



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE
SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ**

Luis Fernando Cordón Ruiz

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE
SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS FERNANDO CORDÓN RUIZ

ASESORADO POR EL ING: CARLOS ANIBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de León Bran
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 11 de septiembre de 2017.

Luis Fernando Cordón Ruiz



Guatemala, 9 de noviembre de 2020
REF.EPS.DOC.09.11.20

Ingeniero
Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **LUIS FERNANDO CORDON RUIZ, Registro Académico No. 200815543** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



NISZ/ns

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 27 de enero de 2021
REF.EPS.D.15.01.2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Fernando Cordón Ruiz** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



OAH/ra

Guatemala, 09 de febrero de 2021

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Morales Baiza:

Por este medio atentamente le informo que procedí a revisar el informe final titulado: **SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ** del estudiante universitario de la escuela de ingeniería mecánica, Luis Fernando Cordón Ruiz, Registro Académico 200815543.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Carlos Snell Chicol Morales
INGENIERO MECÁNICO Col. 14029
Ma. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

Ma. Ing. Carlos Snell Chicol Morales
Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.075.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ** del estudiante **Luis Fernando Cordón Ruiz**, CUI **1748520611801**, Reg. Académico **200815543** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, mayo de 2021

/aej

DTG. 228.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **SELECCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y CRIBADORA DE SÓLIDOS TIPO COLUMPIO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SOLOLÁ**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Fernando Cordón Ruiz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, mayo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre

Por apoyarme incondicionalmente, inculcarme valores y enseñarme a valorar la vida y ser el mejor ejemplo que he conocido.

Mi madre

Por ser parte fundamental en mi crecimiento como persona y enseñarme con amor el camino para ser un hombre recto.

Priscila Deras

Por ser una importante influencia en mi vida y mi carrera, así como no dejarme caer en ningún momento en desmotivaciones.

Mis hermanos

Por compartir gratos momentos a mi lado.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi *alma máter*.

Facultad de Ingeniería

Por formarme y darme las herramientas necesarias a lo largo de mi carrera.

Mis amigos de la facultad

Que con su apoyo y conocimientos fueron el soporte de cada etapa de esta carrera.

Mi asesor

Por su apoyo y por compartir sus conocimientos con mi persona para el desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la institución	1
1.1.1. Ubicación geográfica	1
1.1.2. Historia del departamento de Sololá.....	3
1.1.3. Misión	6
1.1.4. Visión.....	6
1.1.5. Organigrama.....	6
1.2. Descripción del problema	11
1.3. Descripción del proceso de compostaje	12
1.3.1. Caracterización de los desechos sólidos.....	15
1.3.2. Clasificación de desechos sólidos	18
1.4. Planta de tratamiento de Coxom, Sololá	19
1.4.1. Horas-hombre usadas para el proceso de compostaje	20
1.4.2. Justificación de la selección de máquinas tritadoras y cribadoras de sólidos.....	22
1.4.3. Necesidades de personal	23

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	27
2.1.	Fundamentos básicos de la trituración.....	27
2.1.1.	Clases de trituración.....	28
2.1.2.	Tamaño de desintegración	30
2.1.2.1.	Molienda (desintegración fina)	30
2.1.3.	Trituradora.....	30
2.1.3.1.	Tipos de trituradoras	31
2.1.4.	Cribas	44
2.1.4.1.	Tipos de cribas	44
2.2.	Estudio y selección de alternativas de trituradora	49
2.3.	Parámetros funcionales.....	50
2.4.	Parámetros de diseño de la maquinaria a seleccionar	50
2.4.1.	Características de la materia prima	50
2.4.2.	Capacidad de carga de la estructura.....	51
2.4.3.	Espacio físico requerido (largo, ancho y altura)	51
2.4.3.1.	Alternativa 1: Trituradora giratoria	52
2.4.3.2.	Alternativa 2: Trituradora de rodillos dentados.....	52
2.4.3.3.	Alternativa 3: Trituradora de impacto o martillos	53
2.4.4.	Grado de trituración requerido.....	54
2.4.5.	Ergonomía.....	54
2.4.6.	Capacidad de la tolva	55
2.4.6.1.	Tamaño de alimentación	55
2.5.	Estudio de alternativas	56
2.5.1.	Alternativa 1: trituradora giratoria	56
2.5.1.1.	Ventajas de la alternativa 1	57
2.5.1.2.	Desventajas de la alternativa 1	57
2.5.2.	Alternativa 2: trituradora de rodillos dentados	57

