1	\$ 3,667	\$ 5,600	\$ 3,813	\$ 11,200	\$ 15,013
	3.4	2	ASTM A-36	Perfil 20x20x1158 t=5	43730.3	0.33	1	\$ 3,667	\$ 5,600	\$ 2,420	\$ 11,200	\$ 13,620
	3.5	2	ASTM A-36	Perfil 20x20x125 t=5	9285	0.07	1	\$ 3,667	\$ 5,600	\$ 513	\$ 11,200	\$ 11,713
	3.6	2	SAE 1020	Ver Plano	265935.63	2.1	6	\$ 5,657	\$ 45,000	\$ 23,759	\$ 540,000	\$ 563,759
Otros	4	1	ASTM A-36	Ver Plano	183625.04	1.44	6	\$ 4,529	\$ 5,600	\$ 6,522	\$ 33,600	\$ 40,122
	4.2	1	ASTM A-36	40x40 t=2,4	1538511.18	12.1	6	\$ 3,415	\$ 5,600	\$ 41,322	\$ 33,600	\$ 74,922
	4.3	1	SAE 1010	Ver Plano	1457995.03	11.47	6	\$ 5,300	\$ 45,000	\$ 60,791	\$ 270,000	\$ 330,791
	4.4	1	SAE 1020	Ver Plano	216786.09	1.7	3	\$ 5,675	\$ 45,000	\$ 9,648	\$ 135,000	\$ 144,648
	4.5	1	Epoxido	NA	25566991.31	192.09	6	\$ 573	\$ 45,000	\$ 110,000	\$ 270,000	\$ 380,000
	4.6	1	ASTM A-36	Ver Plano	1921.7	0.12	6	\$ 5675	\$ 5,600	\$ 681	\$ 33,600	\$ 34,281
<b>TOTAL</b>											\$ 4,572,695	

En la tabla 26 describe los elementos de sujeción para el diseño del procesador de residuos sólidos, se tiene en cuenta tornillería en general con estandarización de sus elementos a utilizar.

Tabla 26

<b>Elementos de Sujeción</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción (mm)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio total</b>
1	12	M4x1,00x16	Bristol	\$ 350	\$ 4,200
2	4	M6x1,00x10	Bristol	\$ 400	\$ 1,600
3	7	M6x1,00x12	Bristol	\$ 400	\$ 2,800
4	7	M6x1,00x16	Bristol	\$ 400	\$ 2,800
5	24	M6x1,00x20	Bristol	\$ 450	\$ 10,800
6	11	M8x1,25,20	Bristol	\$ 800	\$ 8,800
7	12	M8x1,25x35	Bristol	\$ 800	\$ 9,600
8	4	M8x1,25x30	Bristol	\$ 800	\$ 3,200
9	4	M10x1,5x30	Bristol	\$ 900	\$ 3,600
10	8	M12x1,75x30	Bristol	\$ 950	\$ 7,600
11	4	M12x1,75x40	Bristol	\$ 950	\$ 3,800
12	4	M8x1,25	Tuerca Inox	\$ 496	\$ 1,984
13	4	M12x1,75	Tuerca Inox	\$ 496	\$ 1,984
14	4	M16x2,00	Tuerca Inox	\$ 496	\$ 1,984
15	8	M16x2,00	Contratuerca Inox	\$ 496	\$ 3,968
16	35	Ø 6 Interior	Arandela de Presión	\$ 133	\$ 4,655
17	11	Ø 8 Interior	Arandela de Presión	\$ 233	\$ 2,563
18	4	Ø 10 Interior	Arandela de Presión	\$ 233	\$ 932
19	12	Ø 12 Interior	Arandela de Presión	\$ 233	\$ 2,796
20	4	M16x2,00x100	Espárragos	\$ 3,545	\$ 14,180
21	2	M6x1x5	Prisionero	\$ 200	\$ 400
22	8	M6x1x10	Tornillo Mariposa	\$ 2,000	\$ 16,000
23	4	M10x1,25,30	Tornillo Mariposa	\$ 2,500	\$ 10,000
				<b>TOTAL</b>	\$ 120,246

En la tabla 27 describe los elementos estándar escogidos para el diseño establecido, se resaltan que son partes que debieron ser validadas mediante cálculos en algunos capítulos del proyecto de grado.

Tabla 27

<b>Elementos Estándar</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
1	Motor Eléctrico Siemens	4HP,220VA, 1750 Rpm	1	\$ 947,000
2	Servomotor	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 594,000
3	Casquillo Acople Eje Motor	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 40,061
4	Polea Conducida Stemin	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 67,675
5	Polea Conductora Stemin	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 56,022
6	Correa Perfil Clásico Goodyear	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 24,370
7	Chumaceras FYTJ-19-TF y Rodamiento	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 70,000
7	Chumaceras FYTJ-40-TF y Rodamiento YAR 208-2F	0.75kw,220VA,1800 Rpm	1	\$ 137,700
			<b>TOTAL</b>	\$ 1,936,828

## 9. CONCLUSIONES

- La utilización del dispositivo diseñado podría generar una reducción del volumen de los residuos sólidos orgánicos desde el hogar, potenciando un mejor manejo de los diferentes tipos de desechos que se producen habitualmente en una casa promedio; impactando de manera positiva el relleno sanitario de la ciudad gracias a la optimización de espacio de almacenamiento. De lograr este objetivo se obtendría un beneficio tanto económico como social y ambiental.
- Con el fin de elaborar un proyecto que además de funcional, resulte comercial, se tuvieron en cuenta lineamientos de algunos autores que combinan aspectos relevantes para el desarrollo de productos como marketing, manufactura y diseño.
- De los datos obtenidos durante el trabajo de grado, se puede evidenciar que la utilización del procesador de residuos sólidos para uso doméstico, abarca un número considerable de aplicaciones tanto en grandes bloques de vivienda como en industrias que disponen de desechos orgánicos y desperdicios.
- De acuerdo con la información reunida en el marco referencial, se puede concluir que el desarrollo de este diseño y su aplicación podría generar un cambio en la comunidad con respecto al tratamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante la clasificación de las basuras y posterior reutilización de las mismas.
- Luego de realizar análisis previos de factibilidad se logró establecer que el sistema más adecuado para la trituración es mediante de cuchillas; teniendo en cuenta que su alta velocidad permite un bajo consumo energético, además facilita su montaje y desmontaje y posibilita un mantenimiento sencillo.
- De acuerdo con el análisis realizado para determinar el tamaño del tamiz en términos de diámetro, separación y número de agujeros, y teniendo en cuenta que esta medida debe ser precisa, se logró determinar que la separación más adecuada con respecto a las cuchillas es de tres mm.
- De acuerdo con los datos obtenidos para la elaboración del trabajo, se logró determinar que el tamiz debería tener mínimo veintisiete agujeros para el manejo del flujo volumétrico deseado. Sin embargo, debido a factores como el largo tiempo de trituración y el creciente amontonamiento del material sobre la malla, se estableció que una mejor alternativa es que el tamiz este completamente perforado con agujeros alternados en toda la superficie del mismo.
- Luego de realizar análisis del mercado se puede establecer que para definir el precio de venta del procesador de residuos sólidos para uso doméstico, se deberá contemplar una utilidad por diseño mínimo del 25% teniendo en cuenta que

maquinas importadas con características similares superan margen de utilidad del 50%.

## 10. APORTES

- Se diseñó un dispositivo de trituración capaz de procesar residuos orgánicos producidos en hogares, basado en datos reales de la ciudad de Pereira; con el objetivo de aprovechar los residuos en compostaje u otros procesos industriales y comerciales.
- El procesador de residuos sólidos para uso doméstico fue diseñado con elementos existentes en el mercado nacional, situación que disminuiría los costos de fabricación y producción tanto para realizarse en serie, como para los interesados en adquirirlo para la industria del reciclaje en conjuntos de viviendas.
- El diseño cuenta con elementos estándares y de fácil adquisición en el mercado local tales como chumaceras, pernos, correas de transmisión, motor eléctrico, etc., lo cual permite prolongar la vida útil del procesador de residuos sólidos, en caso de que estos elementos sufran alguna avería o daño prematuro. Además el 80% del procesador de residuos sólidos para uso doméstico es desmontable, lo que facilita su mantenimiento.
- Una vez identificadas las necesidades del cliente y analizadas las alternativas de diseño, el dispositivo se planteó con una capacidad de 24 kg, un tiempo de funcionamiento de dos horas/semana, un tamaño final de trituración entre 6-8 mm, garantizando una correcta ergonomía y facilidad en su operación.
- El procesador de residuos sólidos para uso doméstico se diseñó fundamentalmente para grandes bloques de vivienda con un promedio de ocupación de 500 personas. Teniendo en cuenta que la producción de basuras por persona en la ciudad de Pereira es de 0,42 kg/Hab-día con un desperdicio semanal de 900 kg aproximadamente. El dispositivo podrá triturar esta cantidad en tan solo 7 horas, con una capacidad instalada del 20%, sin generar un sobredimensionamiento del equipo sino ajustando características finales del diseño.
- El porta cuchillas es el elemento de sujeción de las cuchillas del procesador de residuos sólidos para uso doméstico, para evitar el deterioro de ellas así como de las cuchillas móviles, se ha posicionado en el medio de estos dos elementos un apoyo mecánico (Bloque Sujetadores o Separadores), el que ha sido diseñado en acero de menores propiedades al de otras partes SAE 1020, con el fin de preservar la integridad y vida útil de las cuchillas y el del porta cuchillas.
- Se determinó la fuerza de corte de acuerdo con datos experimentales del proceso de PET, ya que presenta características muy similares a la basura orgánica con un valor final de corte de 1925,51 N

- La estructura de soporte fue diseñada y comprobada estableciendo parámetros constructivos de importancia como rigidez y estabilidad, ya que es lugar donde se acoplan y se alojan la mayoría de los elementos del procesador de residuos sólidos para uso doméstico.
- El producto cumplió con los mínimos requisitos de diseño, requerimientos establecidos por las necesidades de los clientes como: capacidad del dispositivo de 24 kg, tiempo de funcionamiento de dos horas/semana, tamaño final de trituración entre 6-8 mm y que tenga una facilidad en su operación.

