

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE CAPACIDAD DE
400 Kg/H PARA REDUCIR EL TAMAÑO DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS EN SORITOR-MOYOBAMBA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

FREDDY PERALTA CASTRO

ASESOR

ELMER ROLANDO POLO BRICEÑO

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo, 2022

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE CAPACIDAD DE
400 kg/H PARA REDUCIR EL TAMAÑO DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS EN SORITOR-MOYOBAMBA**

PRESENTADA POR:

FREDDY PERALTA CASTRO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo para
optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Juan Carlos Vives Garnique

PRESIDENTE

Alejandro Segundo Vera Lazaro

SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño

VOCAL

DEDICATORIA

Al Altísimo por haberme guiado y dado la sabiduría desde el inicio de mis estudios universitarios.

A mi madre Amada y a mis hermanos Jesús y Rommel quienes siempre estuvieron brindándome su apoyo.

AGRADECIMIENTO

Al Padre por brindarme salud y vida, por guiarme y darme las herramientas y sabiduría necesaria para el desarrollo de mis estudios.

A mi casa de estudios, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a la facultad de ingeniería mecánica eléctrica y su plantel de ingenieros por su entrega y esmero en la formación profesional.

A mi asesor de Tesis Ingeniero Polo Briceño Elmer Rolando por su apoyo y al Ingeniero Iván Dante Sipón Muñoz por la disponibilidad de su tiempo y apoyo.

Índice

RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
1 INTRODUCCIÓN	15
1.1 Aspectos de la problemática	16
1.2 Definición del problema	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Justificación	17
1.5 Hipótesis.....	17
2 Marco teórico	18
2.1 Metodología para el diseño.....	18
2.2 Antecedentes de la investigación	18
2.3 Generalidades	20
2.4 Bases teóricas	20
2.5 Residuos orgánicos	20
2.6 Propiedades de los residuos orgánicos	22
2.7 Manejo, separación y almacenamiento	23
2.8 Tipos de máquinas.....	25
2.8.1 Máquina trituradora	25
2.8.2 Máquina de corte.....	25
2.8.3 Máquina de impacto.....	26
2.9 Definición de corte	27
2.9.1 Clases de corte	27
2.9.2 Tamaño de molienda requerida.....	27
2.10 Características y elección de la máquina moledora	28
2.10.1 Descripción de la máquina.....	29
2.11 Componentes principales de la maquina	29
2.11.1 Tolva de alimentación	29
2.11.2 Transporte de material en la tolva	30
2.11.3 Garganta de dosificación	30
2.11.4 Cámara de molienda	31
2.11.5 Eje de transmisión.....	31
2.11.6 Cuchillas de corte	32
2.11.7 Sistema de transmisión (motorreductor).....	32
2.12 Acero inoxidable	33

2.13	Bases teóricas - científicas	36
2.13.1	Análisis del estudio.....	36
2.14	Esquema metodológico	40
3	Identificación de las propiedades de los residuos orgánicos	41
3.1	Composición de los residuos domiciliarios	41
3.2	Porcentaje de humedad	42
3.3	Cálculo de la densidad de los residuos domiciliarios.....	43
3.4	Fuerza necesaria para moler los residuos orgánicos	43
3.4.1	Hueso	43
3.4.2	Comportamiento mecánico del hueso	44
3.4.3	Característica de la muestra	44
3.5	Datos del banco de pruebas.....	46
4	Análisis de demanda de los residuos orgánicos de la población urbana de Soritor-Moyobamba ...	48
5	Metodología para el diseño de la máquina moledora	63
5.1	Lista de exigencias	65
5.2	Estructura de funciones.....	66
5.2.1	Representación de la estructura de funciones	70
5.3	Matriz morfológica	71
5.4	Descripción de soluciones	72
5.4.1	Concepto de solución 1	73
5.4.2	Concepto de solución 2.....	73
5.4.3	Concepto de solución 3.....	74
5.4.4	Concepto de solución 4.....	75
5.4.5	Concepto de solución 5.....	76
5.4.6	Concepto de solución 6.....	77
5.4.7	Concepto de solución 7.....	77
5.4.8	Concepto de solución 8.....	78
5.5	Evaluación de los criterios de solución	79
6	Cálculo de los elementos de la máquina moledora	82
6.1	Parámetros principales.....	82
6.2	Cálculo para el sistema de molienda	82
6.2.1	Cálculo del diámetro de las cuchillas	82
6.2.2	Cálculo del ancho de las cuchillas	84
6.2.3	Número de revoluciones para la cuchilla.....	86
6.2.4	Cálculo del torque	87
6.3	Cálculo de la potencia del motor	88
6.3.1	Cálculo de torque del motor.....	89
6.3.2	Cálculo de la potencia de diseño del motor	89

6.4	Cálculo del número de cuchillas.....	89
6.5	Parámetros para el diseño de cuchillas.....	91
6.6	Diseño de discos separadores	92
6.6.1	Cálculo del separador.....	92
6.6.2	Parámetros para el diseño del separador	94
7	Selección de los engranajes rectos	95
7.1	Diseño de los ejes motriz y conducido.....	96
7.1.1	Calculo del eje.....	97
7.1.2	Diagrama de cuerpo libre del eje principal	97
7.1.3	Cálculo de los momentos flectores y fuerzas cortantes	98
7.1.4	Momentos resultantes máximos.....	101
7.2	Cálculo del diámetro del eje.....	101
7.2.1	Ecuación de Marín	102
7.3	Factor de concentración de esfuerzos	104
7.4	Factores de diseño (N)	105
7.5	Sistema de transmisión de potencia	108
7.6	Motorreductor	108
7.7	Cálculos para la selección del motorreductor.....	111
7.8	Selección del motorreductor tipo coaxial.....	114
7.9	Acoplamientos.....	115
7.9.1	Tipos de acoplamientos	115
7.10	Calculo y selección del acoplamiento	118
7.11	Rodamientos	124
7.11.1	Tipos de rodamientos	124
7.12	Cálculo y selección de los rodamientos A	127
7.12.1	Método de esfuerzos estáticos	128
7.12.2	Método dinámico.....	130
7.13	Datos técnicos del rodamiento seleccionado	133
7.13.1	Vida nominal básica	134
7.14	Calculo y selección de los rodamientos B.....	135
7.14.1	Método de esfuerzos estáticos	135
7.14.2	Método dinámico.....	136
7.15	Datos técnicos del rodamiento seleccionado	139
7.15.1	Vida nominal básica	140
7.16	Selección de las chumaceras.....	141
7.17	Dimensionamiento y geometría de la tolva	142
7.17.1	Cálculo de la capacidad de la tolva: capacidad en peso.....	144
7.18	Cálculo del espesor de la tolva	145
7.19	Cámara de molienda.....	148

7.20	Diseño de la chaveta	149
7.20.1	Selección de las chavetas	149
7.21	Diseño del sistema estructural.....	151
7.21.1	Carga de los componentes.....	152
7.21.2	Cálculo del sistema estructural.....	152
8	Diseño y análisis de los componentes mecánicos (por carga estática y fatiga) con software CAD y CAE.....	154
8.1	Análisis de la cuchilla de corte	154
8.2	Análisis del eje	157
8.3	Análisis estructural de la máquina.....	160
8.4	Selección de componentes para sistemas de protección	167
8.4.1	Calculo de la corriente del motor.....	167
8.4.2	Conductor	168
8.5	Interruptor temomagnético 3x80A	168
8.6	Contactador	169
8.7	Relé térmico de 220 V de 80 A	170
8.8	Pulsadores de marcha y paro	170
8.9	Pilotos de señalización	171
9	Evaluación económica.....	172
9.1	Análisis de costo.....	173
10	Conclusiones.....	177
11	Recomendaciones	178
12	Bibliografía	179
13	Anexos generales y planos	181

Lista de tablas

Tabla N°: 1 Composición de los residuos.....	21
Tabla N°: 2 Propiedades físicas de los residuos orgánicos	23
Tabla N°: 3 Propiedades químicas de los residuos orgánicos	23
Tabla N°: 4 Clasificación de los residuos	24
Tabla N°: 5 Corte en base al tipo del material	27
Tabla N°: 6 Reducción del tamaño de material	28
Tabla N°: 7 Tipos de aceros austeníticos.....	35
Tabla N°: 8 Propiedades mecánicas del acero austenítico	35
Tabla N°: 9 Esquema metodológico.....	40
Tabla N°: 10 Composición de residuos [24].....	42
Tabla N°: 11 Porcentaje de humedad [24].....	42
Tabla N°: 12 Datos de densidad, Contenido de humedad de los residuos domiciliarios [Gestión de RSU]	43
Tabla N°: 13 Especificación de los huesos	44
Tabla N°: 14 información de pruebas.....	46
Tabla N°: 15 Ensayo de prueba de los huesos de res	47
Tabla N°: 16 Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios	49
Tabla N°: 17 Composición de los Residuos sólidos domésticos	51
Tabla N°: 18 Generación per cápita de residuos sólidos comerciales	53
Tabla N°: 19 Composición de los residuos sólidos comerciales.....	54
Tabla N°: 20 Generación per cápita de residuos sólidos institucionales	56
Tabla N°: 21 Composición de los residuos sólidos institucionales	57
Tabla N°: 22 Generación per cápita de residuos sólidos del mercado	59
Tabla N°: 23 Composición de los residuos sólidos del mercado	60
Tabla N°: 24 Promedio de GPC	61
Tabla N°: 25 Proyección de la generación total de residuos orgánicos domiciliarios	62
Tabla N°: 26 Lista de exigencias.....	65
Tabla N°: 27 Caja negra de la maquina	66
Tabla N°: 28 Matriz morfológica	70
Tabla N°: 29 Leyenda	72
Tabla N°: 30 Evaluación técnica	80
Tabla N°: 31 Evaluación económica	80
Tabla N°: 32 Valores reordenados de las soluciones.....	81
Tabla N°: 33 Fricción entre los materiales	83
Tabla N°: 34 Parámetros para el diseño de cuchillas.....	92
Tabla N°: 35 parámetros para el diseño de separador.....	94
Tabla N°: 36 Cuadro de cargas.....	99
Tabla N°: 37 Propiedad mecánica del AISI 304.....	101
Tabla N°: 38 Factor de diseño para material dúctil	105
Tabla N°: 39 Características de motorreductor coaxial	109
Tabla N°: 40 características de motorreductor cónicos	109
Tabla N°: 41 características de motorreductor de ejes paralelos.....	110
Tabla N°: 42 características de motorreductor sin fin.....	110
Tabla N°: 43 Factor de servicio para carga C	111
Tabla N°: 44 Comparación de las características de motorreductor	113
Tabla N°: 45 Ficha técnica del mororreductor coaxial modelo H101/NV160	114
Tabla N°: 46 Características del acoplamiento SKF flex.....	115
Tabla N°: 47 Tipos de acoplamiento FRC.....	116
Tabla N°: 48 Características físicas de acoplamiento dentado	117

Tabla N°: 49 Características de acoplamiento grilla.....	118
Tabla N°: 50 Factor de servicio.....	119
Tabla N°: 51 Comparación de acoplamientos	121
Tabla N°: 52 Tamaño y designación del acoplamiento FRC	122
Tabla N°: 53 Características y dimensiones del acoplamiento FRC	123
Tabla N°: 54 Componentes y nomenclatura de rodamientos	126
Tabla N°: 55 Comparación de los tipos de rodamientos	128
Tabla N°: 56 Capacidad de carga estática básica.....	129
Tabla N°: 57 Factor de carga equivalente.....	131
Tabla N°: 58 Ficha técnica del rodamiento A.....	133
Tabla N°: 59 Factor de seguridad estática	136
Tabla N°: 60 Factor de carga radial equivalente.....	137
Tabla N°: 61 Ficha técnica del rodamiento B.....	139
Tabla N°: 62 Dimensiones de la tolva	142
Tabla N°: 63 Dimensiones del sistema de alimentación	149
Tabla N°: 64 Especificación de chavetas.....	150
Tabla N°: 65 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	151
Tabla N°: 66 Peso del componente de la maquina	152
Tabla N°: 67 Resultados obtenidos del análisis estático	154
Tabla N°: 68 Resultados obtenidos del análisis estático	157
Tabla N°: 69 Resultados obtenidos del análisis estático	162
Tabla N°: 70 Lista de modos frecuencia les	164
Tabla N°: 71 Participación de la masa normalizada	166
Tabla N°: 72 Selección del calibre del conductor.....	168
Tabla N°: 73 Lista de equipos de la máquina	172
Tabla N°: 74 Costo de material	172
Tabla N°: 75 Costo de manufactura	173
Tabla N°: 76 Costo de diseño.....	173
Tabla N°: 77 Costos directos.....	173
Tabla N°: 78 Costos indirectos.....	174
Tabla N°: 79 Costo de mantenimiento.....	174
Tabla N°: 80 Costo total de la máquina.....	174
Tabla N°: 81 Calculo de payback	175
Tabla N°: 82 Lista de precios de máquinas del mercado	175

Lista de figuras

Figura N°: 1 Residuos orgánicos	21
Figura N°: 2 Máquina trituradora	25
Figura N°: 3 Máquina de corte de botellas PET	26
Figura N°: 4 Corte típica de productos	27
Figura N°: 5 Tolva tronco piramidal	29
Figura N°: 6 Flujo del material en una tolva de alimentación	30
Figura N°: 7 Garganta de alimentación	30
Figura N°: 8 Cámara de molienda	31
Figura N°: 9 Elementos giratorios montados sobre el eje	32
Figura N°: 10 Cuchillas de corte	32
Figura N°: 11 Sistema de transmisión por motorreductor	33
Figura N°: 12 Clasificación de los aceros inoxidables según el contenido de cromo y níquel.....	34
Figura N°: 13 Diagrama de varios criterios de falla	38
Figura N°: 14 Muestra de residuos orgánicos domiciliarios	41
Figura N°: 15 Cargas al que se sometidas el hueso	44
Figura N°: 16 Prensa hidráulica de las pruebas	45
Figura N°: 17 Válvula de prueba.....	45
Figura N°: 18 Especificación de la carga aplicada al hueso	46
Figura N°: 19 Generación per cápita de Residuos Sólidos	61
Figura N°: 20 Estructura de funciones (detallado)	69
Figura N°: 21 Especificación de la solución 1	73
Figura N°: 22 Especificación de la solución 2.....	74
Figura N°: 23 Especificación de la solución 3.....	75
Figura N°: 24 Especificación de la solución 4.....	75
Figura N°: 25 Especificación de la solución 5.....	76
Figura N°: 26 Especificación de la solución 6.....	77
Figura N°: 27 Especificación de la solución 7.....	78
Figura N°: 28 Especificación de la solución 8.....	78
Figura N°: 29 Desgrama de evaluación según la norma VDI 2225	81
Figura N°: 30 Representación del sistema de molienda	83
Figura N°: 31 Superficie de contacto	85
Figura N°: 32 Distribución de fuerza de compresión en las cuchillas	85
Figura N°: 33 Parámetros de la cuchilla	87
Figura N°: 34 Penetración de cuchilla al hueso	91
Figura N°: 35 Discos separadores	92
Figura N°: 36 Bosquejo de cuchillas y separadores.....	95
Figura N°: 37 Esquema de engranajes.....	95
Figura N°: 38 Cargas que actúan en los engranajes	95
Figura N°: 39 Sección del eje motriz.....	96
Figura N°: 40 Bosquejo del eje	97
Figura N°: 41 D.L.C. del eje principal en el plano y-z	98
Figura N°: 42 D.C.L. del eje y diagrama de fuerzas y momentos.....	100
Figura N°: 43 Factor de modificación	102
Figura N°: 44 Factor de tamaño	103
Figura N°: 45 Factor de carga	103
Figura N°: 46 Factor de confiabilidad	104
Figura N°: 47 Chaflán agudo.....	105
Figura N°: 48 Geometría del eje.....	107
Figura N°: 49 Acoplamiento SKF flex	115

Figura N°: 50 Acoplamiento de cadena.....	116
Figura N°: 51 Acoplamiento FRC.....	116
Figura N°: 52 Acoplamiento dentado.....	117
Figura N°: 53 Acoplamiento grilla.....	118
Figura N°: 54 Rodamiento rígido de bolas.....	124
Figura N°: 55 Rodamientos de rodillos cilíndrico.....	124
Figura N°: 56 Rodamiento axial de bolas.....	125
Figura N°: 57 Rodamiento axial con rodillos cilíndricos.....	125
Figura N°: 58 Rodamiento de bolas de contacto angular.....	125
Figura N°: 59 Rodamiento de rodillo cónico.....	126
Figura N°: 60 Rodamiento de aguja.....	126
Figura N°: 61 Vida útil en los diferentes tipos de maquinas.....	127
Figura N°: 62 Chumacera brida SKF.....	141
Figura N°: 63 Chumacera serie FYJ 70 TF.....	141
Figura N°: 64 Dimensionamiento de la tolva.....	142
Figura N°: 65 Placas con bordes simplemente apoyados.....	145
Figura N°: 66 Placa con borde totalmente empotrada.....	147
Figura N°: 67 Dimensión de la chaveta.....	149
Figura N°: 68 Tensión de von Mises.....	154
Figura N°: 69 Desplazamiento.....	155
Figura N°: 70 Factor de seguridad.....	155
Figura N°: 71 Porcentaje de daño.....	156
Figura N°: 72 Vida total.....	156
Figura N°: 73 Tensión de von Mises.....	157
Figura N°: 74 Desplazamiento.....	158
Figura N°: 75 Factor de seguridad.....	158
Figura N°: 76 Porcentaje de daño.....	159
Figura N°: 77 Vida total.....	159
Figura N°: 78 Curva de fatiga de AISI 304.....	160
Figura N°: 79 D.C.L. de las cargas que actúan en la estructura base.....	161
Figura N°: 80 Reacciones resultantes.....	161
Figura N°: 81 Tensión de von Mises.....	162
Figura N°: 82 Desplazamiento.....	163
Figura N°: 83 Factor de seguridad.....	163
Figura N°: 84 Modo frecuencial 1.....	164
Figura N°: 85 Modo frecuencial 2.....	165
Figura N°: 86 Modo frecuencial 3.....	165
Figura N°: 87 Modo frecuencial 4.....	165
Figura N°: 88 Modo frecuencial 5.....	166
Figura N°: 89 Selección del interruptor temomagnético.....	169
Figura N°: 90 Selección del contactor.....	169
Figura N°: 91 Selección del relé térmico.....	170
Figura N°: 92 Pulsadores de marcha y paro.....	170
Figura N°: 93 Pilotos de señalización.....	171

RESUMEN

El presente estudio parte desde un punto de vista ecológico, uno de los grandes problemas en la actualidad es la contaminación ambiental por residuos orgánicos, la población urbana de Soritor-Moyobamba se encuentra mortificada por la gran cantidad de basura que se ha acumulado en la zona. También proliferan bacterias y traen consigo enfermedades que afectan a niños y adultos mayores del entorno. La manipulación de los residuos orgánicos por la humanidad es muy relevante para evitar el impacto ambiental que pueda ocasionar una gran contaminación que es generado por el mal manejo de estos residuos.

Por lo que Soritor-Moyobamba es una población que tiene un grave problema causado por los residuos orgánicos inadecuadamente manejados. Por esta razón, el gobierno de la municipalidad tiene como prioridad solucionar este problema que además causa múltiples riesgos de salud en la población, en particular para los niños. Si bien los residuos orgánicos generan un grave problema para el medio ambiente, tenemos que el reciclaje se presenta como una solución a tener en cuenta.

El presente proyecto propone realizar el diseño de una máquina moledora con el fin de reducir el tamaño de los residuos orgánicos para acelerar su proceso de degradación anaeróbica. Para un estudio a futuro usar esta materia orgánica molida para generar gas metano en una planta de biodigestores. La generación del metano involucra el transcurso de separación de los residuos orgánicos, al recolectar estos residuos presentan tamaños múltiples, es por ello que se formula la necesidad uniformizar el tamaño.

Palabras claves: Diseño, máquina moledora, residuos orgánicos.

ABSTRACT

The present study starts from an ecological point of view, one of the great problems at present is environmental contamination by organic waste, the urban population of Soritor-Moyobamba is mortified by the large amount of garbage that has accumulated in the area. Bacteria also proliferate and bring with them diseases that affect children and older adults in the environment. The manipulation of organic waste by humanity is very relevant to avoid the environmental impact that can cause a great pollution that is generated by the mismanagement of this waste.

So Soritor-Moyobamba is a population that has a serious problem caused by improperly managed organic waste. For this reason, the municipal government's priority is to solve this problem that also causes multiple health risks in the population, particularly for children. Although organic waste generates a serious problem for the environment, we have that recycling is presented as a solution to consider.

This project proposes to carry out the design of a grinding machine in order to reduce the size of organic waste to accelerate its anaerobic degradation process. For a future study, use this ground organic matter to generate methane gas in a biodigester plant. The generation of methane involves the course of separation of organic waste, when collecting these residues they present multiple sizes, which is why the need to standardize the size is formulated.

Keywords: Design, grinding machine, organic waste.

1 INTRODUCCIÓN

La población de Sorito-Moyobamba produce 2 687234.4 kilogramos por año de residuos orgánicos por 15,882 habitantes. La generación per cápita equivale a 0,47 kg/habitantes por día, La parte de los residuos orgánicos representan un 67.95% y está comprendido principalmente cascaras de vegetales y frutas, desechos de comidas y jardines.

El marco integral de los residuos orgánicos es aprovecharlos para generar gas metano, también compost de manera productiva y eficiente por algún medio de la reutilización o de otras formas con el fin de brindar beneficio a la población, así como también al ambiental, a la economía y a la sociedad en general, es por ello que se realizará la recolección de datos de la población de Soritor-Moyobamba para conocer la generación per cápita de los residuos orgánicos.

El proyecto plantea el diseño de una máquina moladora de residuos orgánicos para la población urbana de Soritor-Moyobamba usando la metodología de la Asociación Alemana de Ingenieros VDI 2225 (Verein Deutscher Ingenieure), y al mismo tiempo permitir una gestión sostenible de los residuos orgánicos, convirtiéndolos como recurso que sirva para la generación de biogás o compostaje. El diseño incluye el dimensionamiento de la máquina, desde la tolva, las cuchillas de corte, el eje y la cámara de molienda de los residuos, guardando la seguridad en las partes en donde exista poleas o engranajes de transmisión de potencia.

Los residuos orgánicos ingresaran a la máquina a través de la tolva que alimentará a la cámara de molienda para realizar el proceso de corte de los residuos. La molienda se realizará por un mecanismo de corte llamado cuchillas de corte, el producto molido será transportada hacia la parte inferior de la maquina o de manera directa a los depósitos de recolección de toda esta materia molido. Además, para el aprovechamiento de esta materia prima se recomendará la instalación de un biodigestor para la producción del gas metano. Finalmente, se realizará el diseño de la máquina moladora y sus partes o elementos que lo conforman con los análisis estáticos y fatiga

respectivamente después se procederá a realizar la viabilidad económica de la máquina alcanzando un costo más económico al costo de una máquina similar presentada en el mercado.

1.1 Aspectos de la problemática

En los últimos años el aumento de residuos orgánicos ha sido considerablemente, tales como; restos de comida, cascara de frutas, verduras, hortalizas, huesos, restos de follaje etc. Estos residuos son biodegradables porque tienen la propiedad de desintegrarse fácilmente y poder transformarse en otra materia orgánica. Las malas manipulaciones de estos residuos generan gran cantidad de acumulación de basura que traen consigo problemas como la proliferación de bacterias y un mal aspecto que afecta mucho al bienestar de los seres humanos y de su entorno.

1.2 Definición del problema

En la población de Soritor-Moyobamba se genera una gran cantidad per cápita de residuos orgánicos tanto en zonas públicas y residenciales, por la falta de un eficiente manejo de los residuos orgánicos es que se presentan problemas mencionados anteriormente. Es por esto, que se realizó un análisis de la generación per cápita de los residuos orgánicos a través de los datos del año 2015. Esta información me servirá para definir la capacidad de la máquina.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- ❖ Diseñar una máquina moladora de capacidad de 400 kg/h para reducir el tamaño de los residuos orgánicos en Soritor-Moyobamba.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Identificar de las propiedades de los residuos orgánicos.
- ❖ Determinar la demanda de los residuos orgánicos generados en la población urbana de Soritor-Moyobamba.

- ❖ Diseñar la máquina moladora y componentes de la cámara de molienda.
- ❖ Analizar los componentes mecánicos (por carga estática y fatiga) usando software CAD/CAE.
- ❖ Elaborar un análisis económico para la viabilidad del proyecto.

1.4 Justificación

a) Económico

El proyecto plantea a diseñar una máquina moladora que sea accesible para la municipalidad de Soritor-Moyobamba con el fin de dar beneficios al cuidado el medio ambiente.

b) Social

Reducir la acumulación de basura en la población urbana de Soritor-Moyobamba y lograr el mejoramiento de la zona y la calidad de vida de la población.

c) Ambiental

Con el diseño de la maquina moladora, se busca obtener un ambiente agradable y limpio para la población de Soritor.

d) Tecnológico

En la actualidad las máquinas de este tipo solamente pueden moler hasta 250 kg/h y la que se pretende diseñar es de 400 kg/h.

1.5 Hipótesis

A través del diseño de la máquina moladora lo que se pretende es reducir considerablemente la acumulación de basura en Soritor-Moyobamba y recomendar para un segundo estudio para aprovechar estos residuos molidos para la generación de energía.

2 Marco teórico

Se decreta una metodología para el diseño de la máquina moledora, por consiguiente, se plantean los diferentes conceptos de reciclaje, residuos orgánicos, tamaño de corte y los diferentes tipos máquinas existentes para esta actividad, todos los conceptos planteados aquí son considerados para el desarrollo del proyecto.

2.1 Metodología para el diseño

Se aplicó la metodología de diseño según la norma VDI 2225 (Verein Deutscher Ingenieure). Esta metodología sugiere un enfoque sistemático que define las técnicas, proceso de diseño y etapas de trabajo fundamentales que ayudará al diseño de la máquina moledora. [1]

2.2 Antecedentes de la investigación

Según **J. Esteban Cepeda Lascano**, en su tema de investigación Diseño y construcción de una máquina trituradora de capacidad 2,5 Kg de polietileno de baja densidad reciclada; [2] de la Universidad Técnica de Ambato del año 2016. En este trabajo de investigación menciona que en su proyecto se realizó un análisis de todos los parámetros que interviene en el triturado del polietileno de baja densidad (fundas), siendo estos: El ángulo de filo de corte de las cuchillas, velocidad del husillo, tiempo de triturado, tipo de funda a reciclarse entre las más importantes. Identificado las características que intervienen en el proceso de triturado se consideró varias alternativas de diseño, siendo la seleccionada la trituradora de cuchillas de eje vertical por la facilidad de construcción, la facilidad de mantenimiento y el tamaño que abarca la misma.

Según **C. Miller Acosta Quispe**, En su tesis Diseño de máquina rebanadora de camote con una capacidad de 450 Kg/H; [3] de la Universidad Pontificia Católica del Perú del año 2015. En su trabajo de investigación menciona que el Perú está viviendo un boom de la gastronomía y ello lo confirma la (APEGA) sociedad peruana de gastronomía peruana; indica que Lima cuenta con 30 mil restaurantes. Además, el sector de restaurantes alcanza el 3,7% de participación en el Producto

Bruto Interno. Entre los platos más característicos y populares del Perú se encuentra el chicharrón al palo, uno de los ingredientes principales del chicharrón es el camote y es justamente el corte del camote el tema a tratar en esta tesis.

Según **Luis Hidalgo Aguilera**, En su tesis Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente; [4] de la Universidad Tecnológica Equinoccial del año 2017. En este trabajo afirma que se ha diseñado una máquina automática para la obtención de hilos y cintas mediante un proceso de corte rotacional continuo. Esta máquina procesa botellas plásticas usadas como envases para almacenamiento y transporte de bebidas gaseosas y no gaseosas con capacidad de 3 litros. Es un diseño mecatrónico, compuesto por sencillos sistemas mecánicos/neumáticos, eléctricos y de control, que permite procesar hasta 50 botellas por hora. Los hilos que se obtendrá serán de 46,5 m de longitud. Estos productos son económicos ya que se obtendrá de los desechos de botellas de plástico.

Según **Jibrin M. U.**, En su trabajo Diseño y desarrollo de una máquina trituradora de residuos de cosecha; [5], menciona el aprovechamiento de los restos de cultivos. Los materiales vegetales después de cosecharlos son fuente de alimento para los animales y en cierto caso los campesinos los usan como material de construcción o combustible. Se garantiza un aumento perceptible de alimento para ganados de los residuos de cultivos especialmente de tallos y raspadores de cereales, por ello se plantea que sean triturados de tamaño aceptable para los ganados por lo que Instituto de Desarrollo de Equipos Hidráulicos, pidieron que desarrollen un equipo modesto, portátil y asequible. para triturar residuos de cultivos para ganado. Este proyecto se basa en esta solicitud, para garantizar la mejora de la agricultura en Nigeria.

Según **Luz Angelica G. V.**, Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET; [6] En la época de los 70 se desarrolló envases de PET, fue factible su fabricación masiva para envase de bebidas, por lo que ahora forman parte de un

gran problema ambiental. Según investigaciones el PET cuenta con propiedades térmicas, resistencia química y baja permeabilidad de O₂ y CO₂ de alto rendimiento y de bajo costo. Sin embargo, forman miles de desechos en los rellenos sanitarios, alcantarillados y otros lugares por lo que el PET puede ser aprovechado mediante proceso de trituración convirtiéndolos en hojuelas para luego convertirlos en uso de artículos comunes como cortinas, juguetes y alfombras. Es por ello que el artículo busca convertir la basura en algo útil mediante el diseño del prototipo para PET.

2.3 Generalidades

La razón que me lleva a realizar este proyecto es debido a la contaminación que abunda en nuestro país, por lo general se genera por falta de conciencia de la población y su ineficaz manipulación de los residuos orgánicos; por ello debemos tomar medidas drásticas a tiempo para un futuro mejor de las siguientes generaciones en un ambiente limpio, agradable y que la humanidad aprenda a valor la naturaleza.

También el motivo de mi proyecto es que la humanidad debe vivir en un ambiente agradable fuera del malestar que ocasiona la acumulación de basura en las zonas. Es por ello que planteo aprovechar estos residuos orgánicos molidos como materia prima para un uso benéfico de las personas como por ejemplo la producción de biogás o compostaje para la agricultura.

2.4 Bases teóricas

Se dará a conocer definiciones básicas de los residuos orgánicos a procesar como su manejo y separación, etapas del reciclaje, tipos de máquinas existentes y los componentes de la máquina a diseñar.

2.5 Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos provienen productos de origen animal y/o vegetal que se desintegran rápidamente, transformándose en otra materia orgánica. Son

generados de los desperdicios de origen vegetal y animal que son producidos a diario en las actividades domésticas, instituciones comerciales y de establecimiento de vía pública. El 65% de basura acumulada en los hogares son de materia orgánica entre los principales tenemos, cascara de frutas, huevos, restos de verduras, restos de café, sobras de comida, huesos de res y pescado. [7]



Figura N°: 1 Residuos orgánicos

Composición de los residuos

Cuando se habla de composición es la presentación de los residuos de acuerdo a los estudios de caracterización física entre orgánicos e inorgánicos estos se dividen en dos tipos:

Tabla N°: 1 Composición de los residuos

Fracción orgánica	Fracción inorgánica
Residuos de comida	Vidrio
Textil	Metales
Cuero	Loza
Residuos de jardín	Tierra- polvo
Madera	
Cartón	
Plástico	

Residuos no aprovechables

Los cuales no son peligros, pero ya no se pueden reintegrar como materia prima para hacer un nuevo producto dentro de este grupo encontramos: servilletas, colillas de cigarrillo, papel higiénico.

Residuos peligrosos

Aquellos que por su composición pueden causar daños a la salud o al ambiente se clasifican en: reactivos, radiactivos, corrosivos, explosivos, inflamables, infecciosos y tóxicos.

Residuos especiales

Son dados que su naturaleza, composición, tamaño volumen y peso deben ser recolectados por un servicio especial entre estos encontramos: vehículo, escombros, muebles y colchones.

2.6 Propiedades de los residuos orgánicos

Las propiedades físicas y químicas son importantes porque permiten hacer un tratamiento adecuado de los residuos orgánicos y además son un punto de partida para reusarlos, especificando la factibilidad de ser reciclados o utilizados para aprovechar su energía.

Propiedades biológicas: característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos es que sus componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos.

Biodegradabilidad se determina la biodegradabilidad de los residuos es el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción de biodegradable.

Producción de olores los olores pueden desarrollarse cuando los residuos se almacenan durante largos periodos de tiempo la degradación se produce para la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos fácilmente descomponibles.

Propiedad física: Describe la forma de separación de los subproductos que compone la basura, se recomienda para determinar las propiedades que se realizan referente al aprovechamiento de los residuos [8].

Tabla N°: 2 Propiedades físicas de los residuos orgánicos

Propiedad física	Descripción
Densidad	Es masa sobre volumen (kg/m ³) Depende: grado de compactación, contenido de humedad, composición y tamaño de partícula.
Compresibilidad	Capacidad de los materiales de deformarse bajo una carga aplicado en proceso de compactación.
Peso específico	Peso por unidad de volumen, pero afectado por la gravedad.
Tamaño de partícula	Es importante cuando se considera procesos de separación mecánica y el tiramiento biológico.
Capacidad de campo	Capacidad de agua que puede retener la muestra del residuo sometido a fuerza de gravedad.
Permeabilidad	Es la capacidad de dejar filtrar gases o lixiviados.

Propiedades químicas: sirve para especificar las alternativas que tiene para el tiramiento de los residuos, depende para el aprovechamiento de los residuos. Por ejemplo, si el reusó es para la generación de compost, las propiedades que se determinan son: humedad, potencial de hidrogeno, nitrógeno/carbono [8].

Tabla N°: 3 Propiedades químicas de los residuos orgánicos

Propiedad química	Descripción
Composición	Están formados por carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno
Estabilidad	Son poco estables debido a que se descomponen fácilmente
Estructuras	Su estructura es compleja forman al peso molecular
Enlace	Predomina enlace covalente
Punto de fusión	Bajos de 300 °C
Estabilidad calorífica	Muy poco estables son combustibles

2.7 Manejo, separación y almacenamiento

El manejo y separación de los residuos es de gran importancia y con una buena gestión serian colocados en sus respectivos contenedores de almacenamiento y también incluiría su traslado al punto de recolección para que se evite algún efecto en la salud de la población.

La separación de los componentes de residuos orgánicos y solidos facilita su manejo y almacenamiento, por lo tanto, disminuye actividades en su proceso de reciclaje, sin embargo, hoy en día la población no tiene conciencia de esta actividad. [7]

Recolección

Técnica de recolección y almacenamiento de los residuos orgánicos en un determinado lugar, esta actividad se lleva a cabo por personas encargadas de recoger la basura tanto de las zonas residenciales como también del sector público.

Clasificación

Técnica de disgregar los residuos orgánicos de los residuos sólidos, esto se realiza con la finalidad de no generar fallos en la máquina debido a que existen residuos sólidos muy fuertes que podrían quebrar las cuchillas. [Sánchez Fernández,2007]

Tabla N°: 4 Clasificación de los residuos

Por su composición química	Orgánico
	Inorgánico
Por su punto de vista económico	Reciclables
	No reciclables
Por su origen	Domiciliarias
	Mercados
	Industriales
	Comerciales
	Agrícolas
Por el riesgo	Inertes
	No inertes
	Peligrosos

Reciclaje

Es un proceso que tienes como objetivo transformar los residuos orgánicos en una nueva materia prima para ser reutilizados, con el objetivo de usarlos en la generación energética o compostaje para los campos de cultivo.

Molienda los residuos orgánicos

Es la desintegración mecánica de los residuos a través de la aplicación de fuerzas mecánicas para reducir su tamaño mediante corte, molienda, trituración o pulverización. En el estudio con la reducción del tamaño de los residuos orgánicos se pretende optimizar el tiempo de descomposición.

2.8 Tipos de máquinas

Existen muchas maquinas recicladoras de residuos orgánicos, entre los más utilizados tenemos: máquina cortadora, trituradora e impacto.

2.8.1 Máquina trituradora

Esta máquina consiste en dos cilindros que reduce el tamaño de materia hasta obtener el corte deseado, esto se logra con la molienda fina de los materiales. [JANFREX]



Figura N°: 2 Máquina trituradora

2.8.2 Máquina de corte

Permite hacer un corte continuo de los residuos orgánicos en diferentes tamaños, esto dependerá mucho del tipo de diseño de las cuchillas. Este tipo de máquina tiene dos ejes que giran en sentido contrario a la misma velocidad de rotación, esta cortadora puede ser automatizado o manualmente.

Ventajas:

Adecuada para materiales medianamente duros.

Mayor capacidad de producción

fácil instalación

Bajo costo

Desventajas:

Desgaste de cuchillas



Figura N°: 3 Máquina de corte de botellas PET [Vassourapet, 2016]

2.8.3 Máquina de impacto

Son aquellas máquinas que reducen el volumen de los residuos orgánicos por la acción de una fuerza de compresión que actúa sobre la materia a fracturar.

Ventajas:

Bajo costo de mantenimiento y compra inicial.

Trabaja por lo regular con materiales de minería.

Amplio rango de tamaño de partículas.

Desventajas:

Genera mucho calor, emisión de polvo y demasiado ruido.

Baja eficiencia de energía.

No presenta uniformidad de partículas

2.9 Definición de corte

Es un proceso que reduce el tamaño de un material sólido por un medio físico transformando en trozos mucho menores al de su tamaño real, ejemplo de esto son las máquinas de corte o molinos trituradoras.

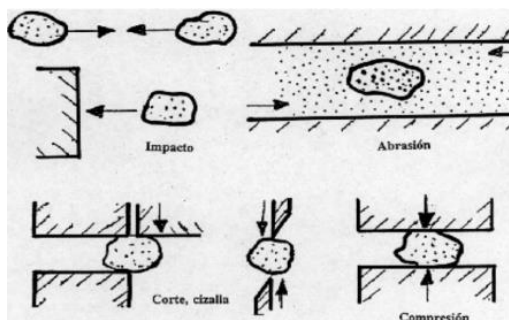


Figura N°: 4 Corte típica de productos [“Enciclopedia de Tecnología Química”, Kirk-Othmer. Editorial Uteha.]

2.9.1 Clases de corte

Esto se define según las propiedades físicas del material como su dureza, su resistencia, por lo que se emplean distintos métodos de corte o trituración.

Tabla N°: 5 Corte en base al tipo del material

Clase de material	Clase de corte
Materia duro	Presión, impacto
Materia frágil	Fractura
Materia tenaz	Corte, escisión

2.9.2 Tamaño de molienda requerida

Como no existe un tamaño definido de trituración, uno propone el tamaño de reducción al que será sometido el material. Se considera un grado de reducción a la relación del tamaño inicial del material y el tamaño final mayor del material molido.

La molienda puede ser:

Molienda gruesa que se encuentra en un rango de 1 a 3 mm del tamaño final del material. Molienda fina está en un rango menor de 1 mm del tamaño final del material [9].

Tabla N°: 6 Reducción del tamaño de material

Tipo de trituradora	Relación de reducción
Mandíbula	4:1 – 9:1
Giratorias	
Cono	3:1 – 10:1
Estándar	4:1 – 6:1
Cabeza corta	2:1 – 5:1
Rodillo	2:1 – 7:1
Impacto	
Rotor simple	15:1
Rotor doble	15:1
Molino de martillo	20:1

Los residuos orgánicos al ser materiales de poca resistencia a la ruptura, se considera opciones para el proceso de corte como: Las trituradoras giratorias y rodillo, debido a que se quiere obtener un grado de molienda fina comprendido en el rango de 1 a 3 milímetros.

2.10 Características y elección de la máquina moledora

La máquina seleccionada es la moledora de corte, ya que la tecnología de esta máquina es más económica y favorable para la reducción de materiales sólidos, poco resistentes como los residuos orgánicos, además se debe tener en cuenta:

- El corte final se define según los requisitos de la máquina.
- Fácil manejo para el operador
- El mantenimiento y la limpieza se realiza de manera económica, rápida y fácil.

2.10.1 Descripción de la máquina

La máquina moledora será diseñada bajo las normas y criterios de diseño para su buen funcionamiento, confiabilidad y brindar un servicio eficiente en sus horas de trabajo. Los residuos ingresan a través de la tolva cayendo a la cámara de molienda que tiene como principal función moler la materia, estos serán molidos a través de las cuchillas de acero inoxidable AISI-304 en un tamaño requerido accionadas por un eje que transmitirá la potencia necesaria a las cuchillas mediante los acoplamientos, los cuales convertirán dicha potencia en torque y fuerza necesaria para poder cortar los residuos orgánicos.

La materia prima cortada sale por la parte debajo de la cámara de molienda llamada abertura de descarga para su respectivo almacenamiento. Además, contará con un armazón metálico de perfil rectangular de acero galvanizado que soporta el peso de la máquina y sus componentes.

2.11 Componentes principales de la maquina

2.11.1 Tolva de alimentación

La tolva es un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinados a depósito y canalización de materiales granulados o pulverizados. Es un contenedor que sirve para introducir el material a la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante del material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difíciles de construir que las de sección rectangular [10].

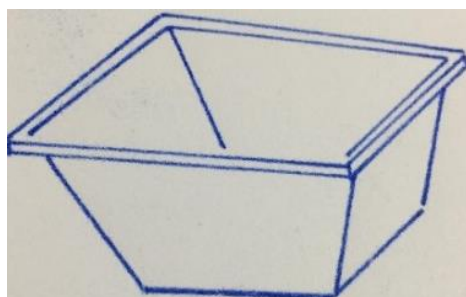


Figura N°: 5 Tolva tronco piramidal

2.11.2 Transporte de material en la tolva

El abastecimiento de la materia en la tolva, es usualmente el flujo de las partículas por gravedad; el material se desliza hacia la parte inferior de la tolva por acción de su propio peso. En otras palabras, se da un flujo en masa, en el que no hay regiones estancadas y todo el material se mueve hacia la salida, o bien flujo tipo embudo en el que el material más cercano a las paredes de la tolva queda estancado. Lógicamente el flujo en masa es preferido sobre el flujo tipo embudo [11].

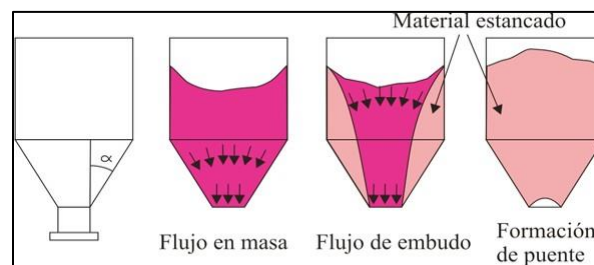


Figura N°: 6 Flujo del material en una tolva de alimentación [12]

2.11.3 Garganta de dosificación

La garganta de dosificación o alimentación está situada por encima de la caja de molienda por donde va a fluir el material a cortar. Se conecta a la caja de molienda mediante la boquilla de entrada con la tolva, su función principal es alimentar a la caja de molienda de los residuos orgánicos de manera constante. La instalación entre la tolva y la caja de molienda serán acoplados con tornillos para una fácil limpieza. Además, esta parte de la máquina debe cumplir con la máxima seguridad porque ahí se lleva el proceso de corte de la materia, para evitar cualquier fallo que podría ocasionar accidentes.

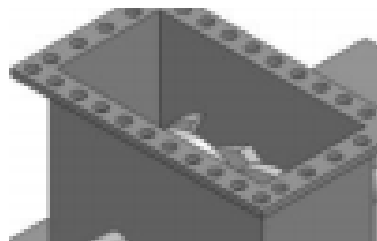


Figura N°: 7 Garganta de alimentación [13]

2.11.4 Cámara de molienda

La caja de molienda es una de las partes más importantes de la máquina moledora, en general es la parte donde se lleva a cabo el corte de los residuos orgánicos. En esta caja de molienda encontramos los principales componentes de la máquina como son las cuchillas y el eje de transmisión.



Figura N°: 8 Cámara de molienda [14]

2.11.5 Eje de transmisión

Los ejes de transmisión, o solo eje, son elementos mecánicos que transmiten movimiento y potencia a una máquina. Son parte de los sistemas mecánicos donde la potencia se transmite desde un elemento motriz, mediante un motor eléctrico o de combustión a una parte rotatoria del sistema tales como engranajes, bandas, cadenas, transportadores y bombas. [15]

Los ejes giratorios se analizarán de manera diferente a los estáticos y los cambios de geometría, cuñeros y muescas que tenga el diseño del eje serán analizadas como zonas críticas debido a que los esfuerzos se concentraran en dichas zonas. Para el diseño del eje, primero se localiza las áreas críticas, una vez localizada estas se dimensionan para cumplir los requisitos de resistencia y después se dimensiona el resto del eje para satisfacer las necesidades de los elementos soportados por éste [16].

Para diseño de la maquina el eje principal sirve como soporte de la cuchilla de corte. El eje principal tiene diferentes formas hexagonal o triangular en la posición del soporte de la cuchilla de corte y tiene una forma redonda en ambos extremos en la posición de los cojinetes principales y los engranajes del soporte. [17]

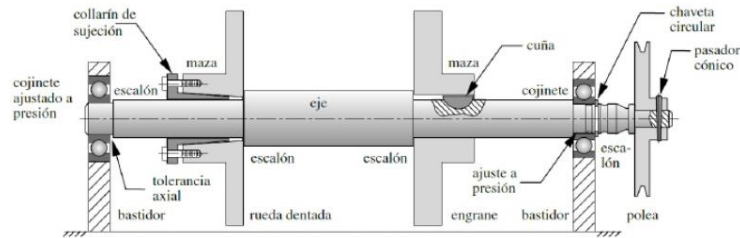


Figura N°: 9 Elementos giratorios montados sobre el eje [18]

2.11.6 Cuchillas de corte

La cuchilla de corte es una cuchilla de forma redonda con 3 filos, dado un agujero en forma de hexágono en el centro, montada en el eje principal y el eje principal se mueven juntos. Esta cuchilla se utiliza para cortar los residuos orgánicos en dirección horizontal. Las cuchillas de corte serán diseñadas con material de acero inoxidable con la especificación de una cierta cantidad de cuchillas, su espesor y el grado del ángulo de corte. [19]



Figura N°: 10 Cuchillas de corte [20]

2.11.7 Sistema de transmisión (motorreductor)

EL motorreductor viene a ser un reductor de velocidad el cual puede venir compacto al motor o de lo contrario se acoplan. Una ventaja de un motorreductor es la longitud, no usa acople y tienes menos baleros, su instalación es simple y el mantenimiento que requiere es menor, es importante evitar que el aceite del reductor no pase hacia el motor que pudiera ser dañado.

Los motorreductores están disponibles en un amplio rango de potencia y relación de reducción como en diferentes configuraciones de engranaje,

disponibles con motores de C.A. y C.D. con frenos y modificaciones especiales. [19]



Figura N°: 11 Sistema de transmisión por motorreductor [Catalogo motovario]

2.12 Acero inoxidable

Los aceros inoxidables son la aleación de hierro y carbono y contiene el 10,5% de cromo y otros elementos con los que se puede alea, principalmente níquel y molibdeno, y su principal característica es su alta resistencia a la corrosión, esto depende de una capa de óxido de cromo en la superficie del acero.