	2.5.2.1.	Ventajas de la alternativa 2.....	58
	2.5.2.2.	Desventajas de la alternativa 2.....	58
	2.5.3.	Alternativa 3: trituradora de impacto o martillos.....	58
	2.5.3.1.	Ventajas de la alternativa 3.....	58
	2.5.3.2.	Desventajas de la alternativa 3.....	59
2.6.		Selección de la trituradora	59
2.7.		Parámetros funcionales de cribadora tipo columpio	59
2.8.		Parámetros necesarios de la cribadora a seleccionar	60
	2.8.1.	Características del compostaje.....	60
	2.8.2.	Capacidad de carga de la estructura	62
	2.8.3.	Espacio físico requerido (largo, ancho y altura).....	62
	2.8.4.	Grado de tamiz requerido	62
2.9.		Propuesta eficiente del uso de trituradora y cribadora	64
2.10.		Propuesta eficiente del uso de trituradora y cribadora idóneas para la municipalidad de Sololá	64
2.11.		Componentes de las máquinas a seleccionar para su implementación	66
	2.11.1.	Trituradora giratoria	66
	2.11.2.	Cribadora tipo columpio.....	67
	2.11.2.1.	Método de alimentación.....	67
	2.11.2.2.	Ángulo de inclinación.....	67
	2.11.2.3.	Dirección de rotación	68
	2.11.2.4.	Frecuencia de vibración.....	68
2.12.		Materiales propuestos para la selección del equipo recomendado a la municipalidad de Sololá	69
2.13.		Dimensiones ideales de la capacidad necesaria a procesar ...	70
3.		FASE DE DOCENCIA	79
	3.1.	Taller titulado Uso Correcto del EPP	79

3.1.1.	Dinámica de presentación, tanto de los participantes como de los monitores.	81
3.1.2.	Descripción de los equipos de trituración y cribación que se instalarán en la planta de tratamiento de desechos sólidos	81
3.1.3.	Exposición y descripción del equipo de protección personal a utilizar.....	82
3.1.4.	Equipo mínimo a utilizar por el personal a cargo de uso de la trituradora	83
3.1.5.	Resolución de conflictos e interrogantes de los participantes.	88
3.1.6.	Prácticas sobre el uso adecuado del equipo de protección personal	89
3.1.7.	Evaluación.....	89
3.2.	Taller titulado Seguridad Industrial	90
3.2.1.	Contenido del taller	93
3.2.2.	Conceptos básicos de seguridad industrial	93
3.2.3.	Accidentes laborales	95
3.2.4.	Tipos de accidentes	98
3.2.5.	Medidas de protección	101
3.2.6.	Demarcación y señalización de áreas	101
3.2.7.	Evaluación.....	105
3.3.	Presentación de mejoras y avances	105
3.4.	Presentación de resultados finales	106
CONCLUSIONES.....		109
RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFÍA.....		113
APÉNDICES.....		127

ANEXO 117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Geocalización satelital de la municipalidad de Sololá.....	2
2.	Municipalidad de Sololá.....	3
3.	Organigrama sintetizado	10
4.	Proceso de compostaje	13
5.	Fases de compostaje	14
6.	Ejemplo de actividades de la planta de desechos sólidos.....	26
7.	Proceso para la reducción de tamaño	27
8.	Trituradora de mandíbulas	32
9.	Diagrama de corte de trituradora.....	33
10.	Trituradora giratoria.....	34
11.	Componentes principales de una trituradora giratoria.....	34
12.	Trituradora de eje vertical.....	36
13.	Componentes principales de trituradora de eje vertical.....	37
14.	Trituradora de eje vertical y apoyo inferior	37
15.	Trituradora de rodillos.....	38
16.	Diagrama de acción de trituradora de rodillos	39
17.	Trituradora de impacto	40
18.	Trituradora de martillos.....	40
19.	Trituradora de martillos de eje horizontal	41
20.	Componentes principales de trituradora de martillos de eje horizontal	42
21.	Trituradora de martillos de eje vertical.....	43
22.	Sección transversal de trituradora de martillos.....	43
23.	Criba de barrotes de perfil cuadrado	45