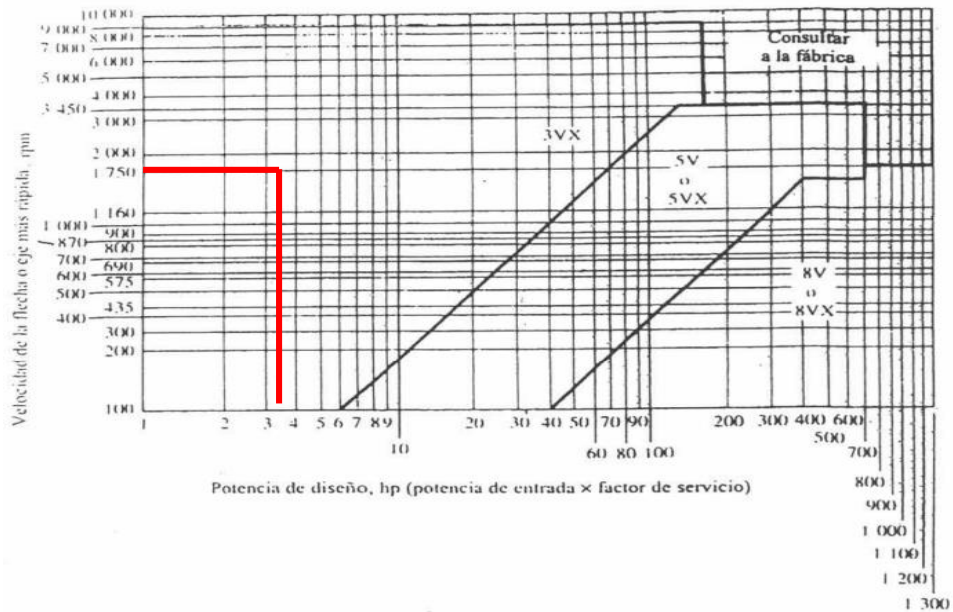
## 11. ANEXOS

### ANEXO 1

#### 1.1 Factor de Servicio [26]

MAQUINA MOVIDA	Motor electrico sincrono. Motor de combustion Interna multicilindro. Turbinas			Motor electrico de alto par. Motor de combustion Interna monocilindro.		
	8 h/dia	16 h/dia	24h/dia	8 h/dia	16 h/dia	24h/dia
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrifugas, transportadores ligeras.	1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Generadores, herramientas para maquinas, mezcladores, transportadores, grava.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Elevadores de baldes o recipientes, maquinas textiles, molinos de martillo. Transportadores pesadas	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Trituradoras, molinos de bola, malacales, extruidoras de hule.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
Cualquier maquina que pueda ahogarse.	2	2	2	2	2	2

#### 1.2 Forma de correas para transmisión de potencia [26]





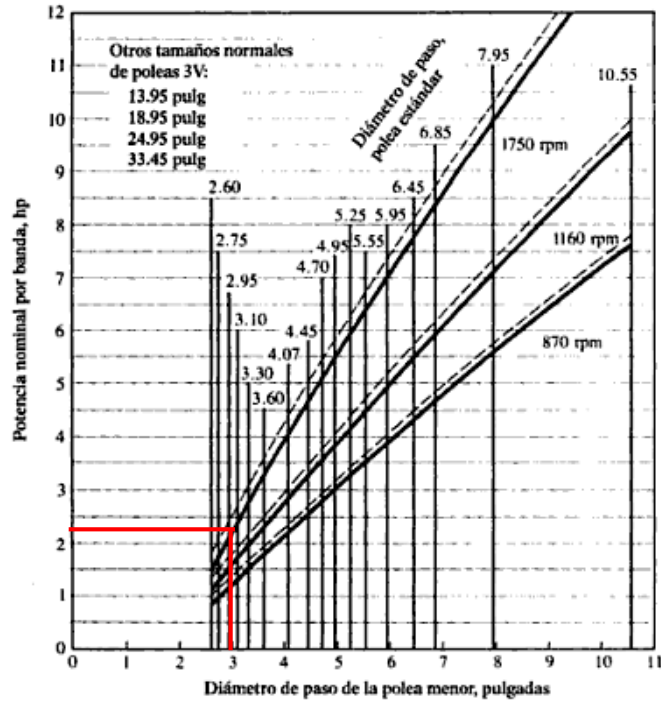
### 1.3 Diámetro mínimo para poleas montadas en motores [27]

Potencia del Motor Electrico															
[rpm]	1/2	3/4	1	1 1.5	2	3	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50
870	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	5.2	6.0	6.8	6.8	8.2	8.4
1160	-	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	5.2	6.0	6.8	6.8	8.2
1750	-	-	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	4.4	5.2	6.0	6.8
3500	-	-	-	2.2	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0	3.8	4.4	4.4	-	-	-

### 1.4 Longitud de Banda de transmisión [26]

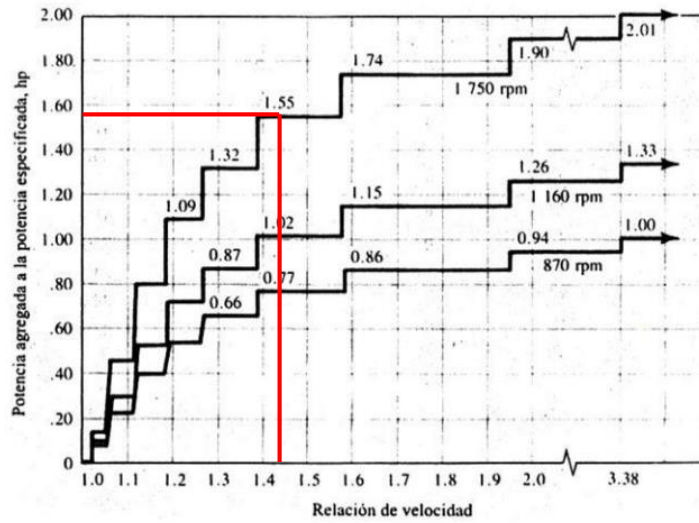
Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	

### 1.5 Capacidades Bandas 3V [26]



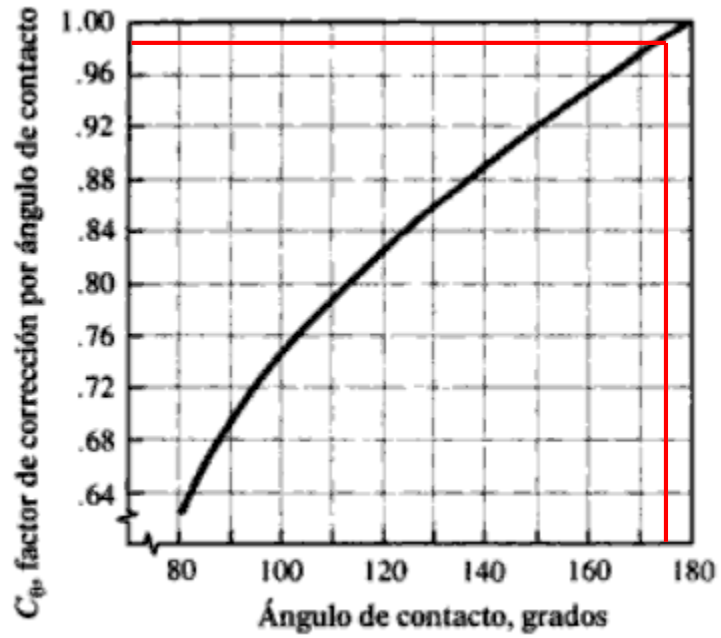
[C] Grafica potencia nominal por banda.