Acero inoxidable austenítico (serie 300): su uso es más común, está compuesta de 18% de cromo y 8% de níquel y se puede mejorar añadiéndole elementos como manganeso y nitrógeno. Son altamente resistentes a la corrosión y es bueno para trabajos en alta y bajas temperaturas, muy dúctiles y de excelente soldabilidad. Su aplicación más común es en los lavaderos domésticos, industria química, aeronáuticas y equipos de procesamiento de alimentos. [21]

Acero inoxidable martensítico: tiene un contenido de carbono más alto que los demás aceros del 0,1 y 1,2% y fortalecido con 18% de cromo. Los elementos que se le puede adicionar para mejorar sus propiedades son molibdeno y níquel. Tiene propiedades magnéticas, resistente a la corrosión por factores ambientales. Su aplicación más común es en fabricación de pernos, instrumentos quirúrgicos y alfiles. [21]

Acero inoxidable ferrítico (serie 400): contiene un 10,5 % de carbón y 27% de cromo. Sus propiedades más importantes son magnéticas, maleables y poco dúctil a diferencia del martensítico y austenítico y no se endurece con calor intenso. Por

su gran resistencia a la corrosión se utiliza para aguas de mar, sistemas de combustión. [21]

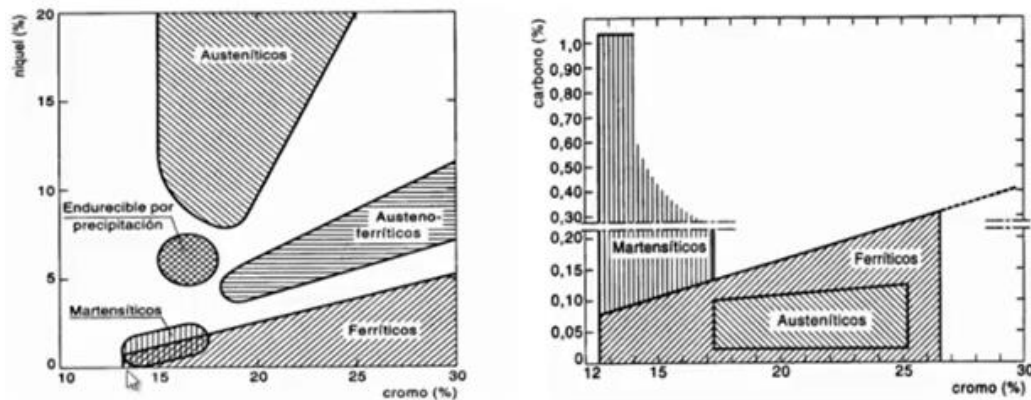
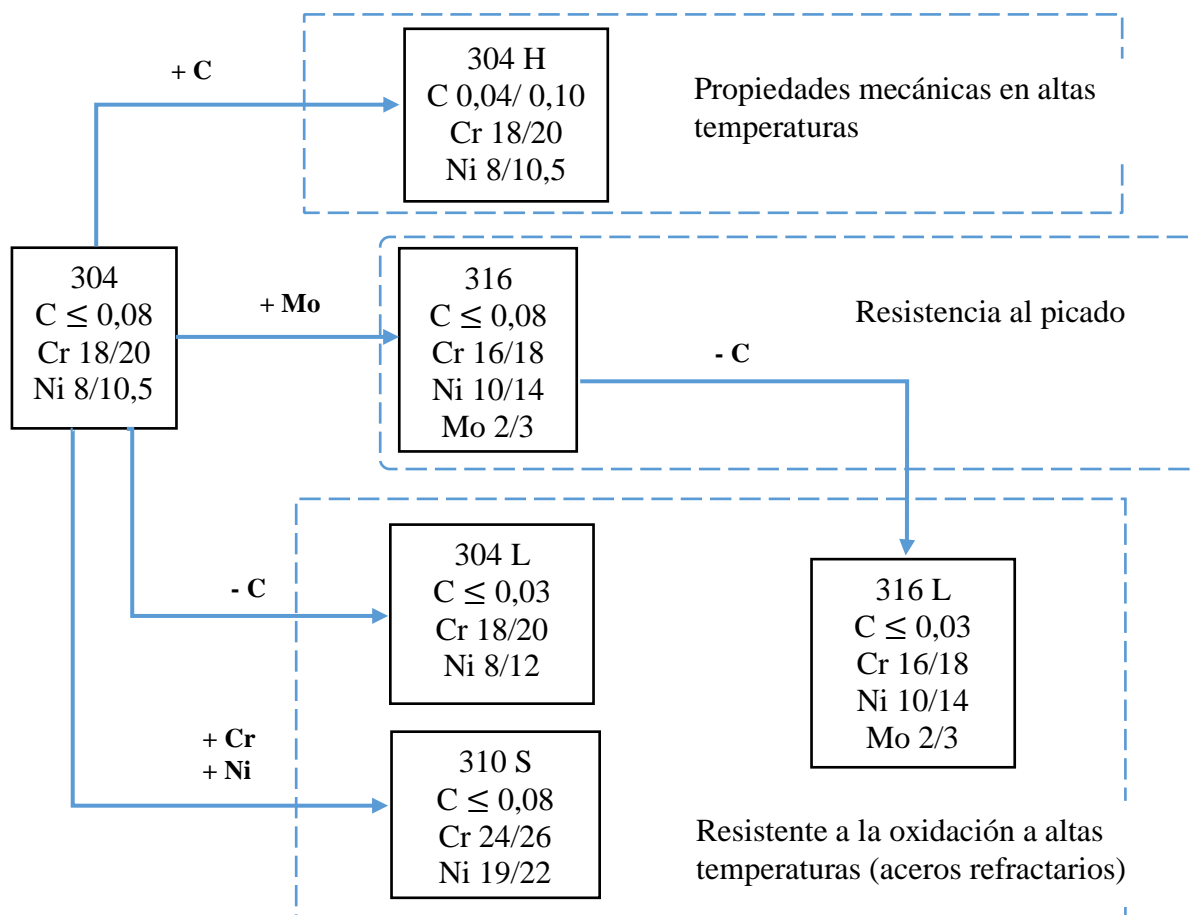


Figura N°: 12 Clasificación de los aceros inoxidable según el contenido de cromo y níquel [21]

En la primera imagen vemos en porcentaje de cromo y níquel en donde existen los diferentes tipos de aceros inoxidables. Con cromo del 12% al 30% y con un bajo porcentaje de níquel tenemos los aceros ferríticos aumentando el porcentaje de níquel tenemos los dúplex reduciendo un poco el cromo y aumentando el porcentaje de otros aleantes tenemos los endurecibles por precipitación y aumentando el porcentaje de níquel tenemos los aceros austeníticos.

En la segunda imagen se puede ver bajo qué porcentaje de cromo y carbono existen los aceros martensíticos en donde vemos que existen a mayor contenido de cromo que va aproximadamente 0,05% al 1%

Tabla N°: 7 Tipos de aceros austeníticos



Fuente: Cia. General de Aceros S.A

Propiedades mecánicas del acero austenítico

Tabla N°: 8 Propiedades mecánicas del acero austenítico

Grado	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Elongación %	Dureza brinell	Propiedad de trabajo en frío
AISI 304	585	235	40	149	Muy buena
AISI 304 L	485	170	40	183	Muy buena
AISI 316	580	290	40	217	Buena
AISI 316 L	485	170	40	217	Buena
AISI 310 S	515	205	40	217	Buena

Fuente: Cia. General de Aceros S.A

2.13 Bases teóricas - científicas

2.13.1 Análisis del estudio

Esfuerzos

Son fuerzas internas distribuidas que ofrecen resistencia al cambio de forma de un cuerpo por la acción de cierta carga.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

Donde:

F: fuerza axial, A: area de la seccion transversal

Resistencia

Es la capacidad que tiene un cuerpo para soportar la acción de una fuerza sin fracturarse.

Deformación

Es el cambio de las dimensiones o estructura de un cuerpo debido a las cargas aplicadas sobre el mismo.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (1.2)$$

Donde:

δ : coeficiente de alargamiento, L: longitud inicial

Torsión

Es la deformación de un eje debido a la acción de dos cargas paralelas en sentidos contrarios.

$$T = \frac{\tau_{max} \cdot C}{J} \quad (1.3)$$

Donde:

τ_{max} : esfuerzo cortante maximo, C: radio de la seccion trnaversal,

J: momento polar de inercia

Flexión

Se aplica una fuerza vertical, en el punto medio entre dos apoyos sobre un elemento resistente horizontal, sometiendo al cuerpo a esfuerzos de flexión. El cuerpo tiende a curvarse, a comprimirse en la parte superior y a fraccionarse en la parte inferior. [22]

Tracción

Cuando estiramos un cuerpo, aplicando dos fuerzas de igual magnitud, igual dirección y sentido opuesto, se tracciona ese objeto. Las partículas del material tienden a separarse y el objeto aumenta su longitud. [22]

Pandeo

Cuando comprimimos un objeto esbelto, se arquea y flecta. Este efecto se denomina pandeo.

Factor de seguridad

Es la relación de la carga última entre la carga admisible, se usa en el diseño de máquina para asegurarnos que no falle. Si el factor de seguridad es mayor a 1 el diseño será apropiado. Mientras mayor sea el factor de seguridad el diseño será más seguro.

$$F_s = \frac{\sigma_{ultima}}{\sigma_{admisible}} \quad (1.4)$$

Donde:

σ_{ultima} : resistencia a la fluencia, $\sigma_{admisible}$: esfuerzo admisible

Fatiga

Es un fenómeno de degradación de un material bajo cargas cíclicas el cual provoca una fisura o ruptura del material.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (1.5)$$

Donde:

k_a : factor de modificación por ma condición superficial

k_b : factor de modificación por el tamaño

k_c : factor de modificación por la carga

k_d : factor de modificación por la temperatura

k_e : factor de confiabilidad

S'_e : límite de resistencia a la fatiga

Criterios de falla por fatiga

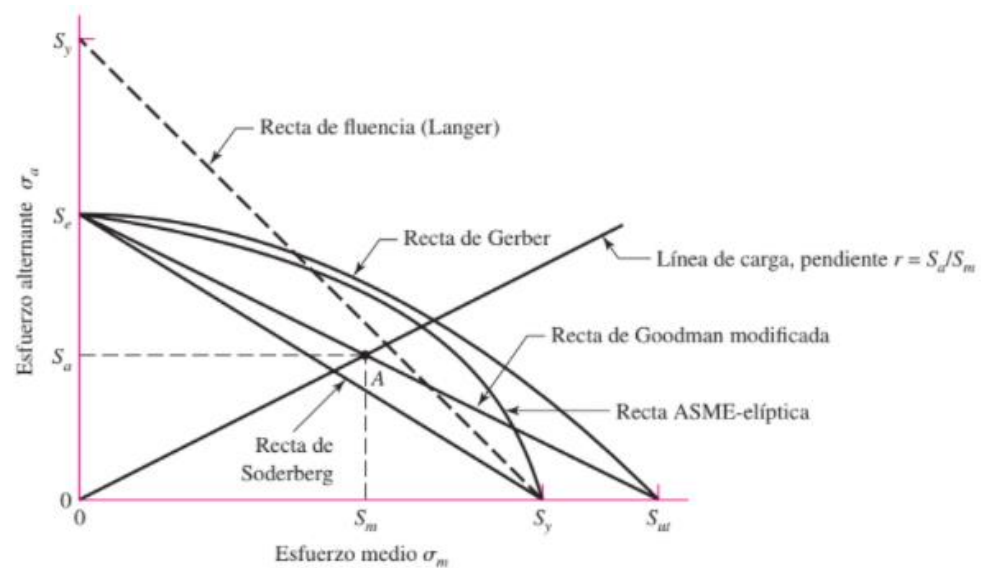


Figura N°: 13 Diagrama de varios criterios de falla

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

En la gráfica se muestra varios criterios de falla: de Goodman modificado, ASME- elíptico, Soderberg, fluencia y Gerber.

$$\text{Criterio de la recta de Soderberg} \quad \frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

$$\text{Criterio de ASME-elíptico} \quad \left(\frac{S_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_y}\right)^2 = 1$$

$$\text{Relación de Goodman modificado} \quad \frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$$

$$\text{Criterio de falla de Gerbert} \quad \frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}} \right)^2 = 1$$

$$\text{Criterio geométrico de fluencia Langer} \quad S_a + S_m = S_y$$

Los esfuerzos $n\sigma_a$ y $n\sigma_m$, se pueden reemplazar a S_a y S_m , donde n es el factor de diseño. Entonces, la ecuación de Soderberg se transforma en: [23]

$$\text{Soderberg} \quad \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\text{ASME-elíptica} \quad \left(\frac{n\sigma_a}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_y} \right)^2 = 1$$

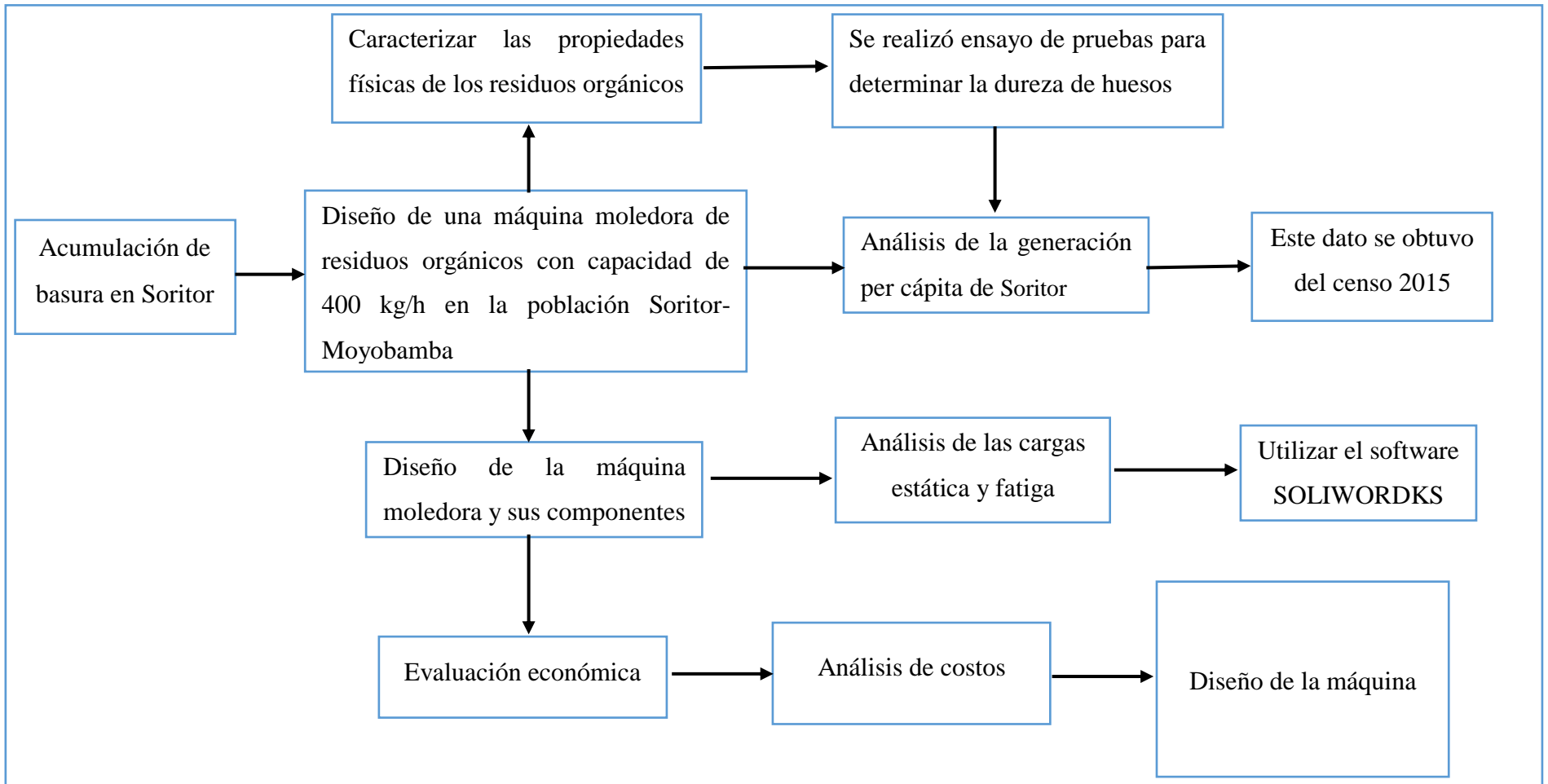
$$\text{Goodman modificado} \quad \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\text{Gerber} \quad \frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}} \right)^2 = 1$$

Se trabajará con Gerber y ASME-elíptica para criterios de falla y Langer para fluencia al primer ciclo. Sin embargo. Los diseñadores usan el criterio de Goodman modificado, por lo que se continuara incluyendo en el estudio.

2.14 Esquema metodológico

Tabla N°: 9 Esquema metodológico



3 Identificación de las propiedades de los residuos orgánicos

Se tomó la fuente de generación domiciliaria para el diagnóstico y recolección de los residuos orgánicos, el cual se realizó durante un tiempo determinado en la población urbana de Soritor-Moyobamba. Los residuos orgánicos son biodegradables y tiene la propiedad de poder desintegrarse, transformándose en otra materia orgánica, no son uniformes, generan mal olor, densidad, contenido de humedad, capacidad calorífica.

Estos parámetros nos permitirán distinguir las diferentes propiedades de los residuos orgánicos domiciliarios los cuales nos serán útiles para definir el tipo de material en el diseño de la máquina moledora.



Figura N°: 14 Muestra de residuos orgánicos domiciliarios

3.1 Composición de los residuos domiciliarios

Para el cálculo del volumen se utiliza la siguiente formula:

$$v_x = \frac{w_{1-x} (Kg)}{t} \quad (1.7)$$

Donde:

w_{1-x} : peso húmedo por residuos (Kg)

Para el cálculo del porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ Residuo}_x = \frac{w_{1-x} (Kg) * 100\%}{RSM} \quad (1.8)$$

Donde:

w_{1-x} : peso húmedo por residuo (Kg)

RSM: cantidad de residuos domiciliarios recolectados

Tabla N°: 10 Composición de residuos [24]

Composicion	Peso húmedo W1 (Kg)	Volumen (Kg/día)	Porcentaje (%)
R. O. (residuos de comida)	3	0.42	45.5
Papel	1	0.14	15.2
Plástico	0.4	0.056	6.1
Vidrio	0.2	0.027	3.0
Otros	2	0.29	30.3
Total	6.6		

3.2 Porcentaje de humedad

Cálculo del contenido de humedad con la siguiente formula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} (100) \quad (1.9)$$

Donde:

%Humedad: porcentaje de humedad (%)

w_1 : Peso de residuos húmedos antes de secado) (Kg)

w_2 : Peso de residuos secos después de 4 días de exposición al sol (Kg)

Tabla N°: 11 Porcentaje de humedad [24]

Composicion	Peso húmedo W1 (Kg)	Peso seco W2 (Kg)	Porcentaje humedad (%)
R. O. (residuos de comida)	3	2.5	17
Papel	1	0.5	50
Plástico	0.4	0.6	-50
Vidrio	0.2	0.1	50
Otros	2	1	50
Total	6.6		

3.3 Cálculo de la densidad de los residuos domiciliarios

Se usas para dimensionar el equipamiento de almacenamiento (tolva) y a su vez influye en el cálculo de las revoluciones de las cuchillas.

Tabla N°: 12 Datos de densidad, Contenido de humedad de los residuos domiciliarios [Gestión de RSU]

Tipos de residuos	Densidad (kg/m ³)	Contenido de humedad (%)	Energía (Kcal/Kg)	Solidos volátiles (SV) (%)	Contenido de lignina (CL) (%)	Fracción biodegradable (FV) (%)
Domésticos	291	70	1,111	13-15	0,4	0,82
Residuos de comida (mezclados)						
Cuero	160	10	4,167			
Residuos de jardín	101	60	1,556	50-90	4,1	0,72
Residuos de jardín domestico	59	30	1,556	50-90	4,1	0,72
Hojas (sueltas y secas)						
Hierba verde (suelta y húmeda)	237	60	1,556	50-90	4,1	0,72
Hierba verde (húmeda y compactada)	593	80	1,556	50-90	4,1	0,72
Total	1441					

3.4 Fuerza necesaria para moler los residuos orgánicos

Lo importante que se debe saber para poder realizar el diseño de la máquina es la fuerza necesaria para moler (cortar) de manera adecuada los residuos orgánicos. Para ello se realizó una serie de pruebas de los huesos de res; ya que son los residuos orgánicos de mayor resistencia, tomando como muestra las partes de osobuco y ajuga para estas pruebas se utilizó una prensa hidráulica con un manómetro que nos indica la resistencia del material.

3.4.1 Hueso

El hueso está formado por tejidos óseos lo que le proporciona rigidez y resistencia y además está constituido por un tejido conjuntivo de células. El hueso forma el esqueleto de los seres vivos por lo que tienen la capacidad de desempeñar la función de proteger los órganos del cuerpo, ya que son resistentes y sólidos, también tienen la capacidad de reconstruirse y son los encargados de producir glóbulos rojos a la que se le conoce como medula ósea. La composición

bioquímica del hueso cuenta con 35% de sustancias inorgánicas, un 45% de sustancias orgánicas y un 20% de agua. [25] .

3.4.2 Comportamiento mecánico del hueso

El comportamiento mecánico de hueso bajo una carga y momento depende mucho de sus propiedades mecánicas, su dirección y el tipo de fuerza aplicada. Las cargas y momentos que se aplican a la estructura del hueso presentan varias direcciones generando torsión, compresión, cortante, flexión y tracción.

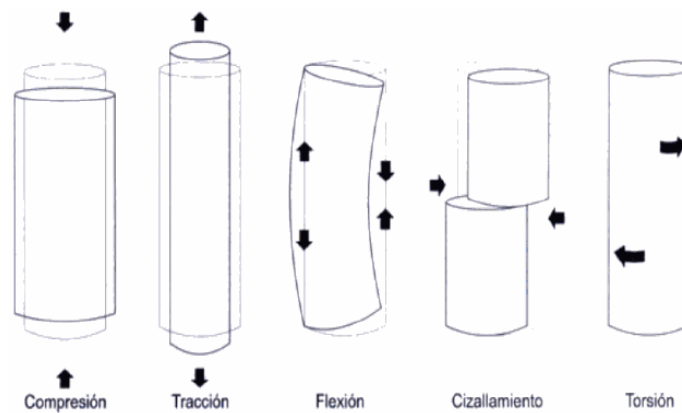


Figura N°: 15 Cargas al que se sometidas el hueso [Viladot, 2006]

3.4.3 Característica de la muestra

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones del hueso osobuco del cual se realizó las pruebas de ensayo, el hueso se sometió a fuerza de compresión en una prensa hidráulica.

Tabla N°: 13 Especificación de los huesos

Muestra	Longitud (cm)	Espesor (cm)	D _{interno} (cm)	D _{externo} (cm)
1	31	0,8	1	27
2	36	1	1,3	35
3	37	1,5	1,4	48
4	40	2	1,5	55



Figura N°: 16 Prensa hidráulica de las pruebas [Ferretería la gata]

Una de las características físicas más importantes que se debe tener en cuenta para el diseño de la máquina es conocer la resistencia que ofrece los huesos (res, pollo o pavo) a romperse, ya que es algo muy común en los residuos orgánicos. Sabiendo la resistencia de los huesos se podrá diseñar las cuchillas adecuados para su corte. De no considerar la dureza de los huesos estos podrían romper las cuchillas en el proceso de corte. Por ello se realizó las pruebas en una prensa hidráulica para saber la resistencia de los huesos de res mediante una válvula que nos proporcionó los valores en toneladas.



Figura N°: 17 Válvula de prueba [Ferretería la gata]

En la tabla N°: 14, se observa las dos pruebas realizadas de los huesos, para el compacto de los huesos se puso de manera horizontal en el plato de trabajo de la prensa y luego por el accionamiento de una manivela el pistón fue bajando aplicando la fuerza necesaria hasta triturar los huesos por completo. Los valores

de fuerza obtenidos en las pruebas fueron visualizados en el manómetro a prueba de roturas que se muestra en la misma tabla.

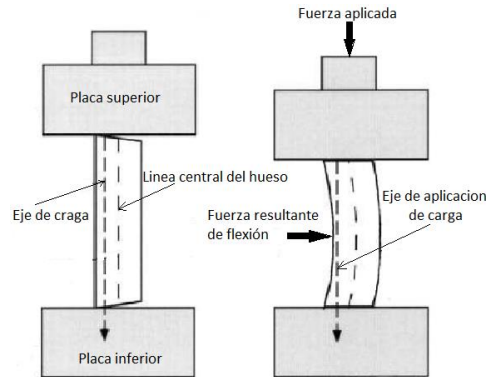


Figura N°: 18 Especificación de la carga aplicada al hueso

3.5 Datos del banco de pruebas

Como se observa en la tabla N°: 14, son las fuerzas que se necesitan para triturar completamente los huesos. Estas fuerzas obtenidas son muy indispensables ya que vienen a ser las bases con las que determinemos las dimensiones y material de los diferentes componentes o sistemas de la máquina.

Tabla N°: 14 información de pruebas

Presión máxima	P	180 Psi
Área del pistón	$A_{\text{piston}} = \frac{\pi D^2}{4}$	Con d=2.3 in $A_{\text{piston}} = 4,15 \text{ in}^2$
Fuerza de corte	$F_c = P(A)$	3322,82 N

Tabla N°: 15 Ensayo de prueba de los huesos de res

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE LOS HUESOS DE RES			
Objetivos	Determinar el esfuerzo de compresión de los huesos de res tomando partes de osobuco y ajuga.		
Descripción	Indica el comportamiento del material cuando está sometido a una carga de compresión a una velocidad constante. De este ensayo se obtiene el esfuerzo que soportan los huesos antes de llegar a su límite de fluencia.		
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> Se realiza el montaje de los mecanismos de sujeción y se coloca la probeta con los huesos dentro en el lugar indicado, asegurando que este lo más centrada posible. Se procede a bajar el elemento pistón que se encargará de hacer la compresión. Se verifica que la presión del manómetro este en cero a la hora de la prueba. Se recolecta los resultados obtenidos después de la prueba. 		
Lugar	Multiserv. "GIRON"	Fecha	10/04/2019
Equipo	Prensa Hidráulica	Marca	Hechizo
Hora Inicio	16:20 p.m.	Hora Fin	16:45 p.m.
N° de pruebas	7	Adaptación	Probeta
Normativa	UNE EN ISO 12048, UNE EN ISO 604, ASTM D 1164, Reglamento (CE) N° 1935/2004.		
PRUEBAS REALIZADAS			
Hueso aguja	Hueso osobuco	N°	Variables medidas
		1	Presión (Psi)
			95
			98
		2	100
			180

4 Análisis de demanda de los residuos orgánicos de la población urbana de Soritor-Moyobamba

Los residuos orgánicos son toda materia que proviene de la naturaleza y que ya no desempeña una utilidad específica para la humanidad, sin embargo, reutilizando estos residuos encontraríamos muchas áreas donde serían de vital importancia. La procedencia de los residuos orgánicos puede ser domiciliaria, comercios y servicio, institucionales y de mercados, y entre todos componen una cantidad muy considerable del total de los residuos orgánicos generados en Soritor-Moyobamba.

Gracias a la tecnología podemos aprovechar estos residuos para el beneficio energético o compostaje para los campos de cultivo. El clima del reciclaje de estos residuos es acogedor, el crecimiento de la demanda en Soritor-Moyobamba por parte de los consumidores me ha incentivado el desarrollo de la máquina moladora de los residuos orgánicos de consumo cotidiano.

En el 2015 en la población urbana de Soritor-Moyobamba la demanda de los residuos orgánicos global fue de 1 142 613,74 kg/año siendo el 65,14% de los residuos orgánicos generados, de acuerdo al estudio realizado.

Dentro de esta demanda tenemos la generación Per-cápita de los residuos orgánicos de las 4 fuentes de generación como domiciliarios, comerciales, institucionales y de mercado.

Tabla N°: 16 Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios

GENERACION PER CAPITA DE RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS DEL DISTRITO DE SORITOR -2015 (kg/hab/día)												
N °	CODIGO	N°hab	MES DE SETIEMBRE - OCTUBRE								PROMEDIO POR VIVIENDA	PPC (Kg)
			M - 29	M - 30	J - 01	V - 02	S - 03	D - 04	L - 05	M - 06		
			PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)		
1	V - 01	1	0,60	0,60	0,25	0,35	0,54	0,60	0,38	0,24	0,45	0,45
2	V - 02	1	0,15	0,20	0,45	0,34	0,45	0,60	0,54	0,43	0,40	0,40
3	V - 03	4	2,51	0,24	0,84	1,34	1,72	1,38	2,26	2,70	1,62	0,41
4	V - 04	2	0,89	0,67	1,10	1,50	0,90	1,10	0,45	1,30	0,99	0,49
5	V - 05	3	3,18	0,86	0,32	0,44	0,76	0,84	2,22	3,24	1,48	0,49
6	V - 06	5	1,60	2,40	2,50	2,80	1,25	2,40	2,10	2,43	2,19	0,44
7	V - 07	3	2,40	1,86	0,30	0,54	0,84	0,96	0,86	0,00	0,97	0,32
8	V - 08	6	1,38	2,44	7,34	2,44	2,78	1,82	6,77	7,22	4,02	0,67
9	V - 09	2	1,50	1,60	0,95	1,25	1,80	1,40	1,60	0,90	1,38	0,69
10	V - 10	5	0,84	1,86	0,82	2,44	4,72	2,30	2,82	2,27	2,26	0,45
11	V - 11	2	0,70	0,56	0,80	1,44	1,10	1,23	0,45	1,30	0,95	0,47
12	V - 12	4	0,96	1,44	3,40	0,74	1,74	2,44	0,88	1,21	1,60	0,40
13	V - 13	2	1,20	0,90	0,70	0,89	1,00	0,90	0,65	0,89	0,89	0,45
14	V - 14	4	2,17	2,34	0,23	5,74	0,82	2,22	1,25	1,32	2,01	0,50
15	V - 15	4	1,44	1,80	4,36	2,44	0,76	0,36	3,88	3,18	2,28	0,57
16	V - 16	4	1,60	2,50	1,24	1,80	1,24	1,22	1,88	1,17	1,58	0,40
17	V - 17	4	1,25	0,75	1,74	1,40	2,82	2,55	4,22	1,12	1,98	0,50
18	V - 18	1	0,95	0,20	0,45	0,70	0,25	0,70	0,30	0,15	0,46	0,46
19	V - 19	6	1,20	2,50	1,40	1,80	1,35	0,95	2,50	1,30	1,63	0,27
20	V - 20	4	3,34	0,74	0,86	1,78	1,86	0,24	1,74	3,21	1,72	0,43
21	V - 21	6	1,50	2,30	1,80	3,60	3,90	3,22	2,60	3,40	2,79	0,47
22	V - 22	2	1,30	0,95	0,80	1,30	0,40	0,90	0,65	0,90	0,90	0,45
23	V - 23	5	1,86	0,92	2,24	0,86	1,02	3,21	1,22	2,71	1,76	0,35
24	V - 24	3	1,22	1,08	1,83	1,24	0,72	0,68	1,32	1,61	1,21	0,40
25	V - 25	3	0,12	0,73	0,80	0,86	1,84	1,25	1,32	2,90	1,23	0,41
26	V - 26	5	1,12	1,80	1,30	1,12	0,22	1,82	2,44	2,43	1,53	0,31
27	V - 27	5	0,56	0,80	0,44	1,24	1,24	1,34	1,50	2,30	1,18	0,24
28	V - 28	4	0,27	1,22	1,98	1,50	1,82	0,56	2,22	2,25	1,48	0,37
29	V - 29	6	2,30	3,60	2,85	2,80	2,90	3,50	1,80	2,40	2,77	0,46
30	V - 30	4	1,70	1,50	2,22	2,83	1,82	1,24	3,26	1,20	1,97	0,49
31	V - 31	5	0,84	3,05	4,00	0,24	1,72	3,44	1,42	0,48	1,90	0,38
32	V - 32	4	2,44	2,35	1,96	2,45	4,44	0,84	0,86	1,44	2,10	0,52
33	V - 33	4	5,82	0,67	1,00	1,24	0,86	2,44	0,76	1,22	1,75	0,44
34	V - 34	3	1,45	0,60	1,20	0,90	0,75	1,50	1,78	1,30	1,19	0,40
35	V - 35	2	0,86	0,90	0,80	1,10	0,95	0,90	1,40	0,80	0,96	0,48
36	V - 36	3	1,50	2,30	1,72	1,82	1,89	0,27	0,80	0,24	1,32	0,44
37	V - 37	3	6,44	1,20	1,50	1,66	0,82	0,84	1,26	0,35	1,76	0,59
38	V - 38	4	2,45	3,24	3,50	2,60	1,55	6,44	4,68	1,86	3,29	0,82
39	V - 39	6	1,70	2,30	2,42	1,21	1,58	2,10	1,78	2,46	1,94	0,32
40	V - 40	4	1,26	2,24	1,31	2,44	0,85	0,72	0,86	0,47	1,27	0,32

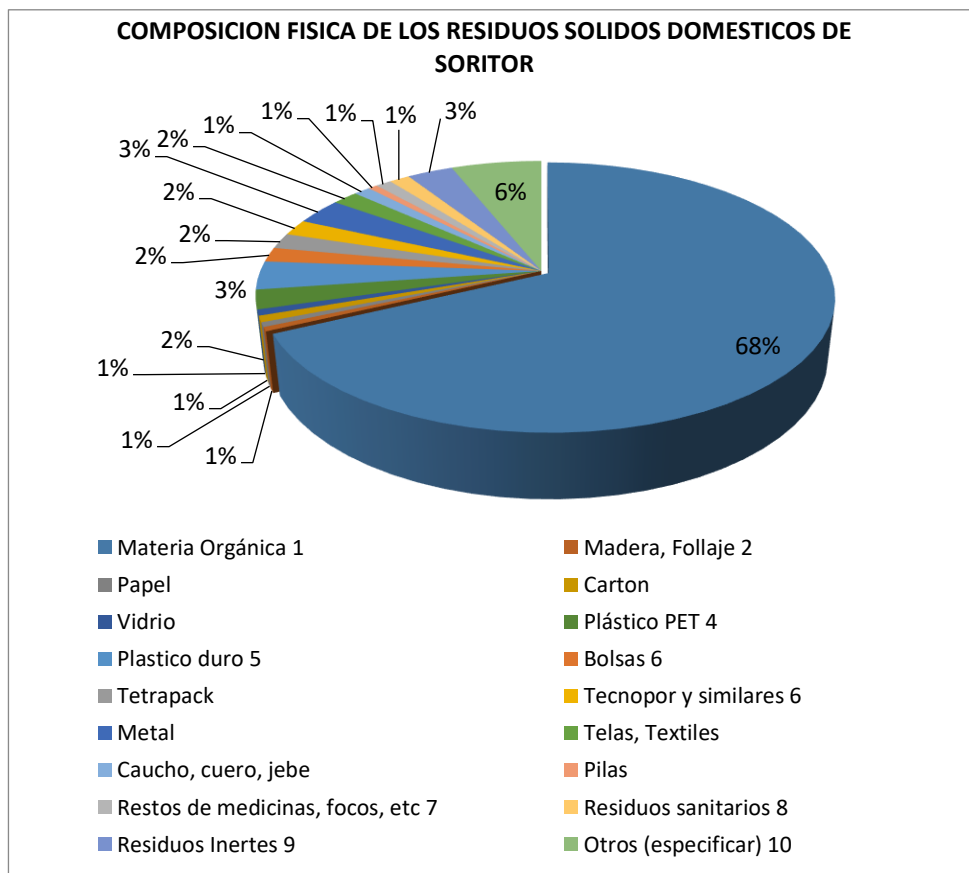
41	V - 41	8	2,60	2,90	3,80	3,26	5,30	2,90	3,40	4,20	3,55	0,44
42	V - 42	5	1,22	2,62	0,86	4,86	1,24	3,60	1,68	1,38	2,18	0,44
43	V - 43	5	1,77	3,48	1,09	3,24	1,52	1,22	2,44	1,20	2,00	0,40
44	V - 44	4	2,74	2,00	2,42	1,21	1,58	4,50	1,78	2,46	2,34	0,58
45	V - 45	2	1,20	0,98	1,30	0,78	0,90	0,35	0,95	1,00	0,93	0,47
46	V - 46	3	1,70	1,86	0,82	1,34	1,80	1,40	1,30	1,27	1,44	0,48
47	V - 47	6	0,95	2,87	4,67	1,44	3,86	1,23	3,42	3,33	2,72	0,45
48	V - 48	5	2,80	1,44	1,60	2,40	1,74	2,44	2,90	1,21	2,07	0,41
49	V - 49	4	2,45	2,83	1,80	1,24	1,82	0,86	1,76	2,51	1,91	0,48
50	V - 50	3	1,11	2,24	1,31	2,44	0,85	0,72	0,86	0,47	1,25	0,42
51	V - 51	5	0,80	0,21	0,70	3,26	0,74	1,26	1,77	0,28	1,13	0,23
52	V - 52	3	1,80	0,90	1,30	1,60	0,89	1,10	0,90	1,40	1,24	0,41
53	V - 53	5	2,80	2,75	0,34	2,24	1,86	1,69	2,87	3,50	2,26	0,45
54	V - 54	3	3,40	3,44	1,00	3,30	1,40	1,27	2,50	0,30	2,08	0,69
55	V - 55	4	2,14	1,90	1,60	2,20	1,70	1,50	2,00	2,30	1,92	0,48
56	V - 56	5	1,20	1,80	1,50	2,40	1,90	2,60	2,62	3,40	2,18	0,44
57	V - 57	6	2,50	2,40	3,40	2,10	3,40	2,40	1,80	1,50	2,44	0,41
58	V - 58	6	1,00	0,90	1,30	2,60	2,20	2,50	2,35	1,65	1,81	0,30
59	V - 59	2	1,20	1,50	0,95	0,83	0,67	0,85	1,30	0,90	1,03	0,51
60	V - 60	4	0,82	1,70	1,70	0,95	1,70	1,22	3,05	1,58	1,59	0,40
61	V - 61	3	0,80	1,60	1,40	0,88	3,40	1,02	2,35	1,70	1,64	0,55
62	V - 62	4	1,30	2,70	3,20	1,50	4,10	2,50	0,67	4,72	2,59	0,65
63	V - 63	4	2,40	4,30	2,10	2,10	0,40	1,84	0,60	3,86	2,20	0,55
64	V - 64	4	2,42	3,50	2,48	2,80	5,56	4,44	3,66	1,20	3,26	0,81
65	V - 65	4	1,18	0,50	1,33	3,84	4,22	1,22	1,84	4,23	2,30	0,57
66	V - 66	8	3,77	2,75	2,50	4,90	5,60	3,20	4,80	3,50	3,88	0,48
67	V - 67	5	1,10	2,30	2,40	1,80	1,86	3,54	2,40	7,47	2,86	0,57
68	V - 68	3	3,56	1,75	0,33	1,30	2,44	0,82	1,20	1,90	1,66	0,55
69	V - 69	3	2,12	1,80	0,98	1,50	1,30	2,20	0,80	1,10	1,48	0,49
70	V - 70	3	0,90	1,40	1,30	1,40	4,30	1,80	1,20	1,60	1,74	0,58
PROMEDIO											1,81	0,47

Fuente: INEI

Tabla N°: 17 Composición de los Residuos sólidos domésticos

REGISTRO DE LA COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS DEL DISTRITO DE SORITOR - 2015											
N °	DESCRIPCION DE LOS RESIDUOS	MES DE SETIEMBRE								TOTAL	PROM. %
		D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8		
		PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)		
1	Materia Orgánica 1	76,86	53,24	65,84	47,25	69,30	65,21	85,05	53,24	515,97	67,95
2	Madera, Follaje 2	0,32	0,50	0,09	0,44	0,50	0,44	0,57	0,95	3,81	0,50
3	Papel	0,63	0,09	0,38	0,18	0,28	0,42	1,58	0,50	4,07	0,54
4	Carton	0,57	0,50	0,28	2,08	1,01	0,50	0,28	0,57	5,80	0,76
5	Vidrio	0,25	0,38	0,25	3,15	0,28	0,44	0,25	0,38	5,39	0,71
6	Plástico PET 4	0,57	0,57	5,67	2,27	2,52	0,50	0,42	5,04	17,56	2,31
7	Plastico duro 5	0,56	0,49	6,05	7,56	0,45	2,52	4,47	3,78	25,89	3,41
8	Bolsas 6	0,57	0,41	0,50	0,63	2,52	1,89	0,57	6,17	13,26	1,75
9	Tetrapack	0,82	1,26	0,63	2,52	2,21	0,95	3,15	2,84	14,36	1,89
10	Tecnopor y similares 6	0,25	1,45	1,26	2,21	1,26	4,41	1,58	2,21	14,62	1,92
11	Metal	1,89	4,22	2,46	2,84	2,52	3,59	5,04	1,58	24,13	3,18
12	Telas, Textiles	0,63	0,16	0,50	1,51	2,84	1,26	0,22	5,99	13,11	1,73
13	Caucho, cuero, jebe	0,32	0,95	0,63	0,57	0,76	0,88	3,47	0,95	8,51	1,12
14	Pilas	0,28	0,47	0,13	0,52	0,21	0,26	0,63	2,21	4,71	0,62
15	Restos de medicinas, focos, etc 7	1,26	0,95	1,58	2,21	0,63	0,95	0,32	0,19	8,06	1,06
16	Residuos sanitarios 8	0,44	0,57	0,63	1,26	2,21	1,45	0,13	3,72	10,40	1,37
17	Residuos Inertes 9	4,41	0,19	4,41	0,35	0,50	7,56	0,38	5,67	23,47	3,09
18	Otros (especificar) 10	3,15	4,22	4,41	2,84	2,39	2,71	17,01	9,45	46,18	6,08
TOTAL		93,77	70,62	95,70	80,38	92,40	95,94	125,10	105,40	759,29	100,00

Fuente: INEI



Gráfica N°: 1 Composición física de los residuos domésticos

Fuente: INEI

Tabla N°: 18 Generación per cápita de residuos sólidos comerciales

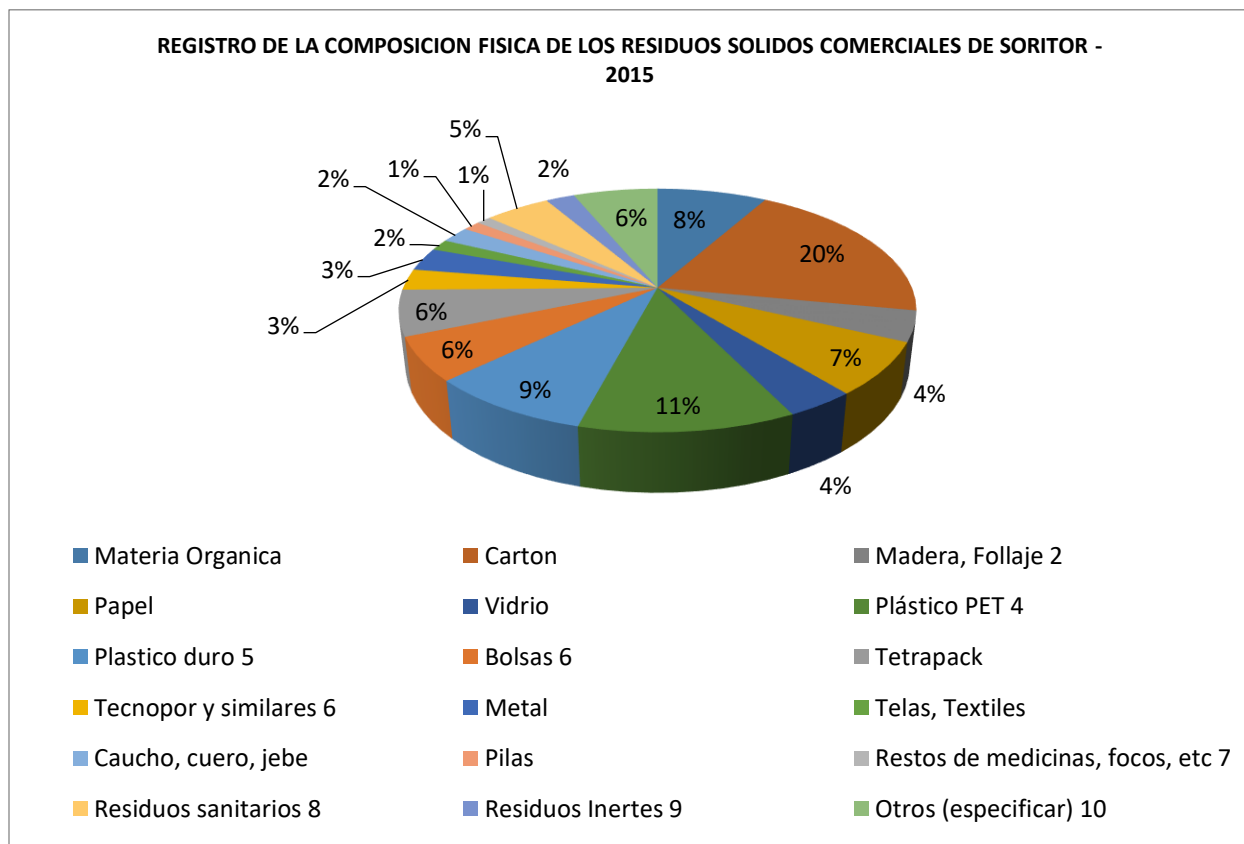
GENERACION PER CAPITA DE RESIDUOS SOLIDOS COMERCIALES DEL DISTRITO DE SORITOR -2015 (kg/local/día)											
N °	código	DENOMINAC.	MES DE SETIEMBRE-OCTUBRE								PRODUC. GPC
			D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	
			PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	
1	bodega-01	Comercio	3,60	1,76	1,48	1,76	0,74	3,86	4,58	1,06	2,36
2	bodega-02	Comercio	1,91	2,74	3,30	2,74	0,54	2,74	1,91	2,07	2,24
3	bodega-03	Comercio	2,45	0,84	0,74	0,84	1,70	3,20	2,45	0,24	1,56
4	bodega-04	Comercio	1,24	1,22	1,22	1,22	1,83	1,30	1,24	2,12	1,42
5	bodega-05	Comercio	4,26	0,86	3,24	0,86	3,40	2,50	4,26	4,85	3,03
6	bodega-06	Comercio	1,07	0,52	1,16	0,52	0,52	2,44	1,07	1,22	1,07
7	bodega-07	Comercio	2,08	1,83	2,50	1,83	2,08	0,52	2,08	0,54	1,68
8	bodega-08	Comercio	3,42	2,76	3,20	2,76	0,26	1,22	3,42	0,42	2,18
9	bodega-09	Comercio	2,46	0,74	1,44	0,74	2,75	1,86	2,46	2,18	1,83
10	bodega-10	Comercio	1,80	0,83	1,20	0,83	1,06	1,22	2,30	1,30	1,32
11	bodega-11	Comercio	2,50	1,92	1,44	1,92	1,04	0,72	1,80	2,20	1,69
12	bodega-12	Comercio	3,82	3,13	2,34	1,00	0,86	0,82	3,82	3,20	2,37
13	bodega-13	Comercio	1,90	4,60	109	2,06	2,60	1,30	3,20	2,44	2,40
14	bodega-14	Comercio	3,22	1,42	0,29	3,44	2,58	1,76	3,22	2,39	2,29
15	bodega-15	Comercio	4,25	0,84	1,42	0,84	0,98	1,24	4,25	0,00	1,73
16	bodega-16	Comercio	2,86	0,98	0,21	2,80	1,76	1,82	2,86	1,84	1,89
17	bodega-17	Comercio	3,20	1,24	0,11	0,76	0,76	1,07	0,40	0,70	1,03
18	bodega-18	Comercio	2,25	4,25	0,83	0,86	0,76	2,04	2,25	0,55	1,72
19	bodega-19	Comercio	2,86	2,77	2,14	1,24	1,22	1,86	2,86	0,54	1,94
20	bodega-20	Comercio	1,40	1,03	2,03	1,03	1,09	1,08	0,40	0,84	1,11
21	bodega-21	Comercio	2,25	3,40	0,82	3,40	1,70	0,96	2,25	0,47	1,91
22	bodega-22	Comercio	0,40	1,72	2,75	1,06	1,04	2,40	1,60	2,58	1,69
23	bodega-23	Comercio	1,09	2,06	1,36	2,06	2,40	1,44	1,09	0,84	1,54
24	bodega-24	Comercio	1,10	1,24	3,86	1,24	1,76	1,37	1,10	0,80	1,56
25	bodega-25	Comercio	1,60	1,24	1,76	1,24	0,18	1,73	0,27	2,75	1,35
26	bodega-26	Comercio	4,26	1,50	2,50	1,60	1,72	2,10	4,26	1,30	2,41
27	bodega-27	Comercio	2,86	2,78	2,81	2,78	1,86	0,95	2,86	2,80	2,46
PROMEDIO GPC										1,84	