24.	Criba de tambos o <i>trommels</i>	47
25.	Criba semivibratoria (de columpio).....	48
26.	Cribas de coladores de arco o planos	49
27.	Capacidad de tolva	56
28.	Elementos principales que constituyen una trituradora giratoria	66
29.	Unidad vibratoria de cribadora	69
30.	Coeficiente de alimentación	71
31.	Casco de seguridad	83
32.	Protectores de ojos	84
33.	Protectores de rostro.....	84
34.	Protectores de oído y casco de seguridad	85
35.	Protector de oído tipo diadema	85
36.	Protectores de vías respiratorias.....	86
37.	Protecciones para las piernas y pies.....	87
38.	Protección de manos y brazos	87
39.	Ropa protectora sin reflectivos y con reflectivos	88
40.	Actos inseguros.....	97
41.	Obligar al trabajador a utilizar el equipo de protección personal.....	102
42.	Instalación del equipo contra incendios	103
43.	Salidas de emergencia.....	103
44.	Rutas de evacuación.....	103
45.	Al ingresar al área de máquinas.....	104
46.	En el área donde se encuentran ubicados los equipos de trituración y cribación... ..	104
47.	En la ubicación del botiquín	104

TABLAS

I.	Resumen del organigrama municipal	7
II.	Conjunto de medidas para conciencia general del reciclado.....	16
III.	Proceso a analizar para el compostaje.....	21
IV.	Necesidades de personal	25
V.	Longitud de trituradora de impacto	53
VI.	Grado de tamiz requerido.....	63
VII.	Resumen de características técnicas	73
VIII.	Bitácora de mantenimiento preventivo	76
IX.	Contenido del taller Uso Correcto del Equipo de Protección Personal (EPP).....	80
X.	Contenido del taller de Seguridad Industrial.....	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetro
GPa	Gigapascales
°C	Grados centígrados
MPa	Megapascales
m/s	Metro sobre segundo
mm	Milímetro
Nm	Newton-metro
O₂	Oxígeno
ft/s	Pies sobre segundo
%	Porcentaje
Psi	<i>Pound per square inch</i> (Libra por pulgada cuadrada)
In (pulg)	Pulgadas
Fe	Símbolo del elemento químico hierro

GLOSARIO

Cribadora	Una máquina cribadora sirve para limpiar las impurezas de los granos con un sistema de filtrado por mallas de diferente grosor. Sus diferentes secciones van limpiando el grano al punto de dejarlo sin impurezas y sin agentes extraños en el producto.
Calentamiento global	Se refiere al aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro.
Compostaje	Materia orgánica procedente de residuos agrícolas y de la jardinería tratados para acelerar su descomposición y ser utilizados como fertilizante.
Demanda	Hace referencia a la cantidad de bienes (productos) o servicios que se solicitan o se desean en un determinado mercado de una economía a un precio específico.
Desechos sólidos	Es el que se aplica a todo tipo de residuo o desecho que genera el ser humano a partir de su vida diaria y que tienen forma o estado sólido a diferencia de los desechos líquidos o gaseosos.

**Estudio
de prefactibilidad**

Consiste en la investigación a los factores y fuentes primarias y secundarias de investigación de mercado detallando la tecnología que se utilizará en el proyecto, así como de los aspectos político/legales que lo afectan.

Material compuesto

Son aquellos materiales que se forman por la unión de otros dos materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

Oferta

Se refiere a la cantidad de bienes, productos o servicios que se ofrecen en un mercado bajo unas determinadas condiciones.

RESUMEN

Para iniciar el ejercicio profesional supervisado el reconocimiento de las actividades que se realizaron fue importante durante el primer mes, para determinar cuáles serían las principales necesidades.

El diseño de máquinas es parte fundamental en la formación del ingeniero mecánico, por lo que para dar un servicio a la comunidad se abordó el tema de manejo de desechos sólidos valorizables, con el fin de seleccionar una máquina capaz de triturar y hacer homogéneas las partículas de desecho de la planta de tratamiento sólido valorizable de Coxom en la aldea Argueta.

Se evaluó la viabilidad de instalar las máquinas seleccionadas en las instalaciones ya construidas, sin embargo, se tiene planificado junto con la Municipalidad de Sololá hacer del basurero un complejo industrial dedicado al procesamiento de la basura orgánica para su tratamiento y posterior venta. Con las ganancias de estas ventas se planifica darles mantenimiento a las máquinas.