### 1.6 Potencia agregada en función de la relación de velocidades [26]

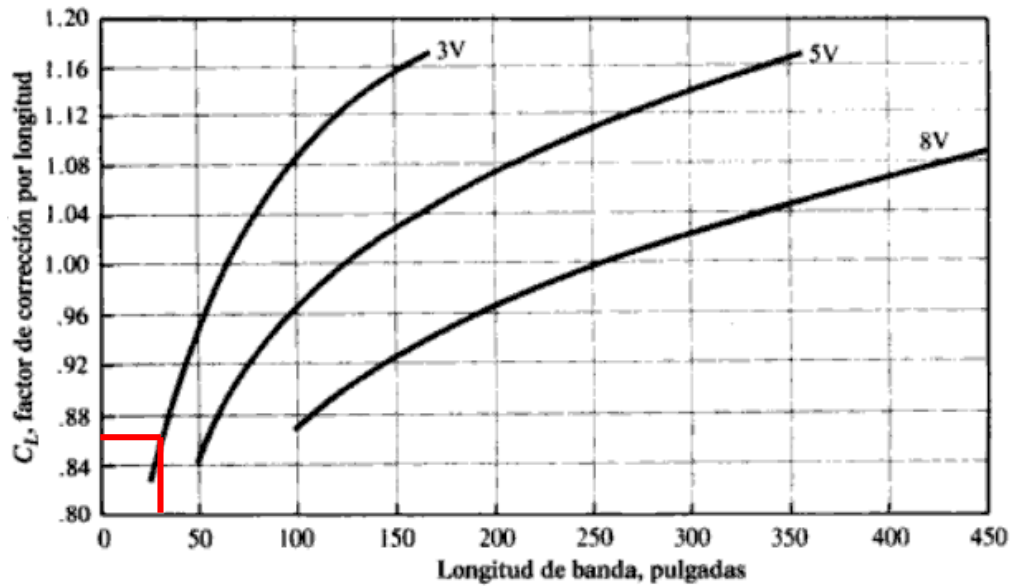


[C] Tabla de Potencia agregada a la potencia especificada en hp

1.7 Factor de corrección por Angulo de contacto  $C_\theta$  [26]



1.8 Factor de corrección por longitud de banda  $C_L$  [26]

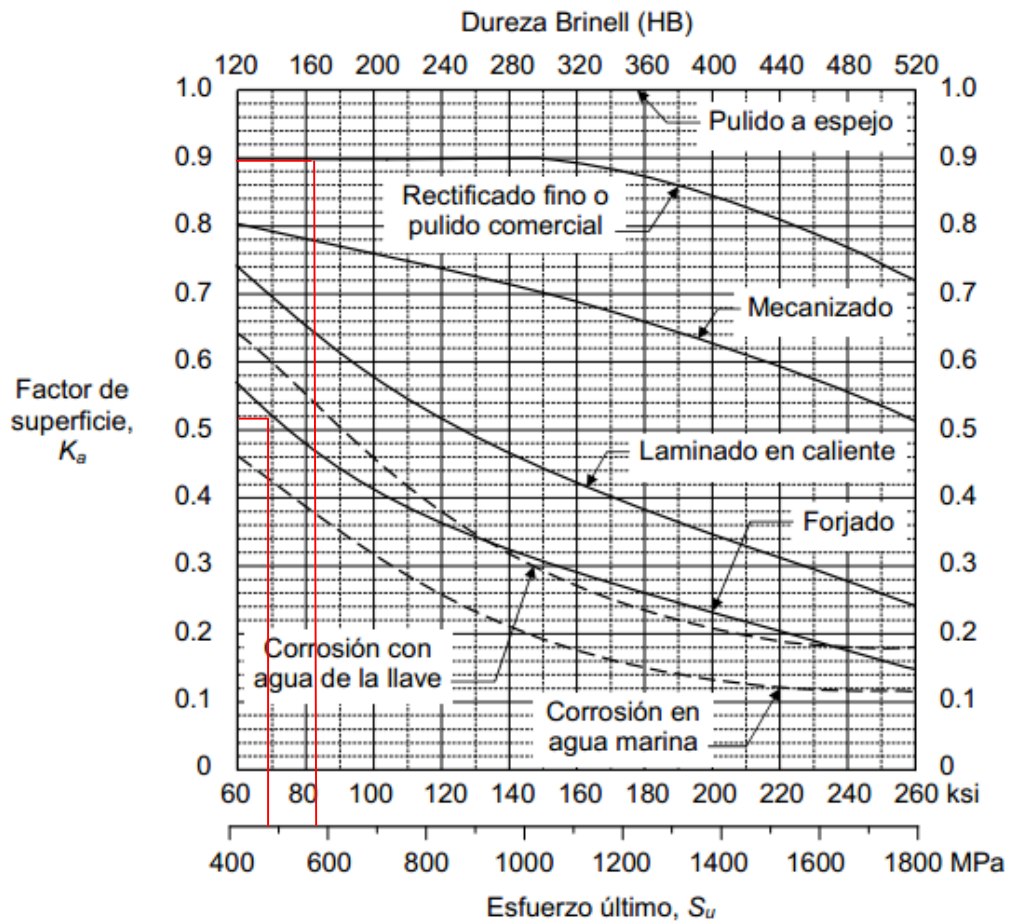


## 1.9 Factor de diseño [24]

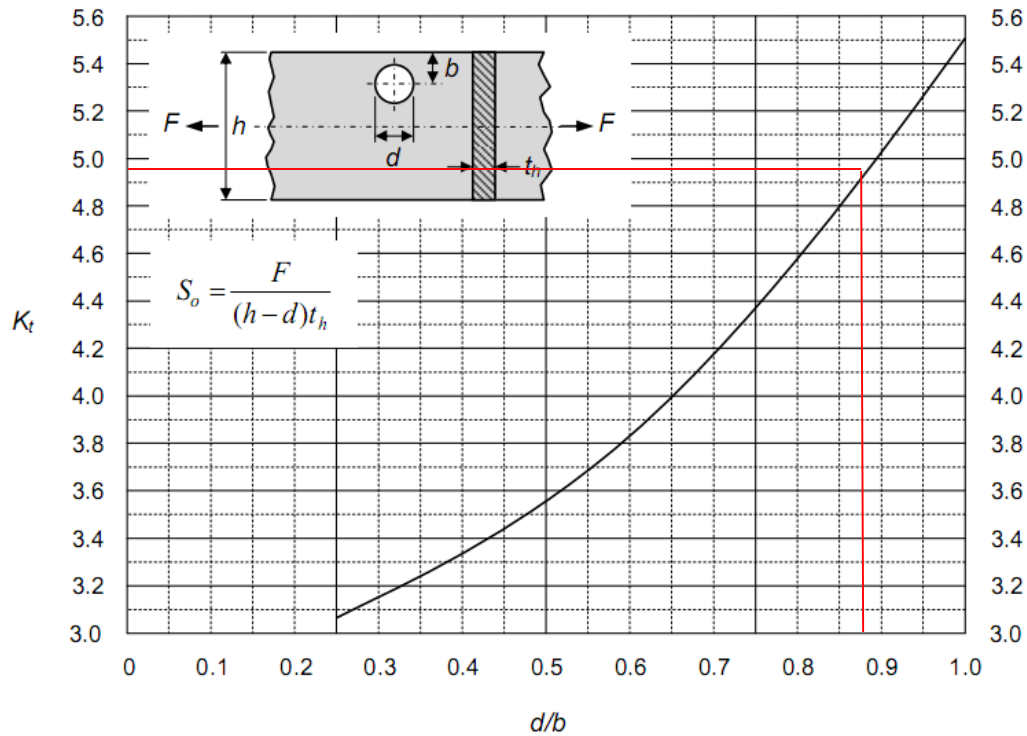
Velocidad tangencial m/seg	Factor f
17	0,0220
20	0,0160
23	0,0100
26	0,0080
30	0,0030
40	0,0015

## ANEXO 2

### 2.1 Factores de superficie del acero [38]



## 2.2 Coeficientes teóricos de concentración de esfuerzos [38]



## 2.3 Coeficientes teóricos de concentración de esfuerzos [38]

$S_u$		$\sqrt{a}$			
		Carga axial y flexión		Torsión	
(ksi)	(MPa)	(in <sup>0.5</sup> )	(mm <sup>0.5</sup> )	(in <sup>0.5</sup> )	(mm <sup>0.5</sup> )
50	345	0.130	0.66	0.093	0.47
55	380	0.118	0.59	0.087	0.44
60	415	0.108	0.54	0.080	0.40
70	485	0.093	0.47	0.070	0.35
80	550	0.080	0.40	0.062	0.31
90	620	0.070	0.35	0.055	0.28
100	690	0.062	0.31	0.049	0.25
110	760	0.055	0.28	0.044	0.22
120	825	0.049	0.25	0.039	0.20
130	895	0.044	0.22	0.035	0.18
140	965	0.039	0.20	0.031	0.16
160	1100	0.031	0.16	0.024	0.12
180	1240	0.024	0.12	0.018	0.09
200	1380	0.018	0.09	0.013	0.07
220	1515	0.013	0.07	0.009	0.05
240	1655	0.009	0.05		

Nota: los valores de la constante de Neuber para torsión equivalen a los de esfuerzos normales, cuando se toma un valor de  $S_u$  que sea 20 ksi (138 MPa) mayor que el del material.