Fuente: INEI

Tabla N°: 19 Composición de los residuos sólidos comerciales

REGISTRO DE LA COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS COMERCIALES DE SORITOR - 2015											
N°	DESCRIPCION DE RESIDUOS	MES DE SETIEMBRE-OCTUBRE								TOTAL	PROM %
		D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8		
		PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)		
1	Materia Orgánica	6,50	4,20	3,80	5,20	3,90	7,30	8,50	6,50	45,90	8,20
2	Cartón	11,70	9,60	12,40	11,30	12,80	17,40	18,70	16,90	110,80	19,79
3	Madera, Follaje 2	2,50	3,20	1,60	2,00	0,95	1,50	3,60	7,30	22,65	4,05
4	Papel	4,82	5,33	5,56	6,44	2,86	2,72	4,56	6,76	39,05	6,98
5	Vidrio	5,16	0,00	3,54	4,20	0,26	0,65	2,25	4,59	20,65	3,69
6	Plástico PET 4	10,32	5,44	6,40	8,90	8,65	3,44	10,28	10,58	64,01	11,43
7	Plástico duro 5	6,45	4,40	3,50	7,10	4,56	6,35	8,57	7,90	48,83	8,72
8	Bolsas 6	3,45	2,37	4,56	4,32	3,65	1,25	7,59	5,21	32,40	5,79
9	Tetrapack	2,79	3,79	3,78	4,32	4,32	6,34	4,58	4,12	34,04	6,08
10	Tecnopor y similares 6	1,22	0,67	2,33	2,30	1,30	1,35	3,22	3,35	15,74	2,81
11	Metal	2,02	2,64	1,32	2,01	2,36	1,35	3,22	2,32	17,24	3,08
12	Telas, Textiles	1,82	0,50	0,45	0,56	1,56	0,54	1,33	1,64	8,40	1,50
13	Caucho, cuero, jebe	0,90	2,32	1,23	0,87	0,87	0,58	4,64	0,70	12,11	2,16
14	Pilas	0,60	0,75	0,62	0,55	1,30	1,70	0,90	0,78	7,20	1,29
15	Restos de medicinas, focos, etc	0,45	0,50	0,54	1,20	1,20	0,60	0,80	0,72	6,01	1,07
16	Residuos sanitarios 8	3,20	1,80	3,45	3,40	2,36	2,34	6,34	4,53	27,42	4,90
17	Residuos Inertes 9	1,50	2,50	0,94	0,90	1,24	1,35	2,20	1,42	12,05	2,15
18	Otros (especificar) 10	3,10	2,80	4,20	6,40	1,30	9,00	3,10	5,40	35,30	6,31
TOTAL.		68,50	52,81	60,22	71,97	55,44	65,76	94,38	90,72	559,80	100,00

Fuente: INEI



Gráfica N°: 2 Composición física de los Residuos comerciales

Fuente: INEI

Tabla N°: 20 Generación per cápita de residuos sólidos institucionales

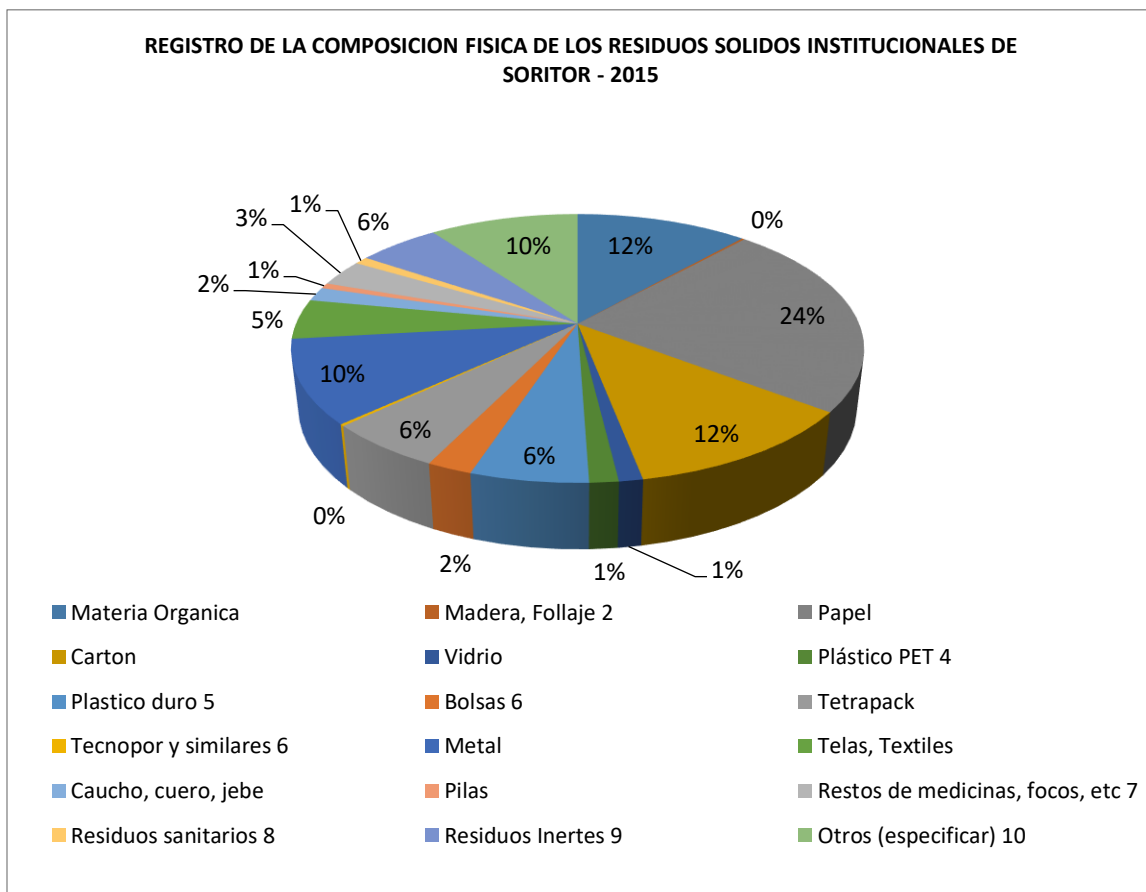
GENERACION PER CAPITA DE RESIDUOS SOLIDOS INSTITUCIONALES DE SORITOR -2015 (kg/dia)											
N °	código	INSTITUCION	MES DE SETIEMBRE - OCTUBRE								PRODUC. GPC
			D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	
			PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	
1	I - 01	I.E.N° 00500 "German Rojas Vela"	3,45	2,85	3,35	3,50	0,00	0,00	3,24	3,56	2,85
2	I - 02	I.E. N° 00499 "Alfonso Merino Silva"	4,60	3,60	7,10	4,20	0,00	0,00	5,80	4,40	4,24
3	I - 03	Policia Nacional del Peru	1,50	3,60	2,50	3,00	0,00	0,00	4,50	7,40	3,10
4	I - 04	I.E. N° 00937 "David Bocanegra Vasquez"	4,60	2,40	7,90	6,40	0,00	0,00	7,60	5,50	4,47
5	I - 05	I.E.I. N° 310	2,21	3,85	0,56	1,74	0,00	0,00	2,45	2,64	1,92
6	I - 06	I. E. ININPE	3,82	5,48	0,98	2,09	0,00	0,00	4,59	4,32	2,66
7	I - 07	I.E.I. N° 175	0,00	4,75	0,87	0,59	0,00	0,00	2,54	1,54	1,72
8	I - 08	I.E. "Alfredo Tejada Diaz"	0,00	9,23	14,78	1,32	0,00	0,00	18,54	5,21	10,51
9	I - 09	Municipalidad Distrital de Soritor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,55	3,28
10	I - 10	Poder Judicial	3,80	5,70	7,50	3,30	0,00	0,00	7,20	6,00	4,79
11	I - 11	Banco de la Nacion	6,30	4,70	3,50	5,30	3,80	0,00	3,60	0,43	3,72
12	I - 12	I.E.A "Loma Linda"	4,36	2,85	0,89	2,88	0,00	0,00	2,40	3,44	2,40
13	I - 13	CETPRO	5,26	4,72	6,88	2,66	0,00	0,00	3,85	2,40	3,68
14	I - 14	I.E.N° 00533 "Jose Galvez"	5,25	2,40	8,40	3,40	0,00	0,00	5,48	4,52	2,58
15	I - 15	Cooperativa Santo Cristo de Bagazan	3,24	1,07	1,00	2,44	0,00	0,00	4,75	2,11	2,09
16	I - 16	I.E.I. N° 199	4,25	2,77	2,40	1,59	0,00	0,00	9,23	1,42	3,09
17	I - 17	Juez de Paz	0,54	3,24	0,46	1,38	0,00	0,00	0,00	1,33	1,16
18	I - 18	I.E N° 1372903 Adventista	6,50	2,10	1,50	1,70	0,00	0,00	6,50	2,60	2,99
PROMEDIO GPC										3,40	

Fuente: INEI

Tabla N°: 21 Composición de los residuos sólidos institucionales

REGISTRO DE LA COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS INSTITUCIONALES DE SORITOR - 2015											
N °	DESCRIPCION	MES DE SETIEMBRE - OCTUBRE								TOTAL	PROM (%)
		D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8		
		PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)		
1	Materia Orgánica	3,74	10,25	5,64	7,34	0,00	0,00	9,74	10,65	47,36	11,60
2	Madera, Follaje 2	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,20	0,75	0,18
2	Papel	13,60	14,10	17,50	11,20	0,00	0,00	18,50	21,40	96,30	23,58
3	Cartón	8,50	3,80	9,35	9,56	0,00	0,00	12,60	3,50	47,31	11,59
4	Vidrio	0,40	0,15	1,00	0,90	0,00	0,00	1,20	0,98	4,63	1,13
6	Plástico PET 4	0,70	0,45	1,50	0,98	0,00	0,00	0,80	1,20	5,63	1,38
7	Plástico duro 5	0,56	0,49	6,05	7,56	0,00	0,00	4,47	3,78	22,91	5,61
8	Bolsas 6	0,57	0,41	0,50	0,63	0,00	0,00	0,57	6,17	8,85	2,17
9	Tetrapack	5,70	3,40	2,10	2,89	0,00	0,00	7,20	1,90	23,19	5,68
10	Tecnopor y similares 6	0,25	0,32	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,87	0,21
11	Metal	8,40	7,48	8,51	6,45	0,00	0,00	2,87	7,33	41,04	10,05
12	Telas, Textiles	3,43	3,21	2,32	2,54	0,00	0,00	4,85	3,23	19,58	4,80
13	Caucho, cuero, jebe	0,32	0,95	0,63	0,57	0,00	0,00	3,47	0,95	6,87	1,68
14	Pilas	0,28	0,10	0,13	0,52	0,00	0,00	0,63	1,00	2,66	0,65
15	Restos de medicinas, focos, etc 7	1,45	1,60	1,58	2,21	0,00	0,00	2,70	3,50	13,03	3,19
16	Residuos sanitarios 8	0,44	0,10	0,63	0,40	0,00	0,00	0,90	1,30	3,77	0,92
17	Residuos Inertes 9	2,40	1,80	4,60	3,90	0,00	0,00	2,20	7,60	22,50	5,51
18	Otros (especificar) 10	3,15	4,22	4,41	2,84	0,00	0,00	17,01	9,45	41,08	10,06
	TOTAL.	53,89	52,93	66,44	60,58	0,00	0,00	90,16	84,34	408,33	100,00

Fuente: INEI



Gráfica N°: 3 Composición física de los Residuos institucionales

Fuente: INEI

Tabla N°: 22 Generación per cápita de residuos sólidos del mercado

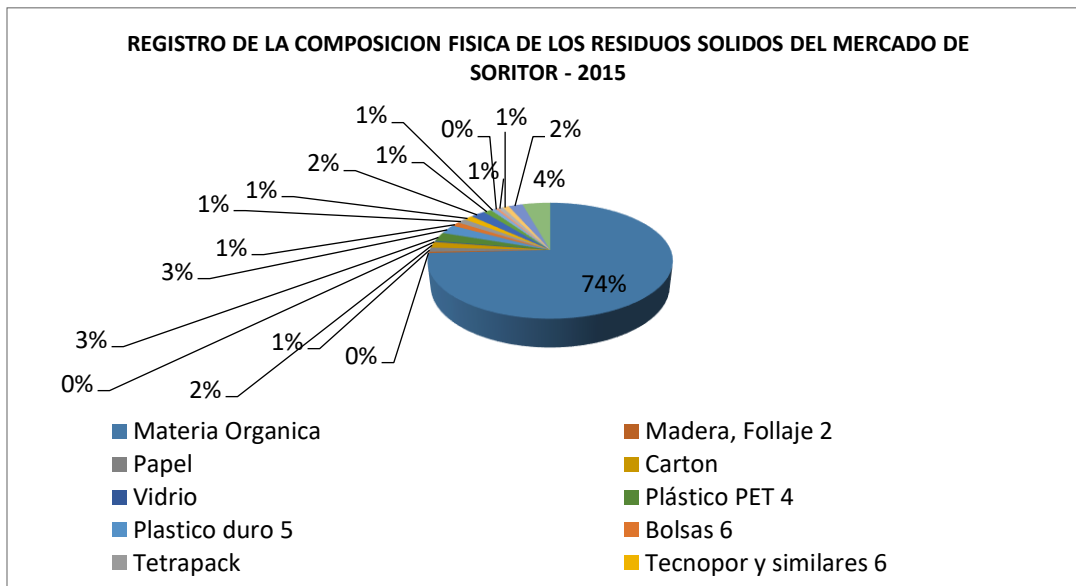
GENERACION PER CAPITA DE RESIDUOS SOLIDOS DEL MERCADO DE ABASTOS DE SORITOR -2015													
(kg/puesto/día)													
N°	código	Denominación	N°	MES DE SETIEMBRE-OCTUBRE									PRODUC. GPC
				D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8		
				PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	
1	pto-01	Establecimiento	98	7,38	3,10	2,00	1,22	2,78	2,21	4,80	1,44	3,12	
2	pto-02	Establecimiento	88	1,58	3,30	4,30	6,00	5,56	0,33	6,30	3,65	3,88	
3	pto-03	Establecimiento	86	1,67	1,70	1,74	4,22	1,76	2,47	4,26	4,86	3,09	
4	pto-04	Establecimiento	85	7,12	4,60	3,43	6,50	6,57	1,02	4,58	6,14	5,13	
5	pto-05	Establecimiento	78	0,00	2,46	1,26	3,24	1,76	4,69	5,59	3,80	2,85	
6	pto-06	Establecimiento	65	1,99	2,43	3,35	13,34	1,76	7,56	3,65	2,30	4,40	
7	pto-07	Establecimiento	76	1,97	1,82	0,87	2,10	6,27	3,86	2,60	4,83	3,04	
8	pto-08	Establecimiento	70	2,36	6,03	6,27	3,86	2,08	0,00	7,82	1,05	4,21	
9	pto-09	Establecimiento	33	2,57	3,05	2,08	3,30	1,56	2,40	7,50	0,58	2,24	
10	pto-10	Establecimiento	58	7,38	2,90	1,56	1,50	7,28	5,89	2,72	2,70	4,15	
11	pto-11	Establecimiento	34	9,83	7,75	7,28	5,89	1,40	2,50	3,60	5,30	5,78	
12	pto-12	Establecimiento	187	5,90	4,63	2,43	3,35	13,34	7,47	2,57	2,00	5,67	
13	pto-13	Establecimiento	20	5,30	6,30	1,82	6,20	1,90	8,29	7,38	1,93	4,89	
14	pto-14	Establecimiento	19	1,79	5,98	6,03	6,27	3,86	6,20	1,22	2,95	4,29	
15	pto-15	Establecimiento	48	2,65	2,14	3,05	2,08	7,40	7,82	1,52	3,86	4,29	
16	pto-16	Establecimiento	56	5,30	0,00	0,72	1,56	1,50	3,70	1,44	1,94	2,02	
17	pto-17	Establecimiento	66	2,50	4,32	7,75	5,50	5,89	3,60	2,30	2,94	4,48	
18	pto-18	Establecimiento	168	3,88	4,44	6,40	0,24	2,50	5,30	7,22	1,88	3,22	
19	pto-19	Establecimiento	162	1,20	3,92	1,12	1,22	2,19	2,57	1,52	0,60	1,49	
20	pto-20	Establecimiento	158	2,50	0,92	0,96	1,52	0,19	7,38	1,21	1,97	2,02	
21	pto-21	Establecimiento	125	2,84	3,14	1,05	1,44	4,95	9,83	5,50	1,29	3,76	
22	pto-22	Establecimiento	118	3,60	4,15	3,68	6,22	1,85	4,44	5,60	2,71	4,09	
23	pto-23	Establecimiento	126	0,81	3,14	2,04	7,22	6,09	6,72	4,80	1,44	4,03	
24	pto-24	Establecimiento	136	3,50	3,80	1,82	1,52	5,20	1,23	2,50	3,65	3,15	
25	pto-25	Establecimiento	145	2,05	2,44	4,33	1,21	3,60	5,30	4,26	4,86	3,51	
26	pto-26	Establecimiento	144	6,30	3,20	3,30	1,74	1,39	1,91	4,58	6,14	3,61	
27	pto-27	Establecimiento	148	1,19	3,44	2,01	1,52	4,56	4,60	5,59	5,30	3,62	
28	pto-28	Establecimiento	149	3,84	0,75	0,76	2,31	2,83	5,50	3,65	2,40	2,81	
PROMEDIO GPC												3,67	

Fuente: INEI

Tabla N°: 23 Composición de los residuos sólidos del mercado

REGISTRO DE LA COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL MERCADO DE SORITOR - 2015											
N °	DESCRIPCION	MES DE SETIEMBRE-OCTUBRE								TOTAL	PROM %
		D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8		
		PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)	PESO (Kg)		
1	Materia Orgánica	70,25	103,50	87,00	95,60	93,30	103,70	111,80	115,20	780,35	74,13
2	Madera, Follaje 2	0,32	0,50	0,09	0,44	0,50	0,44	0,57	0,95	3,81	0,36
2	Papel	2,33	0,51	2,24	2,86	2,44	1,10	0,84	0,20	12,52	1,19
3	Cartón	4,73	0,98	2,36	2,54	2,89	2,21	0,56	1,33	17,60	1,67
4	Vidrio	1,09	0,00	0,00	1,25	0,76	0,00	0,00	0,00	3,10	0,29
6	Plástico PET 4	2,23	3,55	5,32	3,57	1,03	5,36	4,84	1,12	27,02	2,57
7	Plastico duro 5	3,21	5,33	2,34	5,64	1,23	3,15	4,42	2,12	27,44	2,61
8	Bolsas 6	0,57	0,41	0,50	0,63	2,52	1,89	0,57	6,17	13,26	1,26
9	Tetrapack	0,82	1,26	0,63	2,52	2,21	0,95	3,15	2,84	14,36	1,36
10	Tecnopor y similares 6	0,25	1,45	1,26	2,21	1,26	4,41	1,58	2,21	14,62	1,39
11	Metal	1,89	4,22	2,46	2,84	2,52	3,59	5,04	1,58	24,13	2,29
12	Telas, Textiles	0,63	0,16	0,50	1,51	2,84	1,26	0,22	5,99	13,11	1,25
13	Caucho, cuero, jebe	0,32	0,95	0,63	0,57	0,76	0,88	3,47	0,95	8,51	0,81
14	Pilas	0,28	0,47	0,13	0,52	0,21	0,26	0,63	2,21	4,71	0,45
15	Restos de medicinas, focos, etc 7	1,26	0,95	1,58	2,21	0,63	0,95	0,32	0,19	8,06	0,77
16	Residuos sanitarios 8	0,44	0,57	0,63	1,26	2,21	1,45	0,13	3,72	10,40	0,99
17	Residuos Inertes 9	4,41	0,19	4,41	0,35	0,50	7,56	0,38	5,67	23,47	2,23
18	Otros (especificar) 10	3,15	4,22	4,41	2,84	2,39	2,71	17,01	9,45	46,18	4,39
TOTAL.		98,17	129,22	116,49	129,35	120,20	141,86	155,50	161,87	1052,65	100,00

Fuente: INEI



Gráfica N°: 4 Composición física de los Residuos Sólidos de mercado

Fuente: INEI

En la tabla N°: 24 se observa las cantidades en promedios de la generación per cápita tanto como de: domiciliarios, comerciales, institucionales y de mercado.

Tabla N°: 24 Promedio de GPC

Fuente de generación	Promedio GPC
Domiciliarios	0.47 Kg/d/hab.
Comerciales	1.88 Kg/d/comerc
Institucionales	3.40 Kg/d/insti.
Mercado	3.67 Kg/d/puesto

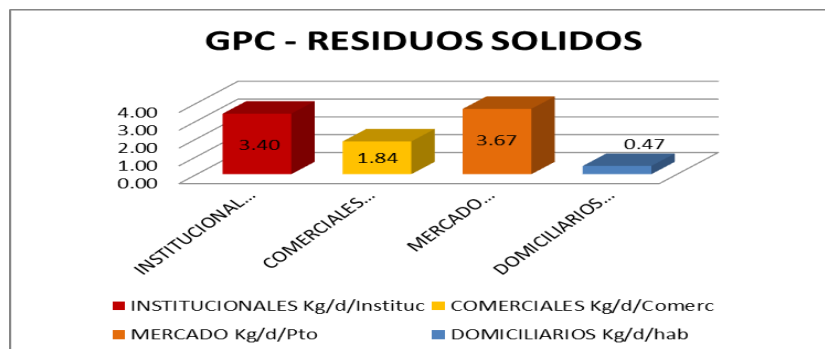


Figura N°: 19 Generación per cápita de Residuos Sólidos

Fuente: INEI

Según el censo del año 2007 la proyección de la población de Soritor de 15882 habitantes al año 2015 con una tasa de crecimiento del 2%. Como no se tiene datos exactos de los años posteriores al 2015 se realizó una proyección para los siguientes 10 años teniendo como base la GPC de los domicilios con mayor generación de residuos orgánicos.

Para calcular la proyección del crecimiento de la población y de la generación per cápita de la generación de los residuos orgánicos se usó la siguiente formula:

$$T_{\text{crecimiento}} = \frac{V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}}{V_{\text{inicial}}} \quad (1.10)$$

Tabla N°: 25 Proyección de la generación total de residuos orgánicos domiciliarios

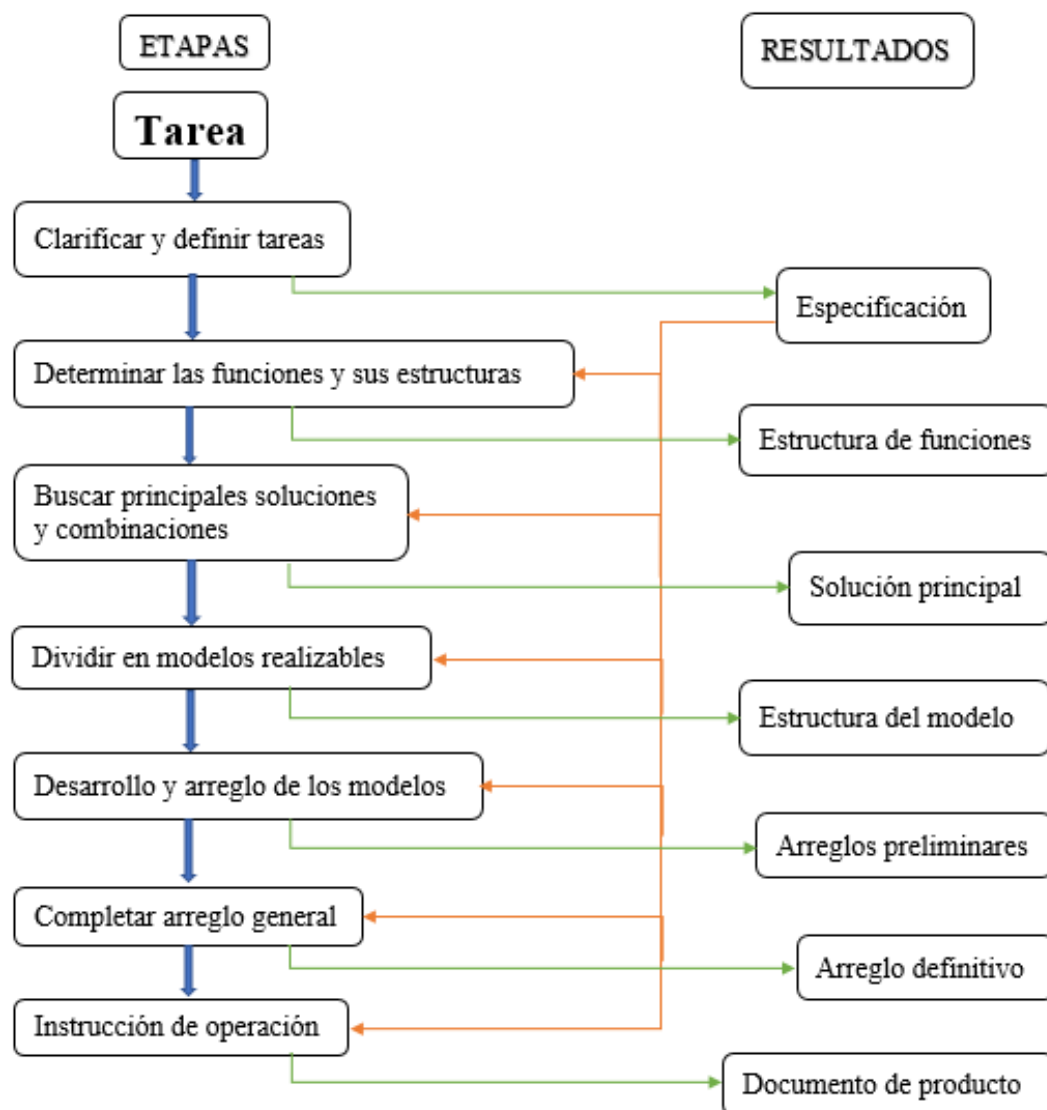
Año	Población	G.P.C. (Kg)	Kg/día	Kg/mes	Kg/año
2015	15882	0.47	7464.54	223936.2	2687234.4
2016	16199.64	0.4794	7766.10742	232983.2225	2795798.67
2017	16523.6328	0.488988	8079.85816	242395.7447	2908748.936
2018	16854.10546	0.49876776	8406.28443	252188.5328	3026262.393
2019	17191.18757	0.508743115	8745.89832	262376.9495	3148523.394
2020	17535.01132	0.518917978	9099.23261	272976.9782	3275723.739
2021	17885.71154	0.529296337	9466.84161	284005.2482	3408062.978
2022	18243.42577	0.539882264	9849.30201	295479.0602	3545748.722
2023	18608.29429	0.550679909	10247.2138	307416.4142	3688996.971
2024	18980.46017	0.561693507	10661.2012	319836.0373	3838032.448
2025	19360.06938	0.572927377	11091.9138	332757.4133	3993088.959

Con los datos de proyección calculado hasta el presente año se obtuvo 3148523,39 Kg/año de residuos orgánicos generados en los domicilios, con este dato se define la capacidad de la maquina moladora 400 Kg/h.

5 Metodología para el diseño de la máquina moledora

La ingeniería concurrente, la cual es una filosofía orientada a guiar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos, es la guía en cada una de las etapas que se han fijado en el diseño, con el fin de que se tenga en cuenta los requerimiento, piezas y funciones y todo lo que conlleve para el diseño. [26]

El diseño de la máquina moledora se realizará con la metodología de la Asociación Alemana de Ingenieros VDI 2225, el cual nos muestra la estructura de un plan de diseño correcto para el proyecto. Esta estructura de diseño VDI 2225 se basa en siete fases o etapas:



Gráfica N°: 1 Estructura de diseño VDI 2225 [27]

Especificaciones

Esta etapa contiene información importante para el desarrollo de la máquina; esta información es el resultado de la investigación de las necesidades que la máquina va a cumplir.

Estructura funcional

Consiste en establecer las funciones del producto: la función general y las subsunciones que debe cumplir el producto que se va a diseñar. Las combinaciones de dichas funciones secundarias en las estructuras forman una base para la búsqueda de soluciones para el producto.

Solución principal

Se realiza la búsqueda de las soluciones principales para todas las subsunciones. El resultado es una solución principal, que representa la mejor combinación de las características de realización preliminar para cumplir con la estructura de funciones.

Estructura modular

Proporciona una indicación preliminar de la descomposición de la solución en grupos realizables, lo nos ayuda a definir las especificaciones antes de hacer bosquejos del producto.

Diseño preliminar

Consiste en definir los diseños de los módulos principales como geometría, material y otros detalles para el diseño óptimo que será seleccionado, el resultado de esta etapa es un conjunto de diseños preliminares de los módulos principales.

Diseño definitivo

Esta etapa resulta de un diseño definitivo que contiene la información esencial para realizar la máquina.

Documento de producto

El resultado de esta etapa es un conjunto de documentos de la máquina, forma de dibujos de detalle y montaje, lista de piezas etc.

5.1 Lista de exigencias

En la lista de exigencias se describe los requisitos que el diseño debe cumplir según la norma VDI 2225. Los alcances que tendrá el proyecto debe satisfacer la función primordial de la máquina moledora que el diseñador propone.

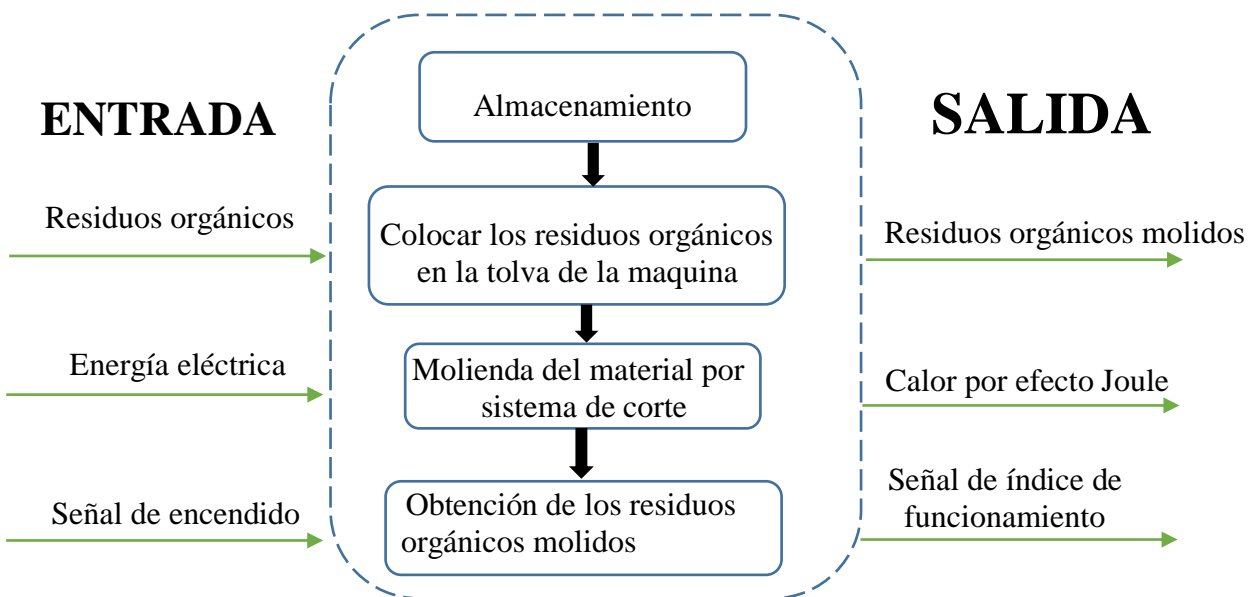
Tabla N°: 26 Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		
DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE RESIDUOS ORGÁNICOS		
N°	Exigencias	DESCRIPCIÓN
1	E	FUNCIÓN PRINCIPAL: Moler los residuos para reducir su volumen facilitando su almacenamiento.
2	E	GEOMETRIAS: Los residuos orgánicos presentan diversos tamaños no tienen geometría definida.
3	E	FUERZAS: La fuerza debe ser la necesaria para poder moler los residuos orgánicos de 400 Kg.
4	E	MATERIAL: <ul style="list-style-type: none"> ● Los residuos orgánicos entraran a la máquina moledora. ● El residuo orgánico molido saldrá de un tamaño pequeño.
5	E	CINEMÁTICA: El proceso de molienda debe estar en un tiempo moderado.
6	E	FABRICACIÓN: La construcción, ensamblaje y fabricación deben ser sencillos y se deben poder obtener los materiales en el mercado local.
7	E	SEÑALES: Se colocarán botones de encendido y apagado, pilotos para señalar el accionamiento y el pare de la máquina.
8	E	SEGURIDAD: <ul style="list-style-type: none"> ● El diseño no representara peligro para el operario, usuario y personal. ● Se colocará una tapa de seguridad al ingreso de los residuos orgánicos. ● La distancia por la que recorrerán los residuos orgánicos debe ser la suficiente para el personal no entre en contacto con las cuchillas de la caja de molienda.
9	E	ERGONOMIA: <ul style="list-style-type: none"> ● Manejo fácil que no presente incomodidades para el operario. ● El ingreso para los residuos orgánicos debe tener una altura adecuada. ● El diseño contara con las instrucciones de uso y fácil entendimiento.
10	E	MONTAJE: <ul style="list-style-type: none"> ● El montaje debe ser rápido sencillo y de fácil comprensión para los operarios, así como también presentar elementos que faciliten su traslado.
11	E	MANTENIMIENTO: <ul style="list-style-type: none"> ● El mantenimiento se podrá realizar de manera sencilla y accesible. ● En el caso de necesitar un repuesto, estos son de fácil obtención en el mercado local por lo que ya existe en mercado maquinas similares.
12	E	MEDIO AMBIENTE <ul style="list-style-type: none"> ● La máquina no debe hacer demasiado ruido ● La máquina no debe arrojar ninguna sustancia al medio ambiente

5.2 Estructura de funciones

Se define la estructura de funciones de la máquina moladora que se presenta en forma de una caja negra en donde se establece las magnitudes de entradas y salidas que debe cumplir la máquina en su funcionamiento. Luego se define secuencias y principios de máquina, procesos técnicos que el operario realizará previo y durante su funcionamiento como: preparación, ejecución, control y fase final.

Tabla N°: 27 Caja negra de la maquina



Se define el ingreso y salida de la máquina como: la materia, energía y señales

Ingreso:

- ❖ Material: Entrada de los residuos orgánicos a la máquina.
- ❖ Energía: Fuerza mecánica o humana.
- ❖ Señales: Señal visual de suministro de los residuos orgánicos a la máquina moladora.

Salida:

- ❖ Material: Nueva materia prima molidos (cortado).
- ❖ Energía: Calor, vibraciones, sonidos

- ❖ Señales: Señal visual que la máquina finalizo su trabajo.

Descripción de funciones

- ❖ Preparar: Se prepara los residuos orgánicos para alojar en la máquina moledora.
- ❖ Alimentar: Se introduce los residuos orgánicos ya preparada en la máquina.
- ❖ Moler: Se muele los residuos orgánicos desde su forma original hasta un tamaño deseado.
- ❖ Almacenar: Los nuevos residuos orgánicos molidos obtenidos se traslada por la parte debajo de la caja de molienda hasta un depósito o almacén.

Secuencia y principios de la maquina

- ❖ Encendido de la máquina moledora.
- ❖ Proporcionar la energía para el funcionamiento de la máquina.
- ❖ Alimentación a la máquina de residuos orgánicos.
- ❖ Traslado de la materia prima molida para su recolección.
- ❖ Almacenamiento de la materia prima molida.
- ❖ Apagado de la máquina al culminar su trabajo.

Proceso técnico

Preparación:

- Verificar la lubricación de la máquina moledora.
- Verificar los elementos de transmisión de potencia.
- Verificar si la maquina cuenta con las medidas de seguridad.

Ejecución:

- Encender la máquina moledora.
- Conectar la transmisión de potencia y agregar los residuos orgánicos a la máquina.
- Transmitir la fuerza o potencia motora a la cámara de molienda.
- Recolección de los residuos orgánicos molidos.
- Apagado de la máquina.

Control del operario:

- Revisar que los residuos orgánicos no se atasquen en la máquina.
- Observar que la velocidad sea la adecuada para la molienda.

- **Etapas finales**
- Salida de los residuos orgánicos molidos.
- Recolección de los residuos orgánicos molidos.
- Apagado y limpieza de la máquina moledora

En la tabla N°: 28 se muestra la estructura de funciones óptimas para el diseño de la máquina moledora y además el proceso que realiza para la molienda de los residuos orgánicos.

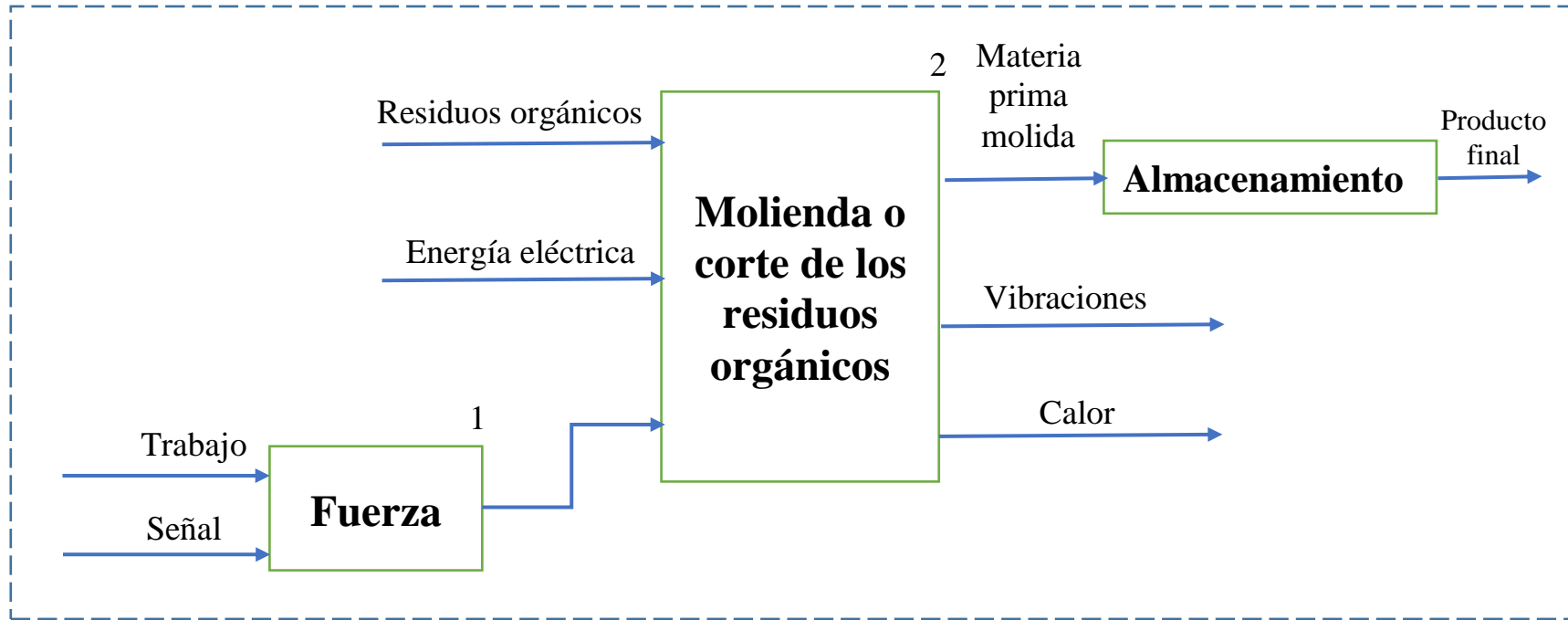


Figura N°: 20 Estructura de funciones (detallado)

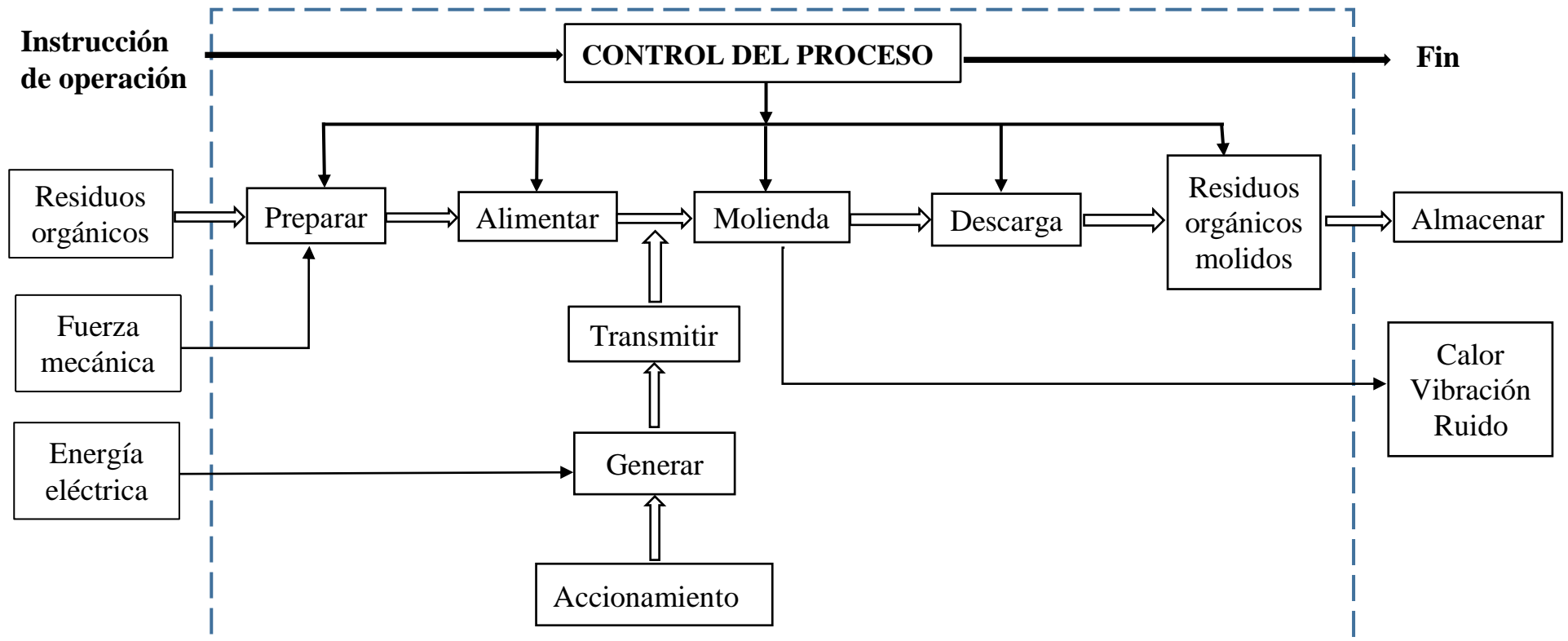
La estructura de funciones seguirá el siguiente orden:

1. Se alimentará la máquina de residuos orgánicos.
2. Traslado de los residuos orgánicos hacia el sistema o cámara de molienda.
3. En la cámara de molienda los residuos orgánicos son molidos.
4. Traslado de la nueva materia prima molida hacia su almacenamiento.
5. Almacenar los residuos orgánicos molidos.

5.2.1 Representación de la estructura de funciones


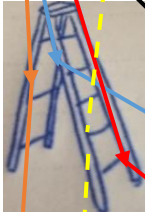
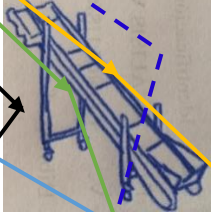
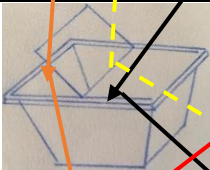
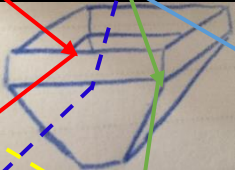
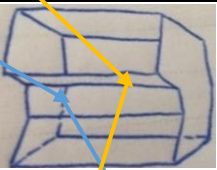
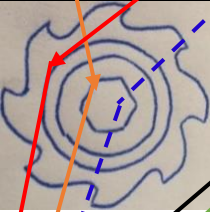
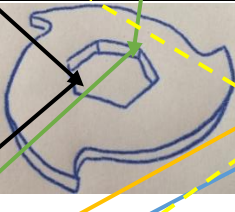
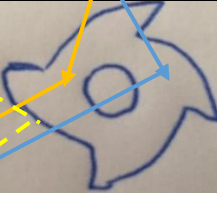
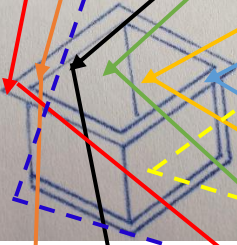
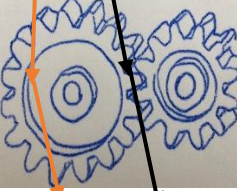
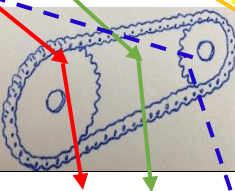
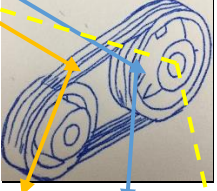
Es la visualización del proceso que sigue el sistema de molienda y la correlación entre la señal de entrada y la señal de salida, se representan por bloques debido a su versatilidad al instante de establecer las uniones.

Tabla N°: 28 Matriz morfológica



5.3 Matriz morfológica

Ya definida nuestra estructura de funciones se plantea opciones para alcanzar diversas soluciones se clasifica las funciones en la matriz morfológica de Zwicky. La forma más práctica de realiza la solución es uniendo los elementos por flechas.

INDICADOR	OPCION N°:1	OPCION N°:2	OPCION N°:3	OPCION N°:4
MATERIA PRIMA				
AGREGADO DEL MATERIAL				
ALMACENAJE				
SISTEMA DE CORTE				
CAJA DE MOLIENDA				
TRANSMISION DE POTENCIA				

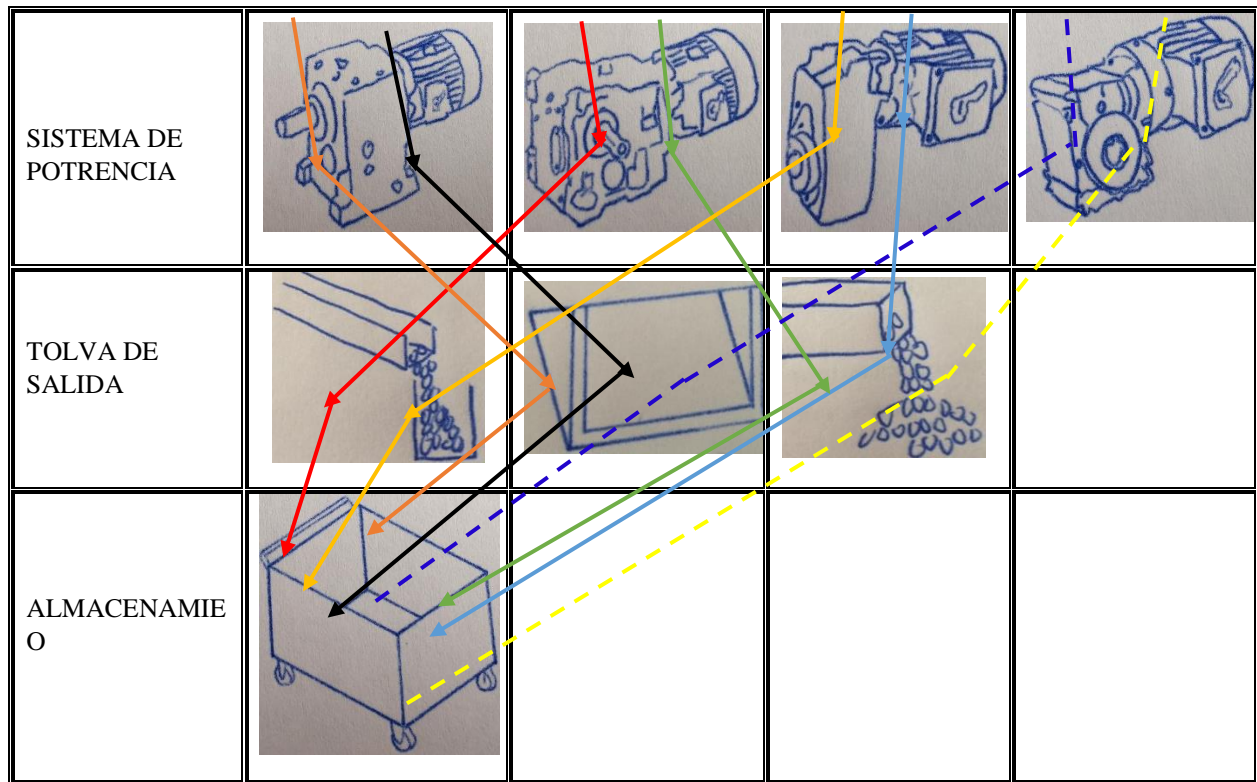


Tabla N°: 29 Leyenda

Concepto de soluciones	Tipo de línea
Solución 1	
Solución 2	
Solución 3	
Solución 4	
Solución 5	
Solución 6	
Solución 7	
Solución 8	

5.4 Descripción de soluciones

En base a la matriz morfológica, se ha determinado ocho conceptos de soluciones, los cuales se especifican a continuación, cada concepto resulta de la combinación de varios principios físicos mediante flechas de la misma forma y color.