Este trabajo de graduación contiene la principal función de proporcionar un estudio de prefactibilidad, dicho estudio es la herramienta necesaria para la toma de decisiones en un proyecto debido a que en él se analizan los aspectos económicos, legales, técnicos y del mercado. Posteriormente se establecen todos los aspectos anteriormente mencionados para la óptima localización, administración y funcionamiento del proyecto.

OBJETIVOS

General

Seleccionar una máquina trituradora y cribadora de sólidos tipo columpio para la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de Sololá.

Específicos

1. Realizar el estudio analítico, por medio de la evaluación operativa, física y situacional, de la municipalidad de Sololá, para determinar el modelo operativo del manejo responsable de los desechos de su población.
2. Proponer el modelo eficiente de planeación operativa y tratamiento del compostaje manejado y utilizado por la municipalidad Sololá, para impactar en el ahorro de sus recursos financieros y suministros disponibles.
3. Diseñar un método eficiente de programación industrial, para poder ser implementado y lograr procesar altos volúmenes de basura provenientes del área geográfica del departamento de Sololá.
4. Desarrollar la propuesta del modelo eficiente de una trituradora y cribadora, incluyendo los aspectos mecánicos, operativos y de mantenimiento que lograrán garantizar sus operaciones y procesamientos necesarios de la basura recolectada.

5. Seleccionar la máquina eficiente que cumpla y se ajuste con las especificaciones técnicas requeridas por el alcalde de la municipalidad de Sololá, para que el desarrollo final de ejecución cumpla las expectativas solicitadas.

INTRODUCCIÓN

Algunos personajes famosos como Leonardo da Vinci y Galileo Galilei llevaron a cabo experimentos para determinar la resistencia de diferentes barras y vigas, aunque no desarrollaron teorías adecuadas (respecto a los estándares actuales) para explicar el resultado de sus pruebas. El famoso matemático Leonhard Euler desarrolló la teoría matemática de las columnas y calculó la carga crítica de una columna en el año de 1744, mucho antes de que existiera evidencia experimental que mostrara la importancia de sus resultados.

El científico inglés Robert Hooke realizó importantes aportes en el campo de la Física y de la Ingeniería, al formular la teoría de la elasticidad, la cual plantea que un cuerpo elástico se estira proporcionalmente a la fuerza que actúa sobre él. Actualmente se conoce como la ley de Hooke y sobre esta se fundamenta el estudio de la rigidez y elasticidad de los cuerpos, ya que ambos aspectos constituyeron elementos necesarios para el desarrollo ulterior de la disciplina de la resistencia de los materiales, además, Hooke fue el primero en utilizar el resorte espiral para la regulación de los relojes y desarrolló mejoras en los relojes de péndulo.

Isaac Newton, matemático y físico británico, considerado uno de los más grandes científicos de la historia, realizó importantes aportes en muchos campos de la ciencia, fundamentalmente la mecánica, con sus tres leyes fundamentales. Sus descubrimientos y teorías sirvieron de base a la mayor parte de los avances científicos desarrollados desde su época.

En esta etapa del Renacimiento se fabricaron, desde el punto de vista del diseño mecánico, las ruedas de dientes helicoidales con ejes entrecruzados, cojinetes de rodamientos, cadenas articuladas y diversas máquinas. El físico francés Charles de Coulomb, pionero en la teoría eléctrica, estudió los problemas de flexión y torsión e introdujo la noción de tensión tangencial, y más tarde (1776) formuló la hipótesis del cambio de forma debido a las tensiones tangenciales. Teorías muy importantes para la resistencia de materiales y el diseño para la ingeniería mecánica.

Sería interminable la lista de científicos, ingenieros, físicos y personal técnico que han contribuido al desarrollo del Diseño Mecánico y de la manufactura en este periodo histórico analizado, por lo que solo nos limitaremos a enunciar por su relevancia algunos hechos y trabajos en esta etapa. Por esta razón, en la actualidad, para realizar la actividad de proyecto o de diseño mecánico es imprescindible aglutinar a un conjunto de expertos, técnicos e inclusive obreros altamente calificados, constituyendo un equipo multidisciplinario que posibilita la realización adecuada, funcional, óptima, ergonómica y económica de dicho proyecto.