## 2.4 Chavetas paralelas serie normal [40]

Pasadores y chavetas		CHAVETAS PARALELAS SERIE NORMAL						TABLA 18 . 13						
Dimensiones en mm.								(De UNE 17.102 h1)						
		CHAVETA												
Sección $b \times h$	Ancho $b$		Altura $h$		Chañán $b_1$		Longitud $l$							
	Nominal	Toler. $h_8$	Nominal	Toler. $h_9$ y $h11$	Mínimo	Máximo	De...	...a						
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45						
5 x 5	5	-0,030	5	-0,030	0,25	0,40	10	56						
6 x 6	6	-0,036	6	-0,036	0,25	0,40	14	70						
8 x 7	8	0	7	0	0,25	0,40	18	90						
10 x 8	10	-0,036	8	0	0,40	0,60	22	110						
12 x 8	12	0	8	0	0,40	0,60	28	140						
14 x 9	14	0	9	-0,050	0,40	0,60	36	160						
16 x 10	16	-0,040	10	0	0,40	0,60	45	180						
18 x 11	18	0	11	0	0,40	0,60	50	200						
20 x 12	20	0	12	0	0,40	0,60	56	220						
22 x 14	22	0	14	0	0,60	0,80	63	250						
25 x 14	25	-0,052	14	-0,110	0,60	0,80	70	280						
28 x 16	28	0	16	0	0,60	0,80	80	320						
32 x 18	32	0	18	0	0,60	0,80	90	360						
36 x 20	36	0	20	0	0,60	1,20	100	400						
40 x 22	40	-0,062	22	0	1,00	1,20	-	-						
45 x 25	45	-0,062	25	0,130	1,00	1,20	-	-						
50 x 28	50	0	28	0	1,00	1,20	-	-						
56 x 32	56	0	32	0	1,00	2,00	-	-						
63 x 32	63	0	32	0	1,60	2,00	-	-						
70 x 36	70	-0,074	36	0	1,60	2,00	-	-						
80 x 40	80	0	40	-0,160	2,50	3,00	-	-						
90 x 46	90	0	46	0	2,50	3,00	-	-						
100 x 50	100	-0,087	50	0	2,50	3,00	-	-						
CHAVETERO														
Diámetro del eje $d$	Sección de la chaveta $b \times h$	Ancho $b_1$ tolerancia						Profundidad				Chañán $R_1$		
		Nominal	Clase de ajuste del enchavetado			Ajustado	Eje $h_1$		Cubo $h_2$		Mín.	Máx.		
			Libre	Normal	Ajustado		Nominal	Toler.	Nominal	Toler.				
Más de	Menos de	Eje $h_9$	Cubo $D10$	Eje $N_9$	Cubo $Js_9$	Eje y cubo $p_9$	Nominal	Toler.	Nominal	Toler.	Mín.	Máx.		
10	17	4 x 4	4	+0,030	+0,078	0	±0,015	-0,012	2,6	+0,1	1,8	+0,1	0,60	0,16
12	17	5 x 5	5	0	+0,030	-0,030	±0,015	-0,042	3	0	2,3	0	0,16	0,25
17	22	6 x 6	6	0	+0,030	-0,030	±0,015	-0,042	3,5	0	2,8	0	0,16	0,25
22	30	8 x 7	8	+0,036	+0,098	0	±0,018	-0,015	4	0	3,3	0	0,16	0,25
30	38	10 x 8	10	0	+0,040	-0,036	±0,018	-0,061	6	0	3,3	0	0,25	0,40
38	44	12 x 8	12	0	+0,040	-0,036	±0,018	-0,061	6	0	3,3	0	0,25	0,40
44	50	14 x 9	14	+0,043	+0,120	0	±0,0215	-0,018	5,5	0	3,8	0	0,25	0,40
50	58	16 x 10	16	0	+0,050	-0,043	±0,0215	-0,061	6	0	4,3	0	0,25	0,40
58	65	18 x 11	18	0	+0,050	-0,043	±0,0215	-0,061	7	0	4,4	0	0,25	0,40
65	75	20 x 12	20	0	+0,050	-0,043	±0,0215	-0,061	7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22 x 14	22	+0,052	+0,149	0	±0,026	-0,022	8	0	6,4	0	0,40	0,60
85	95	25 x 14	25	0	+0,065	-0,052	±0,026	-0,074	9	0	5,4	0	0,40	0,60
95	110	28 x 16	28	0	+0,065	-0,052	±0,026	-0,074	9	0	5,4	0	0,40	0,60
110	130	32 x 18	32	0	+0,065	-0,052	±0,026	-0,074	10	0	6,4	0	0,40	0,60
130	150	36 x 20	36	0	+0,065	-0,052	±0,026	-0,074	11	0	7,4	0	0,40	0,60
150	170	40 x 22	40	+0,062	+0,180	0	±0,021	-0,026	12	0	8,4	0	0,70	1,00
170	200	45 x 25	45	0	+0,080	-0,062	±0,021	-0,088	13	0	9,4	0	0,70	1,00
200	230	50 x 28	50	0	+0,080	-0,062	±0,021	-0,088	15	0	10,4	0	0,70	1,00
230	260	56 x 32	56	0	+0,080	-0,062	±0,021	-0,088	17	0	11,4	0	0,70	1,00
260	290	63 x 32	63	+0,074	+0,220	0	±0,037	-0,032	20	0	12,4	0	0,70	1,00
290	330	70 x 36	70	0	+0,100	-0,074	±0,037	0,106	20	0	12,4	0	1,20	1,60
330	380	80 x 40	80	0	+0,100	-0,074	±0,037	0,106	22	0	14,4	0	1,20	1,60
380	440	90 x 46	90	+0,087	+0,260	0	±0,0435	-0,037	25	0	15,4	0	2,00	2,50
400	500	100 x 50	100	0	+0,120	-0,087	±0,0435	-0,124	28	0	17,4	0	2,00	2,50
									31	0	19,6	0	2,00	2,50

## 2.5 Catálogo de poleas [29]

### V-snaarschijven

Gietijzer – Ongeboord

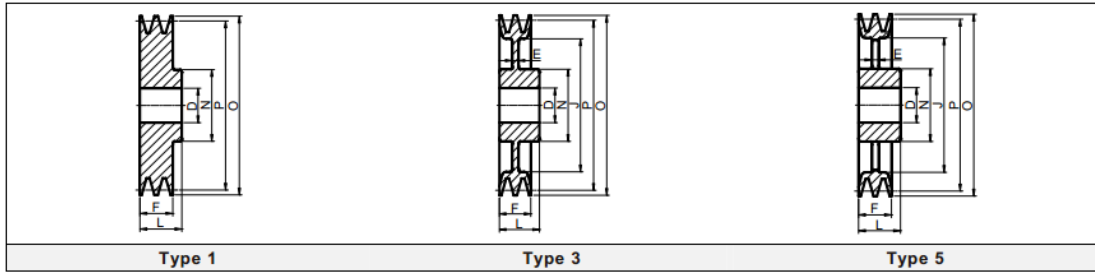


### V-belt Pulleys

Cast-Iron – Unbored

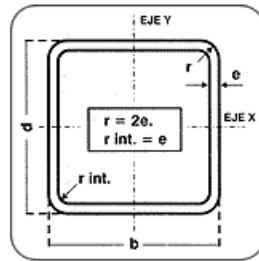
#### SPB1/B1

#### SPB1/B1



Part Nr.	P	O	Type	N	D <sub>min</sub>	D <sub>max</sub>	L	J	E	F	Mass
	(mm)		(-)	(mm)							(kg)
4600B007001T1	70	77	1	45	10	30	45	-	-	25	0,7
4600B008001T1	80	87	1	50	10	35	45	-	-	25	1,0
4600B009001T1	90	97	1	50	10	45	45	-	-	25	1,1
4600B010001T1	100	107	1	52	10	52	45	-	-	25	1,3
4600B011201T1	112	119	1	55	15	58	45	-	-	25	1,5

## 2.6 Perfiles Cuadrados [43]



CARACTERISTICAS DIMENSIONALES							Unid.
TAMAÑO PERFIL				Espesor pared $e$	Peso $P$	AREA $A$	
Nominal		Real					
Pulg.	Mil.	d mm	b mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	
7/8 X 7/8	22 X 22	22,10	22,10	1,194	0,72	0,91	100
7/8 X 7/8	22 X 22	22,10	22,10	1,499	0,90	1,14	100
1 X 1	25 X 25	26,70	26,70	1,778	1,31	1,67	100
1 X 1	25 X 25	26,70	26,70	1,194	0,88	1,12	
1 X 1	25 X 25	26,70	26,70	2,032	1,50	1,91	
1 X 1	25 X 25	26,70	26,70	2,286	1,66	2,11	
1 1/2 X 1 1/2	40 X 40	38,10	38,10	1,194	1,33	1,70	64
1 1/2 X 1 1/2	40 X 40	38,10	38,10	1,499	1,68	2,13	
1 1/2 X 1 X/2	40 X 40	38,10	38,10	2,032	2,25	2,86	
1 1/2 X 1 X/2	40 X 40	38,10	38,10	2,489	2,72	3,47	

PROPIEDADES ESTATICAS						Unid.
FLEXION			Módulo Plástico $Z_x=Z_y$	TORSION		
Momento Inercia $I_x=I_y$	Módulo sección $S_x=S_y$	Radio de Giro $r_x=r_y$		Momento de Inercia $J$	Módulo Elástico $B$	
cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	
0,69	0,62	0,87	0,74	1,13	0,94	100
0,81	0,73	0,84	0,89	1,32	1,07	100
1,71	1,28	1,01	1,55	2,83	1,89	100
1,26	0,94	1,06	1,12	2,04	1,42	
1,87	1,40	0,99	1,72	3,22	2,15	
2,01	1,51	0,98	1,88	3,45	2,23	
3,87	2,03	1,51	2,37	6,12	3,06	64
4,70	2,47	1,48	2,90	7,54	3,68	
6,01	3,15	1,45	3,77	9,91	4,70	
6,98	3,66	1,42	4,45	11,80	5,47	



## 2.6 ANTICORROSIVO [51]



### ANTICORROSIVA PINTUCOAT ROJA Ref. 110.050/113.227

#### REFERENCIAS Y COLOR

110.050 Componente A.	545 Comercial A.	
113.227 Componente B.	113.227 Componente B.	Roja

#### DESCRIPCIÓN

Pintura anticorrosiva en dos componentes en envases separados: El componente A. una anticorrosiva epóxica con óxido de hierro y el componente B. un endurecedor poliamínico. La mezcla en proporciones apropiadas (ver especificaciones) produce al aplicarla, una capa sólida, dura, resistente a aguas dulces potables o saladas, ácidos débiles, sales, álcalis, disolventes alifáticos y temperaturas de 120° en seco y 70°C en inmersión.

#### USOS

Como base anticorrosiva, con el acabado final recomendado, del sistema Pintucoat o Pintumastic para la protección interior o exterior de tanques para disolventes alifáticos, soda, aguas dulces y saladas, estructuras, puentes, instalaciones marinas y portuarias, barcos, plataformas de perforación y objetos metálicos en atmósferas de alta contaminación industrial.

#### ESPECIFICACIONES

##### COMPONENTES SEPARADOS.

Color del componente A	Rojo
Color del componente B	Amarillo transparente
Gravedad específica componente A a 25°C	1,37
Gravedad específica componente B a 25°C	0,96
Sólidos por volumen componente A	40,0
Sólidos por volumen componente B	35,0
Punto de chispa copa cerrada componente A	28°C
Punto de chispa copa abierta componente B	20°C

##### RELACIÓN DE MEZCLA DE LOS COMPONENTES A Y B.

Componente A por volumen	4 partes
por peso	5465 gramos
Componente B por volumen	1 parte
por peso	995 gramos

De la exactitud y uniformidad de la mezcla dependen las propiedades definitivas de la anticorrosiva aplicada.