5.4.1 Concepto de solución 1

Los residuos orgánicos serán dosificados por un operador que subirá por una escalera hacia la tolva, los residuos por acción de la gravedad debido a la geometría de la tolva ingresan a la cámara de molienda. En la zona de corte se tiene el eje de cuchillas dispuestas horizontalmente los cuales serán accionados por el motorreductor coaxial, los residuos molidos son descargados hacia afuera y caen a un deposito por resbalamiento a causa de la inclinación de la tolva inferior.

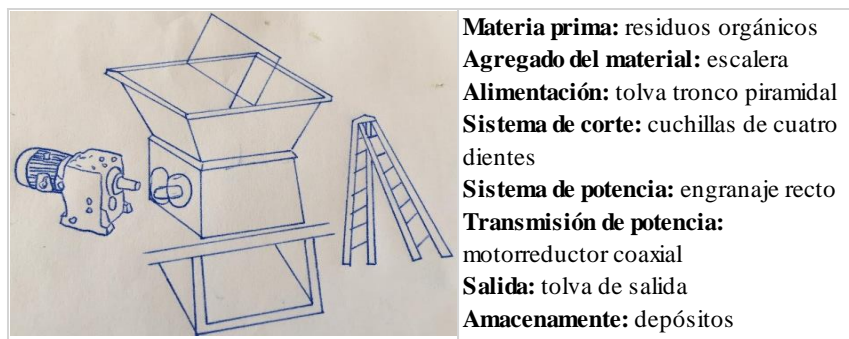


Figura N°: 21 Especificación de la solución 1

Ventajas:

- ✓ Proceso automatizable.
- ✓ Mayor rapidez de producción.
- ✓ El uso es fácil de comprender.
- ✓ Es de bajo costo.

Desventajas:

- ✓ Intervención del operario en la producción.
- ✓ La máquina ocuparía mucho espacio debido al almacenamiento de la materia molida en la misma área de la máquina.
- ✓ Genera un poco de ruido.

5.4.2 Concepto de solución 2

El operador subirá a través de una escase para alimentar la tolva con los residuos, los residuos orgánicos ingresan a la tolva rectangular y por consiguiente a la

cámara de molienda. La zona de corte cuenta con el eje de cuchillas dispuestas horizontalmente que serán accionados por el motorreductor de engranajes cónicos, los residuos molidos son descargados hacia afuera para ser depositados.

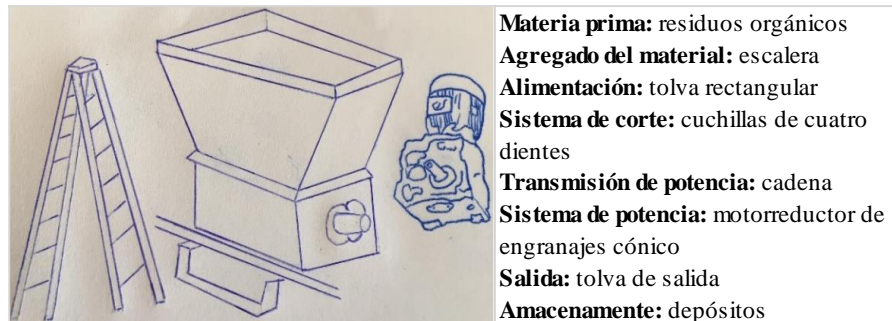


Figura N°: 22 Especificación de la solución 2

Ventajas:

- ✓ De producción rápida.
- ✓ Fácil montaje.

Desventajas:

- ✓ Se necesita mayor seguridad por las poleas.
- ✓ Un poco costoso

5.4.3 Concepto de solución 3

Por medio de una faja transportadora el operario alimentará la tolva, los residuos ingresan a la cámara de molienda que serán molidos por eje de cuchillas dispuestas horizontalmente, la potencia requerida será transmitido por un motorreductor coaxial, los residuos molidos son descargados hacia afuera y caen a un deposito a causa de la inclinación de la tolva inferior.

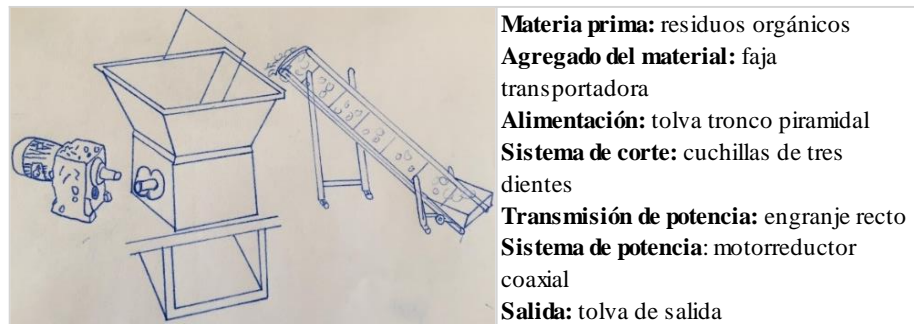


Figura N°: 23 Especificación de la solución 3

Ventajas:

- ✓ Proceso automatizable.
- ✓ No es necesaria mucha intervención humana en el proceso.
- ✓ Mayor rapidez de producción.
- ✓ Fácil manejo

Desventajas:

- ✓ El costo de los materiales es un poco alto.

5.4.4 Concepto de solución 4

El operador por medio una faja transportadora alimentara la tolva, los residuos ingresan a la cámara de molienda que serán molidos por eje de cuchillas dispuestas horizontalmente, la potencia será transmitida por un el motorreductor de engranajes cónicos, los residuos molidos son descargados a un deposito.



Figura N°: 24 Especificación de la solución 4

Ventajas:

- ✓ De fácil uso.
- ✓ No implica mucho trabajo de operario.

Desventajas:

- ✓ Mal uso de energía de la banda.
- ✓ El costo para producir esta solución es caro.
- ✓ No tiene facilidad de montaje.

5.4.5 Concepto de solución 5

A través de una escalera el operador agregará los residuos a la tolva, en la cámara de molienda los residuos serán molidos por eje de cuchillas dispuestas horizontalmente accionados por un motorreductor de ejes paralelos, los residuos molidos serán descargados por gravedad.

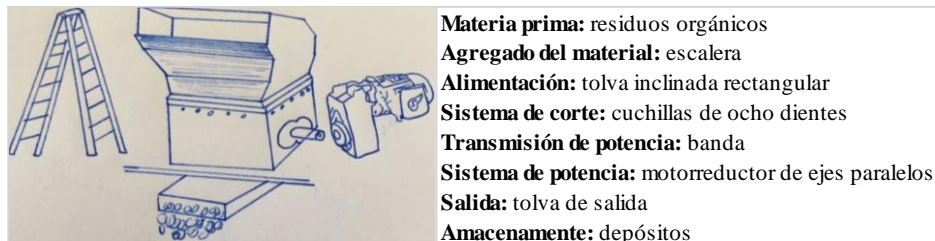


Figura N°: 25 Especificación de la solución 5

Ventajas:

- ✓ Se puede automatizar el proceso por ende se reduciría el posible riesgo al operario.
- ✓ Se lograría una mayor producción
- ✓ Facilidad de manejo

Desventajas:

- ✓ La producción es lenta.
- ✓ El costo de los materiales para la maquina es un poco alto.

5.4.6 Concepto de solución 6

El operador dosificará los residuos por una faja transportadora hacia la tolva, la molienda se realiza en la cama de molienda por medio del eje de cuchillas dispuestas horizontalmente accionados por un motorreductor de ejes paralelos, los residuos molidos serán descargados por gravedad hacia un deposito.

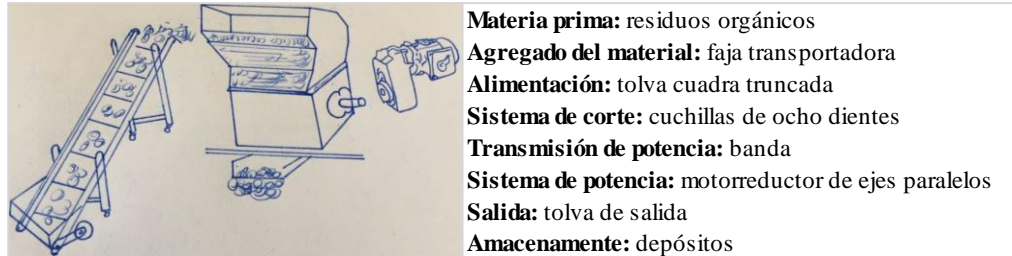


Figura N°: 26 Especificación de la solución 6

Ventajas:

- ✓ Es facilidad de manejo
- ✓ La producción es rápida.

Desventajas:

- ✓ Es relativamente caro algunos elementos de la máquina.
- ✓ El operario tiene que estar revisando el proceso.
- ✓ El mantenimiento es poco complicado por la forma de la tolva.

5.4.7 Concepto de solución 7

El operador por medio de una escalera agregará los residuos a la tolva, en la cámara de molienda los residuos serán molidos por medio del eje de cuchillas dispuestas horizontalmente accionados por un motorreductor sin fin, los residuos molidos serán descargados por gravedad.

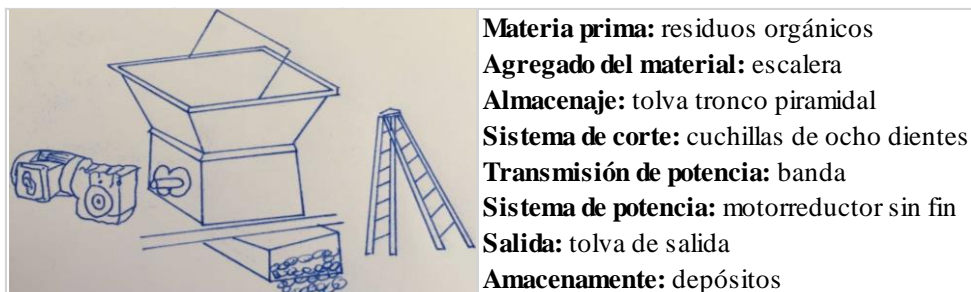


Figura N°: 27 Especificación de la solución 7

Ventajas:

- ✓ La máquina es de fácil montaje.
- ✓ Es fácil de usar

Desventajas:

- ✓ La producción es lenta.
- ✓ Daria mal aspecto el almacenamiento de la materia molida.

5.4.8 Concepto de solución 8

Por medio de una faja transportadora el operador agregará los residuos a la tolva, al ingresar a la cámara de molienda los residuos serán molidos por medio del eje de cuchillas dispuestas horizontalmente accionados por un motorreductor sin fin, los residuos molidos serán descargados por la tolva de salida para su almacenamiento respectivo.



Figura N°: 28 Especificación de la solución 8

Ventajas:

- ✓ Es fácil de usar
- ✓ Se puede automatizar
- ✓ Rápida producción

Desventajas:

- ✓ El montaje es difícil
- ✓ Esta solución es relativamente de alto costo.

Una vez ejecutada las descripciones de las cuatro soluciones se realiza las siguientes evaluaciones tanto técnicas y económicas para seleccionar cual es la solución viable para realizar el diseño de la maquina moledora.

5.5 Evaluación de los criterios de solución

Los puntajes para la evaluación técnica se califican de acuerdo a los siguientes criterios.

Criterio de evaluación	
0	No satisface
1	Aceotable a las justas
2	Suficiente
3	Bien
4	Muy bien (solucion ideal)

Peso relativo: se da en función a la importancia de los criterios de evaluación según el criterio VDI 2225.

Tabla N°: 30 Evaluación técnica

Evaluación técnica																				
Criterios		Peso Relativo	Alternativas de las soluciones																	
			S1	Subtotal	S2	Subtotal	S3	Subtotal	S4	Subtotal	S5	Subtotal	S6	Subtotal	S7	Subtotal	S8	Subtotal	Ideal	Subtotal
1	Estabilidad	3	3	9	3	9	3	9	4	12	3	9	4	12	3	9	3	9	4	12
2	Confiabilidad	4	4	16	4	16	3	12	4	16	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16
3	Facilidad de manejo	2	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
4	Buen uso de fuerza	3	2	6	3	9	3	9	3	9	2	6	3	9	3	9	3	9	4	12
5	Costo de tecnología	3	4	12	3	9	1	3	2	6	2	6	4	12	2	6	4	12	4	12
6	Costo de operación	3	4	12	2	6	2	6	2	6	2	6	3	9	2	6	3	9	4	12
7	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16	4	16	3	12	3	12	3	12	4	16
8	Rapidez	4	3	12	4	16	3	12	4	16	3	12	2	8	2	8	3	12	4	16
9	Facilidad de montaje	4	4	16	3	12	2	8	1	4	2	8	2	8	4	16	3	12	4	16
10	Posibilidad de automatización	3	2	6	2	6	1	3	2	6	3	9	1	3	3	9	2	6	4	12
PT: Puntaje Total= $\sum(P_j \cdot A_j)$				109		103		82		99		92		93		95		101		132
CT: Coeficiente Técnico(%)= $PT \cdot 100 / Ideal$				82.58		78.03		62.12		75		69.70		70.45		71.97		76.52		100

Tabla N°: 31 Evaluación económica

Evaluación económica																				
Criterios		Peso Relativo	Alternativas de las soluciones																	
			S1	Subtotal	S2	Subtotal	S3	Subtotal	S4	Subtotal	S5	Subtotal	S6	Subtotal	S7	Subtotal	S8	Subtotal	Ideal	Subtotal
1	Estabilidad	3	3	9	2	6	3	9	2	6	2	6	3	9	2	6	3	9	4	12
2	Confiabilidad	3	4	12	2	6	2	6	2	6	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Facilidad de manejo	3	3	9	3	9	2	6	3	9	3	9	2	6	3	9	4	12	4	12
4	Buen uso de fuerza	1	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2	2	4	4
5	Costo de tecnología	3	3	9	3	9	3	9	3	9	2	6	3	9	3	9	1	3	4	12
6	Costo de operación	1	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	4	4	2	2	4	4
7	Seguridad	2	3	6	2	4	4	8	2	4	3	6	3	6	3	6	3	6	4	8
PT: Puntaje Total= $\sum(P_j \cdot A_j)$			51		38		42		40		40		44		45		43		64	
CT: Coeficiente Técnico(%)= $PT \cdot 100 / Ideal$			79.69		59.38		65.63		62.5		62.5		68.75		70.31		67.19		100	

Tabla N°: 32 Valores reordenados de las soluciones

Soluciones	Evaluación Técnica	Evaluación Económica
S1	84.85	79.69
S2	78.03	59.38
S3	62.12	65.63
S4	77.27	62.5
S5	69.7	62.5
S6	70.45	68.75
S7	71.97	71.97
S8	76.52	67.19

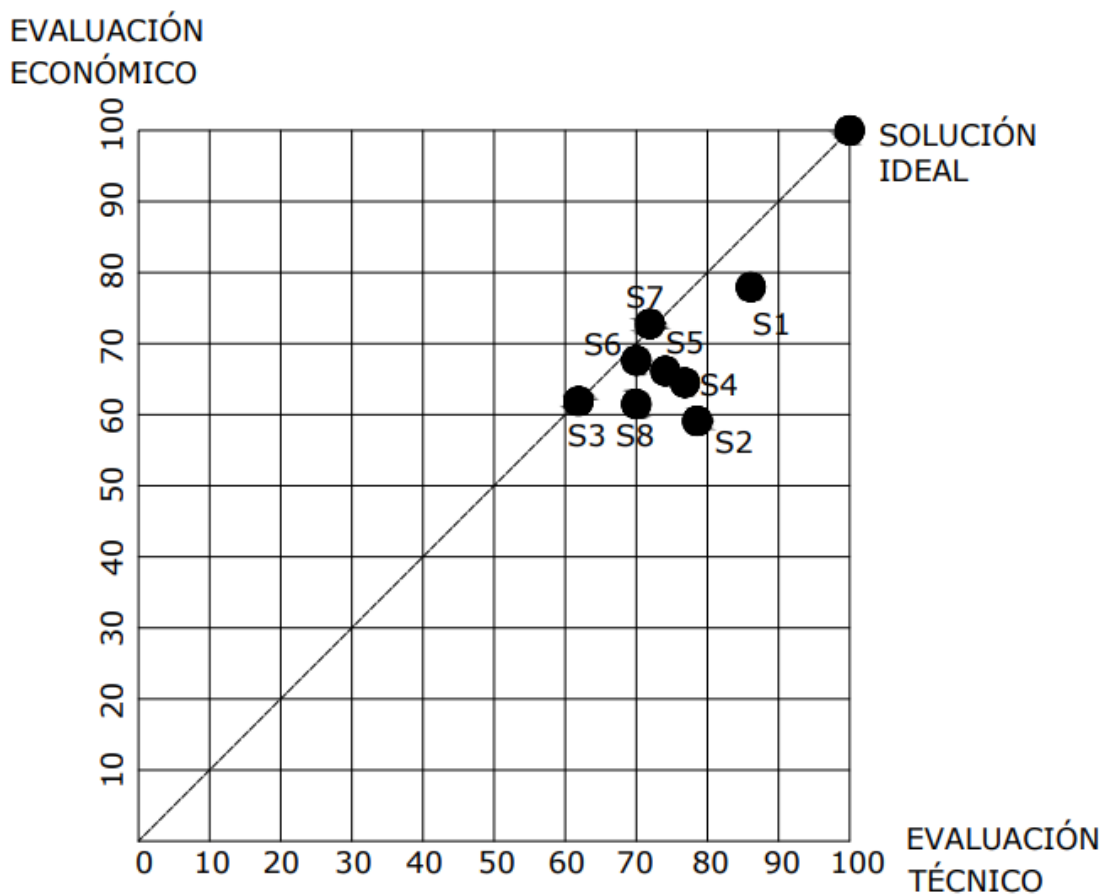


Figura N°: 29 Desgrama de evaluación según la norma VDI 2225

Como se observa en el diagrama de Evaluación según VDI 2225, la alternativa con el mayor balance técnico, por estar más cerca a la solución ideal es la solución 1.

6 Cálculo de los elementos de la máquina moledora

6.1 Parámetros principales

Capacidad de la máquina

Evaluando la capacidad de la máquina según datos obtenidos mediante data de la generación per cápita de los residuos orgánicos dentro de la población urbana de Soritor-Moyobamba:

$$\dot{W} = 400 \frac{kg}{h}$$

Fuerza de corte de los huesos

Sé realizó banco de pruebas de los residuos orgánicos más resistentes (huesos), en la cual se obtuvo el siguiente valor de la fuerza de corte:

$$F_c = 3322,82 \text{ N}$$

Diseño de la tolva de alimentación (material de la tolva)

Para el diseño de la tolva se usará acero inoxidable AISI 304 debido a sus excelentes propiedades mecánicas, muy versátil y uno de los más usados de la serie 300, muy resistente a la corrosión en una amplia variedad de condiciones de oxidación y ambiente, además tiene buena propiedad para soldadura y conformado.

6.2 Cálculo para el sistema de molienda

6.2.1 Cálculo del diámetro de las cuchillas

Para calcular los elementos mecánicos de molienda como; el diámetro de las cuchillas, el espacio que hay entre cuchillas y el ancho se ha ideado como rodillos el elemento a calcular debido a que no existe un catálogo que defina dimensiones estandarizadas para seleccionar las cuchillas según el requerimiento. Esta idea se muestra en la figura N°: 25.

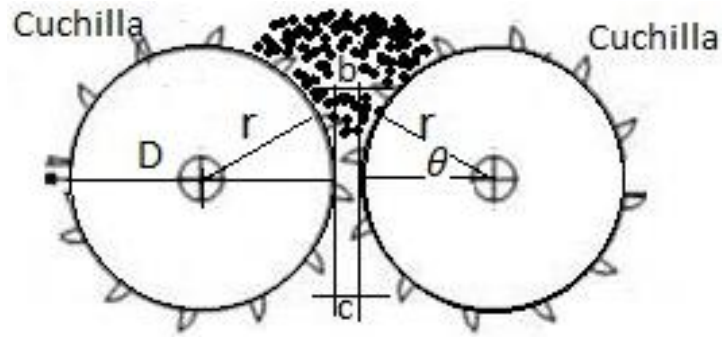


Figura N°: 30 Representación del sistema de molienda

Tabla N°: 33 Fricción entre los materiales

Material en contacto	f (adimensional)
Metal sobre hielo	0,03 - 0,05
Madera sobre madera	0,3 - 0,7
Cuero sobre madera	0,2 - 0,5
Cuero sobre metal	0,3 - 0,6
Plástico sobre metal	0,1 - 0,5

De acuerdo con el material en contacto, el coeficiente de fricción resulta de un valor de $f = 0,4$.

$$\theta = \arctan(f) \quad (1.11)$$

$$\theta = \arctan(0,4)$$

$$\theta = 21,80^\circ \approx 20^\circ$$

Tomando como dato de estudio de Nicolás Waganoff, con la siguiente fórmula se calculará el diámetro de las cuchillas considerando un diámetro promedio de partícula $d_p = 3$ cm y considerando una abertura entre las cuchillas de $c = 1,4$ cm.

$$d_p = \frac{c + d_c (1 - \cos(\alpha))}{\cos(\alpha)} \quad (1.12)$$

Donde:

D_p : Diámetro promedio de partícula, D_c : diámetro de cuchillas, c : abertura entre las cuchillas y θ : ángulo de separación

$$3cm = \frac{(1,4cm) + d_c (1 - \cos(20^\circ))}{\cos(20^\circ)}$$

$$d_c = 23,53cm \approx 24cm$$

6.2.2 Cálculo del ancho de las cuchillas

Para determinar el ancho de las cuchillas debemos tener en cuenta las propiedades del material a moler en este caso de los residuos orgánicos los huesos son los más resistentes, por ello se usará la siguiente relación. [28]

$$\frac{A_c}{D} = 1,6 \quad (1.13)$$

$$A = (1,6)(D) = 1,6(24cm)$$

$$A = 38,4cm \approx 40cm$$

Para las cuchillas se diseña un diámetro equivalente de corte

$$D_c = 0,24m$$

Espacio de corte

$$e_c = 0,014m$$

Superficie de contacto entre los residuos orgánicos y las cuchillas

La superficie de contacto de las cuchillas es el área donde actúan las fuerzas de compresión y corte.

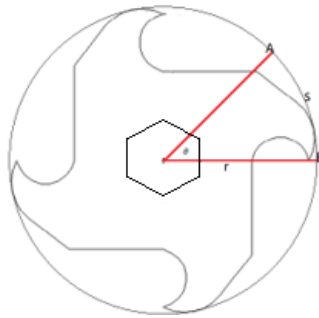


Figura N°: 31 Superficie de contacto

$$s = r(\theta) \rightarrow s = l$$

$$l = \frac{D_c}{2}(\theta) \quad (1.14)$$

Donde:

l : longitud de arco, D_c : diámetro de las cuchillas, θ : ángulo de contacto en radianes

Para determinar el arco de contacto tenemos los siguientes datos:

D_c : 24 cm \approx 240 mm

θ : 20° \approx 0,349 rad

$$l = \frac{240}{2}(0,349)$$

$$l = 41,88mm$$

Carga en las cuchillas

Las cargas a las que está sometido la cuchilla dependen directamente de la fuerza de compresión generada por los residuos orgánicos.



Figura N°: 32 Distribución de fuerza de compresión en las cuchillas

En la figura se muestra la distribución de la carga de compresión generadas por los residuos orgánicos al momento de ser molidas.

El valor de esfuerzo de compresión es la cantidad de masa que entra a la cámara de

molienda que es de: $\sigma_c = 400Kg (9,81m / s^2) = 3924N$

Esfuerzo de compresión unitaria

El esfuerzo de compresión unitaria es determinado por la siguiente ecuación.

$$q_c = \sigma_c (l) \quad (1.15)$$

Donde:

σ_c : esfuerzo de compresión, l : longitud de arco de contacto

$$q_c = 3924N (41,88mm)$$

$$q_c = 164337,12N / mm$$

6.2.3 Número de revoluciones para la cuchilla

Para un sistema de trituración acoplado a residuos orgánicos, el número de revoluciones se realiza la siguiente fórmula:

La velocidad de rotación se calcula con la siguiente fórmula:

$$n_{cuchilla} = \frac{60(W)}{0,1(\rho)(\pi)(d)(h)(l)} \quad (1.16)$$

Donde:

w: la capacidad de producción de la máquina $\dot{W} = 400 \frac{kg}{h} = \dot{W} = 7 \text{ kg/min}$, ρ :

densidad de los residuos orgánicos 1441 gk/m^3 , d: diámetro de cuchillas 0,24 m,

h: espacio entre las cuchillas 0,014 m, A_c : ancho de cuchillas 0,4 m

$$n_{cuchilla} = \frac{60(7Kg / \text{min})}{0,1(1441Kg / m^3)(\pi)(0,24m)(0,014m)(0,4m)}$$

$$n_{cuchilla} = 690,29rpm$$

Para el criterio de diseño se utilizará el siguiente número de revoluciones:

$$n_{\text{cuchilla}} = 700 \text{ rpm}$$

6.2.4 Cálculo del torque

De acuerdo al ensayo de pruebas aplicado a los residuos orgánicos más resistentes en este caso los huesos, la fuerza de corte necesaria resulta de:

$$F_c = 3322,82 \text{ N}$$

Para el cálculo del torque resultante se debe cumplir con:

$$T_{\text{cuchilla}} = (f)(F_c)(r_c) \quad (1.17)$$

Donde:

f: factor de fricción (0,4), r_r : radio de cuchilla (0,12 m)

$$T_{\text{cuchilla}} = (0,4)(3322,82\text{N})(0,12\text{m})$$

$$T_{\text{cuchilla}} = 159,49\text{Nm}$$

Las fuerzas que actuaran en el eje motriz se calcula de la siguiente manera.

$$F = \frac{T_{\text{cuchilla}}}{r_{\text{cuchilla}}}$$

$$F = \frac{159,49\text{Nm}}{0,12\text{m}} = 1329,08\text{N}$$

Sin embargo, estas fuerzas tienen dos componentes rectangulares, ya que la cuchilla ataca a los residuos orgánicos con un ángulo de 45° .

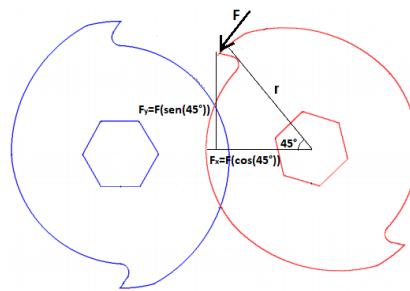


Figura N°: 33 Parámetros de la cuchilla

$$F_{T(y)} = 1329,08N (\text{sen}(45^\circ)) = 939,80N$$

$$F_{R(x)} = 1329,08N (\text{cos}(45^\circ)) = 939,80N$$

Cálculo de potencia de molienda

Ya calculado el torque luego se calculamos la potencia

$$P = T (\omega) \quad (1.18)$$

$$P = (159,49Nm)(690,29rpm) \left(\frac{2\pi \text{rad} / s}{\frac{60s}{1 \frac{Nm}{s}} \frac{1}{W}} \right)$$

$$P = 11529,1W$$

$$P = \frac{11529,1W}{746} = 15,41hp$$

6.3 Cálculo de la potencia del motor

Para calcular el valor de la potencia del motor se emplea la siguiente formula:

$$P_{motor} = (F_{corte})(f) \left(\frac{d_{cuchilla}}{2} \right) (n_{cuchilla}) \quad (1.19)$$

Donde:

$n_{cuchillas}$: revoluciones de cuchillas, $d_{cuchillas}$: diámetro de cuchillas, f : coeficiente de fricción, F_c : fuerza de corte

$$P_{motor} = (3322,82N)(0,4)(0,12m)(690,29rpm) \left(\frac{2\pi \text{rad} / s}{\frac{60s}{1 \frac{Nm}{s}} \frac{1}{W}} \right)$$

$$P_{motor} = \frac{11528,29W}{746} = 15,45hp$$

Se asumirá una potencia del motor igual $P_{motor} = 16 \text{ hp}$

6.3.1 Cálculo de torque del motor

Considerando un radio ideal del corte en la cuchilla de 0,12 m, es el radio de la distancia mínima para generar el torque del motor el cual se calcula con la siguiente ecuación.

$$T_{motor} = (f_s)(F_{corte})(r_{cuchilla})$$

$$T_{motor} = (1,5)(3322,81N)(0,12m)$$

$$T_{motor} = 598,04Nm$$

6.3.2 Cálculo de la potencia de diseño del motor

Para un diseño de una máquina de choque fuerte, se recomienda un factor de servicio de 1.5, con lo que la potencia de diseño se calcula con la siguiente formula:

$$P_d = P_{motor} (f_c) \quad (1.20)$$

$$P_d = 16hp(1,5) = 24hp$$

Para el criterio de diseño se utilizará un motor de $P_d = 25$ hp

6.4 Cálculo del número de cuchillas

Para calcular el número de cuchillas en primer lugar se debe determinar la velocidad de alimentación de los residuos orgánicos, tenemos la siguiente formula.

$$V_{alimentación} = \frac{W}{\rho(A)} \quad (1.21)$$

Donde:

w: capacidad 400 kg/h, ρ : densidad de los residuos orgánicos 1441 kg/m^3 , A: área de alimentación $0,385 \text{ m}^2$

$$V_{alimentación} = \frac{400}{1441(0,385)} = 0,721m / s$$

Para calcular el número de cuchillas utilizaremos la fórmula:

$$Z = \frac{V_{alimentación} (60000)}{(n)(D_f)} \quad (1.22)$$

Donde:

Z: número de cuchillas, V_{ali} : velocidad de alimentación, D_f : diámetro final del trozo deseado

Teniendo en cuenta como criterio a trabajos anteriores, el diámetro del trozo deseado será $d = 5$ mm. El número de cuchillas a moler y separación de la materia de Waganoff N. esta dado por la siguiente formula.

$$Z = \frac{(0,721)(60000)}{(690,29)(3)} = 20,88cuchillas$$

$$Z = 20cuchillas$$

En el diseño se propondrá 10 cuchillas que irán ensamblados en cada eje, los cuales serán impulsados por un sistema de transmisión de engranajes rectos.

El radio a las cuchillas de $d = 0.24$ m y la longitud que van a ocupar las cuchillas sobre el eje de 400 mm. Para calcular el volumen de las cuchillas se debe tener en cuenta la densidad del acero inoxidable AISI-316: $\rho = 7999,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Cálculo del volumen de las cuchillas

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 (L) \quad (1.23)$$

$$V = \frac{\pi}{4} (0,24m)^2 (0,4m)$$

$$V = 0,0181m^3$$

Cálculo de la masa de las cuchillas

$$M = \rho(V) \quad (1.24)$$

$$M = 7999,99 \text{ Kg} / \text{m}^3 (0,0181 \text{m}^3)$$

$$M = 144,79 \text{ Kg}$$

Como para los cálculos se ideó como un rodillo las cuchillas ahora se debe determinar el peso de cada una de ellas por lo que se dividirá la masa por la cantidad de cuchillar calculado anteriormente.

$$\frac{M}{n^\circ} = \frac{144,79 \text{ Kg}}{20} = 7,24 \text{ Kg}$$

Con los datos anteriores se calcula el peso de las cuchillas

$$P = m(g) \quad (1.25)$$

$$P = 7,24 \text{ Kg} (9,81 \text{ m} / \text{s}^2)$$

$$P = 71,02 \text{ N}$$

6.5 Parámetros para el diseño de cuchillas

Del análisis de pruebas realizadas anteriormente, la fuerza que se necesita para penetrar los huesos es de 3322,82 N quiere decir que es la fuerza necesaria que debe tener el filo de las cuchillas para el corte del hueso.

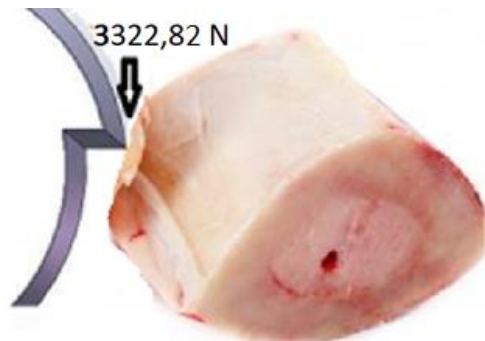


Figura N°: 34 Penetración de cuchilla al hueso

En la figura se muestra el efecto que tendría la fuerza de 3322,82 N en el hueso, la capacidad de corte que lograría sería un aproximado de 1,8 mm a 3 mm. Cada eje tendrá 10 cuchillas colocado en forma horizontal, la máquina estará diseñada para que trabajen 12 filos de cuchillas de manera simultánea por lo se instalará 6 filos en cada cuchilla.

Tabla N°: 34 Parámetros para el diseño de cuchillas

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad (mm)
Diámetro de la cuchilla	y	240	mm
Numero de filos	f	6	
Espesor de cuchilla	s	40	mm
Fuerza	F_c	3322,82	N
Momento de presión	M_q	3924	N
Acero inoxidable		AISI-316	

6.6 Diseño de discos separadores

Los discos separadores sirven para separar las cuchillas de manera uniforme a lo largo del eje para que de esta manera se evite el choque de las cuchillas a la hora de realizar la molienda. El ancho de los discos debe ser superior al ancho de las cuchillas para evitar contacto entre las mismas y su diámetro va a acorde con el diámetro del eje.

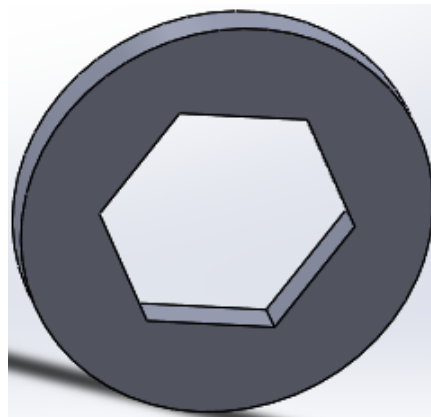


Figura N°: 35 Discos separadores

6.6.1 Cálculo del separador

Para el cálculo de los discos separadores se asume sus dimensiones ya habiendo realizado el previo el cálculo de las cuchillas por lo se plantea que el diámetro de

los senadores será menor que de las cuchillas a diferencia de su espesor que tendrá que ser mayor al espesor de las cuchillas para evitar rose entre ellas. Por lo tanto, la dimensión asumida será:

$$D_{\text{separador}} = 150 \text{ mm}$$

$$e_{\text{separador}} = 43 \text{ mm}$$

El diámetro de los separadores es de $d = 150 \text{ mm}$ y la longitud que van a ocupar los separadores sobre el eje es de 430 mm de manera idealizada. Para calcular el volumen de los separadores se debe tener en cuenta la densidad del acero inoxidable AISI-304: $\rho = 7999,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Cálculo del volumen del separador

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 (L) \quad (1.26)$$

$$V = \frac{\pi}{4} (0,15\text{m})^2 (0,43\text{m})$$

$$V = 0,0076\text{m}^3$$

Cálculo de la masa del separador

$$M = \rho(V) \quad (1.27)$$

$$M = 7999,99 \text{Kg} / \text{m}^3 (0,0076\text{m}^3)$$

$$M = 60,79 \text{Kg}$$

De la misma manera del cálculo de las cuchillas anteriormente se debe determinar el peso de cada separador por lo que se dividirá la masa por la cantidad de separadores.

$$\frac{M}{n^\circ} = \frac{60,79 \text{Kg}}{20} = 3,04 \text{Kg}$$

Con los datos anteriores se calcula el peso de los separadores

$$P = m(g) \quad (1.28)$$

$$P = 3,04Kg (9,81m / s^2)$$

$$P = 29,82N$$

Al determinar los pesos de los elementos de molienda considerados para el eje principal se debe conocer el peso total que ocuparan las cuchillas y separadores ya que el segundo eje tendrá los mismos parámetros y cargas del eje principal.

$$P_{total} = P_{cuchilla} + P_{separador} \quad (1.29)$$

$$P_{Total} = (71,02N + 29,82N)(10)$$

$$P_{Total} = 1008,4N$$

6.6.2 Parámetros para el diseño del separador

En la siguiente tabla se detalla las dimensiones de los separadores para un adecuado diseño considerando los requerimientos ya mencionados.

Tabla N°: 35 parámetros para el diseño de separador

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad (mm)
Diámetro del separador	d	150	mm
Espesor	s	43	mm
Acero inoxidable		AISI-304	

Con las dimensiones determinadas tanto de cuchillas y separadores se calcula la longitud total que va a ocupar las cuchillas y el separador en el eje principal.

$$L_{total} = L_{cuchilla} + L_{separador} \quad (1.30)$$

$$L_{total} = 10(40) + 10(43)$$

$$L_{total} = 830mm$$

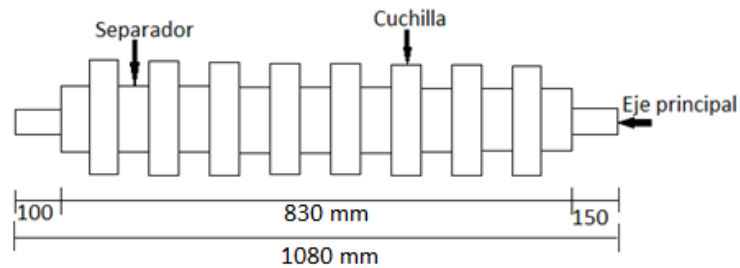


Figura N°: 36 Bosquejo de cuchillas y separadores

7 Selección de los engranajes rectos

Los engranajes son elementos mecánicos que se utilizan para transmisión el movimiento rotativo de un eje a otro en disposición paralela y cercano. Para ello se tiene $n_2 = 700$ RPM del engranaje motriz el cual será la mitad para el engranaje conducido ya que busca obtener las mismas velocidad para ambos ejes.



Figura N°: 37 Esquema de engranajes

En los engranes rectos se propone como un diámetro primitivo de 5 in además con un ángulo de presión de 20° .

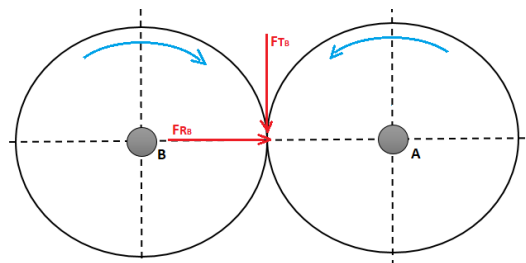


Figura N°: 38 Cargas que actúan en los engranajes

El torque entregado por el sistema sería:

$$T = \frac{P}{n} \quad (1.31)$$

$$T = \frac{25(746)(60)}{2\pi(700)}$$

$$T = 254,42 Nm$$

La fuerza tangencial se puede calcular utilizando el diámetro primitivo, es por ello que realizamos el cambio a unidades del SI (m). $d = 0,127 m$

$$F_{T(B)} = \frac{T}{d/2} \quad (1.32)$$

$$F_{T(B)} = \frac{254,42 Nm}{0,0635 m} = 3943,62 N$$

Donde 254,42 Nm es el torque que se transmite a través del engranaje recto y con diámetro primitivo del engranaje es 0,127 m.

Para la fuerza radial se calcula a partir de la fuerza tangencial:

$$F_{R(B)} = F_{T(B)} (\tan(\phi))$$

$$F_{R(B)} = 3943,62 (\tan(20^\circ))$$

$$F_{R(B)} = 1435,36 N$$

7.1 Diseño de los ejes motriz y conducido

Ambos ejes tienen un tramo de sección hexagonal donde se montan las cuchillas y los separadores, el resto del eje es circular para el montaje de engranajes, chumaceras y cuñeros para el acople.

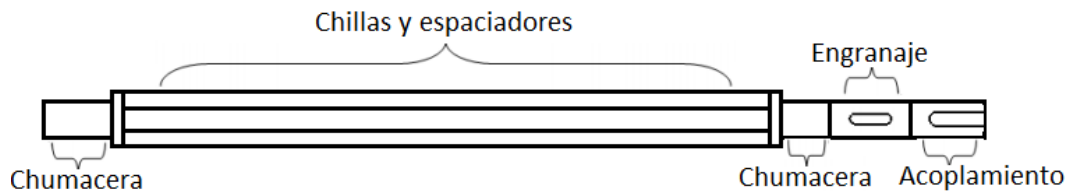


Figura N°: 39 Sección del eje motriz

7.1.1 Cálculo del eje

Los ejes motriz y conducido son iguales, el eje motriz es el criterio de cálculo debido a que tiene un momento torsor que proviene del motorreductor, de modo que se analizará este eje para el diseño de la máquina y el eje conducido tendrá las mismas dimensiones.

Para el diseño de los ejes es necesario hacer un bosquejo en donde se especifiquen las fuerzas o cargas que actúen sobre los ejes, para luego calcular los momentos máximos y fuerzas cortantes para la elección de sus dimensiones adecuadas en base a su funcionalidad.

Bosquejo del eje

El diseño de los ejes será como se observa en el bosquejo en la siguiente figura, las cargas correspondientes de cada elemento mecánico que actuará sobre ella en el plano XZ, cabe destacar que se desprecia el peso del eje por un rápido cálculo.

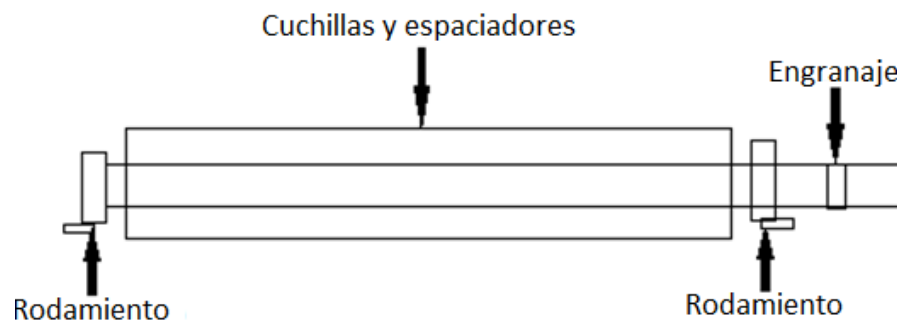


Figura N°: 40 Bosquejo del eje

7.1.2 Diagrama de cuerpo libre del eje principal

En la siguiente figura se define las cargas principales que actúan sobre el eje principal en el plano y-z

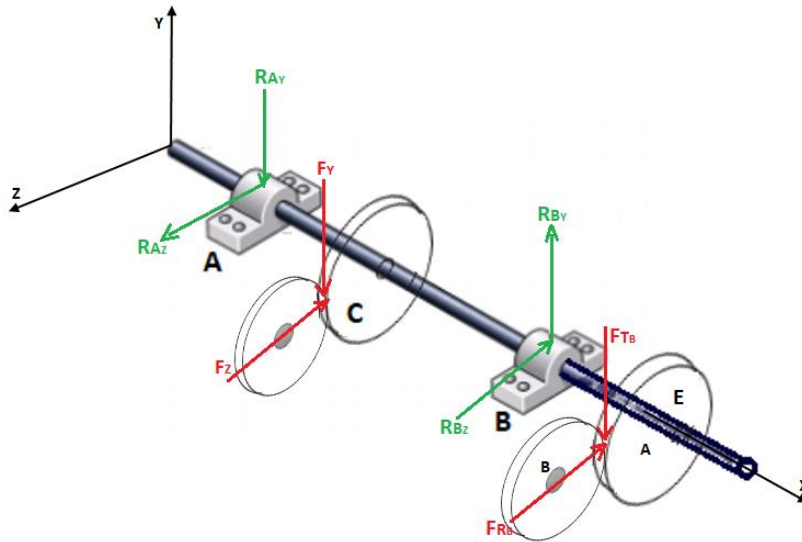


Figura N°: 41 D.L.C. del eje principal en el plano y-z

Donde:

F_c : fuerza de corte en N, F_p : fuerza del engranaje en N, R_A : reaccion en el punto A en N, R_E : reaccion en el punto E en N, T_R : torque en N/m

7.1.3 Cálculo de los momentos flectores y fuerzas cortantes

Para calcular las cargas y reacciones del eje principal, partimos de la potencia total requerida para la trituración de los residuos orgánicos con lo que generara el movimiento a todo el sistema de molienda.

$$P = T_R (w) \quad (1.33)$$

$$\text{Entonces: } w = \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right) = \frac{\pi(n)}{30}$$

$$P = T_R \left(\frac{\pi(n)}{30} \right)$$

$$T_R = \frac{30(P)}{\pi(n)}$$

Para calcular el torque transmitido al eje se define las siguientes ecuaciones

Donde:

P: potencia de diseño (25 Hp)

n: velocidad de giro del eje moedor (700 RPM)

$$T_R = \frac{30(25hp)(746W)}{\pi(700)}$$

$$T_R = 254,42Nm \approx 254420,54Nmm$$

Teniendo ya todas las cargas que estará sometido el eje motriz considerando el peso de las cuchillas y separadores.

Tabla N°: 36 Cuadro de cargas

CUADRO DE CARGAS				
Sección	Tipo de carga	Posición (mm)	Magnitud	Elemento
Az	Radial	0		Rodamiento A
Ay	Tangencial	0		Rodamiento A
F _{cuchilla}	Radial	143 - 910	1922,36 N	Cuchillas
F _{cuchilla}	Tangencial	143 - 910	1922,36 N	Cuchillas
Bz	Radial	953		Rodamiento B
By	Tangencial	953		Rodamiento B
Fz	Radial	1035	1435,36 N	Engranaje
Fy	Tangencial	1035	3943,62 N	Engranaje
Tc	Torsión		254,42 Nm	Engranaje

Se realizan el diagrama de cuerpo libre con las cargas actuantes.