Se puede afirmar que, gracias al desarrollo de las distintas ciencias, en particular la física, el diseño mecánico ha llegado a un alto progreso científico-técnico, ligado a los grandes descubrimientos científicos, formulación de leyes y teorías de otras ciencias que le han servido de base para su ulterior perfeccionamiento.

En la actualidad para la homogenización de materia orgánica es necesario tener la maquinaria adecuada y en buen estado, para evitar atrasos en la maduración del compostaje. Por esta razón es necesario que dentro de una planta de tratamiento de desechos sólidos valorizables se tenga la maquinaria

con el diseño adecuado para las características del desecho y cantidades pronosticadas.

Tomando en cuenta lo anterior, la Unidad de Recuperación Ambiental de la Municipalidad de Sololá busca mejorar el proceso de homogenización de desecho sólido y tamizaje de compostaje madurado, y se prevé la selección de una trituradora y cribadora de sólidos tipo columpio.

Para el presente trabajo de tesis se ha seleccionado la planta de tratamiento de residuos sólidos valorizables Cocom, Argueta, que pertenece a la Municipalidad de Sololá, la cual posee las necesidades para las cuales me he formado, por ello la municipalidad de Sololá ha solicitado la selección de una máquina trituradora y cribadora de desechos sólidos.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la institución

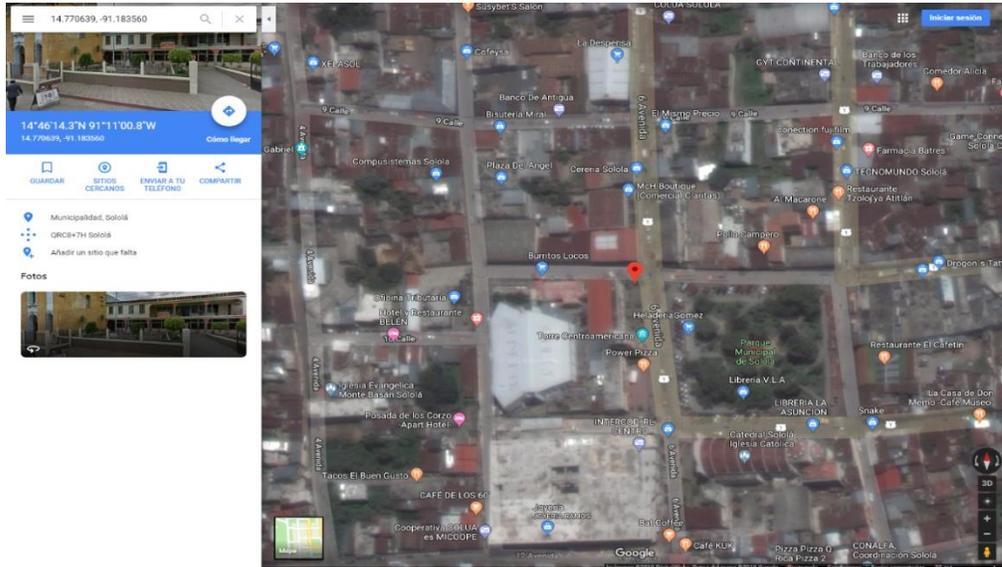
La municipalidad de Sololá es la corporación estatal que tiene como objetivo primordial administrar el municipio. “La Constitución Política de la República promulgada en 1986, establece en su parte orgánica la forma de organización del poder, es decir las estructuras jurídico-políticas del Estado. Para el efecto que otorga a los municipios de la República”¹ libertad e independencia del gobierno central y de cualquier otra institución, como primer punto, elegir sus autoridades, segundo obtener sus recursos y disponer de ellos para el bien del municipio y en tercer punto atender los servicios públicos locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción y emitir la ordenanzas y reglamentos respectivos.

1.1.1. Ubicación geográfica

Sololá es uno de los 19 municipios del departamento del mismo nombre, se localiza a 140 kilómetros al occidente de la ciudad de Guatemala, con la que se comunica por medio de la carretera CA1 Ruta Interamericana. Colinda al norte con el municipio de Totonicapán y el municipio de Chichicastenango, Quiché. Al este con los municipios de Santa Cruz La Laguna, San José Chacayá y Nahualá, del departamento de Sololá. Dirección de la municipalidad: 6 avenida 10-10 zona 1, Sololá.