##### MEZCLA LÍQUIDA DE LOS COMPONENTES A Y B.

Color	Roja
Gravedad específica a 25°C	1,29
%Sólidos por volumen	39,0
Punto de chispa copa abierta	20°C
Tiempo de vida útil de la mezcla	8 horas a 25°C

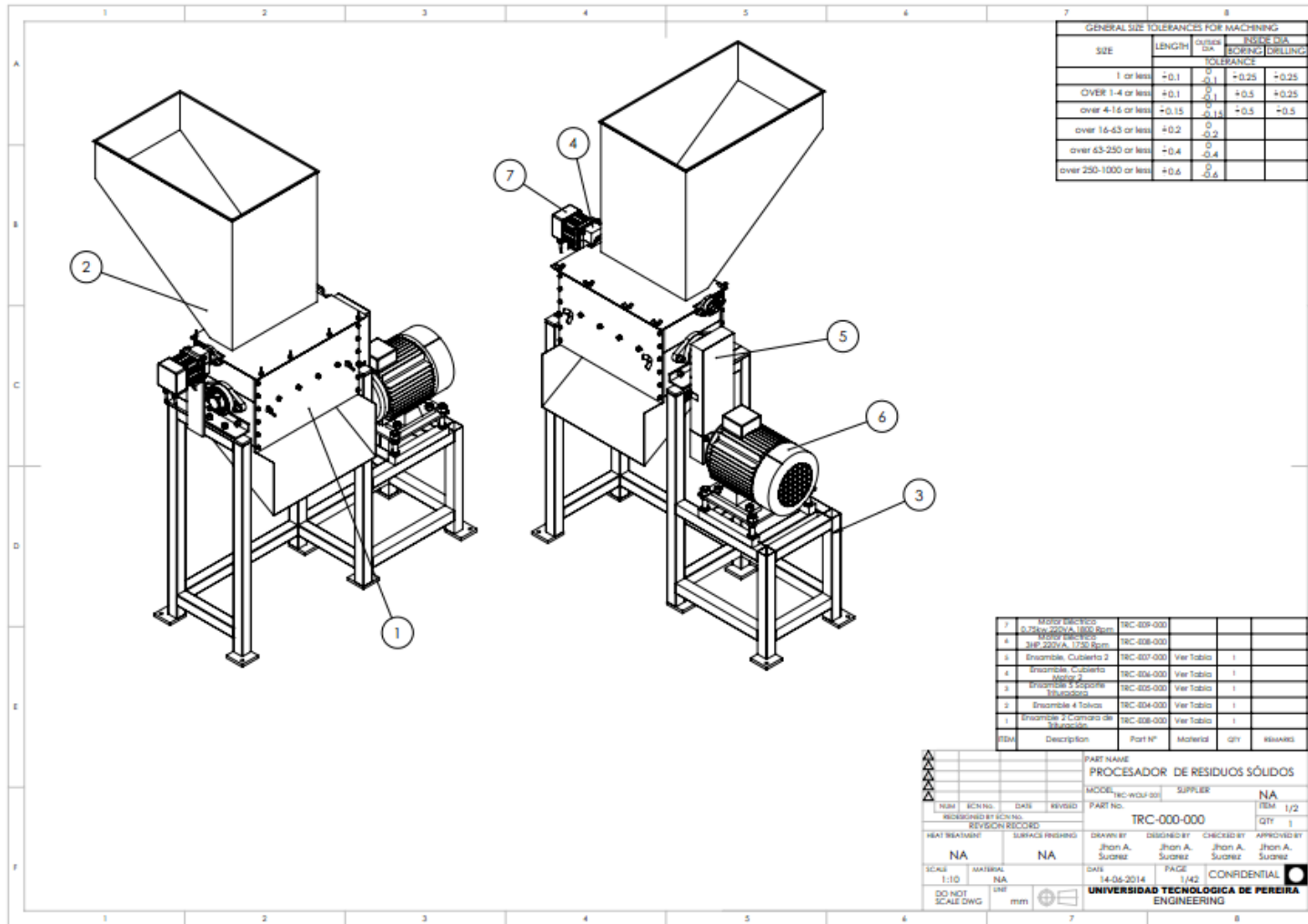
### **ANEXO 3 Planos del procesador de residuos sólidos para uso doméstico.**

En los anexos solo se publicaron los planos más relevantes del diseño, se anexara índice de planos para consultas posteriores.

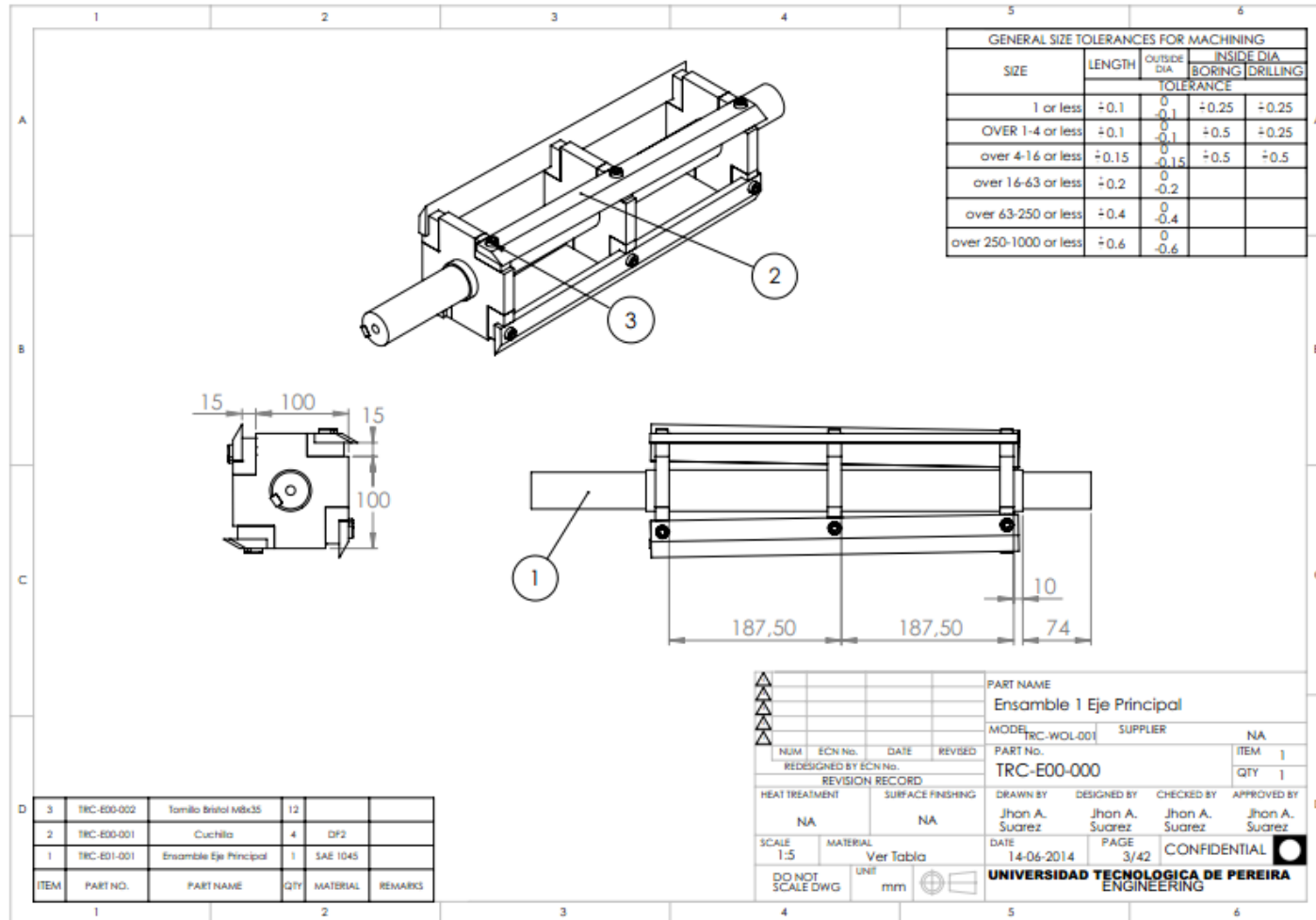
#### **3.1 INDICE DE PLANOS.**

- 1) Procesador de Residuos Sólidos (Ensamble Total).
- 2) Ensamble 1, eje principal.
- 3) Ensamble 2, eje principal.
- 4) Eje principal.
- 5) Porta cuchilla 3.
- 6) Porta cuchilla 2
- 7) Porta cuchilla 1.
- 8) Bloque separador 1.
- 9) Bloque separador 2.
- 10) Bloque separador 3.
- 11) Chaveta Cuadrada.
- 12) Cuchilla 1.
- 13) Ensamble cámara de trituración.
- 14) Tamiz.
- 15) Bloque tamiz.
- 16) Tapa trasera.
- 17) Tapa frontal
- 18) Tapa lateral 1-2.
- 19) Tapa lateral 3-4.
- 20) Angulo estructural 30 x 40.
- 21) Angulo estructural 20 x 20.
- 22) Ensamble 3, eje secundario.
- 23) Pin de corte.
- 24) Eje Secundario.
- 25) Ensamble 4, tolvas.
- 26) Tolva de alimentación.
- 27) Tolva de descarga.
- 28) Ensamble soporte procesador de residuos sólidos.
- 29) Soporte procesador de residuos sólidos.
- 30) Zapata
- 31) Ensamble, soporte motor 2.
- 32) Soporte motor 2.3
- 33) Apoyo soporte 1.
- 34) Placa motor 1.
- 35) Placa motor 1.2.
- 36) Ensamble, cubierta motor 2
- 37) Ensamble Cubierta 2
- 38) Ensamble, cámara de trituración y ejes.