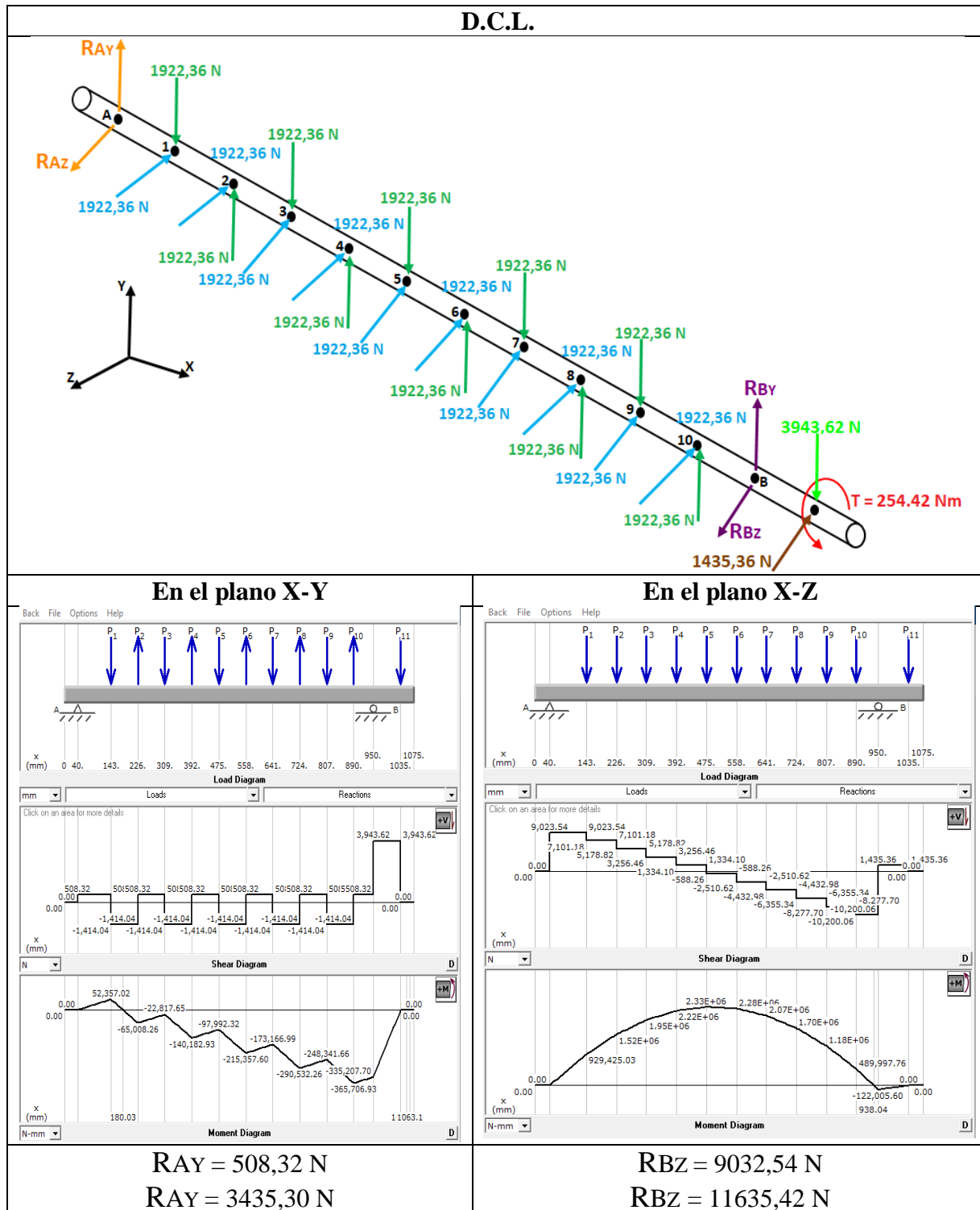


Figura N°: 42 D.C.L. del eje y diagrama de fuerzas y momentos [MdSolid]

7.1.4 Momentos resultantes máximos

De acuerdo a los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector, se debe analizar dos puntos donde los valores son máximos, estos puntos son:

Momento flector máximo en el plano x-y (MR1)

Momento flector mínimo en el plano x-z (MR2)

Para ellos se debe analizar el momento resultante y no su valor máximo en ese plano.

$$M_{R1} = \sqrt{(-365706,93)^2 + (2,33 \times 10^6)^2}$$

$$M_{R1} = 2358525,293 \text{ Nmm} \approx 2358,53 \text{ Nm}$$

$$M_{R2} = \sqrt{(52357,02)^2 + (-122005,60)^2}$$

$$M_{R2} = 132765,296 \text{ Nmm} \approx 132,77 \text{ Nm}$$

7.2 Cálculo del diámetro del eje

En los ejes rotatorios cargados por momento flector y torsión actúan esfuerzos por flexión, debido a la rotación del eje, pero el esfuerzo torsional permite establecer para ello para calcular el diámetro de diseño del eje se debe tener en cuenta los efectos de fatiga. [29]

En la selección del material se recomienda acero inoxidable AISI-304 por su buena propiedad física, química y mecánica, su alta resistencia a la corrosión y su trabajo en frío ya que el eje estará expuesto a materia húmeda.

Tabla N°: 37 Propiedad mecánica del AISI 304

Acero inoxidable	Límite de fluencia S_y (MPa)	Resistencia máxima S_{ut} (MPa)	Dureza HB	Densidad (kg/m^3)
AISI-304	235	585	149	7999,99

Fuente: [30]

7.2.1 Ecuación de Marin

Son factores que cuantifican los efectos a condición superficial, tamaño, temperatura que nos permiten ajustar el límite de resistencia a la fatiga. [23]

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e \quad (1.34)$$

Donde:

K_a : factor de modificación a condiona superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ur} kpsi	S_{ur} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Figura N°: 43 Factor de modificación

Fuente: Joseph E Shigley. "Diseño en Ingeniería Mecánica"

$$K_a = a(S_{ur})^b$$

$$K_a = 4,51(585)^{-0,265}$$

$$K_a = 0,83$$

K_b : factor de tamaño

Radio de la flecha

$$r = \sqrt[3]{\frac{T(32)}{16(\pi)(S_y)}} \quad r = \sqrt[3]{\frac{254420,54(32)}{16(\pi)(235 \times 10^6)}}$$

$$r = 0,088m \approx 88mm$$

Diámetro mínimo de la flecha

$$D = 176mm$$

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura N°: 44 Factor de tamaño

Fuente: Joseph E Shigley. "Diseño en Ingeniería Mecánica"

El diámetro se encuentra en un valor de 51 a 254 mm por lo que se toma la 4° formula:

$$K_b = 1,51D^{-0,157}$$

$$K_b = 1,51(176mm)^{-0,157}$$

$$K_b = 0,67mm$$

K_c : factor de carga

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Figura N°: 45 Factor de carga

Fuente: Joseph E Shigley. "Diseño en Ingeniería Mecánica"

En este caso el eje está sometido a flexión por lo que se considera un factor de:

$$K_c = 1$$

K_d : factor de temperatura

$$K_d = 1$$

K_e : factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura N°: 46 Factor de confiabilidad

Fuente: Joseph E Shigley. "Diseño en Ingeniería Mecánica"

La confiabilidad que se considera para trabaja es del 90%.

$$K_e = 0,897$$

S'_e : limite de resistencia a la fatiga

$$S'_e = 0,5(S_{ut})$$

$$S'_e = 0,5(585)MPa$$

$$S'_e = 292,5MPa$$

Límite a la fatiga

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e$$

$$S_e = (0,83)(0,67)(1)(1)(0,897)(292,5)$$

$$S_e = 145,905MPa$$

7.3 Factor de concentración de esfuerzos

Chablán en escalones

Es el cambio de diámetro que presenta el eje formando un escalón en el cual se acopla un elemento mecánico y en donde se presenta concentración de esfuerzos que dependen de la relación de diámetro y el radio del chaflán. Se recomienda que el radio del chaflán sea mayo para reducir la concentración de esfuerzos. [31]

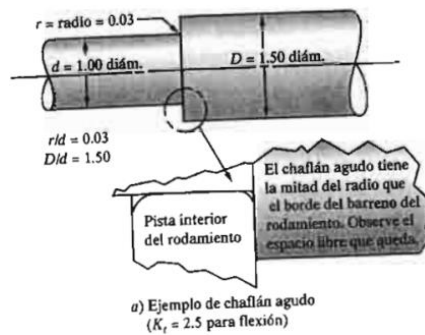


Figura N°: 47 Chaflán agudo

Fuente: Robert L Mott, P.E. Diseño de elementos de maquinas

Por lo el factor de concentración de esfuerzos a la flexión será:

$$K_f = 2,5$$

7.4 Factores de diseño (N)

Es un coeficiente de seguridad que mide la capacidad máxima de un sistema bajo la acción de carga, también conocido como esfuerzo admisible o esfuerzo permisible. Según Robert Mott el diseñador aplicara su propio juicio para especificar el factor de diseño adecuado y además debe tomar ciertas consideraciones para elegir el factor más apropiado como; la naturaleza de la aplicación, el ambiente, las cargas sometidas al componente a diseñar y las propiedades del material. [31]

Tabla N°: 38 Factor de diseño para material dúctil

N = 1,25 a 2	N = 2 a 2,5
Para diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.	Diseño de elemento de máquinas bajo cargas dinámicas con un grado de confianza promedio en los datos del diseño.
Factor de diseño para material dúctil	
N = 2,5 a 4	N = 4 o más
Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, propiedad del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en alguna combinación de cargas.

Fuente: Robert L Mott, P.E. Diseño de elementos de maquinas

Se considera un factor de seguridad de 2, debido a que nuestro elemento está bajo cargas dinámicas.

Para calcular el diámetro del eje se utilizará el libro de Mott, ya que es compatible con la norma ANSI B106-IM-1985 Design of Transmission Shafting de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME). Aplicando el criterio de ASME elíptico para ejes bajos cargas cíclicas y vida infinita se tiene la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32(N)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t(M)}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad (1.35)$$

Donde:

D: diámetro del eje, N: factor de seguridad, Kt: factor concentrador de esfuerzos, M: momento flector máximo, T: torque máximo, Sn: resistencia a la fatiga, Sy: resistencia a la fluencia

En el punto en que el momento flector máximo es 2358,525Nm, el momento torsor es de 159,49Nm

$$D_1 = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2,5(2358,525Nm)}{145,905MPa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{159,49Nm}{235MPa} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 0.0939m \approx 93mm$$

Por criterio de diseño se elige un diámetro de 95mm.

En el punto en que el momento flector mínimo es 132,765Nm, el momento torsor es de 254,42Nm

$$D_2 = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2,5(132,765Nm)}{145,905MPa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{254,42Nm}{235MPa} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D_2 = 0.0368m \approx 37mm$$

Por criterio de diseño se elige un diámetro de 40mm.

- El diámetro crítico está en la sección donde van montado las cuchillas y los separadores su valor mínimo es de 95mm.
- El diámetro de la sección donde va el engranaje y el acople debe tener un valor de mínimo 40mm.
- El diámetro de la sección donde va montado los rodamientos se seleccionará de acuerdo a su capacidad de carga básica.

Cálculo de la geometría del eje

Se propone un eje de sección hexagonal regular para el soporte de los esfuerzos de las cuchillas teniendo en cuenta una mejor durabilidad, ya si se considera chavetas habría mucha concentración de esfuerzos en una parte del eje lo que generaría desgaste y menos tiempo de vida. En sección hexagonal los esfuerzos se distribuyen de manera uniforme el eje por lo tendría una mejor vida útil.

Se calculará el diámetro equivalente de la sección hexagonal conociendo el diámetro de la sección circular de $d = 95 \text{ mm}$ y su radio es de $r = 47,5 \text{ mm}$.

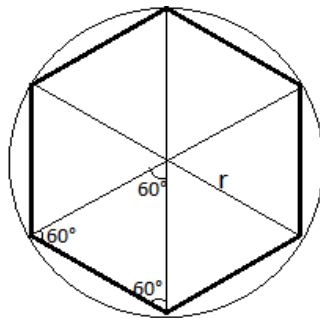
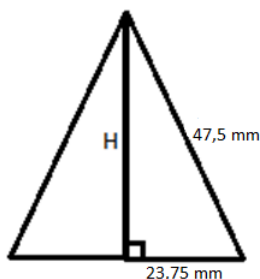


Figura N°: 48 Geometría del eje

$$A_{\text{circular}} = \frac{\pi(D)^2}{4} = \frac{\pi(95\text{mm})^2}{4} = 7088,22\text{mm}^2$$

Área del hexágono regular



$$A_{\text{hexágono}} = 6 \left(\frac{b(h)}{2} \right) \quad (1.36)$$

$$(47,5)^2 = (h)^2 + (23,75)^2$$

$$h = 41,136 \text{ mm}$$

$$A_{\Delta} = \frac{b(h)}{2} = \frac{47,5 \text{ mm}(41,136 \text{ mm})}{2} = 976,98 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{hexágono}} = 6(976,98 \text{ mm}^2) = 5861,88 \text{ mm}^2$$

7.5 Sistema de transmisión de potencia

Para transmitir potencia a la cámara de molienda desde una fuente motriz generadora existen elementos llamados sistemas de transmisión de potencia; como bandas, engranajes, cadenas y motorreductores de los cuales para el diseño se seleccionó los motorreductores. Las consideraciones que se tuvo en cuenta para elegir transmisión por motorreductores es debido a la seguridad y factibilidad que ofrece en su instalación.

Ventajas

- Logra un equilibrio óptimo entre la velocidad y la potencia transmitida.
- Presta una transmisión eficiente del motor eléctrico
- Brinda una transmisión segura, reduciendo gastos y mantenimiento.
- Ocupa menor espacio y buena rigidez en su montaje.

7.6 Motorreductor


Los motorreductores son mecanismos que regula la velocidad del motor eléctrico. Los reductores están constituidos de una serie de engranajes que forman una cadena cinemática, su principal objetivo es pasar de una velocidad inicial mayor a una velocidad menor sin afectar o que se resienta el mecanismo.

Motorreductor coaxial helicoidal

Los ejes de entrada y salida formando un ángulo de 180° . El eje del motor y el eje de salida del reductor están alineados y el eje de salida siempre es maciza, su montaje puede ser sobre base y brida por lo que se instala en varias posiciones, disponibles para acoplar el reductor a motores estándar o también son compactos. [32]

Características

Tabla N°: 39 Características de motorreductor coaxial

Modelo con patas o brida	Potencia 0,12 – 160 kW	
Carter monobloque	Torque 23 – 23160 Nm	
Tamaño 11	Relación 1,24 – 14340 kW	

Fuente: Delcrosa S.A.


Motorreductores de engranajes cónicos

El reductor cónico, posee el eje de entrada y el eje de salida en un ángulo de 90°. Este nuevo concepto de piñones y carcasas permite garantizar mayor capacidad y vida útil de los rodamientos. [32]

Cárter monobloque, el concepto óptimo en la construcción de reductores. Equipo de alta fiabilidad en su funcionamiento, con los más elevados pares de salida y una gran capacidad de carga axial y radial. Cuenta con una larga vida útil, de poco mantenimiento y con bajos ruidos en su funcionamiento. [32]

Características

Tabla N°: 40 características de motorreductor cónicos

Grado de eficiencia al 95 %	Tamaño 11	
Modelo pendular con patas o brida	Potencia 0,12 – 120 kW	
Eje hueco o macizo	Torque 180 – 50000 Nm	
Carter monobloque	Relación 8,08 - 13432	

Fuente: Delcrosa S.A.


Motorreductores de ejes paralelos

Los motorreductores de ejes paralelos combinados con variador de frecuencia centralizado o descentralizado constituyen una multifacética solución de sistema que ofrece máximo rendimiento y rentabilidad en todas las instalaciones. Además, su

concepto de cárter monobloque garantiza una prolongada vida útil y requiere un mantenimiento mínimo. [32]

Características

Tabla N°: 41 características de motorreductor de ejes paralelos

Modelo pendular	Tamaño 15	
Eje hueco o macizo	Potencia 0,12 – 200 kW	
Tipo de construcción corta	Torque 65 – 90000 Nm	
Carter monobloque	Relación 4,03 –	
	6616,79	


Fuente: Delcrosa S.A.

Motorreductores sin fin

Sus ejes de salida y entrada formando un ángulo de 90°, lubricación para siempre, no requiere mantenimiento gracias al lubricante sintético de extensa duración, reductor totalmente sellado, armazón no corrosivo, peso reducido. Los reductores de sinfín ofrecen una elevada densidad de potencia y además son extremadamente compactos. Asimismo, se caracterizan por una transferencia muy silenciosa del par. Debido a su sencilla pero efectiva estructura se obtienen notorias ventajas en lo relacionado con el espacio constructivo en comparación con otros tipos de reductores. [32]

Características

Tabla N°: 42 características de motorreductor sin fin

Modular	Tamaño 5	
Posibilidades de fijación universal	Potencia 0,12 – 4 kW	
Modelo IEC	Torque 21 – 427 Nm	
Carter de fundición de aluminio	Relación 5 - 10000	

Fuente: Delcrosa S.A.

7.7 Cálculos para la selección del motorreductor

Informe general

$$n_2 = 700 \text{ RPM}$$

$$P = 25 \text{ hp} \approx 18642,5 \text{ W}$$

$$n_1 = 1750 \text{ RPM}$$

Relación de reducción

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1750}{700} = 2,5$$

Velocidad resultante en el eje de salida de reductor

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1750}{2,5} = 700 \text{ RPM}$$

Par de torsión requerido

$$T_{r2} = 254,42 \text{ Nm}$$

Par de torsión nominal

Es el torque transmisible en la salida del reductor en relación a la velocidad en entrada n_1 y a la relación de reducción i . Para calcular se considera un factor de servicio con una carga continua que corresponde para cada tipo de máquina. [33]

Tabla N°: 43 Factor de servicio para carga C

Sf			
h/d	n. arranques/hora		
	2	4	8
4	1.3	1.3	1.3
8	1.5	1.5	1.5
16	1.8	1.8	1.8
24	2.2	2.2	2.2

Fuente: TRANSTECNO the modular gearmotor

Para molinos que pertenece a la clase de carga C (carga con choques fuertes), considerando una hora de funcionamiento diaria (h/d) 8-10 horas y con 8 arranques/hora. Por lo de la tabla N°:40 obtenemos $Sf = 1.5$ [33]

$$T_{n2} = T_{r2} (sf) \quad (1.37)$$

Donde:

T_{n2} : par de torsión nominal

T_{r2} : parte de torsión

Sf : factor de servicio

$$T_{n2} = 254,42Nm(1,5)$$

$$T_{n2} = 381,63Nm$$

Par de torsión transmitido

Es el torque transmitido en la salida del reductor. Depende de la potencia P del motor instalado y las revoluciones de salida n_2 . Se puede calcular mediante la relación: [33]

$$T = \frac{9550(P)}{n_2} \quad (1.38)$$

Donde:

T: par de torsion transmitido

P: potnecia del motor instalado

n_2 : revoluciones de salida

$$T = \frac{9550(18,65)}{700}$$

$$T = 254,44Nm$$

Tabla N°: 44 Comparación de las características de motorreductor

Motorreductores	Coaxial coaxial	Engranajes cónicos	Ejes paralelos	Sin fin
Ventajas	<p>Funcionamiento suave y silencioso</p> <p>Altamente eficiente</p> <p>Gracias a su elevada capacidad de carga axial y radial se consigue un funcionamiento seguro.</p> <p>Rendimiento alto del 98 % (1 etapa), del 96 % (2 etapas) y del 94 % (3 etapas).</p>	<p>Altamente eficiente, por lo que genera pocos costes de funcionamiento</p> <p>Prolongada vida útil y un mantenimiento sencillo</p> <p>Gran capacidad de carga axial y radial</p>	<p>Altamente eficiente, por lo que genera pocos costes de funcionamiento</p> <p>Funcionamiento silencioso</p> <p>Poco mantenimiento, por lo que resulta fácil de mantener</p> <p>Garantiza una gran capacidad de carga axial y radial.</p>	<p>Elevada capacidad de sobrecarga</p> <p>Funcionamiento suave y silencioso</p> <p>Modelo con cárter de aluminio, por lo que pesa poco</p> <p>Modular, flexible y por tanto implementación polifacética</p>
Potencia	0,12 – 160 (kW)	0,12 – 200 (kW)	0,12 – 200 (kW)	0,12 – 4 (kW)
Torque nominal	23 – 23160 (Nm)	180 – 50000 (Nm)	65 – 90000 (Nm)	21 – 427 (Nm)
Relación	1,26 hasta 282,17	8,04 hasta 13462	4,03 hasta 6616	5 hasta 5000

7.8 Selección del motorreductor tipo coaxial

Considerando los siguientes datos para la selección de la serie de motorreductor coaxial.

Potencia de entrada: 25 HP (18,5 KW)

Velocidad de salida: 700 RPM

Torque: 254,44 Nm

De la gama de motorreductores MOTOVARIO; se realiza la selección de acuerdo a la necesidad planteada anteriormente, para el caso del diseño se eligió el motorreductor coaxial helicoidal para aplicación de máquinas de trabajo continuo (maquina moledora).

En la siguiente tabla se detalla la ficha técnica del motoreductor coaxial.

Tabla N°: 45 Ficha técnica del mororreductor coaxial modelo H101/NV160

Mororreductor coaxial modelo H101/NV160	
Tipo	160
Potencia	25 HP
Velocidad	1750 RPM
Tensión	220/380/440
Relación	2,10
Frecuencia	60 Hz
Torque de salida	304 Nm
Factor de servicio	2,10
Diámetro del eje solido	48 mm

Fuente: EPLI S.A.C.

La potencia total de la máquina moledora es de 25 HP (18,5kW), según el catalogo TRECESA S. L. la potencia estándar está dentro del rango 0,12 hasta 160 kW entonces el motorreductor correspondiente es de tipo H101/NV160, el cual es un motorreductor que cumple con el rendimiento y los criterios de cálculos solicitado por el catálogo.

7.9 Acoplamientos

Es un elemento mecánico que sirve para conectar tramos entre ejes de tal manera que prolongue su línea de transmisión en distintos planos para transmitir energía. Los acoplamientos también cumplen una función de proteger el sistema y el mismo mecanismo de sujeción contra cargas. [34]

7.9.1 Tipos de acoplamientos

Acoplamiento SKF flex: Tiene una excelente capacidad de amortiguar vibraciones y elevadas cargas de choque, resuelve problemas de desalineamiento. Implica solución de alto rendimiento en esta gama de acoplamiento. Es fácil de instalar y no requiere mantenimiento tienen tratamiento superficial a base de fosfato que los hace resistentes a la corrosión. [34]



Figura N°: 49 Acoplamiento SKF flex

Fuente: Catalogo SKF

Características físicas

Tabla N°: 46 Características del acoplamiento SKF flex

Tamaño del acoplamiento	Velocidad máxima RPM	Masa kg	Inercia kgm ²	Rigidez torsional Nm/°	Desalineación			Torque nominal Nm	Torque máx Nm	Tamaño del tornillo	Torque del tornillo de fijación (NM)	Designación de la banda elástica	
					Angular °	Paralela mm	Axial mm					Std	F.R.A.S.
F40	4500	0,1	0,00074	5	4	1,1	1,3	24	64	M6	15	PHE F40NRTYRE	PHE F40FRTYRE
F50	4500	0,3	0,00115	13	4	1,3	1,7	66	160	M6	15	PHE F50NRTYRE	PHE F50FRTYRE
F60	4000	0,5	0,0052	26	4	1,6	2,0	127	318	M6	15	PHE F60NRTYRE	PHE F60FRTYRE
F70	3600	0,7	0,009	41	4	1,9	2,3	250	487	M8	24	PHE F70NRTYRE	PHE F70FRTYRE
F80	3100	1,0	0,017	63	4	2,1	2,6	375	759	M8	24	PHE F80NRTYRE	PHE F80FRTYRE
F90	3000	1,1	0,031	91	4	2,4	3,0	500	1096	M10	40	PHE F90NRTYRE	PHE F90FRTYRE
F100	2600	1,1	0,054	126	4	2,6	3,3	675	1517	M10	40	PHE F100NRTYRE	PHE F100FRTYRE
F110	2300	1,4	0,078	178	4	2,9	3,7	875	2137	M10	40	PHE F110NRTYRE	PHE F110FRTYRE
F120	2050	2,3	0,113	296	4	3,2	4,0	1330	3547	M12	50	PHE F120NRTYRE	PHE F120FRTYRE
F140	1800	2,6	0,255	470	4	3,7	4,6	2325	5642	M12	55	PHE F140NRTYRE	PHE F140FRTYRE
F160	1600	3,4	0,380	778	4	4,2	5,3	3770	9339	M16	80	PHE F160NRTYRE	PHE F160FRTYRE
F180	1500	7,7	0,847	1371	4	4,8	6,0	6270	16455	M16	105	PHE F180NRTYRE	PHE F180FRTYRE
F200	1300	8,0	1,281	1959	4	5,3	6,6	9325	23508	M16	120	PHE F200NRTYRE	PHE F200FRTYRE
F220	1100	10,0	2,104	2760	4	5,8	7,3	11600	33125	M20	165	PHE F220NRTYRE	PHE F220FRTYRE
F250	1000	15,0	3,505	3562	4	6,6	8,2	14675	42740	M20	165	PHE F250NRTYRE	PHE F250FRTYRE

Fuente: Catalogo SKF

Acoplamiento de cadena: este tipo de acoplamiento permite transmitir elevado torque que los transmitidos por el eje por lo que son ideales para una aplicación que requiere un mayor torque. Sus bridas están unidas por cadena doble de rodillos que admiten 2° de desalineación. [34]

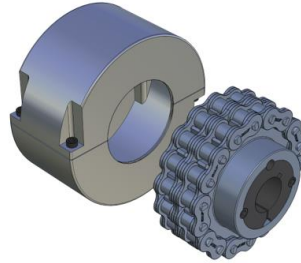


Figura N°: 50 Acoplamiento de cadena

Fuente: Catálogo SKF

Acoplamiento FRC: de mayor capacidad que los acoplamientos de mandíbula, no necesitan mantenimiento; los FCR diseñados como acoplamiento multipropósito, capaces de absorber cargas choque moderadas y pequeñas vibraciones. Tienen tratamiento superficial en fosfato para mejor resistencia a la corrosión y fabricados con elementos flexibles resistentes al fuego. [34]



Figura N°: 51 Acoplamiento FRC

Fuente: Catálogo SKF

Tipos

Tabla N°: 47 Tipos de acoplamiento FRC

Tamaño	Tipo F	Tipo H	Tipo B sin orificio	Elemento std -40 °C/+100 °C	Elemento F.R.A.S. -20 °C/+80 °C
70	PHE FRC70FTB	PHE FRC70HTB	PHE FRC70RSB	PHE FRC70NR	PHE FRC70FR
90	PHE FRC90FTB	PHE FRC90HTB	PHE FRC90RSB	PHE FRC90NR	PHE FRC90FR
110	PHE FRC110FTB	PHE FRC110HTB	PHE FRC110RSB	PHE FRC110NR	PHE FRC110FR
130	PHE FRC130FTB	PHE FRC130HTB	PHE FRC130RSB	PHE FRC130NR	PHE FRC130FR
150	PHE FRC150FTB	PHE FRC150HTB	PHE FRC150RSB	PHE FRC150NR	PHE FRC150FR
180	PHE FRC180FTB	PHE FRC180HTB	PHE FRC180RSB	PHE FRC180NR	PHE FRC180FR
230	PHE FRC230FTB	PHE FRC230HTB	PHE FRC230RSB	PHE FRC230NR	PHE FRC230FR
280	PHE FRC280FTB	PHE FRC280HTB	PHE FRC280RSB	PHE FRC280NR	PHE FRC280FR

Fuente: Catálogo SKF

Acoplamiento dentado: son torsionalmente rígidos y se suministran en dos diseños: completamente flexibles y flexible/rígido. Un acoplamiento flexible se compone de dos cubos con dos engranajes externo y dos manguitos exteriores con engranaje interno. este acoplamiento soporta todas las desalineaciones posibles, así como grandes momentos axiales. Un acoplamiento flexible/rígido se componen de la mitad dentada flexible y la mitad dentada rígida, no soporta desplazamiento paralelo de los ejes, pero soporta la desalineación angular se utiliza principalmente para ejes flotantes. [34]

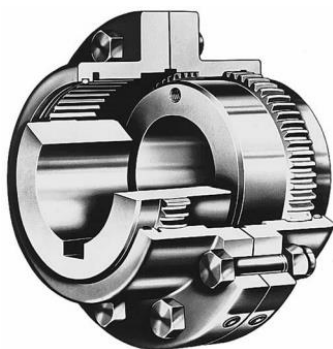


Figura N°: 52 Acoplamiento dentado

Fuente: Catálogo SKF

Características físicas

Tabla N°: 48 Características físicas de acoplamiento dentado

Tamaño	KW por 100 rpm	Torque nominal	Velocidad máxima	Diámetro del orificio		Dimensiones (mm)								Peso del Acoplamiento	Peso del lubricante
		Nm	rpm	Min	Max	A	B	C	D	F	J	G	M	kg	kg
10	9	844	8000	13	48	116	89	43	69	84	39	3	51	5	0,04
15	20	1893	6500	19	60	152	101	49	86	105	48	3	61	9	0,07
20	37	3512	5600	25	73	178	127	62	105	126	59	3	76	16	0,12
25	67	6318	5000	32	92	213	159	77	131	155	72	5	91	29	0,23
30	112	10536	4400	38	105	240	187	91	152	180	84	5	107	43	0,36
35	172	16157	3900	51	124	279	218	106	178	211	98	6	130	68	0,54
40	261	24594	3600	64	146	318	248	121	210	245	111	6	145	97	0,91
45	358	33717	3200	76	165	346	278	135	235	274	123	8	165	136	1,04
50	485	45666	2900	89	178	389	314	153	254	306	141	8	183	190	1,77
55	634	59723	2650	102	197	425	344	168	279	334	158	8	203	249	2,22
60	821	77283	2450	114	222	457	384	188	305	366	169	8	229	306	3,18
70	1194	112413	2150	89	254	527	452	221	343	425	196	10	267	485	4,35
80	1567	147542	1750	102	279	591	508	249	356	572	243	10	300	703	9,53
90	2126	200242	1550	114	305	660	565	276	394	641	265	13	327	984	12,25
100	2984	281037	1450	127	343	711	623	305	445	699	294	13	356	1302	14,97
110	4103	386426	1330	140	387	775	679	333	495	749	322	13	384	1678	17,69
120	5222	491815	1200	152	425	838	719	353	546	826	341	13	403	2114	20,87

Fuente: Catálogo SKF

Acoplamiento grilla: son acoplamientos que están diseñados para espacios reducidos, tiene fácil acceso para su reemplazo en caso de sufra ruptura lo cual disminuye los tiempos de parada. Posee una mayor capacidad de absorber torque

que otros acoplamientos. Amortiguan vibraciones y ofrecen protección de cargas de impacto y absorben pocas desalineaciones. [34]

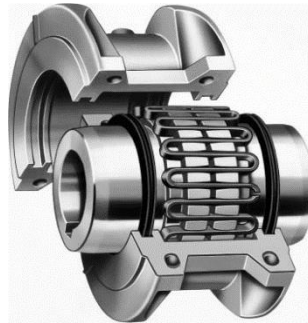


Figura N°: 53 Acoplamiento grilla

Fuente: Catálogo SKF

Características físicas

Tabla N°: 49 Características de acoplamiento grilla

Tamaño	KW por 100 rpm	Torque nominal Nm	Velocidad máxima rpm	Diámetro del orificio		Dimensiones (mm)										G (mm)			Peso del acoplamiento kg	Peso del lubricante kg
				Min	Max	A	B	C	D	J	F	H	M	S	Min	Normal	Max			
1020	0.51	48	6000	12	30	111	98.0	47.5	39.7	24	64	10	48	39	1.5	3.0	4.5	2	0.03	
1030	1.44	135	6000	12	36	121	98.0	47.5	49.2	25	73	10	48	39	1.5	3.0	4.5	2.6	0.04	
1040	2.40	226	6000	12	44	128	104.6	50.8	57.1	26	83	10	51	40	1.5	3.0	4.5	3.4	0.05	
1050	4.20	395	6000	12	50	148	123.6	60.3	66.7	31	99	12	60	45	1.5	3.0	4.5	5.4	0.05	
1060	6.60	622	6000	19	57	162	130.0	63.5	76.2	32	111	13	64	52	1.5	3.0	4.5	7.3	0.09	
1070	9.69	904	5500	19	65	173	155.4	76.2	87.3	34	124	13	67	54	1.5	3.0	4.5	10	0.12	
1080	20.13	1865	4750	27	79	200	180.8	88.9	104.8	44	149	13	89	65	1.5	3.0	6.0	18	0.17	
1090	35.79	3390	4000	27	95	232	199.8	98.4	123.8	48	168	13	95	72	1.5	3.0	6.0	25	0.25	
1100	60.40	5707	3250	41	107	267	245.7	120.6	142.0	60	197	16	121	-	1.5	4.5	9.5	42	0.43	
1110	90.23	8477	3000	41	117	286	258.5	127.0	160.3	64	216	16	124	-	1.5	4.5	9.5	54	0.51	
1120	131.99	12433	2700	60	136	319	304.4	149.2	179.4	73	244	17	143	-	1.5	6.0	12.5	81	0.73	
1130	191.64	18084	2400	66	165	378	329.8	161.9	217.5	75	282	21	146	-	1.5	6.0	12.5	122	0.91	
1140	275.91	25996	2200	66	184	416	371.6	182.8	254.0	78	321	21	155	-	1.5	6.0	12.5	180	1.13	
1150	384.04	36168	2000	108	203	476	371.8	182.9	269.2	107	374	19	203	-	1.5	6.0	12.5	230	1.95	
1160	539.89	50862	1750	120	228	533	402.2	198.1	304.8	114	424	30	216	-	1.5	6.0	12.5	321	2.81	
1170	719.60	67816	1600	133	279	584	437.8	215.9	355.6	119	474	30	226	-	1.5	6.0	12.5	448	3.49	
1180	997.75	94037	1400	152	311	630	483.6	238.8	393.7	130	-	-	-	-	1.5	6.0	12.5	591	3.76	
1190	1319.89	124328	1300	152	339	685	524.2	259.1	436.9	135	-	-	-	-	1.5	6.0	12.5	761	4.40	
1200	1799.37	169538	1100	177	361	737	564.8	279.4	497.8	145	-	-	-	-	1.5	6.0	12.5	1021	5.62	

Fuente: Catálogo SKF

7.10 Cálculo y selección del acoplamiento

Datos para la selección:

Potencia nominal: 25HP (18,65 kW)

Velocidad de salida: 700 RPM

Diámetro del eje motor: 48 mm

Diámetro del eje de la maquina: 95 mm

Factor de servicio

Tabla N°: 50 Factor de servicio

		Tipo de unidad de motriz					
		Motores eléctricos y turbinas de vapor			Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas		
		Horas de servicio por día			Horas de servicio por día		
		<10	10-16	>16	<10	10-16	>16
Liviano	Agitadores/Mezcladores (líquidos), cintas transportadoras (carga uniforme), ventiladores y aspiradores, bombas centrífugas y compresores, ventiladores (menos de 7,5 kW).	0,8	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5
Medio	Agitadores/Mezcladores (exc. líquidos), correas transportadoras (carga variable), ventiladores (más de 7,5 kW), generadores, ejes de transmisión, máquinas herramienta, bombas rotativas y compresores (excepto centrífugas). Maquinaria para las industrias de la alimentación, lavanderías e imprentas.	1,3	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0
Pesado	Transportadores para servicio pesado (elevador, draga/pala, transportador a tornillo), triturador de martillos, prensas, punzonadoras, cizallas, bombas a pistón y compresores. Maquinaria para la industria textil, del papel, de ladrillos y aserraderos.	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	2,5
Muy pesado	Trituradoras (giratorias, de mandíbulas, por rodillos), Molinos para serv. pesado (molinos de bolas, de barras), equipos de izaje.	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9	3,0

Fuente: Catálogo SKF

Se considera un tipo de trabajo pesado (< 10h/día), debido a que la máquina moledora es para moler los residuos orgánicos. Además, se garantiza un factor de servicio de 2,3.

Patencia de diseño

Se debe multiplicar la potencia de diseño con el factor de servicio seleccionado para trabajo muy pesado.

$$P_d = P_n (f_c) \quad (1.39)$$

Donde:

P_d : potencia de diseño

P_n : potencia nominal

f_c : factor de servicio

$$P_d = 18,65kW (2,3)$$

$$P_d = 42,895kW$$

Torque nominal

$$T_n = \frac{P_d (kW)(30000)}{n_2 (\pi)} \quad (1.40)$$

Donde:

T_n : torque nominal

P_d : potencia de diseño

n_2 : velocidad de salida

$$T_n = \frac{42,895 (kW)(30000)}{(700)\pi}$$

$$T_n = 585,78 \approx 586 Nm$$

Tabla N°: 51 Comparación de acoplamientos

Rodamientos	Flex	Cadena	FRC	Dentado	Grilla
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Amortigua vibraciones y elevadas cargas de choque - Fácil de instalar y no requiere mantenimiento - Resistente a la corrosión - Desafinamiento angular 	<ul style="list-style-type: none"> - Son de diseño sencillo Gran absorción de impacto 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorbe cargas de impacto y vibraciones - Fácil de instalar y económico - No requiere lubricación - Desalineación puntual - Alta resistencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Son rígidos respecto a la tracción - Absorbe desalineaciones angulares, axiales y radiales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorbe pico de cargas y amortigua efecto de vibración - Protege ante cargas de impacto
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Por lo general se usa para motores pequeños y de combustión interna 	<ul style="list-style-type: none"> - Se utiliza para bajas velocidades - Utilizado en aplicaciones acopladas cerradas 		<ul style="list-style-type: none"> - Requieren lubricación periódica por lo que está sometido a grandes fuerzas centrífugas - Muy costosa en comparación de los demás acoplamientos 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de carga superior al torque requerido - Para espacio reducido
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Bombas - Reductores - Trenes de Laminación - Cintas transportadoras - Minería y Petróleo 	<ul style="list-style-type: none"> - Compresores, bombas y ventilación - Maquinaria agrícola y forestal - Maquinaria para minería y elevación 	<ul style="list-style-type: none"> - Compresores - Ventiladores - Bombas - Caja de engranajes - Mezcladores 	<ul style="list-style-type: none"> - Compresores, bombas y ventilación - Maquinaria agrícola y forestal - Maquinaria para minería y elevación 	<ul style="list-style-type: none"> - Compresores, bombas y ventilación - Maquinaria agrícola y forestal - Maquinaria para minería y elevación
Costo (\$)	630	700	360	740	820
Torque (Nm)	580	564	600	844	622

En la tabla N°: 51 se realizó un análisis de los 5 acoplamientos de los cuales se secciono el acoplamiento FRC, el cual cumple con el torque requerido y las ventajas que ofrece para el sistema de transmisión a comparación de los demás que no cumplen con lo requerido.

Potencia de salida:

Tabla N°: 52 Tamaño y designación del acoplamiento FRC

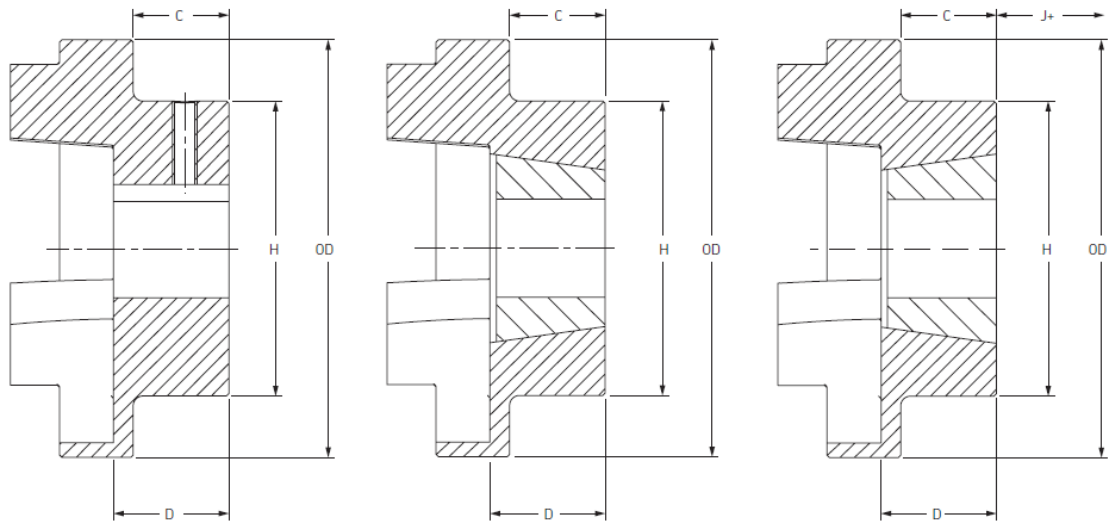
Velocidad	Tamaño del acoplam.							
RPM	70	90	110	130	150	180	230	280
50	0,16	0,42	0,84	1,65	3,14	4,97	10,47	16,49
100	0,33	0,84	1,68	3,30	6,28	9,95	20,94	32,98
200	0,66	1,68	3,35	6,60	12,57	19,90	41,88	65,97
300	0,99	2,51	5,03	9,90	18,85	29,84	62,83	98,95
400	1,32	3,35	6,70	13,19	25,13	39,79	83,77	131,94
500	1,65	4,19	8,38	16,49	31,41	49,74	104,71	164,92
600	1,98	5,03	10,05	19,79	37,70	59,69	125,65	197,91
700	2,31	5,86	11,73	23,09	43,98	69,63	146,60	230,89
720	2,37	6,03	12,06	23,75	45,24	71,62	150,79	237,49
800	2,64	6,70	13,40	26,39	50,26	79,58	167,54	263,87
900	2,97	7,54	15,08	29,69	56,54	89,53	188,48	296,86
960	3,17	8,04	16,08	31,66	60,31	95,50	201,05	316,65
1000	3,30	8,38	16,75	32,98	62,83	99,48	209,42	329,84
1200	3,96	10,05	20,10	39,58	75,39	119,37	251,31	395,81
1400	4,62	11,73	23,46	46,18	87,96	139,27	293,19	461,78
1440	4,75	12,06	24,13	47,50	90,47	143,25	301,57	474,97
1600	5,28	13,40	26,81	52,77	100,52	159,16	335,08	527,75
1800	5,94	15,08	30,16	59,37	113,09	179,06	376,96	593,72
2000	6,60	16,75	33,51	65,97	125,65	198,95	418,85	659,69
2200	7,26	18,43	36,86	72,57	138,22	218,85	460,73	725,65
2400	7,92	20,10	40,21	79,16	150,79	238,74	502,62	-
2600	8,58	21,78	43,56	85,76	163,35	258,64	544,50	-
2800	9,24	23,46	46,91	92,36	175,92	278,53	-	-
2880	9,50	24,13	48,25	94,99	180,94	286,49	-	-
3000	9,90	25,13	50,26	98,95	188,48	298,43	-	-
3600	11,87	30,16	60,31	118,74	226,18	-	-	-
Torque nominal Nm	31,5	80	160	315	600	950	2000	3150
Torque máximo Nm	72	180	360	720	1500	2350	5000	7200

Designación

Tamaño	Tipo F	Tipo H	Tipo B sin orificio	Elemento std -40 °C/+100 °C	Elemento F.R.A.S. -20 °C/+80 °C
70	PHE FRC70FTB	PHE FRC70HTB	PHE FRC70RSB	PHE FRC70NR	PHE FRC70FR
90	PHE FRC90FTB	PHE FRC90HTB	PHE FRC90RSB	PHE FRC90NR	PHE FRC90FR
110	PHE FRC110FTB	PHE FRC110HTB	PHE FRC110RSB	PHE FRC110NR	PHE FRC110FR
130	PHE FRC130FTB	PHE FRC130HTB	PHE FRC130RSB	PHE FRC130NR	PHE FRC130FR
150	PHE FRC150FTB	PHE FRC150HTB	PHE FRC150RSB	PHE FRC150NR	PHE FRC150FR
180	PHE FRC180FTB	PHE FRC180HTB	PHE FRC180RSB	PHE FRC180NR	PHE FRC180FR
230	PHE FRC230FTB	PHE FRC230HTB	PHE FRC230RSB	PHE FRC230NR	PHE FRC230FR
280	PHE FRC280FTB	PHE FRC280HTB	PHE FRC280RSB	PHE FRC280NR	PHE FRC280FR

Fuente: Catalogo de acoplamientos SKF

Dimensiones



Tamaño	Dimensiones comunes		Tipo F y H						Tipo B				
	OD	H	Tamaño del buje	Orificio		C	D	J+	Diámetro del orificio		Tornillo de Fijación	C	D
				Min	Max				Max	mínimo			
70	69	60	1008	9	25	20	23,5	29	32	10	M6	20	25,8
90	85	70	1108	9	28	19,5	23,5	29	38	10	M6	26	30,0
110	112	100	1610	14	42	18,5	26,5	38	55	10	M10	37	45,3
130	130	105	1610	14	42	18	26,5	38	60	20	M10	39	47,5
150	150	115	2012	14	50	23,5	33,5	42	70	28	M10	46	60,0
180	180	125	2517	16	60	34,5	46,5	48	80	28	M10	58	70,0
230	225	155	3020	25	75	39,5	52,5	55	100	45	M12	77	90,0
280	275	206	3525	35	100	51	66,5	67	115	55	M16	90	105,5

Dimensiones y características del conjunto

Tabla N°: 53 Características y dimensiones del acoplamiento FRC

Tamaño	Longitud del conjunto (L) comprendiendo las mazas tipo			Masa	Inercia	Rigidez torsional	Desalineación			Torque nominal	Torque máx
	FF, FH, HH	FB, HB	BB				Angular	Paralela	Axial		
				kg	kg/m ²	Nmm°	°	mm	mm	Nm	Nm
70	65,0	65,0	65,0	1,00	0,00085	-	1	0,3	0,2	31,5	72
90	69,5	76,0	82,5	1,17	0,00115	-	1	0,3	0,5	80	180
110	82,0	100,5	119,0	5,00	0,0040	65	1	0,3	0,6	160	360
130	89,0	110,0	131,0	5,46	0,0078	130	1	0,4	0,8	315	720
150	107,0	129,5	152,0	7,11	0,0181	175	1	0,4	0,9	600	1500
180	142,0	165,5	189,0	16,60	0,0434	229	1	0,4	1,1	950	2350
230	164,5	202,0	239,5	26,00	0,1207	587	1	0,5	1,3	2000	5000
280	207,5	246,5	285,5	50,00	0,4465	1025	1	0,5	1,7	3150	7200

Fuente: Catalogo de acoplamientos SKF

7.11 Rodamientos

Es un elemento mecánico que permite reducir la fricción entre el eje y su apoyo por medio rodaduras para su fácil rotación. Su función principal permitir la rotación relativa de un elemento bajo cargas.

7.11.1 Tipos de rodamientos

Rodamiento rígido de bolas: Este tipo de rodamientos únicamente soportan cargas radiales como su nombre lo indica su elemento de rotación, son las bolas tiene la característica que tienen un diseño sencillo y además requieren de poco mantenimiento.



Figura N°: 54 Rodamiento rígido de bolas

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Rodamientos de rodillo cilíndrico: al igual que los rodamientos rígidos de bolas únicamente soportan cargas radiales la diferencia está en el elemento de rotación son los rodillos cilíndricos.



Figura N°: 55 Rodamientos de rodillos cilíndrico

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Rodamiento axial de bolas: como su nombre lo indica este tipo de rodamientos únicamente soportan cargas axiales no pueden someterse a ningún tipo de carga radial y su elemento de rotación son las bolas.



Figura N°: 56 Rodamiento axial de bolas

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Rodamiento axial con rodillos cilíndricos: al igual que los axiales de bolas únicamente pueden someterse a cargas axiales y lo único que cambia es los rodillos como elemento de rotación.



Figura N°: 57 Rodamiento axial con rodillos cilíndricos

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Rodamiento de bolas de contacto angular: este tipo de rodamientos tiene la característica que soporta ambos tipos de cargas radiales y axiales esto se debe a que su jaula está en una posición oblicua y esto hace que pueda soportar una determinada componente que se genere debido a ambas cargas.



Figura N°: 58 Rodamiento de bolas de contacto angular

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Rodamiento de rodillo cónico: al igual que los rodamientos de contacto angular este tipo de rodamientos soporta ambos tipos de cargas esto se debe a que su anillo interior y sus anillos exteriores están adecuados de forma oblicua de tal manera que los cilindros forman una especie de cono, esto hace que igualmente soporten un determinado tipo de componente que se forma por la carga axial y radial.



Figura N°: 59 Rodamiento de rodillo cónico

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Rodamiento de aguja: este tipo de rodamientos funciona igual que los rodamientos de rodillos, pero tienen la característica que sus rodillos son cilíndricos, largos y delgados en relación a su diámetro a pesar de que tienen una pequeña sección transversal, tienen una gran capacidad de carga y por lo tanto son muy apropiados para disposición de rodamientos que tienen un espacio radial muy limitado.



Figura N°: 60 Rodamiento de aguja

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

Tabla N°: 54 Componentes y nomenclatura de rodamientos

Componente de un rodamiento							Nomenclatura de rodamientos	
Tipo	Anillo exterior	Anillo interior	Cuerpos rodantes	Material sintético	Chapa embutida	Maciza mecanizada	Diagrama de nomenclatura	
Rodamiento de bolas								
Rod. de rodillos cilíndricos								
Rod. de rodillos cónicos	(cubeta)	(cono)						

Fuente: [35]

Vida útil del rodamiento

La falla en los rodamientos es generada por la fatiga del metal en su superficie de contacto. Esta fatiga sucede por varios factores como presencia de elementos contaminantes, lubricación deficiente, exceso de calor y cargas externas elevadas. [36]

Vida útil y la capacidad de carga de los rodamientos

La vida de un rodamiento es la cantidad de horas de funcionamiento o la cantidad de revoluciones que esta puede soportar con cierta velocidad antes del primer indicio de fatiga del metal (descascarillado) en el aro exterior o interior de un elemento rodante. [36]

Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Figura N°: 61 Vida útil en los diferentes tipos de maquinas

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

7.12 Cálculo y selección de los rodamientos A

Para la selección de los rodamientos se debe tener en cuenta el tipo de carga que actúan los apoyos A y B considerando su magnitud y sentido. Luego de realizar los cálculos respectivos se selecciona el diámetro interno del rodamiento capaz de soportar esas cargas.