¹ Corporación Municipal de Sololá. *Plan del Municipio de Sololá con Enfoque Territorial, Género y Pertinencia Cultural 2011-2018*. p. 4

Figura 1. Geolocalización satelital de la municipalidad de Sololá



Fuente: Google Maps. *Localización de la Municipalidad de Sololá.*

<https://www.google.com/maps/place/Municipalidad+de+Solol%C3%A1/@14.6358234,-90.5237013,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8589a3633fda653d:0x462ac1a9ddb1ebba!8m2!3d14.6358236!4d-90.5149465>. Consulta: enero de 2021.

La municipalidad se encuentra localizada y ubicada en el centro del departamento de Sololá, a un costado del parque central, la misma no es muy grande, cuenta con diferentes oficinas administrativas, las cuales son suficientes para la densidad poblacional de los vecinos inscritos y reconocidos por el padrón de ciudadanos.

Figura 2. **Municipalidad de Sololá**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop 2016.

1.1.2. Historia del departamento de Sololá

El nombre de Sololá se deriva del vocablo Tzolojha'ó Tzólojya, que en Kaqchikel, Kiché y Tz'utuhil significa agua de sauco, refiriéndose al agua que se obtiene de la planta de sauco, debido a que en la localidad abundaba este arbusto, el cual crecía en los alrededores de manantiales y ríos que son parte de la cuenca del lago Atitlán, aunque también se tiene la versión de que dicho término proviene de las expresiones "Tzol" (volver o retornar). "ol" (particular o continuación) y "ya" (agua); lo que significaría retornar o volver al agua.

La ciudad de Sololá fue fundada en 1547 siendo denominada Asunción de Nuestra Señora de Tecpán Atitlán, también conocida con los nombres de

Tzolha, Asunción Sololá. En 1825 la Asamblea Constituyente del Estado de Guatemala, dividió el territorio del país en 7 departamentos, siendo uno de ellos Suchitepéquez-Sololá. Posterior en 1849 Suchitepéquez fue creado como un departamento aparte, luego en 1872 se creó el departamento del Quiché desmembrando para ello el territorio de Sololá y Totonicapán.

En la época colonial, Sololá fue la cabecera del Corregimiento de Tecpán Atitlán, posteriormente de la Alcaldía Mayor de Sololá. En 125 se elevó el pueblo a la categoría de villa, luego en 1882 se suprimió el municipio de San Jorge y se anexó a Sololá como aldea; en 1951 se le dio a Sololá la categoría de ciudad.

En junio de 1921 un acuerdo gubernativo autorizó a la municipalidad la fundación del Hospital de la ciudad, denominado como Hospital Nacional Juan de Dios Rodas. En 1920, por acuerdo gubernativo se autorizó a la municipalidad introducir el servicio de energía eléctrica, sin embargo, la prestación de este inicio en 1924, cuando la municipalidad suscribió contrato con el señor Gustavo Westemberg. Ese mismo año, por acuerdo gubernativo de fecha 30 de octubre, se elevó el pueblo a categoría de ciudad.

En 1976, Sololá sufrió los efectos del terremoto que afectó a gran parte de Guatemala, aunque el daño no fue tan severo como en otros departamentos. En la década de 1980 Guatemala estuvo sumergido en el conflicto armado, generando represión, persecución y muerte. Todo esto afectó al municipio, dejando secuelas de dolor, desaparición, desplazamiento, desintegración familiar, alterando el tejido social del municipio.

A partir de 1992 con la apertura democrática y la elección de gobiernos civiles en Guatemala, se restablecen los elementos de autoridad local y

comienza una nueva era para el pueblo de Sololá, en donde la figura de autoridad indígena tiene mayor protagonismo e incidencia dentro de la vida social, política, económica y cultural del pueblo sololateco.

Ese mismo año, todas las comunidades del municipio apoyaron la demanda de San Jorge La Laguna en torno a la recuperación de la finca denominada Jaibal, con levantamiento, movilización y protesta situación que permitió un proceso de negociación hasta recuperar parte de la finca en mención.

En 1993, se dio un levantamiento del pueblo sololateco, exigiendo la cancelación definitiva del reclutamiento forzoso practicando por el ejército de Guatemala en contra de la juventud indígena. El movimiento incidió en la eliminación de la figura de comisionados militares en las comunidades y al reclutamiento del mismo. 1997 y 1998 se desarrollaron diferentes acciones para suprimir la zona militar número 14 ubicada en el cantón el Tablón, logrando el 15 de enero de 1998 el retiro definitivo de esta zona militar y en su lugar se implementó un centro de estudios universitarios.