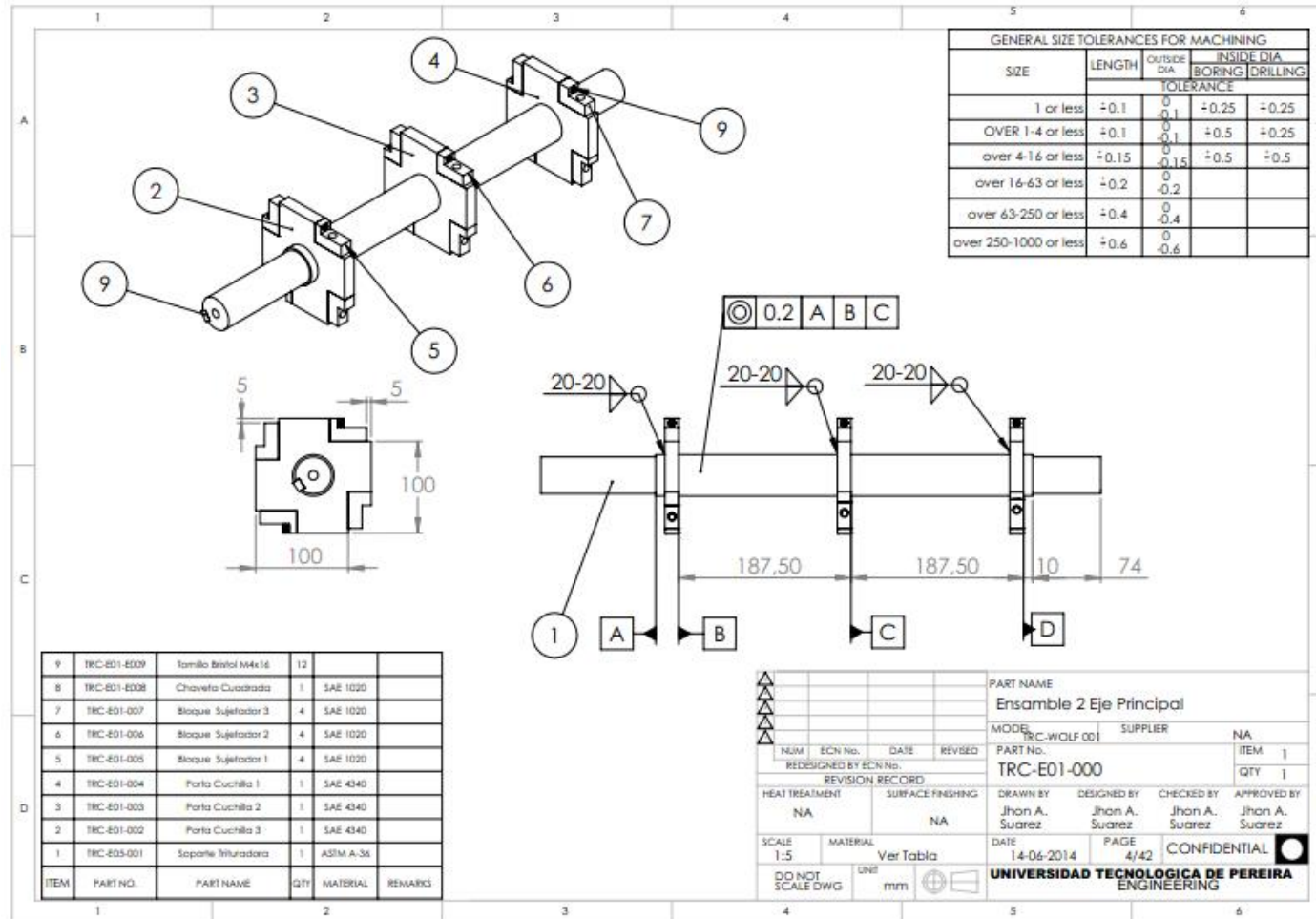
### 3.2 Procesador de Residuos Sólidos (Ensamble Total)