Datos para la selección de rodamientos:

$$n = 700 \text{ RPM}$$

Hora de trabajo 25000 horas

Las cargas que actúan en el apoyo A, son carga radial y tangencial

$$F_A = R_{Ay} = 508,32 \text{ N}$$

$$F_r = R_{Az} = 9023,54 \text{ N}$$

Debido que los ejes están sometidos a carga radial y axial se selecciona un rodamiento que soporte ese tipo de cargas, tanto para el apoyo A y B será un rodamiento de bolas con ranura profunda de una hilera ya que tiene una capacidad de carga radial y axial muy buena como se muestra en la siguiente tabla N°:55.

Tabla N°: 55 Comparación de los tipos de rodamientos

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas con ranura profunda	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas, ranura profunda	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos	Excelente	Mala	Regular
Agujas	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos	Excelente	Excelente	Mala

Fuente: Robert L Mott, P.E. Diseño de elementos de maquinas

7.12.1 Método de esfuerzos estáticos

Carga estática equivalente del rodamiento

Las cargas estáticas tienen componentes radiales y axiales que deben convertirse a una carga estática equivalente del rodamiento. La carga estática equivalente P_0 (kN) es un valor teórico. P_0 origina la misma sollicitación en el punto de contacto más cargado entre cuerpos rodantes y camino de rodadura que la carga combinada real. [37]

$$P_0 = X_0 (F_r) + Y_0 (F_a) \quad (1.41)$$

Donde:

P_0 : carga estática equivalente, F_r : carga radial, F_a : carga axial, X_0 : factor radial,

Y_0 : factor axial

$$P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a$$

$$P_0 = 0,6(9023,54N) + 0,5(508,32N)$$

$$P_0 = 5668,28N$$

Por lo tanto $P_0 < F_r$, se toma la misma carga radial $P_0 = F_r$. Entonces:

$$P_0 = 9023,54N$$

Capacidad de carga estática básica requerida

Cuando el tamaño del rodamiento requerido se determina en base a la capacidad de carga estática, se emplea un factor de seguridad S_0 , que representa la relación entre la capacidad de carga estática básica C_0 y la carga estática equivalente del rodamiento P_0 para calcular la capacidad de carga estática básica requerida. [37]

$$C_0 = S_0 (p_0) \quad (1.42)$$

Donde:

S_0 : factor de seguridad estática, C_0 : capacidad de carga estática (kN), P_0 : carga estática equivalente del rodamiento (kN)

Tabla N°: 56 Capacidad de carga estática básica

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios				Rodamientos fijos			
	Requisitos de rendimiento (p. ej., funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones)							
	sin importancia		normal		sup.			
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas ¹⁾	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se recomienda utilizar $s_0 \geq 4$.

¹⁾ Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deben utilizarse valores de s_0 por lo menos iguales a los arriba mencionados. Si se conoce la magnitud de las cargas de choque, se pueden aplicar valores de s_0 menores.

Fuente: Catalogo SKF general-rodamientos

S_o para exigencias reducidas: 0,7 a 1

S_o para exigencias normales: 1 a 1,5

S_o para exigencias elevadas: 1,5 a 2

$$C_0 = 2(9023,54N)$$

$$C_0 = 18047,08N \approx 18,047kN$$

7.12.2 Método dinámico

Por más que se calculó con el método estático se debe comprobar con el método dinámico ya que esto te permite ver cuando falla el rodamiento por fatiga.

Vida nominal en horas de funcionamiento

La vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281 es.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (1.43)$$

Donde:

p : exponente de la ecuación de vida útil para rodamiento de bolas $p = 3$, L_{10} : vida nominal (10^6 revoluciones), C : capacidad de carga dinámica, P : carga dinámica equivalente del rodamiento

Para velocidad constante se calcula la vida útil en referencia a las horas de funcionamiento.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60(n)} (L_{10}) \quad (1.44)$$

Donde:

L_{10} : vida nominal básica (10^6 revoluciones), L_{10h} : vida nominal SKF (horas de funcionamiento) y n : velocidad de giro (rpm)

Carga dinámica equivalente del rodamiento

La carga dinámica equivalente P se define como una carga hipotética, constante en magnitud y sentido. Los rodamientos radiales con frecuencia están sometidos

a cargas radiales y axiales simultáneamente. Si la carga resultante es constante en magnitud y dirección, la carga dinámica equivalente P del rodamiento se puede calcular con la siguiente ecuación general: [37]

$$P = X_0(F_r) + Y_0(F_a) \quad (1.45)$$

Donde:

P_0 : carga dinámica equivalente, F_r : carga radial, F_a : carga axial, X_0 : factor radial para cargas dinámicas y Y_0 : factor axial para cargas dinámicas

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

Entonces:
$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{508,32N}{9023,54N} = 0,056$$

Tabla N°: 57 Factor de carga equivalente

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Útilice 0.014 si $F_a/C_0 < 0.014$.

Fuente: Shigley "Diseño en ingeniería mecánica"

La relación de fuerzas radiales y axiales con $V = 1$ para el giro del anillo interior del rodamiento según Shigley indica para el factor de cálculo e menor a 0,19 se

debe seleccionar $X_0 = 1$ y $Y_0 = 0$

$$P_0 = 1(9023,54N) + 0(508,32N)$$

$$P_0 = F_r = 9023,54N$$

Entonces para la carga dinámica básica será:

$$C = (P_0) \left(\sqrt[p]{\frac{60(n)(RPM)(L_{10h})}{L_{10}}} \right)$$

(2.17)

$$C = (9023,54N) \left(\sqrt[3]{\frac{60(700)(RPM)(25000)}{10^6}} \right)$$

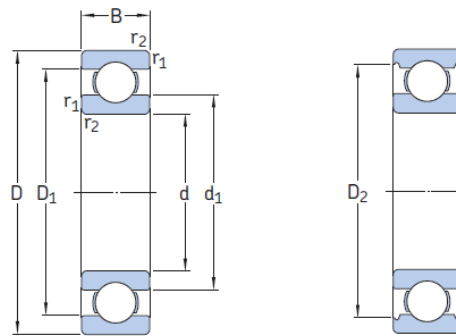
$$C = 91714,93N \approx 91,715kN$$

En la siguiente tabla del catálogo SKF se mostrará las características del rodamiento seleccionado con carga dinámica $C = 111kN$ que es un valor mayor del calculado.

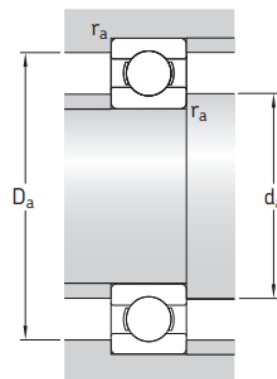
7.13 Datos técnicos del rodamiento seleccionado

Tabla N°: 58 Ficha técnica del rodamiento A

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 60 – 75 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.	kg	-	
70	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	9 000	0,14	61814
	100	16	23,8	21,2	0,9	14 000	8 500	0,35	61914
	110	13	29,1	25	1,06	13 000	8 000	0,44	* 16014
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	8 000	0,61	* 6014
	125	24	63,7	45	1,9	11 000	7 000	1,1	* 6214
	150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	2,55	* 6314
75	180	42	143	104	3,9	8 500	5 300	4,95	6414
	95	10	12,7	14,3	0,61	14 000	8 500	0,15	61815
	105	16	24,2	22,4	0,965	13 000	8 000	0,37	61915
	115	13	30,2	27	1,14	12 000	7 500	0,46	* 16015
	115	20	41,6	33,5	1,43	12 000	7 500	0,65	* 6015
	130	25	68,9	49	2,04	10 000	6 700	1,2	* 6215
	160	37	119	76,5	3	9 000	5 600	3,05	* 6315
	190	45	153	114	4,15	8 000	5 000	5,8	6415



Dimensiones					Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo			Factores de cálculo	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2} min.	d _a min.	D _a máx.	r _a máx.	k _r	f ₀
mm					mm			-	
70	76,6	83,4	-	0,6	73,2	86,8	0,6	0,015	17
	79,7	90,3	-	1	74,6	95,4	1	0,02	16
	83,3	96,8	-	0,6	73,2	106	0,6	0,02	16
	82,8	97,2	99,9	1,1	76	104	1	0,025	16
	87	108	111	1,5	79	116	1,5	0,025	15
	94,9	125	130	2,1	82	138	2	0,03	13
	103	146	-	3	86	164	2,5	0,035	12
	81,6	88,4	-	0,6	78,2	91,8	0,6	0,015	17
	84,7	95,3	-	1	79,6	100	1	0,02	17
	88,3	102	-	0,6	78,2	111	0,6	0,02	16
87,8	103	105	1,1	81	109	1	0,025	16	
75	92	113	117	1,5	84	121	1,5	0,025	15
	101	134	139	2,1	87	148	2	0,03	13
	110	155	-	3	91	174	2,5	0,035	12

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

7.13.1 Vida nominal básica

Es el tiempo que se espera que un rodamiento funcione en las condiciones de trabajo predefinidas, se calcula utilizando el número de revoluciones que alcance o sobrepase el 90% durante un tiempo determinado y sin fallar. Para el caso de la maquina moladora es 25000h de funcionamiento.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60(n)} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^n \quad (1.46)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60(700RPM)} \right) \left(\frac{111kN}{9,023kN} \right)^3$$

$$L_{10h} = 44326,84h$$

Se obtuvo un valor de 44326,84h lo cual es mayor al 25000h que era el requerimiento de funcionamiento si bien existe una diferencia de 19326,84h que están demás estas vendrían ser un factor de seguridad entonces el rodamiento sería el adecuado.

El diámetro en la sección donde va montado los rodamientos el punto A debe tener un valor mínimo de 70mm, corresponde al rodamiento 6314 con capacidad de carga de dinámica de 111kN.

7.14 Calculo y selección de los rodamientos B

Datos para la selección de rodamientos:

$$n = 700 \text{ RPM}$$

Hora de trabajo 25000 horas

Las cargas que actúan en el apoyo B: teniendo en cuenta que los dos rodamientos soportan cargas radiales y tangencial por lo que tenemos:

$$F_A = R_{By} = 3435,30N$$

$$F_R = R_{Bz} = 11635,42 \text{ N}$$

7.14.1 Método de esfuerzos estáticos

Carga estática equivalente del rodamiento

$$P_0 = X_0(F_r) + Y_0(F_a) \quad (1.47)$$

Donde:

P_0 : carga estática equivalente, F_r : carga radial, F_a : carga axial, X_0 : factor radial,

Y_0 : factor axial

$$P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a$$

$$P_0 = 0,6(11635,42N) + 0,5(3435,30N)$$

$$P_0 = 8698,902N$$

Cuando $P_0 < F_r$, se toma la misma carga radial $P_0 = F_r$. Entonces:

$$P_0 = F_r = 11635,42N$$

Capacidad de carga estática básica requerida

$$C_0 = S_0 (P_0) \quad (1.48)$$

Donde:

S_0 : factor de seguridad estática, C_0 : capacidad de carga estática (kN), P_0 : carga estática equivalente del rodamiento (kN)

Tabla N°: 59 Factor de seguridad estática

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios					Rodamientos fijos			
	Requisitos de rendimiento (p. ej., funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones)								
	sin importancia		normal		sup.				
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8	
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1	
Cargas de choque pronunciadas ¹⁾	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2	

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se recomienda utilizar $s_0 \geq 4$.

¹⁾ Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deben utilizarse valores de s_0 por lo menos iguales a los arriba mencionados. Si se conoce la magnitud de las cargas de choque, se pueden aplicar valores de s_0 menores.

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

$$C_0 = 2(11635,42N)$$

$$C_0 = 23270,80N \approx 23,270kN$$

7.14.2 Método dinámico

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (1.49)$$

Donde:

L_{10} : vida nominal (10^6 revoluciones), p : exponente de la ecuación de vida útil para rodamiento de bolas $p = 3$, C : capacidad de carga dinámica básica (kN), P : carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

Para velocidad constante se calcula la vida útil en referencia a las horas de funcionamiento.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60(n)} (L_{10}) \quad (1.50)$$

Donde:

L_{10} : vida nominal básica (10^6 revoluciones), L_{10h} : vida nominal SKF (horas de funcionamiento) y n : velocidad de giro (rpm)

Carga dinámica equivalente del rodamiento

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

Entonces $\frac{F_a}{F_r} = \frac{3435,30N}{11635,42N} = 0,29$

Tabla N°: 60 Factor de carga radial equivalente

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Útilice 0.014 si $F_a/C_0 < 0.014$.

Fuente: Shigley "Diseño en ingeniería mecánica"

La relación de fuerzas radiales y axiales con $V = 1$ para el giro del anillo interior del rodamiento según Shigley indica para el factor de cálculo e es 0,29 se debe

seleccionar $X_0 = 1$ y $Y_0 = 0$

$$P_0 = X_0(F_r) + Y_0(F_a) \quad (1.51)$$

Donde:

P_0 : carga dinámica equivalente, F_r : carga radial, F_a : carga axial, X_0 : factor radial para cargas dinámicas y Y_0 : factor axial para cargas dinámicas

$$P_0 = 1(11635,42N) + 0(3435,30N)$$

$$P_0 = F_r = 11635,42N$$

Entonces para la carga dinámica básica tenemos:

$$C = (P_0) \left(\sqrt[p]{\frac{60(n)(RPM)(L_{10h})}{L_{10}}} \right)$$

(1.52)

$$C = (11635,42N) \left(\sqrt[3]{\frac{60(700)(RPM)(25000)}{10^6}} \right)$$

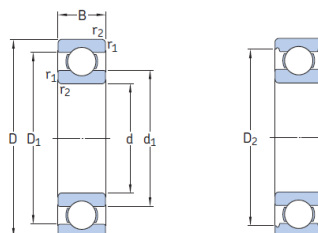
$$C = 118261,99N \approx 118,26kN$$

En la siguiente tabla se mostrará las características del rodamiento seleccionado, teniendo en cuenta que no debe generarse concentrado de esfuerzos en el eje. Se selecciona un rodamiento estandarizado del catálogo SKF de diámetro interno de 70 mm con carga dinámica $C = 143 kN$ que mayor al valor calculado.

7.15 Datos técnicos del rodamiento seleccionado

Tabla N°: 61 Ficha técnica del rodamiento B

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 60–75 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–
70	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	9 000	0,14	61814
	100	16	23,8	21,2	0,9	14 000	8 500	0,35	61914
	110	13	29,1	25	1,06	13 000	8 000	0,44	* 16014
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	8 000	0,61	* 6014
	125	24	63,7	45	1,9	11 000	7 000	1,1	* 6214
	150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	2,55	* 6314
	180	42	143	104	3,9	8 500	5 300	4,95	6414
75	95	10	12,7	14,3	0,61	14 000	8 500	0,15	61815
	105	16	24,2	22,4	0,965	13 000	8 000	0,37	61915
	115	13	30,2	27	1,14	12 000	7 500	0,46	* 16015
	115	20	41,6	33,5	1,43	12 000	7 500	0,65	* 6015
	130	25	68,9	49	2,04	10 000	6 700	1,2	* 6215
	160	37	119	76,5	3	9 000	5 600	3,05	* 6315
	190	45	153	114	4,15	8 000	5 000	5,8	6415

Dimensiones					Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo			Factores de cálculo	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2} mín.	d _a mín.	D _a máx.	r _a máx.	k _r	f ₀
mm					mm			–	

70	76,6	83,4	-	0,6	73,2	86,8	0,6	0,015	17
	79,7	90,3	-	1	74,6	95,4	1	0,02	16
	83,3	96,8	-	0,6	73,2	106	0,6	0,02	16
	82,8	97,2	99,9	1,1	76	104	1	0,025	16
	87	108	111	1,5	79	116	1,5	0,025	15
	94,9	125	130	2,1	82	138	2	0,03	13
	103	146	-	3	86	164	2,5	0,035	12
75	81,6	88,4	-	0,6	78,2	91,8	0,6	0,015	17
	84,7	95,3	-	1	79,6	100	1	0,02	17
	88,3	102	-	0,6	78,2	111	0,6	0,02	16
	87,8	103	105	1,1	81	109	1	0,025	16
	92	113	117	1,5	84	121	1,5	0,025	15
	101	134	139	2,1	87	148	2	0,03	13
	110	155	-	3	91	174	2,5	0,035	12

Fuente: Catalogo de rodamientos SKF

7.15.1 Vida nominal básica

Es el tiempo que se espera que un rodamiento funcione en las condiciones de trabajo predefinidas, se calcula utilizando el número de revoluciones que alcance o sobrepase el 90% durante un tiempo determinado y sin fallar. Para el caso de la maquina moladora es 25000h de funcionamiento.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60(n)} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^n \quad (1.53)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60(700RPM)} \right) \left(\frac{143kN}{11,635kN} \right)^3$$

$$L_{10h} = 44203,81h$$

Se obtuvo un valor de 44203,81h lo cual es mayor al 25000h que era el requerimiento de funcionamiento, si bien existe una diferencia de 19203,81h que están demás estas vendrían ser un factor de seguridad entonces el rodamiento sería el adecuado.

El diámetro en la sección donde va montado los rodamientos el punto B debe tener un valor mínimo de 70mm, corresponde al rodamiento 6414 con capacidad de carga de dinámica de 143kN.

7.16 Selección de las chumaceras

Las chumaceras se usan para dar apoyo a los rodamientos de un eje de rotación, por lo general se colocan en línea paralela al eje. La función principal es soportar cargas y al mismo tiempo permitir el movimiento entre dos elementos de máquinas.

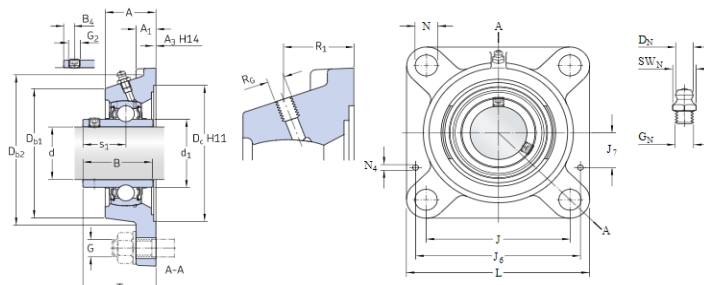


Figura N°: 62 Chumacera brida SKF

Fuente: Catálogo SKF

La chumacera que se seleccionó para la máquina moledora es de tipo brida cuadrada debido a que operan bajo condiciones de alta velocidad, altos niveles de contaminación y cargas relativamente pesadas. Este tipo de chumacera cumple con los requerimientos del rodamiento 6414 seleccionado como las dimensiones y las cargas básicas del rodamiento.

Especificaciones técnicas de las chumaceras serie FYJ



DIMENSIONES		B ₄	12 mm	BOQUILLA ENGRASADORA	
d	70 mm	D _{b1}	149 mm	D _N	6.5 mm
d ₁	= 87.05 mm	D _{b2}	163 mm	SW _N	7 mm
A	50.5 mm	D _c	161.9 mm	G _N	1/4-28 SAE-LT
A ₁	21 mm	J	152 mm	ORIFICIO ROSCADO	
A ₃	3.2 mm	L	193 mm	R _G	1/4-28 UNF
B	69.9 mm	N	19 mm	R ₁	32 mm
B ₄	12 mm	ϕ ₁	39.7 mm	PASADORES	
		T	70.3 mm	J ₆	169 mm
				J ₇	49 mm
				N ₄	4 mm

Figura N°: 63 Chumacera serie FYJ 70 TF

Fuente: Catálogo SKF

7.17 Dimensionamiento y geometría de la tolva

La tolva es un depósito de tipo tronco piramidal, se optó por esta geometría para que el material se deslice de manera rápida hacia la cámara de molienda, la parte superior de la tolva cuenta con una tapa en donde ingresa el material y la parte inferior se acopla a la cámara de molienda. En el interior de la tolva se vierte los residuos orgánicos que por efecto de la inclinación caen entre los elementos de molienda.

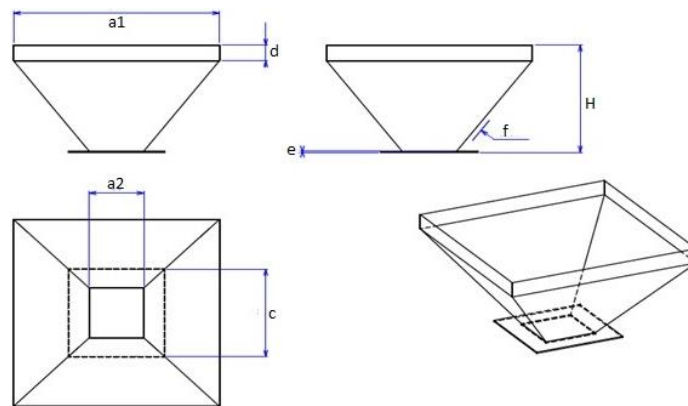


Figura N°: 64 Dimensionamiento de la tolva

Una vez calculada la longitud del eje, dimensiones de las cuchillas y separadores se define las dimensiones para la tolva y caja de moliendas. Por lo que no se cuenta con un catálogo con parámetros estandarizados que permita seleccionar con lo requerido, es por ello que se plantea las siguientes dimensiones.

Tabla N°: 62 Dimensiones de la tolva

Tolva de geometría tronco piramidal	
Altura	700 mm
Largo superior	1507,86 mm
Ancho superior	1193,86 mm
Largo inferior	844 mm
Ancho inferior	530 mm
Angulo de inclinación	45°

Se calcula el volumen sustituyendo los valores

$$V = \frac{h}{3} \left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1(A_2)} \right) \quad (2.1)$$

$$A_1 = 1507,86(1193,86) = 1800173,74mm^2$$

$$A_2 = 844(530) = 447320mm^2$$

$$V = \frac{700}{3} \left(1800173,74 + 447320 + \sqrt{1800173,74(447320)} \right)$$

$$V = 733799043,2mm^3 \approx 0,734m^3$$

El ángulo de inclinación o reposo de la caída de tolva que le va a permitir a la materia prima fluir de manera adecuada para impedir atascamientos es aproximadamente 15° más el ángulo de reposo. Considerando el ángulo de reposo para la tolva de 45°

$$\beta = \alpha + 15^\circ \quad (2.2)$$

$$\beta = 45^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

Para la tolva de material grueso se considera el factor de espacios vacíos (fev) se considera un valor de 40% (fev=0,4) lo cual debe calcularse a las características de la materia.

La tolva de gruesos considerando 40% de espacios vacíos (Fev = 0,4)

Densidad de los residuos orgánicos 1441 kg/m^3

$$\rho_c = (1 - Fev) \rho_{materia}$$

$$(2.3)$$

$$\rho_c = (1 - 0,4)(1441 \text{ Kg} / \text{m}^3)$$

$$\rho_c = 864,6 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Luego para el volumen total:

$$V_{Total} = \rho_{Tolva} (\rho_c) \quad (2.4)$$

$$V_{Total} = 0,734m^3 (864,6 \text{ kg} / \text{m}^3)$$

$$V_{Total} = 621,40 \text{ Kg}$$

7.17.1 Cálculo de la capacidad de la tolva: capacidad en peso

Como dato tenemos que la capacidad de la máquina es de 400 kg/h, por lo que se dispone cargar a la tolva 7 veces en una hora cada 9 minutos, de acuerdo a lo planteado la capacidad de la tolva será:

$$W_{\text{trabajo en 1 hora}} = \frac{\text{Capacidad de la máquina}}{n_{\text{de carga en 1 hora}}} \quad (2.5)$$

$$W = \frac{400 \text{Kg} / h}{7} = 58 \text{Kg}$$

Por lo tanto, la capacidad en peso de la tolva es de 58kg

Peso del material que entra a la tolva

Los residuos orgánicos generados por día es 0,51kg (17191,2) = 8767,51 kg/H

Densidad de los residuos orgánicos 1441 kg/m³

$$V = \frac{G_d}{\rho_{R.O.}} \quad (2.6)$$

$$V = \frac{8767,51 \text{Kg}}{1441 \text{Kg} / m^3}$$

$$V = 6,085 m^3$$

La capacidad de la máquina moladora es de 400 kg/h y se proyecta alimentar la tolva 7 veces en una hora en cada 9 min, entonces tenemos:

$$V = 6,085 m^3 (7)$$

$$V = 42,59 m^3$$

Ahora se calcula la masa de los residuos orgánicos

$$M = V(\rho) \quad (2.7)$$

$$M = 42,59 m^3 (1441 \text{Kg} / m^3)$$

$$M = 61372,19 \text{Kg}$$

Luego se multiplicará por una aceleración gravitacional para obtener el peso total del material en la tolva.

$$P = M(a) \quad (2.8)$$

$$P = 61372,19Kg(9,81m/s^2)$$

$$P = 602061,18N$$

7.18 Cálculo del espesor de la tolva

Se utilizará la teoría del cálculo de espesores de las placas rectangulares de la teoría de placas planas para elementos sometidos a presión interna regida a la norma ASME. Presión media (w), asumiendo una presión uniforme distribuida en toda la placa.

$$W = (\rho)(g)(h) \quad (2.9)$$

Donde:

w : presión en el punto medio de la placa (N/m^2), ρ : densidad de los residuos orgánicos (kg/m^3), g : aceleración de la gravedad (m/s^2) y h : altura media de la placa (m)

$$W = (1441Kg/m^3)(9,81m/s^2)(0,7m)$$

$$W = 9895,35Pa$$

Se utiliza la teoría del cálculo de espesor de las placas rectangulares de la teoría de placas planas para elementos sometidos a presión interna.

Placas con bordes simplemente apoyados: los esfuerzos máximos de la placa se hallan en sus diagonales

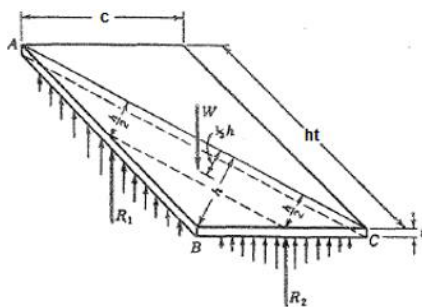


Figura N°: 65 Placas con bordes simplemente apoyados

Fuente: [38]

$$s = \frac{1}{2} \left(\frac{h_t^2}{h_t^2 + c^2} \right) \left(\frac{w(c)^2}{t^2} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

s: esfuerzo realizado en la placa (Pa), t: espesor de la placa (m), w: carga distribuida por unidad de área (m), h_t : longitud del lado mayor de la placa (m) y c: longitud del lado menor de la placa (m)

Para evitar deformaciones seguidos cuando se retiren las cargas se utiliza un esfuerzo admisible que no debe rebasar el esfuerzo calculado. Los límites de tensión según ASME es:

$$\sigma_{admisible} = 0,65(S_y) \quad (2.11)$$

Para el acero inoxidable AISI 304 $S_y = 205MPa$

$$\sigma_{admisible} = 0,65(205MPa)$$

$$\sigma_{admisible} = 133,25MPa$$

Las chapas de acero inoxidable vienen con valores comercialmente (estandarizados) de espesores de 0,4 hasta 10 mm y se eligió una chapa de $t = 5$ mm de espesor para AISI 304.

Se debe cumplir que: $s \leq \sigma_{admisible}$

$$s = \frac{1}{2} \left(\frac{(0,6)^2}{(0,6)^2 + (0,2)^2} \right) \left(\frac{9895,35Pa(0,2)^2}{(0,005)^2} \right)$$

$$S = 7,12MPa$$

Entonces:

$$s \leq \sigma_{admisible}$$

7,12 MPa \leq 133,25 MPa es factible

Placa con borde totalmente empotrada: los esfuerzos máximos en la placa se dan en los ejes centrales de manera cruzada.

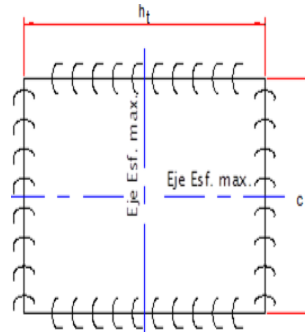


Figura N°: 66 Placa con borde totalmente empotrada

Fuente: [38]

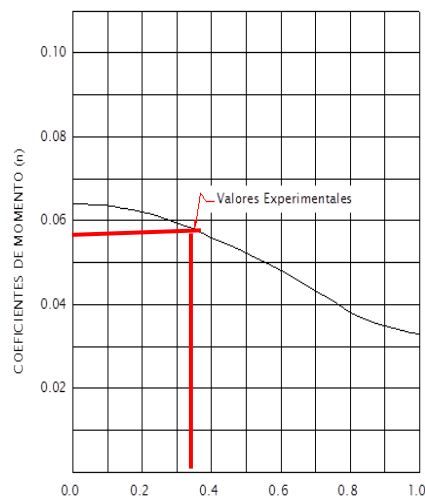
$$M_{m\acute{a}x} = (n)(w)(c^2) \quad (2.12)$$

Donde:

n: coeficiente de momento, w: carga distribuida por unidad de áreas (Pa) y c: longitud del lado menor de la placa (m)

$$s = \frac{6(M_{m\acute{a}x})}{t^2} = \frac{6(n)(w)(c^2)}{t^2} \quad (2.13)$$

En el siguiente apartado se calcula el coeficiente de momentos (n) en relación al lado corto y lado largo.



Gráfica N°: 5 Calculo para el coeficiente de momentos

Fuente: [38]

$$\text{Relacion} = \frac{\text{Lado corto}}{\text{Lado largo}} = \frac{c}{h_t} = \alpha \quad (2.14)$$

$$\alpha = \frac{0,2m}{0,6m} = 0,33$$

Donde $\alpha = 0,33$ con este valor se obtiene un coeficiente de momento ($n = 0,058$) y asumiendo un espesor de $t = 4,5$ mm

$$s = \frac{6(0,058)(9895,35Pa)(0,2m)^2}{(0,0045m)^2}$$

$$s = 6,80MPa$$

$6,80MPa \leq 133,25$ MPa es factible

Adaptar un espesor intermedio para ambos datos calculados anteriormente.

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.15)$$

$$t = \frac{(5 + 4,5)mm}{2} = 4,75 \approx 5mm$$

Características finales de la lámina para la tolva

Material acero inoxidable AISI 304

Con $S_y = 205$ MPa

Con $\rho = 7999,99$ kg/m³

Espesor 5 mm o 0,005 m

Chapa comercial con medida de 2 x 1 m

7.19 Cámara de molienda

La cámara de molienda es en donde se encuentra los elementos mecánicos como los ejes con cuchillas giratorias y es el lugar donde se ejecuta el proceso de molienda.

Se determinó un espesor de 3 mm para la tolva ya que no están sometidas a un esfuerzo muy grande. Para la cámara de molienda se estima un espesor más grande de 5 mm

ya que esta soporta vibraciones producidos por el sistema de molienda y además soporta todo el peso de la tolva.

Tabla N°: 63 Dimensiones del sistema de alimentación

Elementos	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Material
Tolva	H = 700 A1 = 1507,86 x 1193,86 A2 = 844 x 530	3	Acero inoxidable AISI304
Caja de molienda	H = 480 A1 = 930 x 630	5	Acero inoxidable AISI304

7.20 Diseño de la chaveta

La función principal de la chaveta es transmitir el movimiento angular del engranaje al eje. Las dimensiones h y t están estandarizadas y su selección se realizará según la Norma DIN 6885 en base al diámetro del eje.

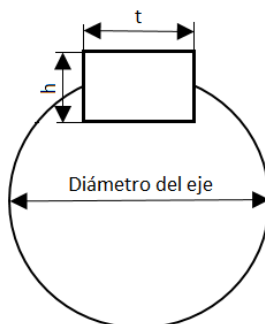


Figura N°: 67 Dimensión de la chaveta

7.20.1 Selección de las chavetas

Las chavetas permiten la unión de piezas mecánicas mediante el acatamiento de la chaveta con el chavetero sobre un eje y el cubo respectivo logrando la unión perfecta entre las dos piezas. Se seleccionó las dimensiones de las chavetas estandarizadas de acuerdo al diámetro del eje para las uniones de los engranajes al eje y del acoplamiento FRC.

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones seleccionadas de la chaveta según las normas DIN 6885.

7.21 Diseño del sistema estructural

El material que se seleccionó para el bastidor es acero ASTM A36. Se optó por este tipo de acero debido a su mayor factibilidad de adquisición por su bajo costo y además porque ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en aleación de carbono. No se opta por el acero inoxidable ya no está en contacto con el material a moler.

Tabla N°: 65 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Propiedades Mecánicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Limite elastico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), ≥	250 (36)	Espesor ≤ 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero > 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, ≥	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29×10 ³)	–
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft-lbf), ≥	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 (11.5×10 ³)	–
Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), ≥	250 (36)	–

Fuente: [39]

Selección de perfiles estructurales

La estructura es la que soporta todo el peso de los componentes de la máquina y motorreductor, en general la estructura consta de perfiles horizontales y verticales. La estructura será destruida con perfil canal (U) para la parte en donde se concentra la mayor carga provocada por el peso de la máquina y sus componentes ubicado horizontalmente, ángulos para el bastidor del motorreductor ubicado horizontalmente y las barras cuadradas solidas serán los perfiles que soporten el peso total de la máquina ubicada verticalmente.

Fuerzas que actúan en el sistema estructural

Carga de los componentes de la máquina, residuos orgánicos y motorreductor, son cargas distribuidas que actúan sobre la estructura de soporte.

7.21.1 Carga de los componentes

Corresponde a las cargas de los elementos como: rodamientos, ejes, engranajes y caja de molienda.

La carga de cada componente se obtiene de acuerdo a los datos que nos proporciona el software de diseño SolidWords. Las masas obtenidas de cada elemento son los siguientes:

Tabla N°: 66 Peso del componente de la maquina

Componentes	Cantidad	Masa unidad (Kg)	Masa (Kg)	Peso (N)
Tolva	1	131,49	131,49	1289,92
Eje	2	44,94	89,88	881,72
Cuchillas	20	9,44	188,8	1852,13
Separadores móviles	20	4,06	81,2	796,57
Separadores fijas	20	12,6	252	2472,12
Engranajes	2	15,29	30,58	299,99
Rodamientos	4	5,65	22,6	221,71
Caja de molienda	1	69,27	69,27	679,54
Motorreductor	1	100	100	981
Tolva de salida	1	48,69	48.69	477,65
Total			1014,51	9952,35

7.21.2 Cálculo del sistema estructural

La armadura de soporte es el que va a sostener los elementos seleccionados. Por lo que debe resistir el peso tanto de la tolva, ejes, cuchillas, separadores, engranajes, cámara de molienda, peso de los residuos y el peso del moterreductor. El diseño de la estructura se realizó en software Soliwords de acuerdo a la norma AISC 360 LRFD 2005 el cual afirma que la función del sistema estructural de

soporte consiste en soportar y transmitir la fuerza de toda la máquina hacia el piso de tal modo que brinde estabilidad y rigidez a la máquina de manera óptima.

Para el cálculo del perfil estructural se tiene como dato los siguientes parámetros.

$P_t =$ *peso total de la máquina*

$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 =$ *peso ejercida por la máquina*

$P_5 =$ *peso del motorreductor*

Se considera las siguientes cargas aplicadas en la estructura en donde los valores de las cargas actuantes son:

$P_1 = 1947,83 \text{ N}; P_2 = 1947,83 \text{ N}; P_3 = 2487,86 \text{ N}; P_4 = 2587,85 \text{ N}$

$P_5 = 981 \text{ N}$

$P_t = 9952,35 \text{ N}$

8 Diseño y análisis de los componentes mecánicos (por carga estática y fatiga) con software CAD y CAE

El diseño y análisis de la maquina moledora se realizó mediante el software CAD SolidWorks, esta herramienta permite crear diseños de diversos proyectos de ingeniería. El módulo de simulación de SolidWorks abarca una amplia gama de posibilidad de estudio que nos permite simular y analizar el rendimiento de una pieza. Se calcula tensión, desplazamiento y deformación unitaria.

8.1 Análisis de la cuchilla de corte

Análisis estático: se realiza un análisis estático de la cuchilla para determinar la resistencia de las cargas provocadas al momento de realizar el corte de los residuos orgánicos, mediante SolidWroks Simulation y se registró los siguientes valores de tensiones y deformaciones.

Tabla N°: 67 Resultados obtenidos del análisis estático

Cuchilla	Tensión von Mises (N/m ²)		Desplazamiento (mm)		Factor de seguridad
	Max	Min	Max	Min	
Análisis estático	2,188e+07	3,716e+04	7.411e-03	1,000e-30	6,301e+00

En la figura N°: 68, se observa que la mayor tensión en la cuchilla ocurre en la base de la hoja de corte.

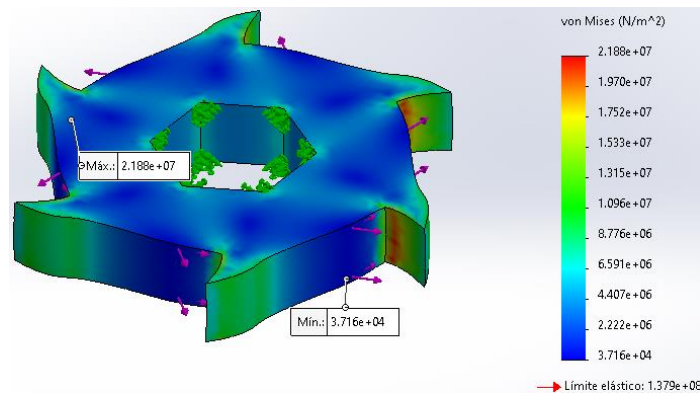


Figura N°: 68 Tensión de von Mises

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 69, se observa que en el filo de las cuchillas tiene un mayor desplazamiento debido que es la parte donde se genera mayor aplicación de carga para realiza el corte.

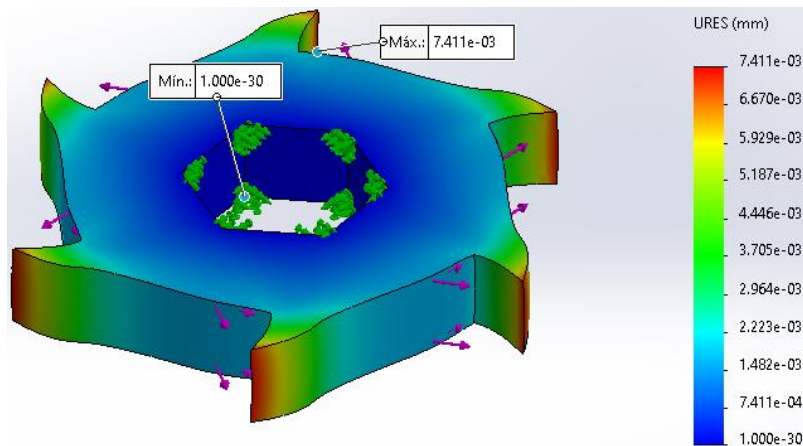


Figura N°: 69 Desplazamiento

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 70, se comprueba que el valor del factor de seguridad está dentro del rango aceptable con el cual quiere decir que la pieza no falla.

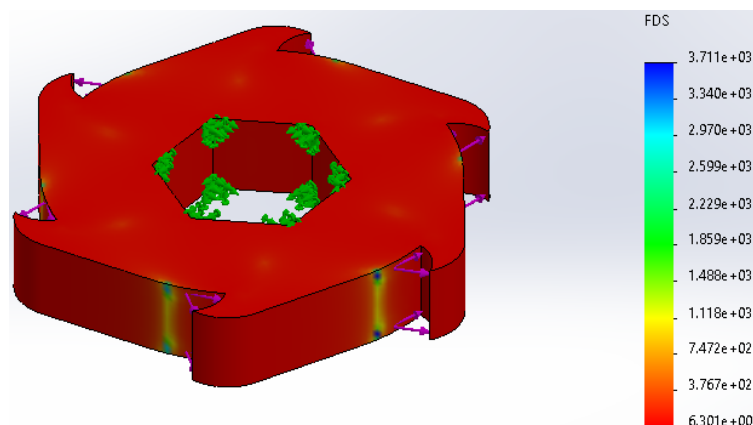


Figura N°: 70 Factor de seguridad

Fuente: SolidWorks 2020

Análisis de fatiga: la fatiga se debe a la deformación y propagación de grietas, una grieta de fractura se inicia en una discontinuidad del material donde el esfuerzo cíclico es máximo.

En la figura N°: 71, se observa el porcentaje de daño acumulador en la cuchilla en la que no hay una sección crítica, por lo que el daño es mínimo.

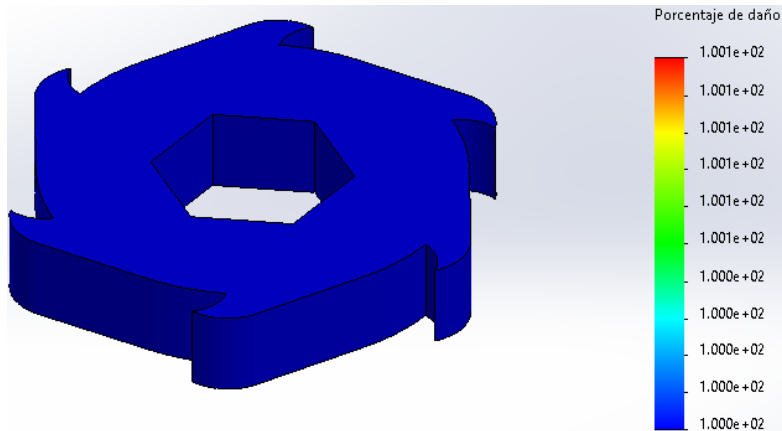


Figura N°: 71 Porcentaje de daño

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 72, se comprueba que la vida útil en ciclos de la cuchilla es de 1000×10^6 ciclos, por lo que tendrán una larga vida útil.

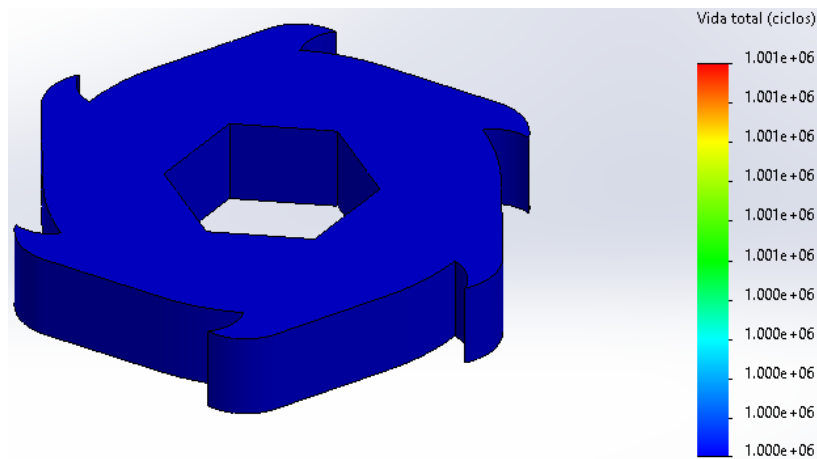


Figura N°: 72 Vida total

Fuente: SolidWorks 2020

8.2 Análisis del eje

Análisis estático: se realiza un análisis estático del eje para calcular su resistencia a las cargas generadas por las fuerzas de las cuchillas y separadores.

Se define las cargas y luego se procede a ejecutar el análisis mediante el software SolidWorks Simulation en donde se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla N°: 68 Resultados obtenidos del análisis estático

Eje	Tensión von Mises (N/m ²)		Desplazamiento (mm)		Factor de seguridad
	Max	Min	Max	Min	
Análisis estático	1,007e+08	9,678e+03	8,123e-02	1,000e-30	2,054e+00

En la figura N°: 73, se observa que la tensión máxima en el eje ocurre en el apoyo B, en este tramo va montado el engranaje, acople y motorreductor.

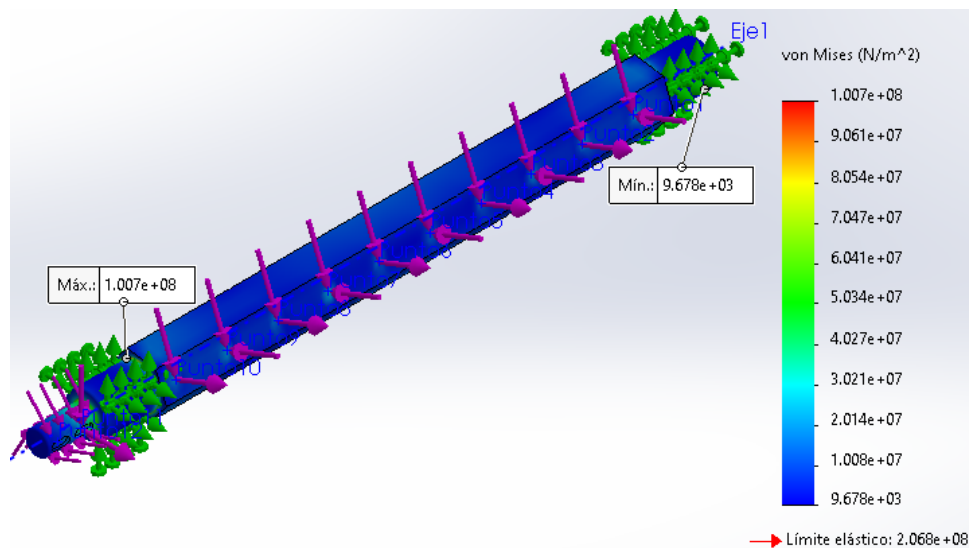


Figura N°: 73 Tensión de von Mises

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 74, se observa que la parte central del eje tiene mayor desplazamiento.

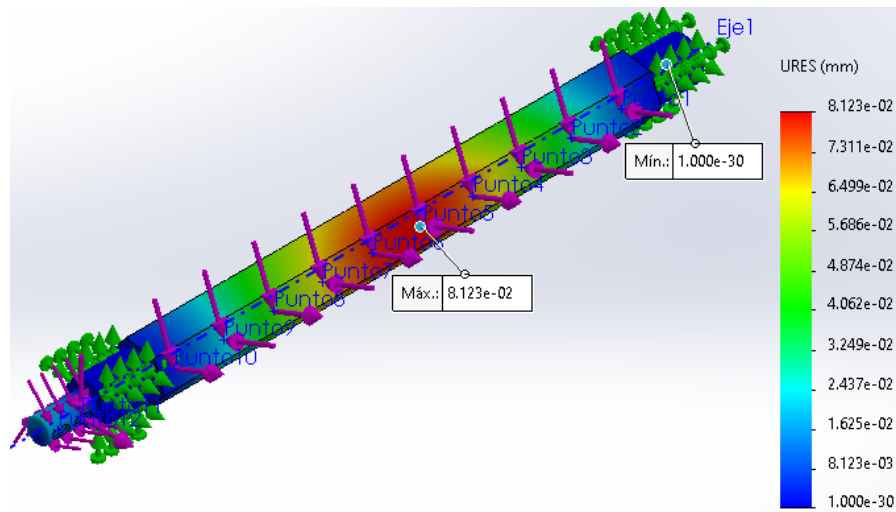


Figura N°: 74 Desplazamiento

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 75, se comprueba que el valor asumido del factor de seguridad para los cálculos estáticos del eje y el análisis realizado en el software tienen un valor aproximado.