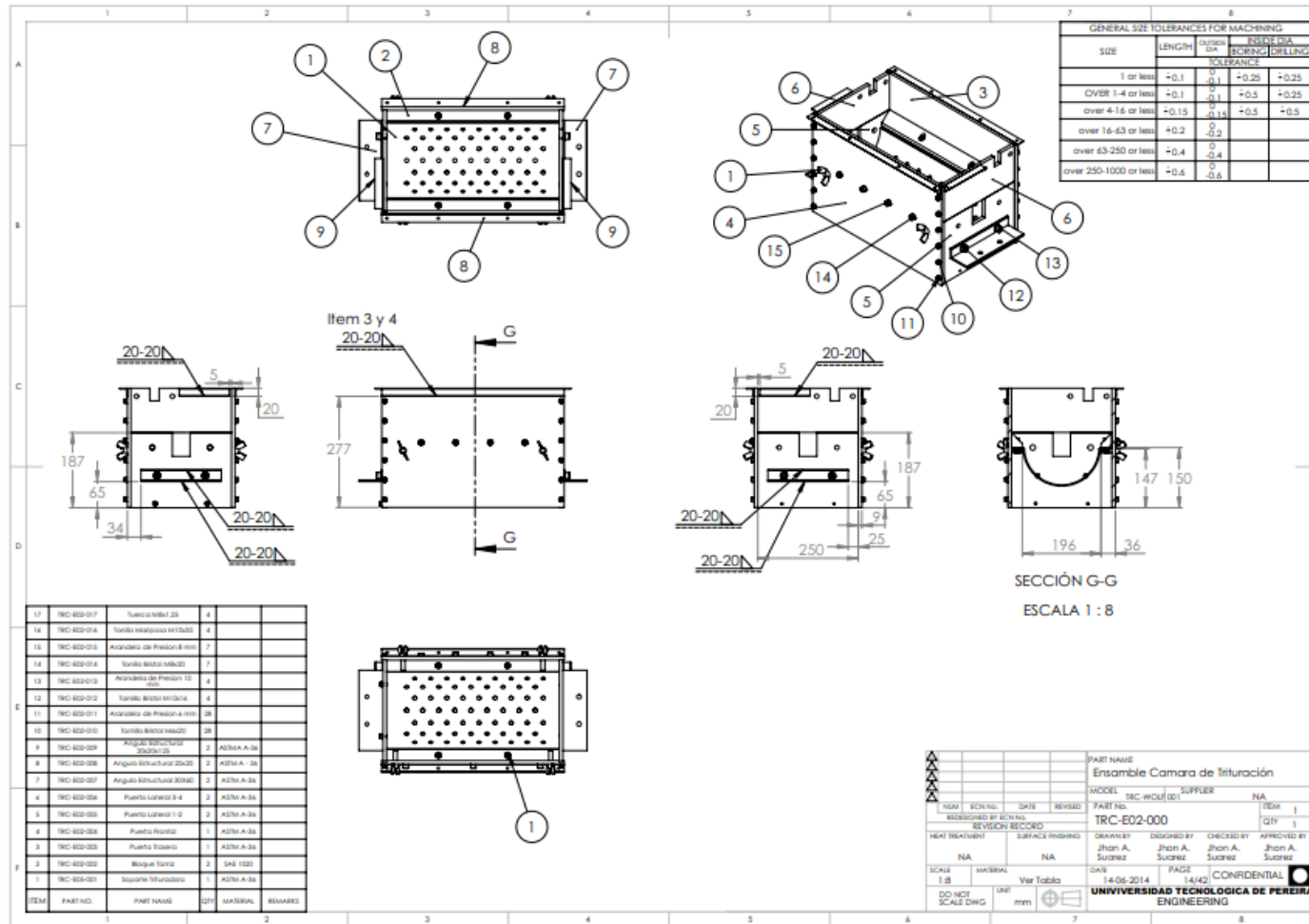
### 3.3 Ensamble 1, eje principal



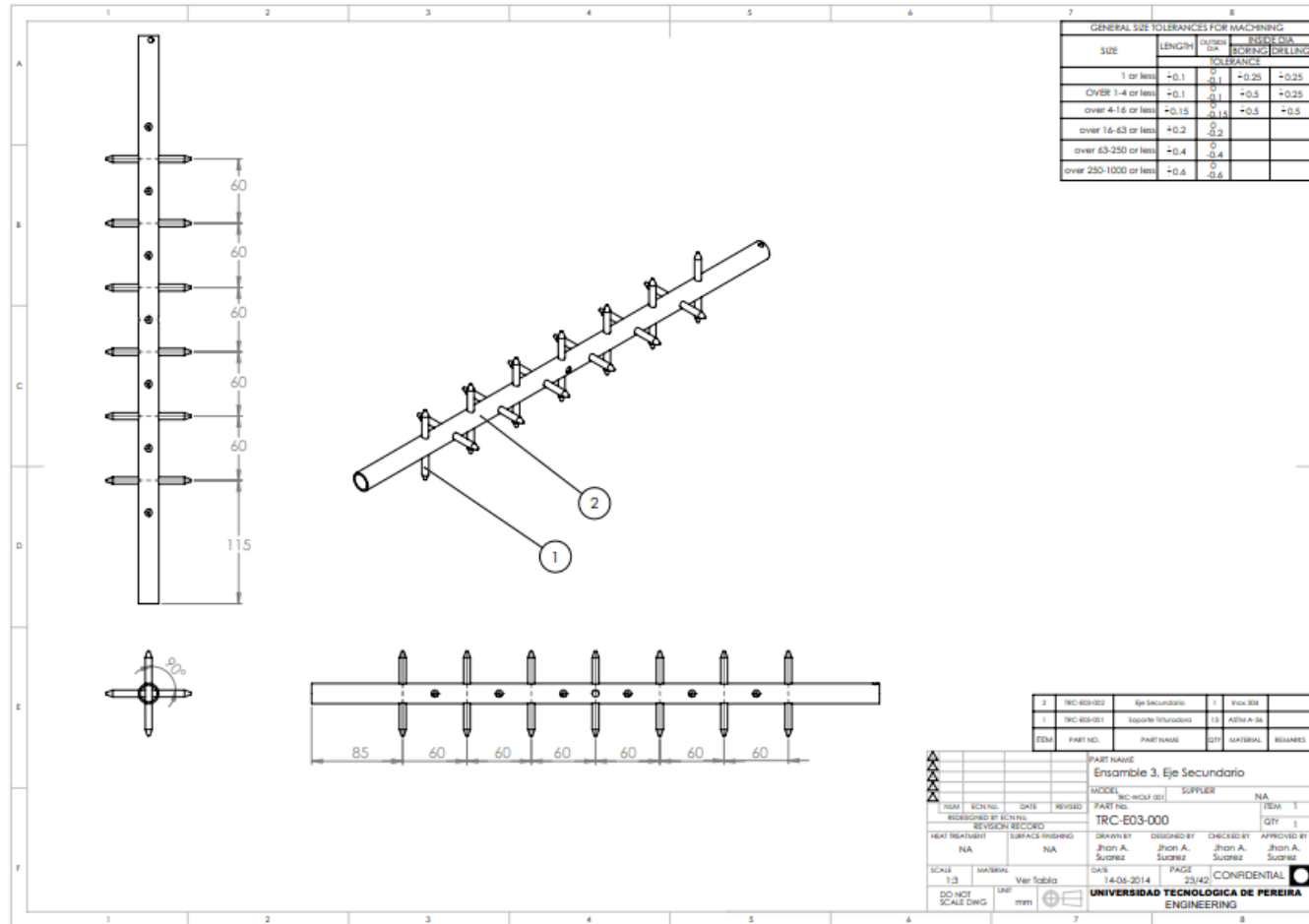
### 3.4 Ensamble 2, eje principal



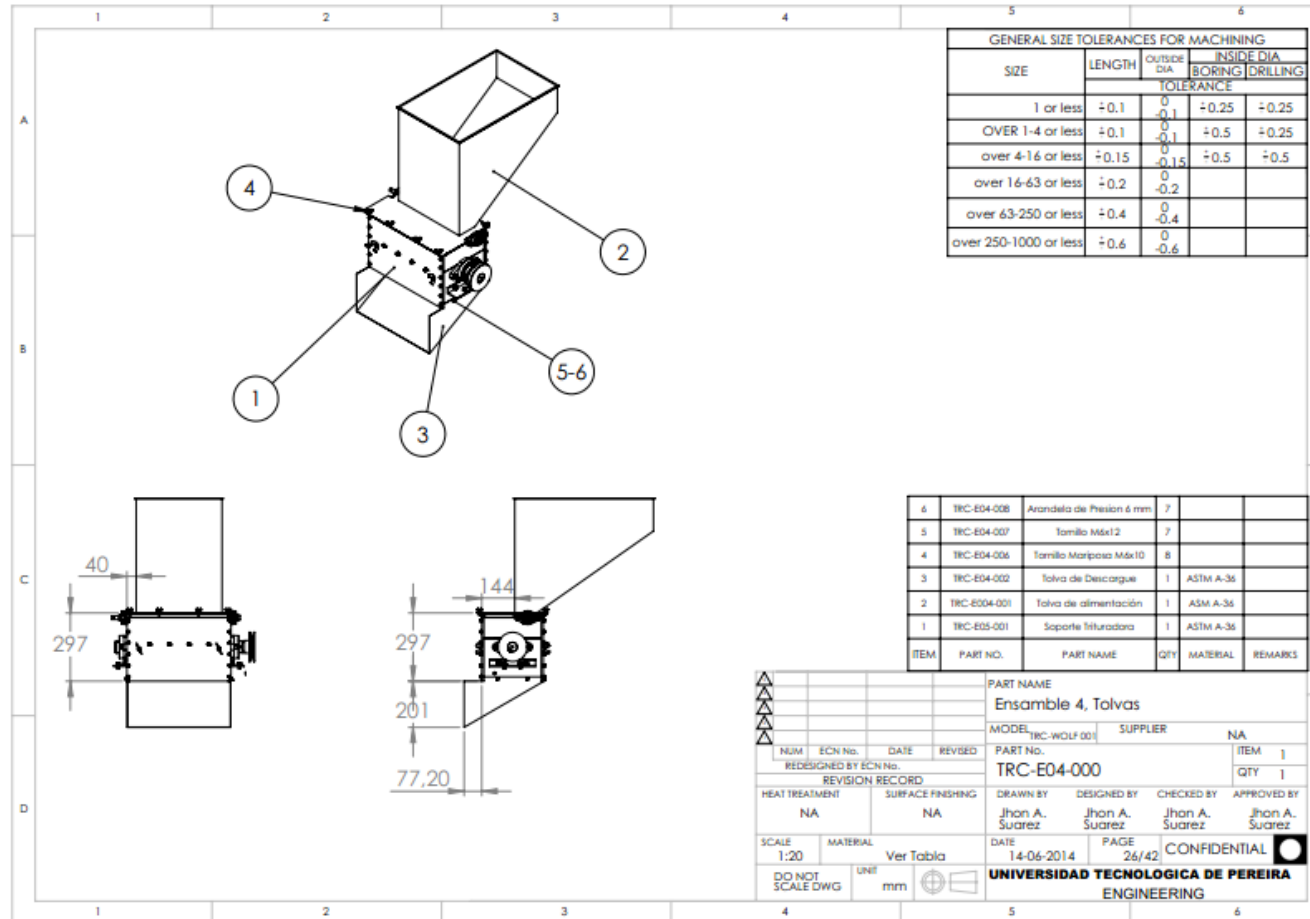
### 3.5 Ensamble, eje secundario



### 3.6 Ensemble, eje Secundario

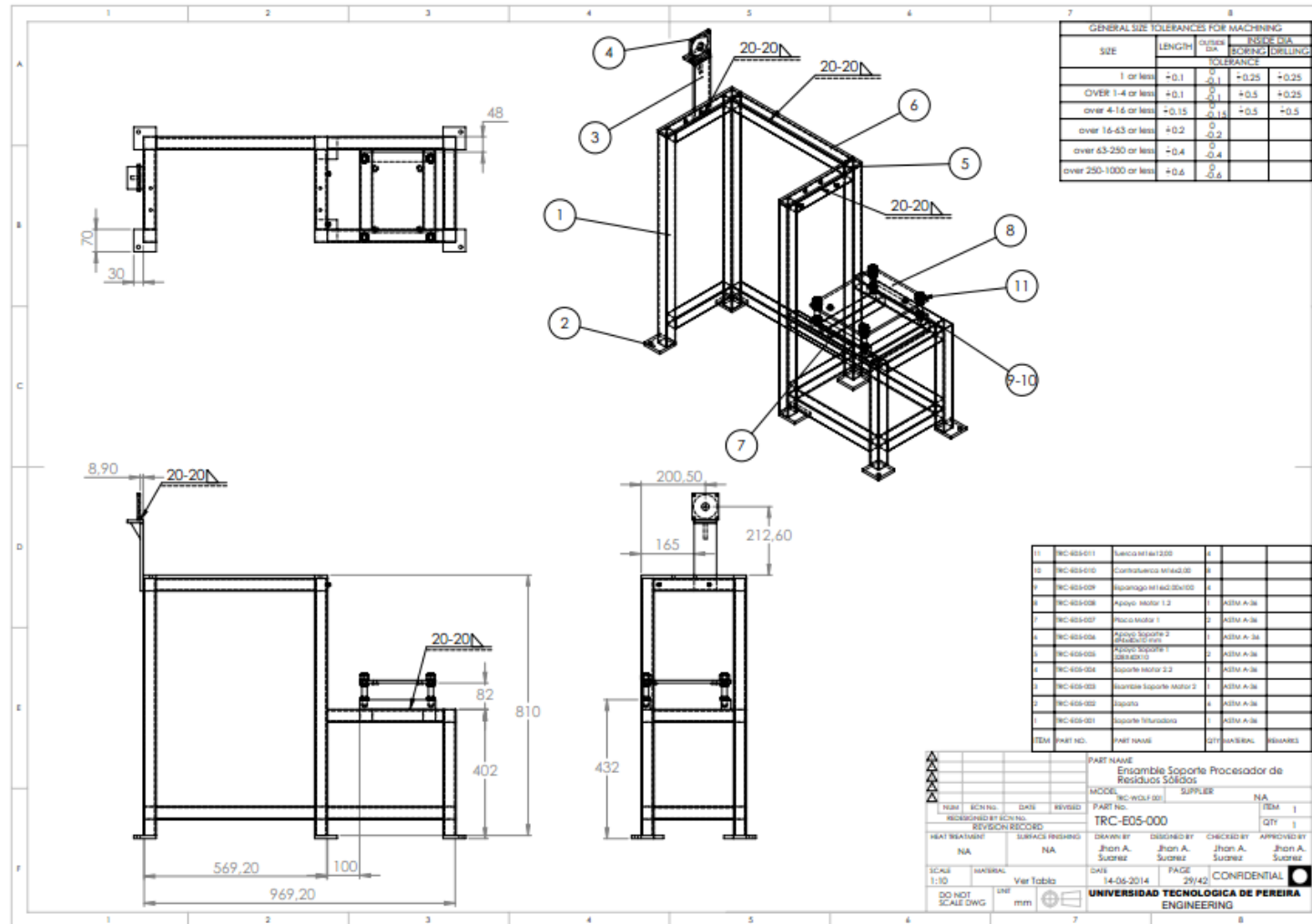


### 3.7 Ensemble 4, tolvas





### 3.8 Ensemble, soporte procesador de residuos sólidos





## ANEXO 4

### 4.1 Nomenclatura más utilizada

$F$	Fuerza
$kg$	Kilogramo
$m$	Metro
$mm$	Milímetro
$min$	Minuto
$N$	Newton
$r$	Radio
$T$	Par
$s$	Segundo
$\rho$	Densidad
$V$	Velocidad
$K$	Constante
$h$	Hor
$Db$	Decibeles
$hp$	Potencia
$^{\circ}C$	Grados Celsius
$Hz$	Frecuencia
$L$	Litros
$ml$	Mililitros
$i_d$	Grado de desmenuzamiento.
$Q$	Caudal
$min^{-1}$	r.p.m
$P_{diseño}$	Potencia de diseño
$F_{serv}$	Factor de servicio
$r_{red}$	Relación de reducción
$D_p$	Diámetro mayor
$d_p$	Diámetro menor
$L_o$	Longitud de Banda
$\alpha$	Angulo de contacto de la banda de transmisión
$n$	Eficiencia
$CAT$	Cateto
$HIP$	Hipotenusa
$\theta_T$	Angulo de rotación
$\omega$	Velocidad angular
$\alpha$	Aceleración angular
$W$	Peso
$N$	Newton
$I$	Inercia
$r_g$	Radio de giro
$v_t$	Velocidad tangencial

$\sqrt{a}$	Constante de Neuber
$m$	Masa
$g$	Gravedad
$\sigma$	Esfuerzo
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Esfuerzo máximo
$\sigma_{m\acute{i}n}$	Esfuerzo mínimo
$F_C$	Fuerza de corte
$D$	Diámetro mayor
$d$	Diámetro menor
$P_a$	Pascal
$W$	Vatio

## 12. BIBLIOGRAFIA

- [1] AMPARAN, José. Breve historia de la evolución de la basura. México 2007. Disponible en: <<http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/307180.breve-historia-de-la-evolucion-de-la-basura-los-dias-los-hombres-las-ideas.html>>.
- [2] NTC (2289), Novena actualización. Normas para la utilización de aceros y hierros en Colombia. Bogotá D.C 2012. Disponible en: <<http://tienda.icontec.org/brief/NTC2289.pdf>>.
- [3] Direct Industry. Trituradores para usos industriales, catálogos maquinaria industrial. Disponible en: <[http://pdf.directindustry.es/pdf/rossl-duso-group-spa/triturador-de-chatarra-y-residuos-solidos/50397-70003-\\_3.html//>](http://pdf.directindustry.es/pdf/rossl-duso-group-spa/triturador-de-chatarra-y-residuos-solidos/50397-70003-_3.html//>).
- [4] Tritubilbo. S.L. Trituradoras y soluciones económicas, Un poco de historia. España Disponible en: <<http://www.tritubilbo.com/historia.php>>.
- [5] Proyecto asovida, asociación de recicladores para mejorar la calidad de vida de los habitantes, Fundación País Futuro, 2009.
- [6] Caracterización de residuos sólidos urbanos en el municipio de Pereira, Coordinación secretaría de planeación municipal, unidad de gestión ambiental y de servicios públicos domiciliarios, grupo técnico universidad tecnológica de Pereira, Diciembre de 2008.
- [7] CALLAZOS PEÑALOZA, Héctor; DUQUE MUÑOZ, Ramón. Residuos Sólidos. Bogota D.C, 1998. Acodal, Quinta edición Pág. 11-14.
- [8] Planetica.org. Información sobre ecología, cuidado y protección del medio ambiente. Clasificación de los residuos. Disponible en: <<http://www.planetica.org/>>.
- [9] PROBEA. Proyecto bio-regional de educación ambiental, A.C. Qué hacer con la Basura, antecedentes: La Clasificación de los Residuos. Disponible en: <<http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculum/residuos/ante-clas.html//>>.
- [10] ANSHUL. Blog Templatelite, Residuos Industriales, Riesgo asociado al manejo de los residuos. 2010 Disponible en: <<http://residuosindustriales.blogspot.com/2010/03/riesgo-asociado-al-manejo-de-los.html>>.
- [11] Fundación Wikimedia Inc. Gestión de residuos, Conceptos en la gestión de residuos. Publicado en 2015. Disponible en: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n\\_de\\_residuos](http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_residuos)>.
- [12] PARODY, Gina. Formas de reciclar. Bogotá D.C 2010 Disponible: <<http://www.ginaparody.com/medio-ambiente/formas-reciclar.>>.

- [13] TCHOBANOGLIOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos, capítulo: Introducción a los procesos unitarios utilizados para la separación y procesamiento de materiales residuales. 1994, Mc Graw Hill.
- [14] Fundación Wikimedia Inc. Trituración, métodos y máquinas. Publicado en 2014. Trituración. Disponible en internet en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Trituración//>>.
- [15] QUINTANA E. Fabiola. Administración y disposición de los Residuos Sólidos Urbanos. Un modelo Teórico. Pereira 1994, pág. 125-132. Tesis de grado de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- [16] VALDES RIVERA, Susana. Gestión de residuos sólidos, Separación y procesamiento de residuos. Argentina 2003. Overprint Grupo.
- [17] El triturador de desperdicios orgánicos. Sección: electricidad, Autor: redacción facilisimo.com disponible en: <[http://bricolaje.facilisimo.com/reportajes/electricidad/el-triturador-de-desperdicios-organicos\\_183522.html](http://bricolaje.facilisimo.com/reportajes/electricidad/el-triturador-de-desperdicios-organicos_183522.html) >.
- [18] Aparato para la extracción centrifuga de componentes líquidos de pastas/residuos de frutos oleaginosos, procedimiento de extracción y utilización correspondientes. Disponible en internet en: <http://www.invenia.es/oepm:p200200859//>.
- [19] MORENO CASTRO, José Manuel, Sistema de reducción de lodos en tratamiento de aguas residuales, sistema para extraer líquido de un contenedor de pasta residual.
- [20] ATR. PAALGROUP. Disponible en internet en: <<http://www.paalgroup.com/es/gama-de-producto/prensas-de-camara-cerrada/htr/extraccion-de-liquidoslixiviados//>>.
- [21] FUSTER SOTO, José Luis. Alternativas de recogida, tratamiento y eliminación, Compactadoras, Universidad Politécnica de Valencia, España 2014.
- [22] Atesa. Disponible en internet en: <<http://www.atesadeoccidente.com//>>
- [23] SANTANA ZAMBRANO, Luis Ramón. Diseño de una maquina picadora de rastrojo para producción de abono orgánico, Diseño de tolva de alimentación, Guayaquil 2004.
- [24] Retsch. Molinos de corte. Disponible en <[www.retsch.es](http://www.retsch.es)>.
- [25] WALTER H, Duda, Manual Tecnológico del Cemento. Potencia necesaria para las trituradoras de martillos pág. 45, Grado de desmenuzamiento pág. 27. Tercera Edición 1985.
- [26] MOTT L. Robert. Diseño de elementos de máquinas. Transmisiones por bandas y por cadenas. Capítulo 7.

- [27] TORRES CABUYA, Alexandra, SANCHEZ CARDENAS, Jonatan. Como seleccionar una banda de potencia. Diámetro mínimo recomendado para poleas montadas en motores, Bogotá Colombia; Enero 2010 Disponible en <<http://mecatronic.asena10.blogspot.com/>>.
- [28] MOTT L. Robert. Diseño de Máquinas y Resistencia de materiales aplicadas. Relación de reducción de velocidad, Selección de rodamientos.
- [29] Machhinefabriek Stemin. Catálogo de Poleas. Poleas en V sin agujeros. Holanda, disponible en <[www.stemin.nl](http://www.stemin.nl)>.
- [30] FERDINAND P. Beer. Mecánica Vectorial Para Ingenieros. Dinámica. MOTT L. Robert. Cinemática de cuerpos rígidos. Diseño de Maquinas. Relación de reducción de velocidad.
- [31] HIBBELER R.C. Ingeniería Mecánica, 12º Edición.
- [32] ALBAÑIL HERNADEZ, Héctor y MORA ESPEJO, Edgar. Mecánica de fractura y análisis de falla, análisis de falla por fatiga.
- [33] Guía de pre-ingeniería para correas y poleas. Dayco
- [34] S, Timoshenko. Mecánica de materiales, Modulo de sección. Espasa-Calpe, S.A; Madrid 1957.
- [35] GARCIA ALJAMA, Manuel. Iniciación a la física. Capítulo 8: Movimiento Variado, Caída Libre. Disponible en <<http://www.mailxmail.com/curso-iniciacion-fisica/movimiento-variado>>.
- [36] FALCONI, Mauricio, TIAGUARO Robinson. Molino de triturador de botellas desechables, fuerza de corte del Pet.
- [37] SHINGLEY, Joseph; Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta edición, Editorial Mc Graw-Hill, México 1999.
- [38] VARGAS, LIBARDO. Algunos Conceptos de Resistencias de Materiales
- [39] RINGEGNI, Pablo. Soldadura tipos y formas de cálculo. Mecanismos y elementos de máquina. Tercera edición.
- [40] Trace Parts, Product content Everywhere. CAD (Chavetas). Disponible en [www.tracepartsonline.net](http://www.tracepartsonline.net)

- [41] AB SKF, SE- 415 5 Gotemburgo, Suecia. Catálogo de Rodamientos y Chumaceras. Disponible en: [www.skf.com](http://www.skf.com)
- [42] Diseño de una Maquina Picadora de Rastrojo, para Producción de Abono Orgánico. Luis Ramón Zambrano. Guayaquil-Ecuador, 2004.
- [43] Codiacero, acero y servicio, Perfiles Cuadrados, Bogotá Colombia; Disponible en [www.codiacero.com](http://www.codiacero.com).
- [44] CAMPANA, Carlos Andrés. VASQUEZ LOAIZA, Hector. Diseño de sistemas mecánicos para la trituración, lavado y secado de PE-HD de desecho y Determinación de los Parámetros de selección de una inyectora para la FMSB Santa Bárbara S.A. Febrero 2011.
- [45] VASQUEZ ESCOBAR, Mirian. Obtención y caracterización de un material polímero a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado. Veracruz 2009.
- [46] ARPI-CALDERON. Diseño de las máquinas para el proceso de paletizado. Capítulo 4.
- [47] FERDINAND P. Beer. Mecánica de Materiales, Capitulo 3 Torsión, Mc Graw Hill.
- [48] URICH, Karl T; EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de Productos Enfoque Multidisciplinario, Mc Graw Hill.
- [49] MSC TORRES CHARRY, Geovanni. Diseño Conceptual. 2010.
- [50] Trituradoras de plástico y papel, Cuchillas Fijas 02-27-2013, Wittman France SAS; [www.wittmann-group.com](http://www.wittmann-group.com).
- [51] Manual de Productos, Línea Mantenimiento Industrial, Compañía Pintuco S.A.