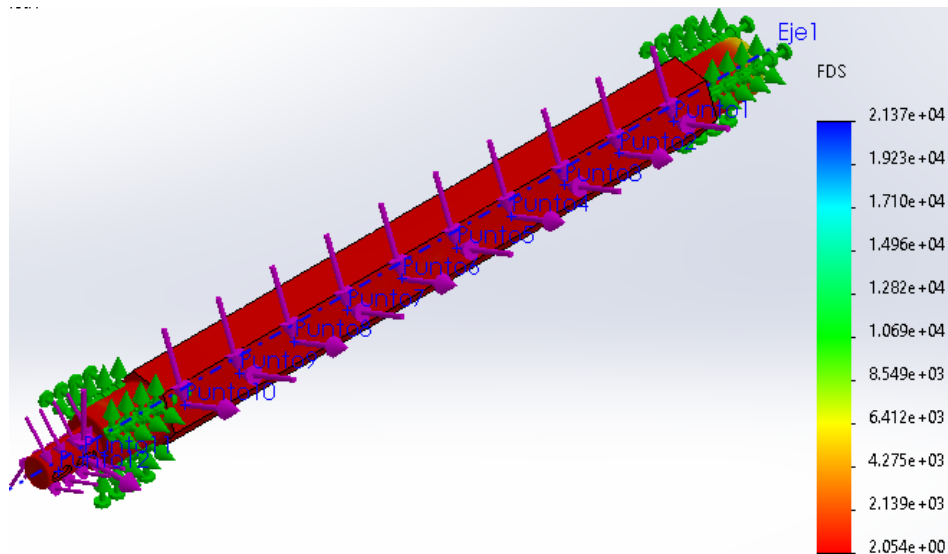


Figura N°: 75 Factor de seguridad

Fuente: SolidWorks 2020

Análisis de fatiga: En la figura N°: 76, se observa el porcentaje de daño acumulador en el eje es de $1,000e-03$ al $1,000e-03$ por lo que el daño es muy bajo.

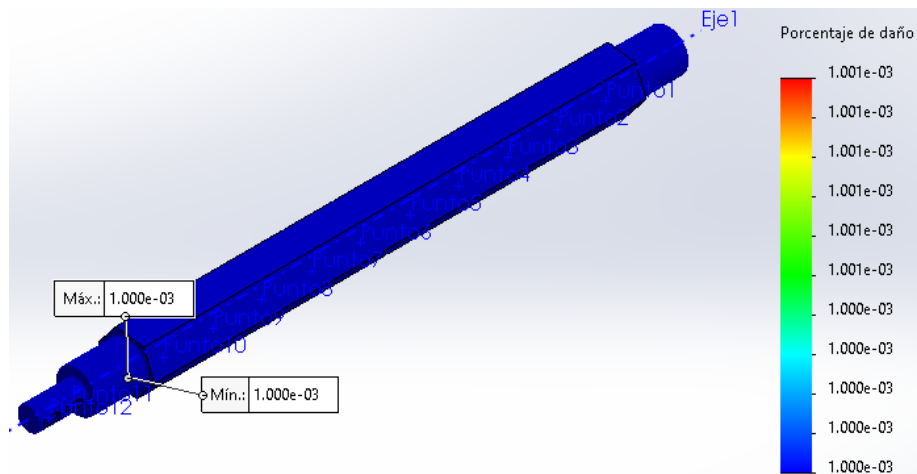


Figura N°: 76 Porcentaje de daño

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 77, se comprueba que la vida útil en ciclos del eje está en un rango de $1,001e+11$ hasta $1,000e+11$ ciclos, es decir que el eje va tener mucha durabilidad.

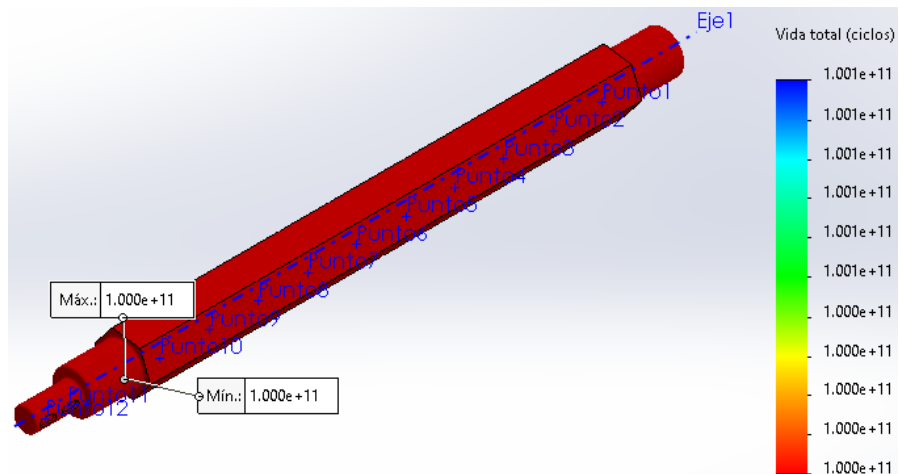


Figura N°: 77 Vida total

Fuente: SolidWorks 2020

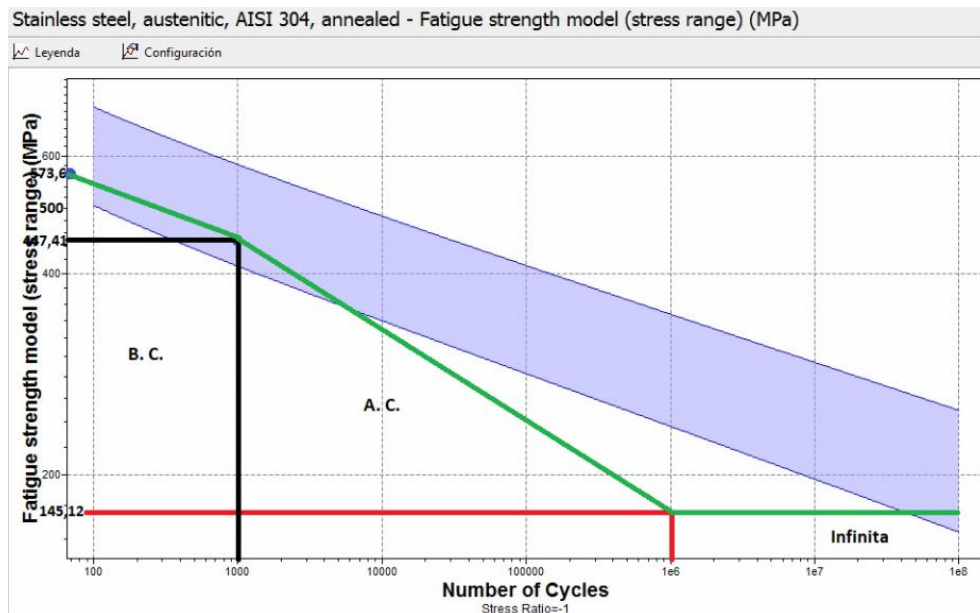


Figura N°: 78 Curva de fatiga de AISI 304

En la gráfica de fatiga definimos el $S_{ut} = 573,6$ MPa y va terminar en un valor de $f(S_{ut})$, entonces la zona de bajo ciclaje va terminar en esfuerzo en 447,41 MPa y en vida útil va terminar en 1000 ciclos. La zona de alto ciclaje en número de ciclos termina en 1000000 ciclos y en esfuerzo va terminar con el límite a la fatiga del eje que en este caso $S_e = 145,12$ MPa la curva viene hacia abajo después de este punto la curva se mantiene recta esto que quiere decir si en el eje tengo un valor de esfuerzo menor a 145,12 MPa al trazar una recta horizontal y vemos que en ninguna parte toca a la curva esto quiere decir que valores menos a 145,12 MPa el eje nunca va fallar.

8.3 Análisis estructural de la máquina

Es preciso realizar un análisis estructural de la base de la máquina para determinar la resistencia a las cargas generadas por el peso total de máquina.

Diagrama de cuerpo libre (D.C.L.), se realiza un análisis de la estructura base de la máquina con las cargas establecidas en el apartado de (cálculo del sistema estructural) y las reacciones para calcular el peso total de la máquina.

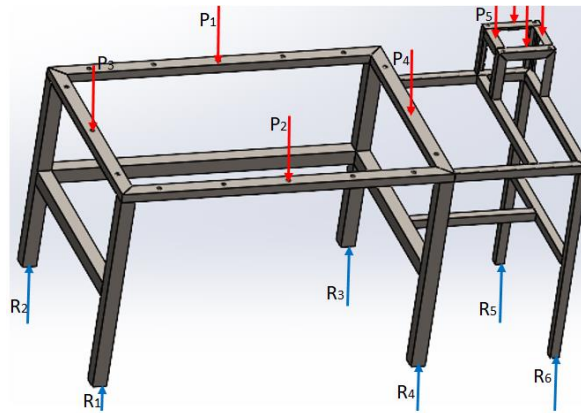


Figura N°: 79 D.C.L. de las cargas que actúan en la estructura base

Donde:

P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 = cargas debido al peso de los componentes de la máquina

$R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ = reacciones debido al peso total de la máquina

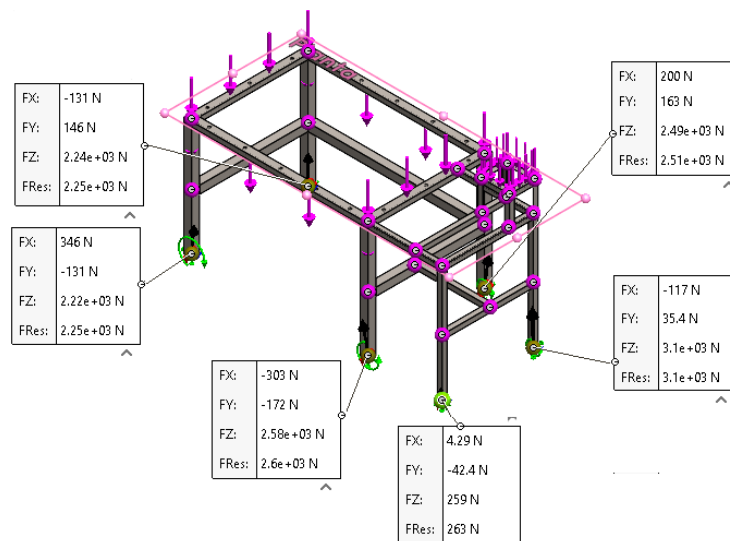


Figura N°: 80 Reacciones resultantes

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 80, se observa las cargas aplicadas en la estructura como también el cálculo de las reacciones mediante el software SolidWorks Simulation en los ejes (x,y,Z).

Una vez aplicada las cargas en la estructura base, se procede a ejecutar el análisis. Los resultados obtenidos se registran las tensiones, desplazamiento y factor de seguridad mediante el software SolidWorks Simulation.

Tabla N°: 69 Resultados obtenidos del análisis estático

Estructura base	Tensión von Mises (N/m ²)		Desplazamiento (mm)		Factor de seguridad
	Max	Min	Max	Min	
Análisis estático	1,122e+08	8,890e+05	1.394e-02	-9,366e-01	2,228e+00

En la figura N°: 81, se observa que la mínima tensión ocurre en la viga inferior con valor de 8,890e+05 N/m² y la máxima tensión ocurre en la viga cerca al soporte del motorreductor.

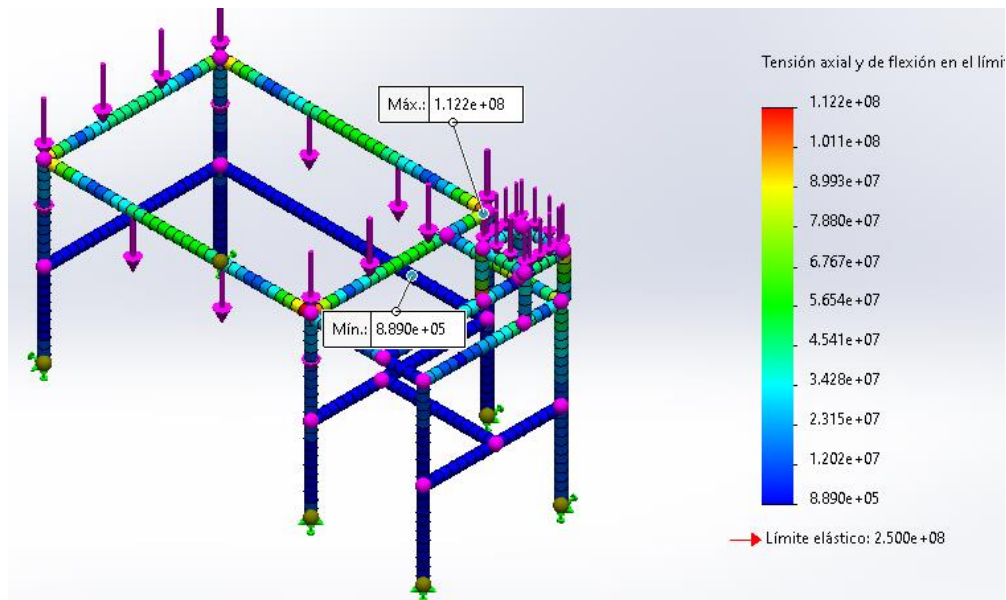


Figura N°: 81 Tensión de von Mises

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 82, se observa el que el máximo desplazamiento se generada en el eje Y con un valor de 1,394e-02

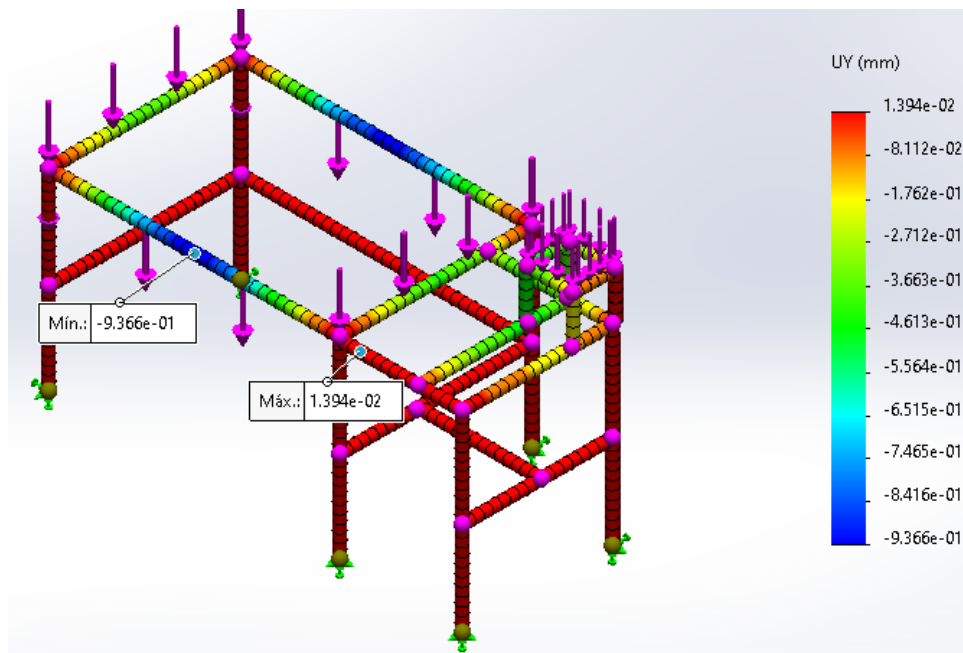


Figura N°: 82 Desplazamiento

Fuente: SolidWorks 2020

En la figura N°: 83, se observa el factor de seguridad es de $2,228e+00$ lo cual indica que la estructura base de la máquina es apta para soportar las cargas aplicadas.

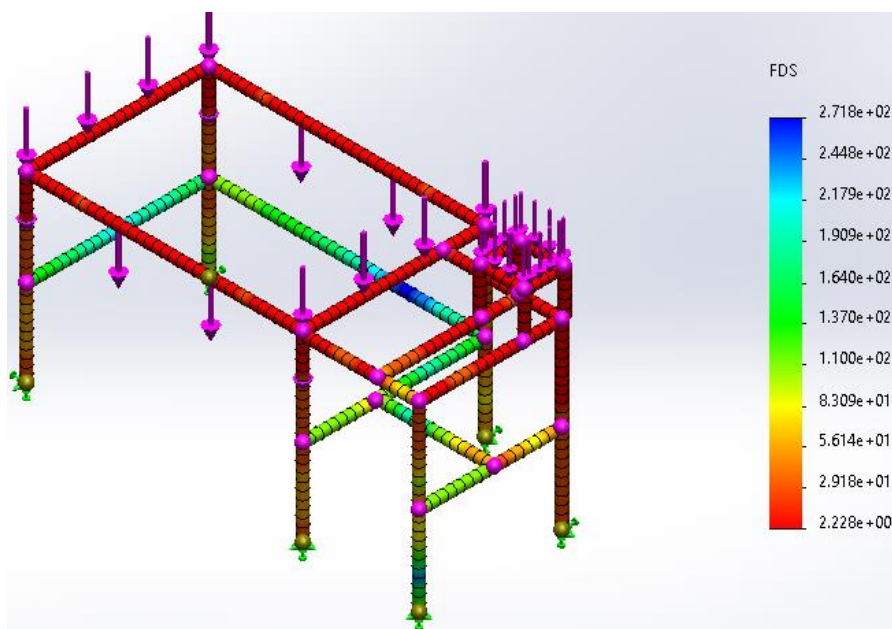


Figura N°: 83 Factor de seguridad

Fuente: SolidWorks 2020

Análisis de frecuencia: Toda estructura tiende a vibrar a ciertas frecuencias llamada frecuencia natural o resonante. Cada frecuencia natural se asocia a una forma determinada, llamada forma modal, que el modelo tiende a adoptar al vibrar a esa frecuencia. Cuando la estructura es excitada por una carga dinámica con una frecuencia que coincide con una de sus frecuencias naturales, la estructura sufre grandes desplazamientos y tensiones. Este fenómeno se denomina resonancia. [40]

Al realizar el análisis de frecuencia en SolidWorks nos arroja datos de los modos de frecuencia obtenidos que generalmente son 5 resultados de amplitud que nos indica el comportamiento del elemento bajo la geometría diseñada, como también las cargas aplicadas al elemento y el material asignado (AISI 304). Los resultados de los 5 modos frecuenciales obtenidos en el SolidWorks se encuentran en la siguiente tabla N°: 70.

Tabla N°: 70 Lista de modos frecuenciales

N° de modos	Frecuencia circular (Rad/seg)	Frecuencia (Hertz)	Período (S)
1	3005,2	478,29	0,002008
2	3006,7	478,53	0,0020897
3	7887,2	1255,3	0,00079663
4	7890	1255,7	0,00079635
5	10776	1715,1	0,00058307

Fuente: SolidWorks 2020

Los modos frecuenciales 1 y 2 tienen mejor alineamiento (figura 84 y 85) con frecuencias de muy similares de 478,29 Hz y 478,53 Hz.

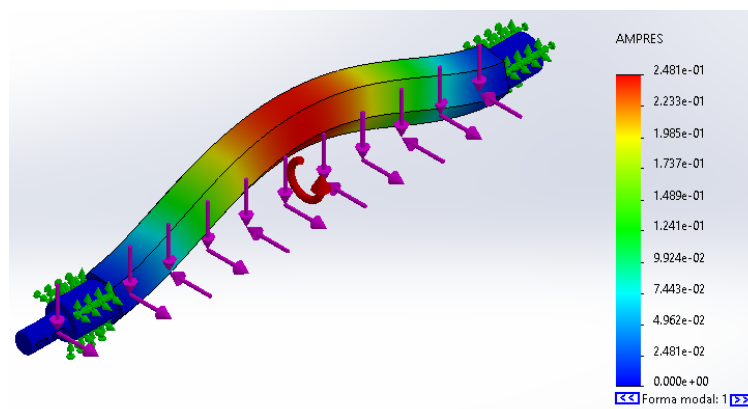


Figura N°: 84 Modo frecuencial 1

Fuente: SolidWorks 2020

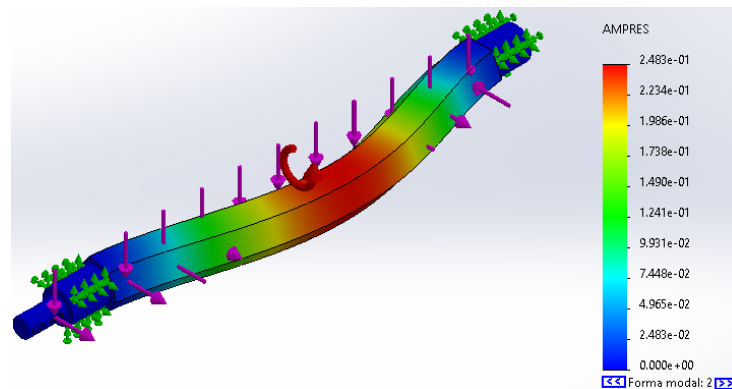


Figura N°: 85 Modo frecuencial 2

Fuente: SolidWorks 2020

En cambio, en los modos frecuenciales 3 y 4 (figura 86 y 87) estos se distorsionan esto hace que los modos sean más inestables con una frecuencia de 1255,3 Hz y 1255,7 Hz.

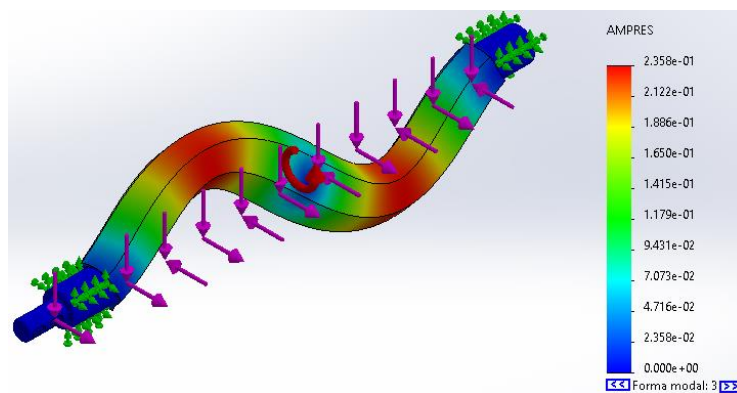


Figura N°: 86 Modo frecuencial 3

Fuente: SolidWorks 2020

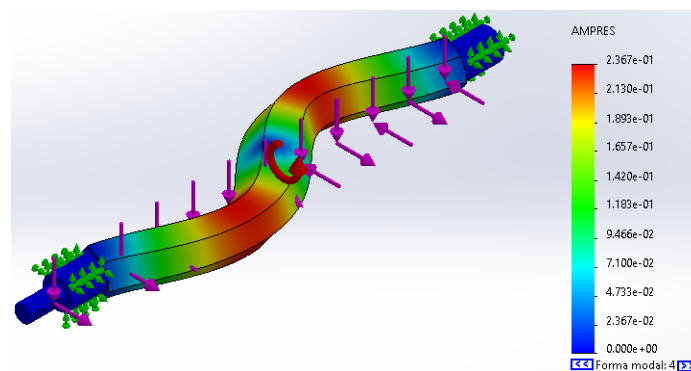


Figura N°: 87 Modo frecuencial 4

Fuente: SolidWorks 2020

En el modo frecuencial 5 (figura 88), se observa un comportamiento de holgura en el centro del eje esto se debe a la geometría hexagonal, donde la frecuencia se aprecia en las aristas también por las cargas aplicadas.

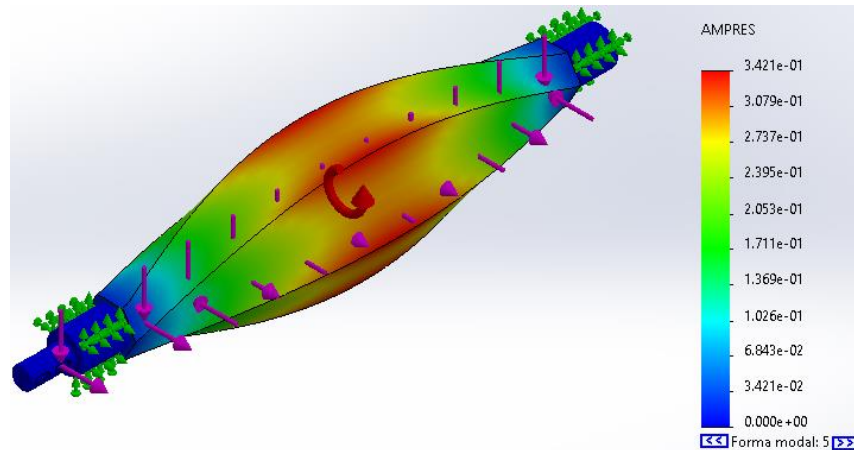


Figura N°: 88 Modo frecuencial 5

Fuente: SolidWorks 2020

La participación de masa normalizada argumenta que las normas y códigos de distintos países exigen el 80% de la masa del sistema participe en determinada dirección, decir que en la práctica los valores de partición de masa en las direcciones X, Y y Z sean menores que 0,8.

Tabla N°: 71 Participación de la masa normalizada

N° de modos	Frecuencia (Hertz)	Direccion X	Direccion Y	Direccion Z
1	478,29	0,017074	0,60947	1,2062x10-08
2	478,53	0,6094	0,01707	4,8513x10-09
3	1255,3	7,4216x10-09	2,1415x10-07	1,4651x10-09
4	1255,7	3,7935x10-08	4,9023x10-09	7,4515x10-08
5	1715,1	4,479x10-09	8,9179x10-09	2,5774x10-10
		Sum X = 0,62647	Sum Y= 0,62654	Sum Z = 9,315x10-08

Fuente: SolidWorks 2020

8.4 Selección de componentes para sistemas de protección

Como dato tenemos: la potencia del motor es de 25Ph y estamos tratando con un motor trifásico.

Para el cálculo de la corriente se requiere convertir de Hp a W de la siguiente forma:

$$P = 25Hp(746)$$

$$P = 18650W$$

8.4.1 Calculo de la corriente del motor

El fabricante Motovario nos indica un factor de potencia de 0.85 entonces calculamos la corriente a la que opera el motor a plena carga.

$$P = \sqrt{3}(V)(I)(\text{Cos } \phi)$$

Donde:

P: potencia eléctrica (W)

V: voltaje (V)

$\text{Cos } \phi$: factor de potencia por el fabricante

I: corriente (A)

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3}(V)(F.P.)}$$

$$I_N = \frac{18650W}{\sqrt{3}(220V)(0,85)}$$

$$I_N = 57,58A$$

La corriente de arranque de un motor de corriente alterna por su tipo de conexión es mayor a la corriente nominal por lo cual se multiplica por un factor de servicio de 1.25.

$$I_N = 57,58A(1,25) = 71,98A$$

La intensidad que pasará por el conductor será de 71,98 A, por lo tanto, tenemos que encontrar un conductor de la sección adecuada y que aguante ese amperaje.

8.4.2 Conductor

Se seleccionó un conductor AWG 8 basándose en los cálculos de la corriente de arranque de 71,98A.


Tabla N°: 72 Selección del calibre del conductor

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (AWG / MCM)									
CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

Fuente: Catalogo INDECO S. A.

8.5 Interruptor termomagnético 3x80A

Un interruptor magnetotérmico o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Actúa en dos casos distintos, la parte térmica actúa si se da una sobrecarga del circuito, mientras que la magnética si se da un cortocircuito. La corriente que circula por el circuito es 71,98A del motor.



Corriente alterna (CA) 50/60 Hz	
Poder de corte (Icu) según IEC 60947-2	
Tipo	Tensión (V)
1P	130 V 230 a 400 V 400 a 415 V 440 V
Calibre (In) 80 a 125 A	20 kA 10 kA 3 kA ⁽¹⁾ -
2P/3P/4P	130 V 230 a 400 V 400 a 415 V 440 V
80 a 125 A	- 20 kA 10 kA 6 kA
Poder de corte (Icu) según IEC 60898	
Tipo	Tensión (V)
1P, 2P, 3P, 4P	230 a 400 V
Calibre (In) 80 a 125 A	10.000 A
75% de Icu	
⁽¹⁾ Poder de corte con un polo en sistema de IT neutro aislado (doble defecto).	


Tipo	1P	2P	3P	4P
Auxiliares	Indicación y disparo remotos	Indicación y disparo remotos	Indicación y disparo remotos	Indicación y disparo remotos
Vigi C120	Dispositivo de protección diferencial Vigi C120	Dispositivo de protección diferencial Vigi C120	Dispositivo de protección diferencial Vigi C120	Dispositivo de protección diferencial Vigi C120
Calibre (In)	Curva	Curva	Curva	Curva
	B C D	B C D	B C D	B C D
80 A	A9N18341 A9N18357 A9N18379	A9N18345 A9N18361 A9N18383	A9N18349 A9N18365 A9N18387	A9N18353 A9N18372 A9N18391
100 A	A9N18342 A9N18358 A9N18380	A9N18346 A9N18362 A9N18384	A9N18350 A9N18367 A9N18388	A9N18354 A9N18374 A9N18392
125 A	A9N18343 A9N18359 A9N18381	A9N18347 A9N18363 A9N18385	A9N18351 A9N18369 A9N18389	A9N18355 A9N18376 A9N18393
Ancho en pasos de 9 mm	3	6	9	12

Figura N°: 89 Selección del interruptor termomagnético

Fuente: Catalogo Schneider

8.6 Contactor

Es un elemento electromecánico que tiene la capacidad de interrumpir la corriente eléctrica de una carga, el cual se acciona cuando hay cargas elevadas que puedan producir algún efecto perjudicial en la salud del operador. Por lo que se seleccionó un contactor según la corriente nominal y voltaje.




3-pole contactors										Weight				
Standard power ratings of 3-phase motors 50-60 Hz in category AC-3 (θ ≤ 60 °C)							Rated operational current in AC-3	Instantaneous auxiliary contacts	Basic reference, to be completed by adding the control voltage code ⁽²⁾					
220 V	380 V	415 V	440 V	500 V	660 V	1000 V				440 V up to	Fixing ⁽¹⁾	kg		
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	A							
Connection by screw clamp terminals														
2.2	4	4	4	5.5	5.5	-	9	1	1	LC1D09**	0.320			
3	5.5	5.5	5.5	7.5	7.5	-	12	1	1	LC1D12**	0.325			
4	7.5	9	9	10	10	-	18	1	1	LC1D18**	0.330			
5.5	11	11	11	15	15	-	25	1	1	LC1D25**	0.370			
7.5	15	15	15	18.5	18.5	-	32	1	1	LC1D32**	0.375			
9	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	-	38	1	1	LC1D38**	0.380			
Power connections by EverLink® BTR screw connectors ⁽³⁾ and control by screw clamp terminal														
11	18.5	22	22	22	30	-	40	1	1	LC1D40A**	0.850			
15	22	25	30	30	33	-	50	1	1	LC1D50A**	0.855			
18.5	30	37	37	37	37	-	65	1	1	LC1D65A**	0.860			
22	37	37	37	37	37	-	80	1	1	LC1D80A** ⁽⁴⁾	0.860			
a.c. supply														
Volts		24	42	48	110	115	220	230	240	380	400	415	440	500
LC1 D09...D150 (D115 and D150 coils with built-in suppression as standard, by bi-directional peak limiting diode).														
50/60 Hz		B7	D7	E7	F7	FE7	M7	P7	U7	Q7	V7	N7	R7	S7
LC1 D80...D115														
50 Hz		B5	D5	E5	F5	FES	M5	P5	U5	Q5	V5	NS	R5	S5
60 Hz		B6	-	E6	F6	-	M6	-	U6	Q6	-	-	R6	-

Figura N°: 90 Selección del contactor

Fuente: Catalogo Schneider

8.7 Relé térmico de 220 V de 80 A

El relé térmico o relé de sobrecarga es un dispositivo de protección que funciona contra sobrecargas y calentamiento, se utiliza principalmente para proteger motores contra sobrecargas débiles y prolongadas, con lo que se garantiza alargar la vida útil y la continuidad en el trabajo de máquina, evitando paradas de producción y garantizando volver a arrancar de forma rápida y segura.



Relés de protección térmica diferenciales a asociar con fusibles y disyuntores magnéticos GV2 L y GV3 L						
Zona de ajuste del relé (A)	Fusibles a asociar al relé elegido			Para asociación con el contactor LC1	Referencia	Peso kg
	aM (A)	gG (A)	BS88 (A)			
Clase 10 A (1) con conexión por tornillos de estribo o conectores						
55...70	80	125	125	D50...D95	LRD 3361	0,510
63...80	80	125	125	D65...D95	LRD 3363	0,510
80...104	100	160	160	D80 y D95	LRD 3365	0,510
80...104	125	200	160	D115 y D150	LRD 4365	0,900
95...120	125	200	200	D115 y D150	LRD 4367	0,900
110...140	160	250	200	D150	LRD 4369	0,900
80...104	100	160	160	(2)	LRD 33656	1,000
95...120	125	200	200	(2)	LRD 33676	1,000
110...140	160	250	200	(2)	LRD 33696	1,000

LRD 3006

Figura N°: 91 Selección del relé térmico

Fuente: Catalogo Schneider

8.8 Pulsadores de marcha y paro

Un botón o pulsador es un dispositivo utilizado para realizar cierta función. Los botones son de diversas formas y tamaños y se encuentran en todo tipo de dispositivos, aunque principalmente en aparatos eléctricos y electrónicos.



Figura N°: 92 Pulsadores de marcha y paro

Fuente: Catalogo Schneider

8.9 Pilotos de señalización

Luces que se usan como señales para indicar marcha o paro de un proceso de la máquina.



Figura N°: 93 Pilotos de señalización

Fuente: Catalogo Schneider

9 Evaluación económica

En este apartado se describe el costo general de la inversión que se va a realizar para obtener un valor económico de los equipos, material y manufactura de la maquina moledora. Además, se realizó el cálculo del periodo de recuperación de la inversión (Payback). También se realizó el análisis de costos bajo dos indicadores principales, costos directos y costos indirectos.

Tabla N°: 73 Lista de equipos de la máquina

Costo de equipos					
Ítem	Descripción	Marca	Cantidad	Precio por unidad (s/.)	Precio (S/.)
1	Motorreductor coaxial H101/NV160	Motovario	1	11659.58	11659.58
2	Acoplamiento FRC	SKF	1	360	360
3	Rodamientos 6414	SKF	4	40	160
4	Chumaceras brida FYJ510	SKF	4	68	272
5	Engranaje recto	Martin	2	38	76
6	Interruptor termomagnético 3x80 A-220/440 V	Schneider Electric	1	56	56
7	Contacto LC 1D80 A 220 V	Schneider Electric	1	66	66
8	Relé térmico 80 A LRD	Schneider Electric	1	80	80
9	Pulsador de marcha 22MM verde NA	Schneider Electric	1	8	8
10	Pulsador de paro 22MM rojo NC	Schneider Electric	1	8	8
11	Lampara de señalización verde 22MM	Schneider Electric	1	12	12
12	Lampara de señalización rojo 22MM	Schneider Electric	1	12	12
13	Conductor THW 8 AWG	Promelsa	5	1	5
14	Tablero de control	Hiddromec	1	52.33	52.33
15	Tornillo de brida hexagonal M10 x 1.5 x 20	SAE international	48	0.5	24
16	Tuerca hexagonal con brida M10 x 1.5	SAE international	48	0.5	24
17	Tornillo heragonal formado M16 x 2 x 25	SAE international	16	0.5	8
18	Tuerca hexagonal con brida M16 x 2	SAE international	16	0.5	8
19	Tuerca hexagonal con brida M8x 1.25	SAE international	4	0.5	2
20	Tornillo heragonal formado M8 x 1.25 x 30	SAE international	4	0.5	2
Total					12894.91

Tabla N°: 74 Costo de material

Costo de material				
Material	Descripción	Precio por Kg (s/.)	Masa (Kg)	Precio (s/.)
AISI 304	Plancha de 5 mm de espesor	6.84	249.45	1706.24
AISI 304	Barra solida de 150 mm de diámetro	24.7	81.2	2005.64
AISI 304	Barra hexagonal 95 mm de diámetro	13.3	89.88	1195.40
AISI 316	Barra solida 240 mm de diámetro	30.4	188.8	5739.52
Total				10646.80
Estructura-base				
Material	Descripción	Cantidad	Precio por unidad (s/.)	Precio (s/.)
ASTM A36	Barra cuadradas 40x40 mm x 6 m	1	193.3	193.3
ASTM A36	Ángulo 25x25x4.5 mm x 6 m	1	48.4	48.4
ASTM A36	Canal (U) 2" x 6 m	1	118.7	118.7
Total				360.4
				11007.20

Tabla N°: 75 Costo de manufactura

Manufactura				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio por unidad	Precio (S/.)
1	Tolva	1	120	120
2	Caja de molienda	1	100	100
3	Maquinado del eje	2	70	140
4	Cuchillas	20	30	600
5	Separador móvil	20	25	500
6	Separador fijo	20	15	300
7	Tolva de salida	1	60	60
8	Maquinado del acoplamiento	1	65	65
9	Barra cuadradas A36 40 x 40 mm x 6 m	1	85	85
10	Ángulo A36 25 x 25 x 4.5 mm x 6 m	1	65	65
11	Canal (U) A36 2" x 6 m	1	80	80
Total				2115

Tabla N°: 76 Costo de diseño

Costo de diseño			
Ítem	Descripción	Precio (S/.)	Precio total (S/.)
1	Diseño de ingeniería	2300	1300
2	Dibujo CAD y simulación en SolidWorks	500	500
3	Impresiones	80	50
Total			1850

9.1 Análisis de costo

La siguiente tabla indica los costos directos que percuten directamente en la construcción de la máquina moladora de residuos orgánicos.

Tabla N°: 77 Costos directos

Costos directos	P. Total (S/.)
Costo de equipos	12838.58
Costo de material	11007.2
Costo de manufactura	2115
Total	25960.78

Los costos indirectos percuten a las actividades que se realizan para el diseño de la máquina moladora de residuos orgánicos.

Tabla N°: 78 Costos indirectos

Costos indirectos	P. Total (S/.)
Costo de diseño	1850

Para el costo de mantenimiento se considera e 3% del total de la inversión de los costos directos.

Tabla N°: 79 Costo de manteamiento

Mantenimiento	P. Total (S/.)
Mantenimiento de la máquina (3%)	778.82

En resumen, el costo total de la máquina moladora se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°: 80 Costo total de la máquina

Costo total de la máquina	P. Total (S/)
Costo directo	25960.78
Costo indirectos	1850
Mantenimiento	778.82
Total	28589.6

El costo de la máquina moladora asciende a un total de S/ 28589,6; lo que la convierte en la más asequible para implementarla en comparación a otras en el mercado.

Payback o periodo de recuperación es el criterio que nos indica la cantidad de periodos que deben transcurrir o el tiempo que debe pasar para recuperar la inversión inicial del proyecto lo cual es muy importante, ya que de esto depende mucho si el proyecto es rentable o no.




En la siguiente tabla se muestra el flujo de caja de cada mes de S/ 3500, gasto previsto al personal por el proceso recolección, selección y transporte.

Tabla N°: 81 Calculo de payback

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de caja	-28589.6	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Flujo acumulado	-28589.6	-25089.6	-21589.6	-18089.6	-14589.6	-11089.6	-7589.6	-4089.6	-589.6	2910.4	6410.4

Se empleó el cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback, se tiene que la inversión se recupera en un tiempo de 9 meses aproximadamente.

Tabla N°: 82 Lista de precios de máquinas del mercado

<p>Producto de acero inoxidable de doble eje de hospital cocina E-chatarra trituradora</p>  <p>Dawei-trituradora de desechos electrónicos de...</p> <p>\$5,700.00 - \$5,75...</p> <p>1 Unidad (Cantidad mínima de compra)</p>	<p>Descripción general</p> <p>Detalles rápidos</p> <p>Lugar del origen: China</p> <p>Tipo de plástico: De PVC, PET, ABS, PP/PE, PE, PP</p> <p>Max, la capacidad ... 200</p> <p>Marca: Dawei</p> <p>Voltaje: 220</p> <p>De la potencia (kW): 4</p> <p>Certificación: ISO</p> <p>Servicio postventa ... Video de apoyo técnico, Apoyo en línea</p> <p>Clave de puntos de ... Multifuncional</p> <p>Servicio Local ubic... Egipto, Viet Nam, Indonesia, Pakistán, La India</p> <p>Marketing tipo: Nuevo Producto 2020</p> <p>Video saliente de in... Siempre</p> <p>Los componentes ... Motor, Equipo, Motor, Caja de cambios</p> <p>Type: home use</p> <p>Weight: 450kg</p> <p>Blades material: Hardox 500 from Sweden</p> <p>Crushing material: medical wastes, scrap metal wastes, electrical wastes and oth...</p> <p>Material: all stainless steel body</p> <p>Condición: Nuevo</p> <p>Tipo de máquina: Plástico Crusher</p> <p>Capacidad de prod... 100 -200 kg/h</p> <p>Uso: Trituradora de residuos plásticos</p> <p>Dimensión (L*W*H): 1062*512*1300mm</p> <p>Peso (T): 0.45</p> <p>Garantía: 2 años</p> <p>Industrias aplicable... Hoteles en, Uso en el hogar, Venta al por menor, Otros</p> <p>Después de servi... Video de apoyo técnico, Apoyo en línea</p> <p>Exposición de ubic... Egipto, Viet Nam, Indonesia, Pakistán, La India</p> <p>: Informe de prueba: Siempre</p> <p>Garantía de los co... 1 año</p> <p>Name: hospital waste treatment disposal equipment</p> <p>Dimension(L*W*H): 1062*512*1300mm</p> <p>Power: 4kw</p> <p>Blades quantity: 26</p> <p>Core components: motor and blades</p>
<p>Máquina trituradora de residuos</p>  <p>Dawei-máquina trituradora de residuos de papel, para...</p> <p>\$8,600.00</p> <p>1 Pie (Cantidad mínima de compra)</p>	<p>Descripción general</p> <p>Detalles rápidos</p> <p>Lugar del origen: Shandong, China</p> <p>Tipo de plástico: De PVC, PET, ABS, PP/PE, PE, PP, PC</p> <p>Max, la capacidad ... 500</p> <p>Marca: Dawei</p> <p>Diseño del eje: Doble</p> <p>Dimensión (L*W*H): 1315*565*1337</p> <p>Peso (T): 0.6</p> <p>Garantía: 1 año</p> <p>Industrias aplicable... Hoteles en, Uso en el hogar, Venta al por menor, Other</p> <p>Después de servi... Video de apoyo técnico, Apoyo en línea</p> <p>Exposición de ubic... Egipto, Viet Nam, Indonesia, Pakistán</p> <p>: Informe de prueba: Siempre</p> <p>Garantía de los co... 1 año</p> <p>Name: mini waste shredder</p> <p>Keyword: home use</p> <p>Capacity: 100-250kg/h</p> <p>Suitable material: all kinds of material</p> <p>Shaft: single</p> <p>Condición: Nuevo</p> <p>Tipo de máquina: Plástico Trituradora</p> <p>Capacidad de prod... 200 -300 kg/h</p> <p>Uso: Trituradora de botellas</p> <p>Voltaje: at your requirements</p> <p>De la potencia (kW): 5.5</p> <p>Certificación: ISO</p> <p>Servicio postventa ... Video de apoyo técnico, Apoyo en línea</p> <p>Clave de puntos de ... Multifuncional</p> <p>Servicio Local ubic... Egipto, Viet Nam, Indonesia, Pakistán</p> <p>Marketing tipo: Nuevo Producto 2020</p> <p>Video saliente de in... Siempre</p> <p>Los componentes ... Motor, Equipo</p> <p>Usage: wastes crushing</p> <p>Color: at your demands</p> <p>Blades material: 9CrSi/D2/SKD-11</p> <p>Mesh size: 500*400mm</p> <p>Final product: 10mm small pieces</p>
<p>Máquina trituradora de plástico</p>  <p>Máquina trituradora y trituradora de plástico precios</p> <p>\$4,600.00-\$6,000.00 Set</p> <p>1 Set (Min Order)</p>	<p>Descripción general</p> <p>Detalles rápidos</p> <p>Lugar del origen: China</p> <p>Tipo de plástico: De PVC</p> <p>Marca: PVM</p> <p>Diseño del eje: Solo</p> <p>Dimensión (L*W*H): 1*0.8*1.2M</p> <p>Garantía: 1 año</p> <p>Industrias aplicable... Maquinaria de plástico</p> <p>Después de servi... Apoyo en línea</p> <p>Exposición de ubic... None</p> <p>Other name: crushing and washing line</p> <p>Processed material: PPPE,PET,ABS, etc</p> <p>Power: 5.5kw</p> <p>warranty: 1 years</p> <p>Condición: Nuevo</p> <p>Capacidad de prod... 200 kg/h</p> <p>Uso: Trituradora de residuos plásticos</p> <p>Voltaje: 380V</p> <p>Certificación: CE SGS BV TUV</p> <p>Servicio postventa ... Apoyo en línea</p> <p>Clave de puntos de ... Automática</p> <p>Servicio Local ubic... None</p> <p>After-sales Service ... Engineers available to service machinery overseas</p> <p>Production capacity: 100-800kg/h</p> <p>Weight: 400kg</p> <p>Quality control: test before delivery</p>

Fuente: [41]

Estas máquinas son importadas por lo su precio es más alto en cambio en caso de la máquina moledora representan una mejor alternativa desde el punto de vista costo beneficio, es producto nacional es más cómodo en precio y su nivel de producción es mayor a las máquinas mencionadas.

10 Conclusiones

- Se identificó las propiedades físicas de los residuos orgánicos dentro del cual se realizó las pruebas de ensayo de corte del residuo de mayor dureza (huesos) el cual sirve como base de cálculo para el análisis de las cuchillas.
- Se determinó la demanda de los residuos orgánicos generados por la población urbana de Soritor-Moyobamba de los distintos sectores como:
Doméstico su generación per cápita es de 759,29 Kg de los cuales 67 % son residuos orgánicos.
Comerciales su generación per cápita es de 559.80 Kg de los cuales 8,2 % son residuos orgánicos.
Instituciones su generación per cápita es de 408,33 Kg de los cuales 11,60 % son residuos orgánicos
Mercados su generación per cápita es de 1052,65 Kg de los cuales 60 % son residuos orgánicos.
- Se realizó el diseño de la máquina moladora y sus elementos que lo compone previo a los cálculos realizados para su dimensionamiento de cada componente mecánicos para una un diseño viable.
- Se realizó el análisis estático y de fatiga de los componentes mecánicos principales de la máquina moladora en el software CAD/CAE. El análisis se realizó a las cuchillas, eje motriz y bastidor por lo que son componentes sometidos a diferentes cargas aplicadas. En el análisis estático lineal se observó que los componentes sufren una deformación mínima en cierta sección debido las cargas que actúan en el elemento y en el análisis de fatiga se obtuvo un valor de vida del elemento 1000000 ciclos lo que indica su vida útil está en el rango aceptable.
- Se realizó una evaluación económica para evaluar la viabilidad de su realización con un costo total de la máquina de S/ 28589,6; siendo un valor asequible para su realización ya que las máquinas de acero inoxidable del mercado tienen un costo mayor aproximado de S/32680.

11 Recomendaciones

- Se recomienda que para futuras investigaciones que los dientes de las cuchillas se debería hacer un análisis de geometría (optimizar o rediseñar las cuchillas de corte) para una mejor trituración de los residuos.
- Se recomienda seguir el estudio con un funcionamiento hidráulico de manera que sea más eficiente al momento de realizarse la trituración.
- Para las investigaciones futuras se recomienda reemplazar el eje de acero inoxidable AISI-304 por un eje de material compuesto de fibra de carbono.

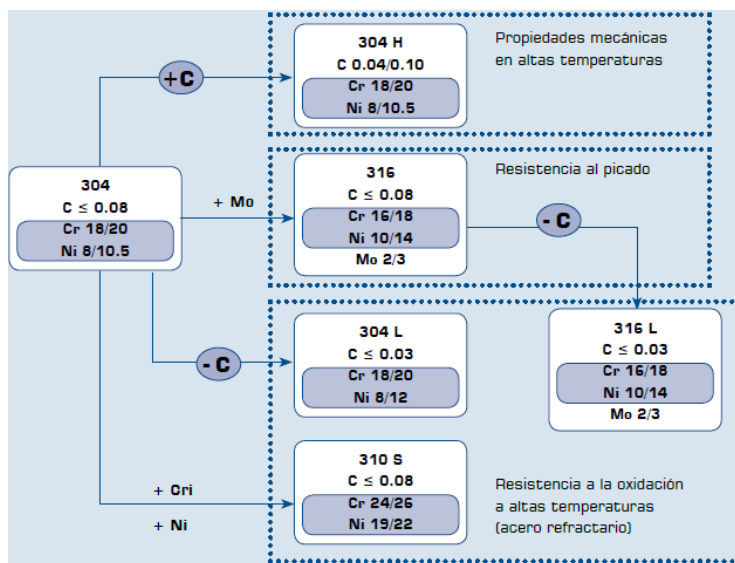
12 Bibliografía

- [1] CROSS, Métodos de Diseño, NORIEGA LUMISA, 2004.
- [2] J. E. C. Lascano, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ecuador, 2016.
- [3] C. M. A. QUISPE, «DISEÑO DE MÁQUINA REBANADORA DE CAMOTE CON UNA,» PUC, Lima , 2015.
- [4] J. I. D. M. Luis Hidalgo Aguilera, «Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente,» Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador , 2017.
- [5] A. M. C. A. N. S. O. O. A. Jibrin M. U., «Diseño y desarrollo de una máquina trituradora de residuos de cosecha,» 2016.
- [6] L. A. G. Villalba, «Diseño y prototipo de una maquina tirturadora de PET,» 2014.
- [7] Gestión de RSU.
- [8] M. Paulina, «Propiedades físicas de los residuos orgánicos,» 2015.
- [9] J. E. Morales, Dimensionamiento de Equipos Mineros, La Paz: Mayor de an Andrez , 2014.
- [10] [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/mauricioantonio1291/tolvas>.
- [11] [En línea]. Available: <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.
- [12] [En línea]. Available: <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.
- [13] [En línea]. Available: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/viewFile/866/818>.
- [14] A. A. Group, «Hippo Hammer-Mill,» [En línea]. Available: http://www.abchansenafrica.co.za/Datasheets/hippo_hammer-mills.htm.
- [15] M. C. J. C. suarez, «Diseño Mecanico,» Universidad Politecnica Tlaxcala.
- [16] [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/362810596/Proyecto-Maquina-Recicladora-de-Plasticos>.
- [17] C. P. C. E. J. M. L. J. L. O. Luz Angélica García Villalba, «Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET,» Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez., Mexico , 2014.
- [18] R. L. Norton, Diseño de máquinas, 4ta edición.
- [19] H. P. S. R. O. W. S. T. Dr. Fauzia Siddiqui, «Design and Fabrication of Paper Shredder Machine,» International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 3, March-2017, 2017.
- [20] [En línea]. Available: <http://www.jiujuan.com.tw/en/Pair-axis-shredder-knives.html>.
- [21] «Catálogo de acero inoxidable,» Cia. General de Aceros S.A..
- [22] «Esfuerzos mecánicos,» [En línea]. Available: <http://www.micro-log.com/mininoticias/esfuerzos-mecanicos.pdf>.
- [23] J. E. Shigely, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mexico: MC Graw Hill, 2008.
- [24] L. C. Mejia, «Caracterizacion de residuos solidos,» UNAD, Colombia , Actubre 2017.
- [25] Miralles, «DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HUESO CORTICAL DE ORIGEN PORCINO MEDIANTE ENSAYOS DE COMPRESIÓN,» UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA, Mexico , 2006.
- [26] M. C., Mecánica de de fluidos y maquinas hidráulicas, Madrid : EDICIONES DEL CASTILLO S. A., 1986.
- [27] Cross, Metodos de diseño, Noriega, 2004.
- [28] N. Waganoff, Trituración y Molienda y Separación de Minerales.
- [29] W. M. CORI, «“DISEÑO DE UNA MAQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PARA LA FABRICA LA PAZ “,» UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS, Bolivia , 2014.
- [30] J. L. Suárez, «COMPORTAMIENTO DE 3 FAMILIAS DE ACEROS INOXIDABLES ANTE SOLICITUDES TRIBOLÓGICAS DE ABRASIÓN Y EROSIÓN,» *SciELO*, 2013.
- [31] P. Robert L Mott, DISEÑO DE ELEMENTO DE MAQUINAS, México : PEARSON EDUCATION , 2006.

- [32] «Catálogo de motorreductor NORD».
- [33] «TRANSTECNO the modular gearmotor».
- [34] «Catálogo SKF».
- [35] H. R. Quintana, «Rodamientos,» 2013.
- [36] «Catálogo de rodmaientos SKF,» 2015.
- [37] «Catálogo de rodamientos FAG».
- [38] P. A. R. GRIJALVA, ««DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CÍA. LTDA,» Universidad de las fuerzas armadas, Ecuador , 2003.
- [39] «Grados Material Mundial,» [En línea]. Available: <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>.
- [40] M. Macias, «Análisis de frecuencia,» Colombia , 2015.
- [41] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/dawei-2021-hot-selling-new-product-all-stainless-steel-double-shaft-plastic-hospital-kitchen-e-scrap-shredder-1600242613563.html?spm=a2700.details.0.0.58ab1d8apce2WP&fbclid=IwAR3-eG8wsIIMv7c7fk2oTMQ42-B5szVi4Pr3V>.
- [42] [En línea]. Available: <https://www.residuosprofesional.com/nueva-empresa-de-base-tecnologica-dedicada-al-aprovechamiento-de-residuos/>.
- [43] J. E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw Hill.
- [44] J. E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mexico : MC Graw Hill, 2008.
- [45] «Codigo de colores.com,» [En línea]. Available: <https://codigodecolor.com/codigo-de-colores-para-el-reciclaje/>.

13 Anexos generales y planos

Anexos N° 1: Especificación del acero inoxidable austenítico



Anexos N° 2: Propiedades del acero inoxidable austenítico

GRADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	LIMITE DE FLUENCIA (MPa)	ELONGACIÓN (% EN 50 mm)	DUREZA BRINELL MAX.	PROPIEDADES PARA TRABAJO EN FRÍO
AISI 304	515	205	40	202	Muy Buena
AISI 304 L	485	170	40	183	Muy Buena
AISI 316	515	205	40	217	Buena
AISI 316L	485	170	40	217	Buena
AISI 310 S	515	205	40	217	Buena

GRADOS	COMPOSICIÓN QUÍMICA							PROPIEDADES DEL ACERO	APLICACIONES
	C	Cr	Ni	Mo	S	Mn	Si		
AISI 304	< 0.08	18.0- 20.0	8.0-10.5		0.03	< 2.0	<1.0	Buena resistencia a la corrosión, excelentes propiedades de conformación en frío y soldabilidad. No se garantiza la resistencia a la corrosión intercrystalina.	Electrodomésticos, industria agrícola, alimenticia (cocinas, cubiertos, equipos de procesamiento), farmacéutica, arquitectura (fregaderos, fachadas, mobiliario urbano, etc.), equipos hospitalarios, industria criogénica (almacenamiento de gases licuados). Piezas varias en la industria química y petroquímica (tanques y recipientes para una gran variedad de líquidos corrosivos), naval y de construcción aeronáutica, equipos del tratamiento de aguas residuales, filtros automotrices, paneles de aislamiento térmico, intercambiadores de calor.
AISI 304 L	<0.03	18.0 - 20.0	8.0-12.0		0.03	<2.0	<1.0	Buena resistencia a la corrosión, se puede trabajar en frío y soldar fácilmente. Resistencia a la corrosión intercrystalina. Hasta 350°C	Procesos en general en donde las condiciones del medio (líquidos o gases) son químicamente más agresivos (presencia de cloruros, peróxido de sodio, etc.). Ej.: atmósferas marinas e industriales. Fabricación de equipos para la industria textil, petroquímica y de electrodomésticos. Industria farmacéutica.
AISI 316	<0.08	16.0-18.5	10-14.0	2.0-3.0	0.03	<2.0	<0.03	Resistencia mejorada a los ácidos no oxidantes y a la corrosión extrema debido al contenido de molibdeno	
AISI 316L	<0.03	16.0-18.5	10-14.0	2.0-3.0	0.03	<2.0	<0.03	Resistencia a la corrosión intercrystalina hasta los 400°C y a la corrosión superficial. Es apto para el pulido.	
AISI 310 S	<0.08	24.0 - 26.0	19.0 - 22.0		0.03	<2.0	<1.5	Insensible al resquebrajamiento a altas temperaturas. Buena resistencia a la oxidación hasta 1000°C. Buena resistencia a la fluencia a alta temperatura.	Procesos que requieran resistencia mecánica y a la oxidación a altas temperaturas con resistencia al fenómeno de "escamado". Hornos, Calderas, cámaras de combustión, hornos para tratamiento térmico de aceros.

Anexos N° 3: Ficha del engranaje

4 DP
Cara 3 1/2"

Engranés Rectos
de Acero en Existencia
Angulo de Presión 20°





Tipo B
Sencillo con Maza en Acero



Tipo B₁
Con Alma en Acero



Tipo B₂
Con Alma y Barrenos de Aligeramiento en Acero



Tipo B



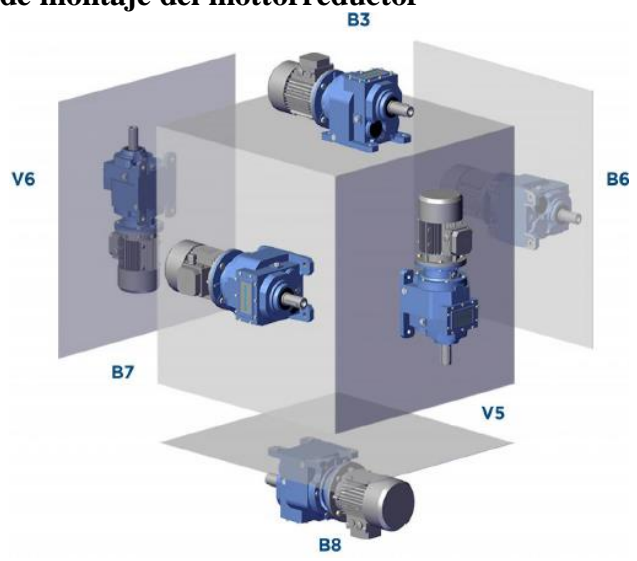
Tipo B₁, B₂

Acero

Número de Dientes	Número de Parte	Angulo de Presión	Diámetro		Tipo	Barrenos (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
			Passo	Exterior		Filato	Max.*	Diámetro	Prof.	
12	TS412	20	3.000	3.500	B	1 1/4	1 1/4	2 1/4	3/4	6.8
14	TS414	20	3.500	4.000	B	1 1/4	1 1/4	2 1/4	3/4	9.8
15	TS415	20	3.750	4.250	B	1 1/4	1 1/4	2 3/4	3/4	11.5
16	TS416	20	4.000	4.500	B	1 1/4	2 1/4	3 1/4	3/4	13.3
18	TS418	20	4.500	5.000	B	1 1/4	2 1/4	3 3/4	3/4	17.3
20	TS420	20	5.000	5.500	B	1 1/4	2 1/4	4 1/4	3/4	21.8
22	TS422	20	5.500	6.000	B	1 1/4	3	4 3/4	3/4	26.7
24	TS424	20	6.000	6.500	B	1 1/4	3 1/4	5	1 1/4	33.7
28	TS428	20	7.000	7.500	B	1 1/4	3 1/4	5	1 1/4	43.8
30	TS430	20	7.500	8.000	B	1 1/4	3 1/4	5	1 1/4	49.4
32	TS432	20	8.000	8.500	B	1 1/4	3 1/4	5	1 1/4	56.8
36	TS436	20	9.000	9.500	B	1 1/4	3 1/4	5	1 1/4	70.0
40	TS440	20	10.000	10.500	B	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	85.2
44	TS444	20	11.000	11.500	B	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	101.6
48	TS448	20	12.000	12.500	B	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	119.5
56	TS456	20	14.000	14.500	B ₁	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	160.9
60	TS460	20	15.000	15.500	B ₂	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	188.1
64	TS464	20	16.000	16.500	B ₂	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	186.9
72	TS472	20	18.000	18.500	B ₂	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	266.5
80	TS480	20	20.000	20.500	B ₂	1 1/4	3 1/4	5 1/4	1 1/4	300.9

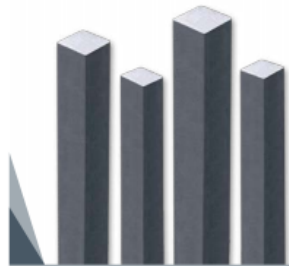
* Barreno máximo recomendado con cutter y opressor.
Los engranes con ángulo de presión de 20° no operan con engranes con ángulo de presión de 14 1/2°.

Anexos N° 4: Posición de montaje del motorreductor



Anexo N° 7: Perfiles estructurales

Barras Cuadradas



DIMENSIONES	
Sistema Inglés (pulgadas)	Sistema Métrico (mm)
3/4	9
1	12
	15

PRESENTACIÓN:

Se producen en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetones de 1 TM c/u.

USOS:

Estructuras metálicas de todo tipo, construcción de puertas, portones, cercos, marcos de ventanas, rejas de protección y decorativas, barandas, carpintería metálica artística, muebles, mesas, sillas, adornos.

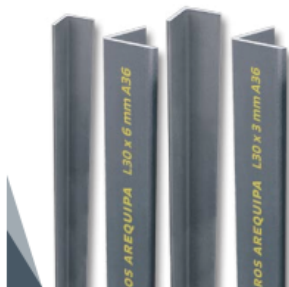
PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo	= 2,550 kg/cm ² .
Resistencia a la Tracción	= 4,080 - 5,620 kg/cm ²
Alargamiento en 200 mm	= 20.0% mínimo
Doblado a 180°	= Bueno
Soldabilidad	= Buena

NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M.
Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4.

Ángulos Estructurales



DIMENSIONES	
Sistema Métrico (mm)	
20 x 20 x 2.0	
20 x 20 x 2.5	
20 x 20 x 3.0	
25 x 25 x 2.0	
25 x 25 x 2.5	
25 x 25 x 3.0	
25 x 25 x 4.5	
30 x 30 x 2.0	
30 x 30 x 2.5	
30 x 30 x 3.0	
30 x 30 x 4.5	
38 x 38 x 2.0	

USOS:

En la fabricación de puertas, ventanas, rejas y/o artículos decorativos para el hogar.

También se utiliza en la fabricación de estructuras para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria naval, carrocerías.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo	= 2,530 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción	= 4,080 - 5,620 kg/cm ²
Alargamiento en 200 mm	
Espesores:	
2.0mm, 2.5mm, 3.0mm,	
3/32" y 1/8"	= 15.0% mínimo
4.5 mm y 3/16"	= 15.0% mínimo
1/4"	= 17.5% mínimo
5/16", 3/8" y 1/2"	= 20.0% mínimo
Soldabilidad	= Buena

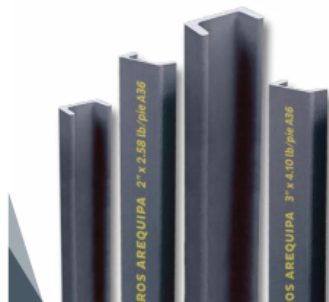
NORMAS TÉCNICAS:

Sistema Métrico: Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36 M
Tolerancias Dimensionales: ISO 657/V

PRESENTACIÓN:

Se producen en longitudes de 6 metros. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetones de 1 TM c/u.

Canales U de Calidad Dual



DIMENSIONES	
Sistema Inglés (libra/pie)	
2" x 2.58	
3" x 4.10	
3" x 5.00	
4" x 5.40	
4" x 7.25	

NORMAS TÉCNICAS:

ASTM A36
ASTM A572- G50

PRESENTACIÓN:

Canales U hasta de 4", se producen en longitudes de 6 metros. Se entregan en paquetones de 1 TM.

Se suministran en unidades.

USOS:

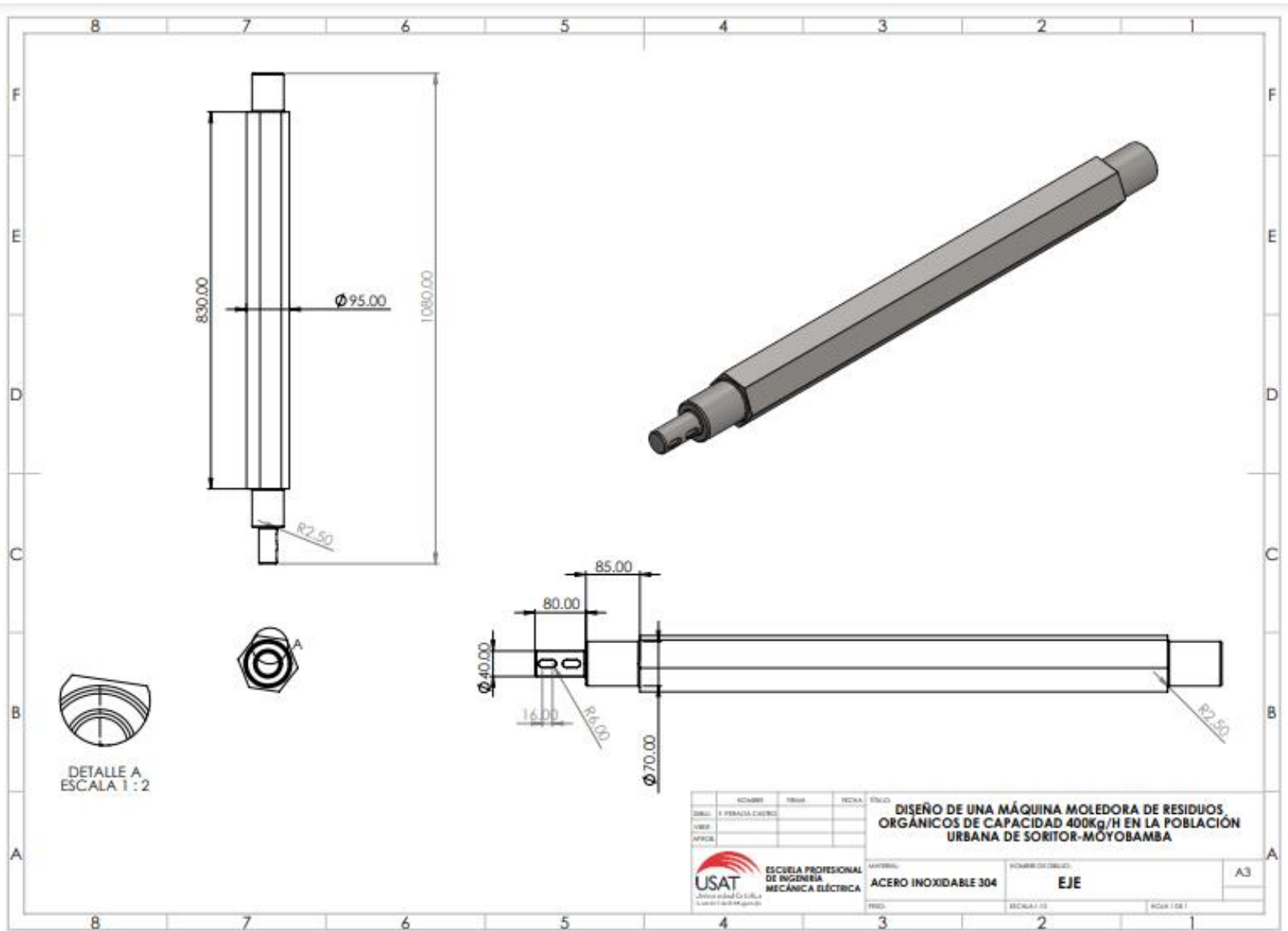
En la fabricación de carrocerías y estructuras metálicas como vigas, viguetas, etc.

PROPIEDADES MECÁNICAS:

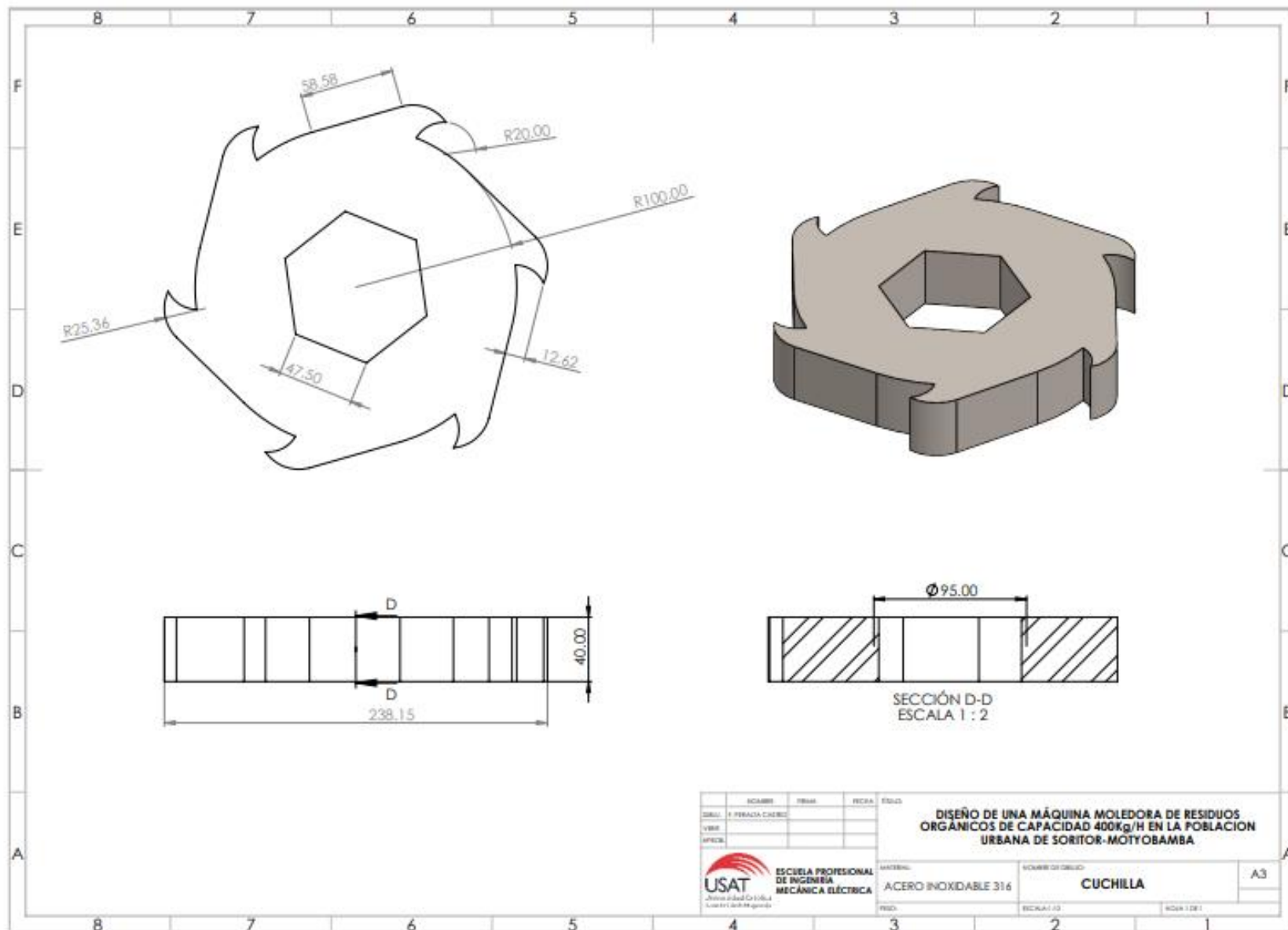
Dimensiones	= Menores o igual a 4"
Límite de Fluencia mínimo	= 3,520 kg/cm ²
Resistencia a la tracción	= 4,590 - 5,620 kg/cm ²
Alargamiento en 200 mm	= 20% mínimo
Soldabilidad	= Buenas

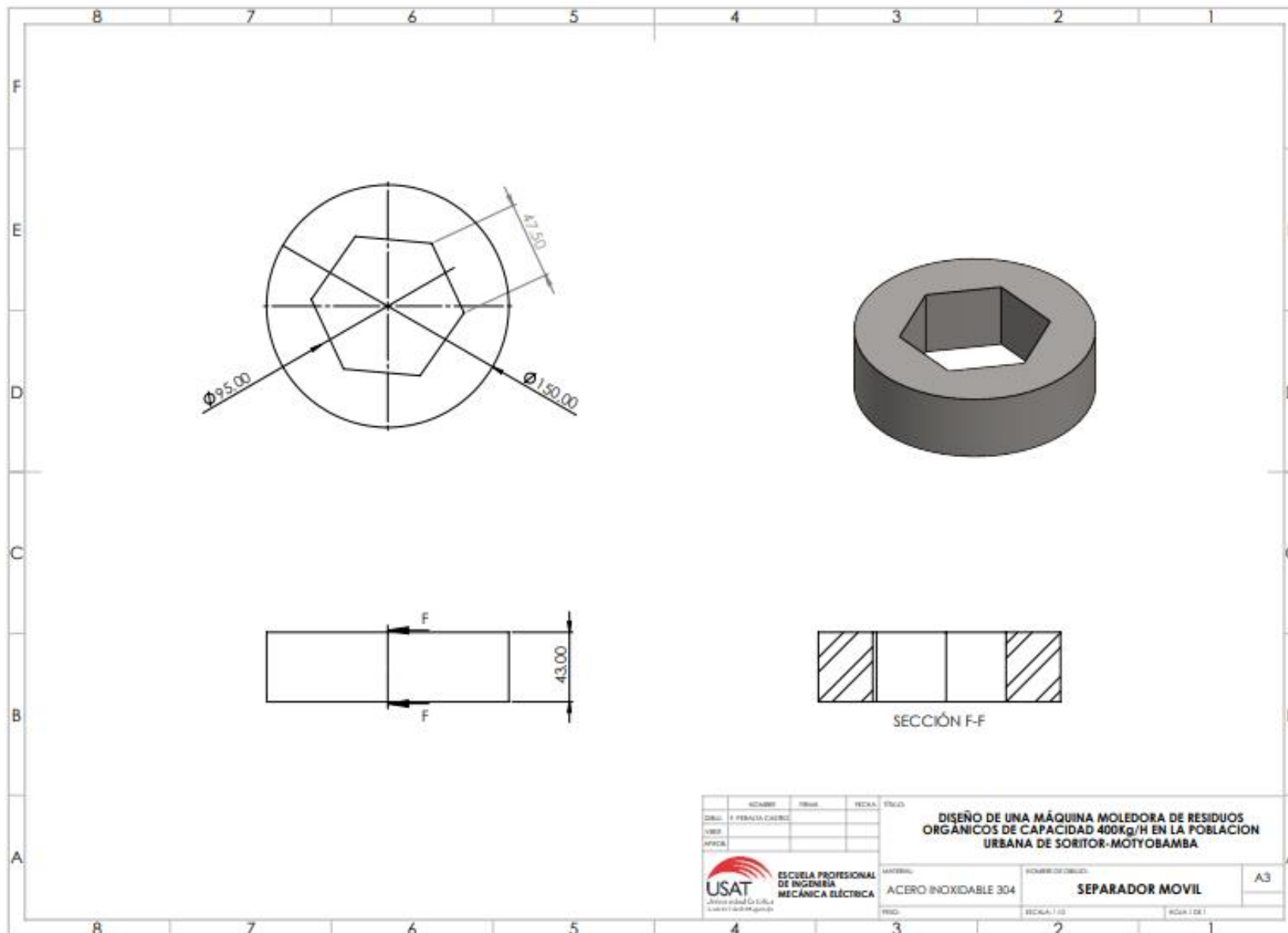
Anexo N° 8: Lista de tornillos y pernos de la maquina

Dimensión del tornillo	Grado del tornillo	Cantidad	Elemento que une
25/64" x 25/32"	5	16	Tolva / Cámara de molienda
25/64" x 25/32"	5	8	Cámara-parte frontal / Cámara-parte lateral
25/64" x 25/32"	5	8	Cámara-parte frontal / Cámara-parte posterior
25/64" x 25/32"	5	16	Cámara de molienda / Estructura
5/16" x 1"	5	4	Motorreductor / Estructura
5/8" x 63/64"	5	8	Chumaceras / Cámara parte frontal
5/8" x 63/64"	5	8	Chumaceras / Cámara parte posterior



REVISOR	ELABORADOR	ESCALA	TÍTULO
			DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CAPACIDAD 400kg/H EN LA POBLACIÓN URBANA DE SORITOR-MÓYOBAMBA
DISEÑO	PROFESOR		
VERIFICADO			
APROBADO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304	NOMBRE DE OBJETO: EJE
		FECHA:	A3
		ESCALA: 1:1	PÁGINA 1 DE 1

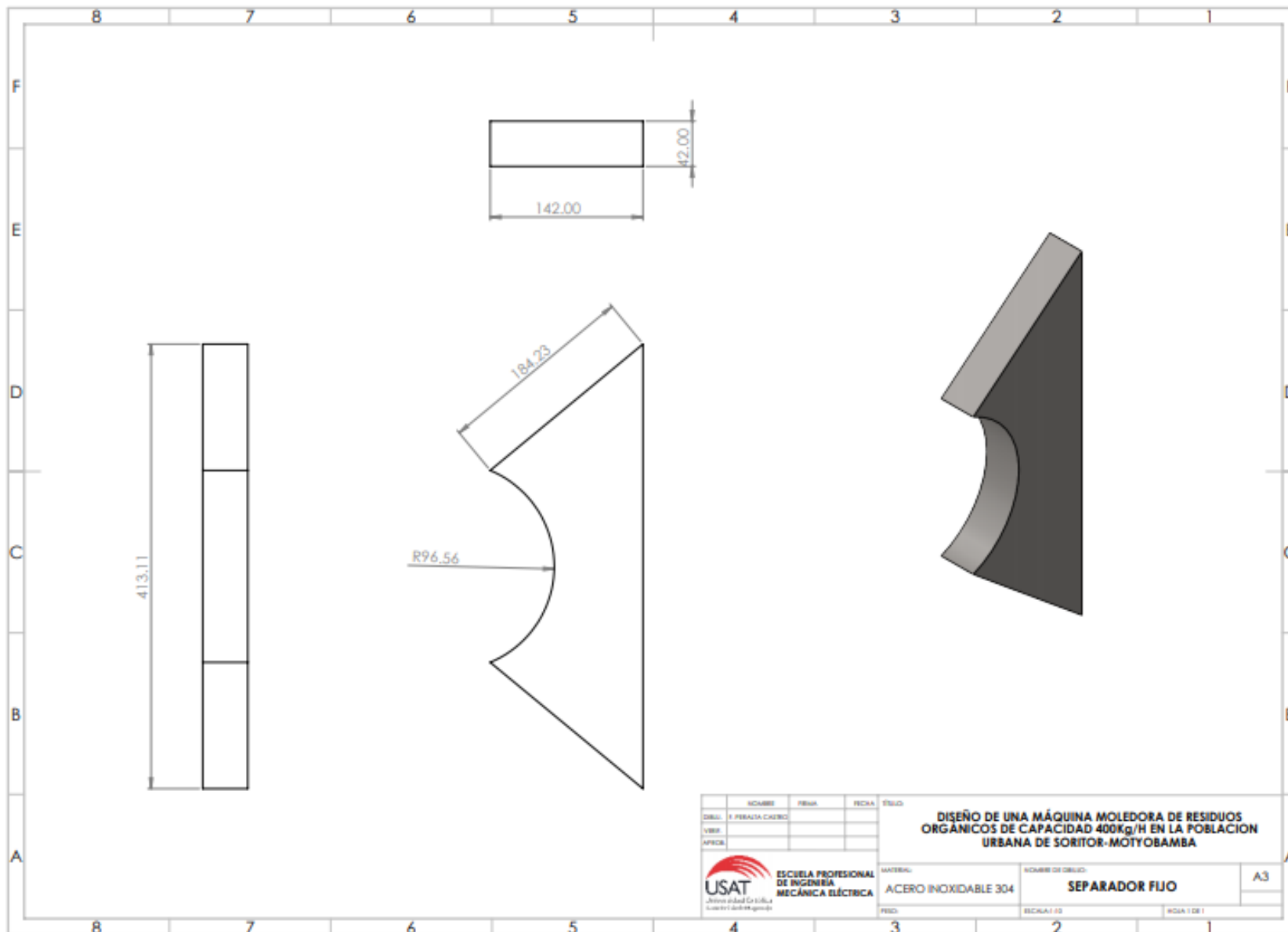


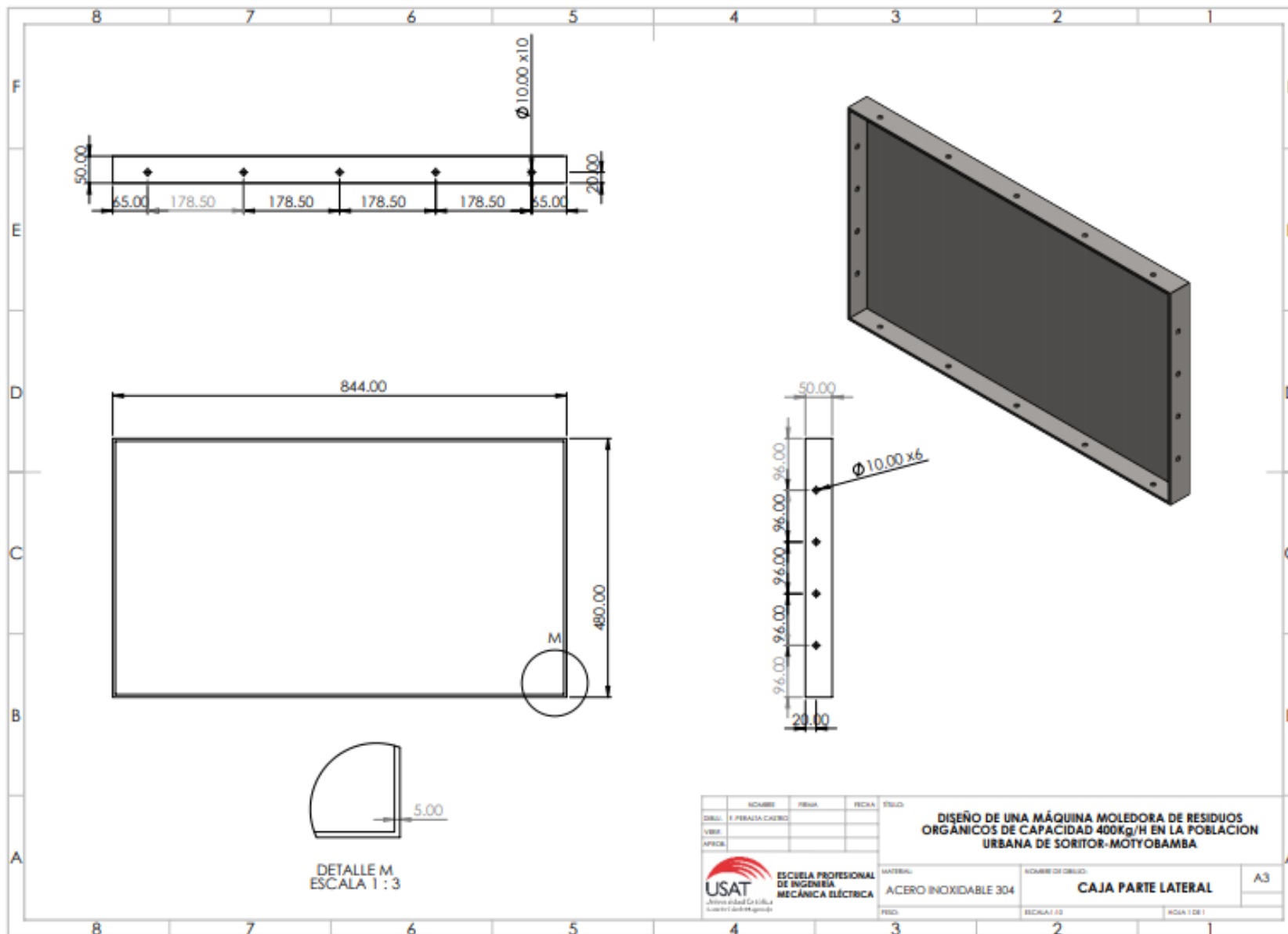


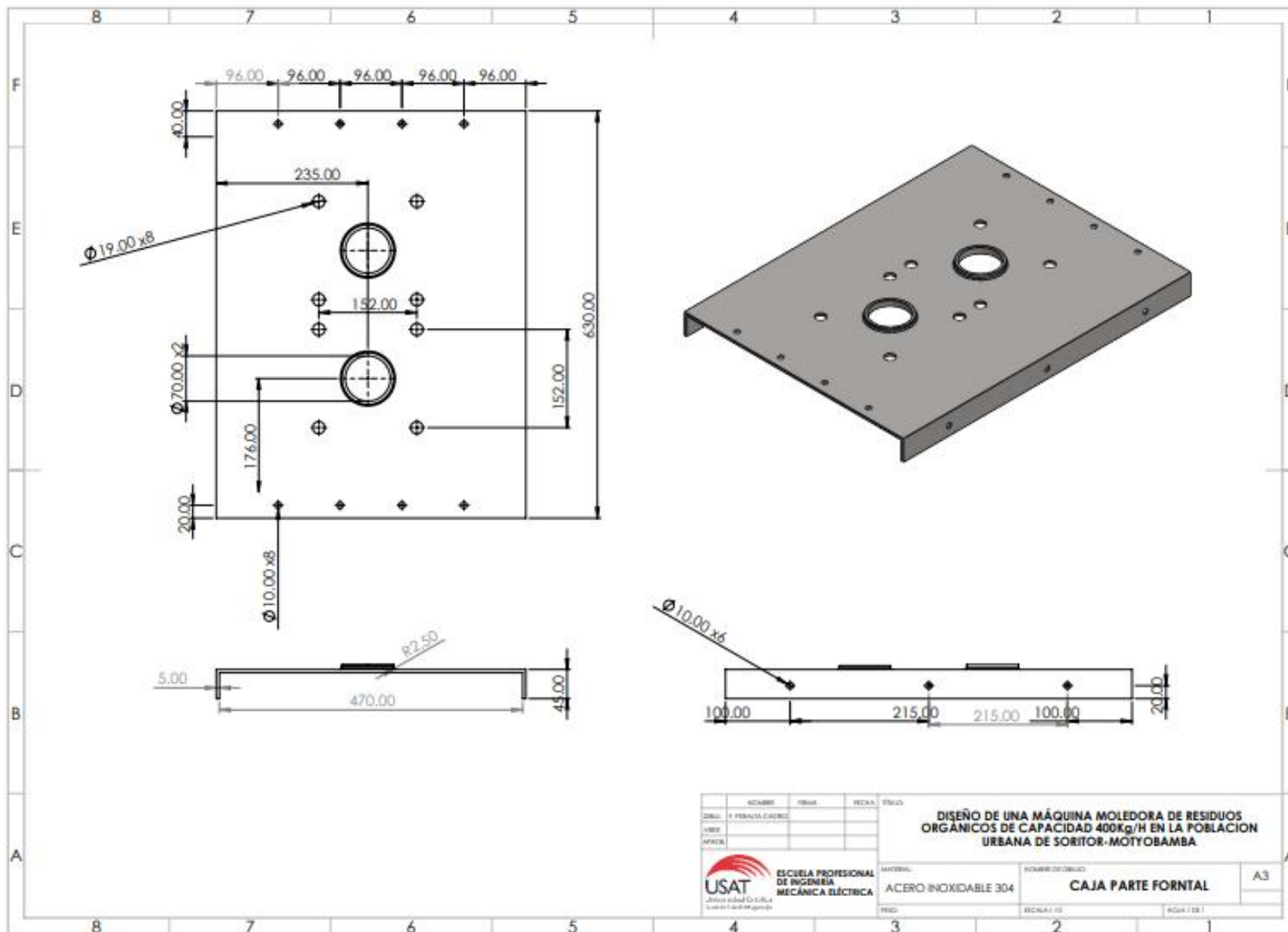
NO. DISEÑO	FECHA	FECHA	FECHA	ESTADO
001	15/05/2010			
DISEÑADOR	PROFESOR	FECHA	TÍTULO	
Y. PERALTA CARRERA			DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CAPACIDAD 400kg/H EN LA POBLACION URBANA DE SORITOR-MOTYOBAMBA	
VERIFICADOR			MATERIAL	NOMBRE DE DISEÑO
			ACERO INOXIDABLE 304	SEPARADOR MOVIL
			FECHA: 1/10	PÁGINA 1 DE 1

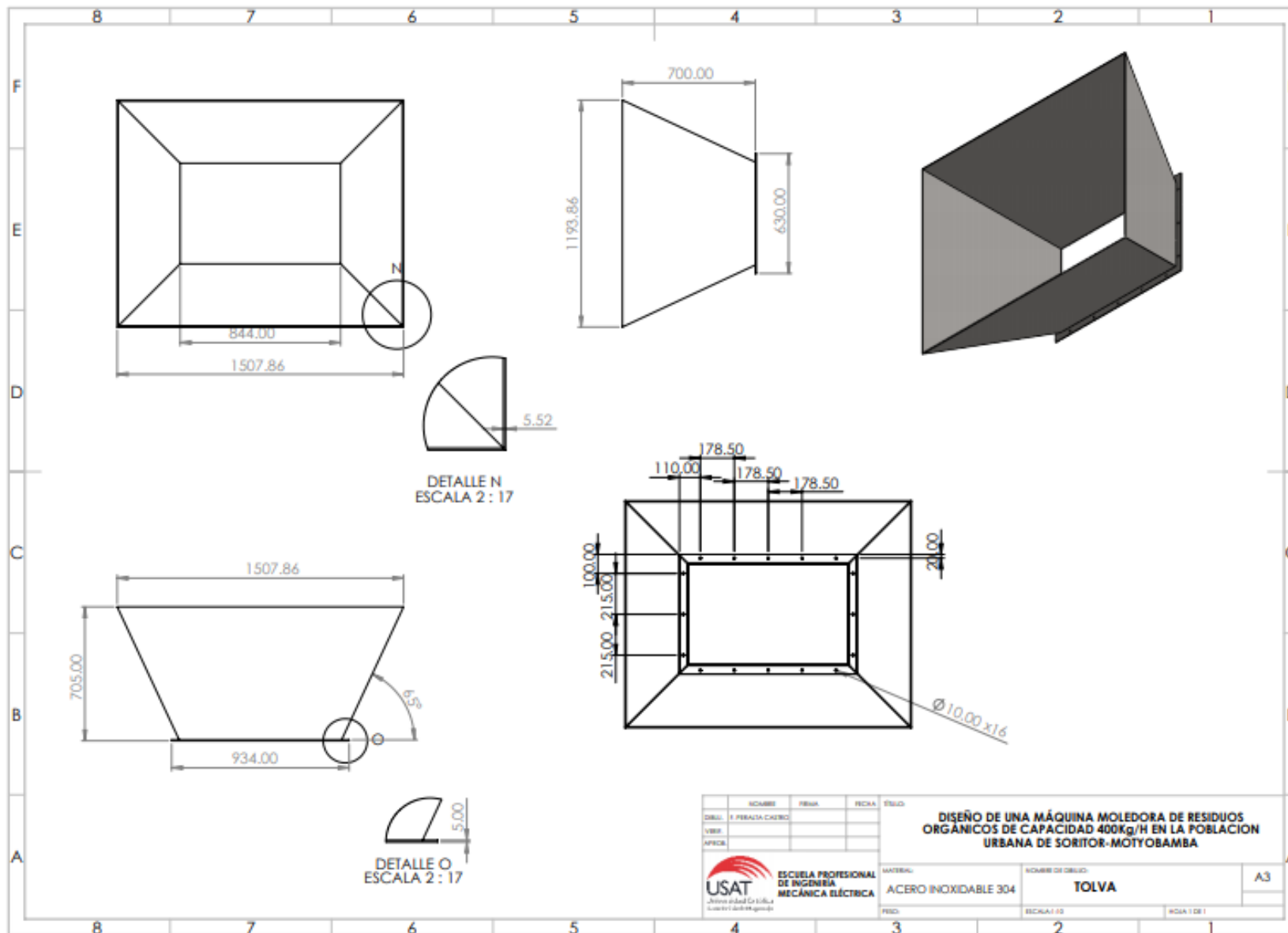



A3

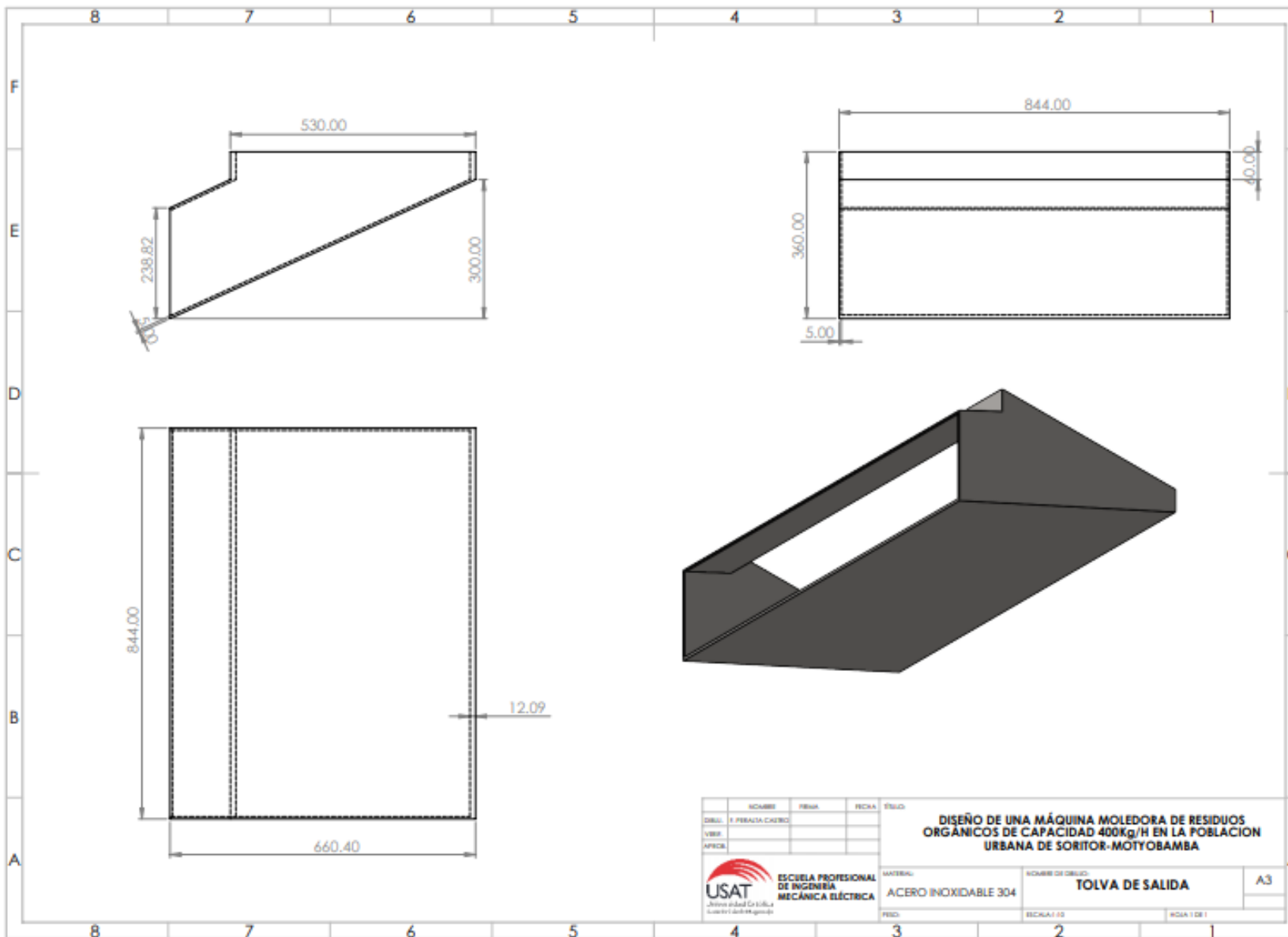








PROYECTO:	FECHA:	FECHA:	ESCALA:	DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CAPACIDAD 400kg/H EN LA POBLACION URBANA DE SORITOR-MOTYOBAMBA
DISEÑO:	FECHA:	FECHA:		
VERIFICACIÓN:	FECHA:	FECHA:		
APROBACIÓN:	FECHA:	FECHA:		
 USAT ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304		NOMBRE DE OBJETO: TOLVA
		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1



NO.	NOMBRE	FECHA	ESTADO
01	DISEÑO		
02	VERIFICACIÓN		
03	APROBACIÓN		

DISEÑO DE UNA MÁQUINA MOLEDORA DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE CAPACIDAD 400kg/H EN LA POBLACION URBANA DE SORITOR-MOTYOBAMBA	
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304	NOMBRE DE OBJETO: TOLVA DE SALIDA
FECHA: _____	ESCALA: 1:10
HOJA 1 DE 1	