En 1995, es elegido alcalde oficial por primera vez un indígena de ascendencia maya kaqchikel para gobernar el municipio, y desde entonces se ha mantenido la sucesión de gobernantes indígenas en la alcaldía oficial. El año 2005, se desarrollaron levantamientos, manifestaciones y rechazo a la minería a cielo abierto impuesto en las comunidades indígenas de Guatemala.

Durante estas acciones perdió la vida una persona y varios más quedaron heridos por la represalia al levantamiento en defensa de la madre naturaleza. Un aspecto importante y singular del municipio de Sololá, es la existencia de la Municipalidad Indígena, la cual es una organización sociopolítica ancestral,

histórica, representativa, solidaria y legítima del pueblo sololateco, parte de la herencia que ha constituido como instrumento de las comunidades mayas de este municipio para promoción y defensa de sus intereses civiles, económicos, culturales, sociales y políticos.

1.1.3. Misión

Somos una municipalidad democrática que promueve los valores y fortalece la organización y desarrollo de las comunidades urbanas y rurales, en la línea de gestión y autogestión, incidiendo en las decisiones políticas, económicas, sociales y culturales a nivel local y nacional, para mejorar la calidad de vida de la población.²

1.1.4. Visión

Ser un gobierno municipal moderno, transparente, eficiente, auto sostenible, democrático, representativo de los intereses de la población del municipio, con capacidad técnica, administrativa y financiera para promover la participación comunitaria de forma organizada e integral.³

1.1.5. Organigrama

La municipalidad de Sololá posee un diagrama con representación de cargos vertical, presentando en la cúspide el alto mando o concentración de poder, para el presente trabajo y desarrollo de investigación se plantea una tabla resumen categorizando y nombrando las categorías encontradas en el diagrama, el cual será graficado en cuadro resumen por aspecto estético y representativo al lector.

² Municipalidad de Sololá. *Información de la institución*. <http://municipalidaddesolola.org/>.

³ *Ibíd.*

Tabla I. **Resumen del organigrama municipal**

Organigrama vertical y horizontal

A	Concejo municipal			
B	Alcalde municipal			
	B 1	Auditoría interna		
	B 2	Secretaría municipal		
		B 2.1	Oficial de secretaria	
	B 3	Asesoría jurídica		
C	Gerencia municipal			
	C 1	Dirección de administración financiera integral municipal		
		C 1.1	Tesorería	
			C 1.1.1	Receptoría
			C 1.1.2	Caja central
			C 1.1.3	Recaudadoras
		C 1.2.	Presupuesto	
		C 1.3.	Contabilidad	
			C 1.2.1	Inventario
				Almacén
		C 1.4.	Compras	
		C 1.5.	IUSI	
		C 1.6.	Administración mercado	
			C 1.6.1.	Cobros
			C 1.6.2.	Servicios sanitarios
	C 2	Dirección municipal de planificación		
		C 2.1.	Dirección municipal de planificación	
			C 2.1.1.	Agua potable y alcantarillado
			C 2.1.2.	Obras municipales

Continuación de la tabla I.

			C 2.1.2.1.	Licencias de construcción
			C 2.1.3.	Manejo de desechos solidos
			C 2.1.4.	Biblioteca municipal
			C 2.1.5.	Cementerio municipal
			C 2.1.6.	Registro municipal
			C 2.1.7.	Centros recreativos y territorial
			C 2.1.8.	Salón municipal
			C 2.1.9.	Catastro y desarrollo municipal
			C 2.1.10.	Planta de tratamiento de basura Cox. Argueta
			C 2.1.11.	Salud y ambiente
			C 2.1.12.	Otros servicios
			C 2.1.13.	Rastro municipal
		C 2.2.	Área de planificación	
			C 2.2.1.	Urbanismo e infraestructura
			C 2.2.2.	Educación cultura y deporte
			C 2.2.3.	Participación ciudadana
			C 2.2.4.	Fomento Económico
			C 2.2.5.	C. recursos para el docente
	C 3	Dirección de registro y D. talento humano		
		C 3.1.	Asistente administrativo	
	C 4	Juzgado de asuntos municipales		
		C 4.1.	Asistente administrativo	
		C 4.2.	Registro de personas jurídicas	

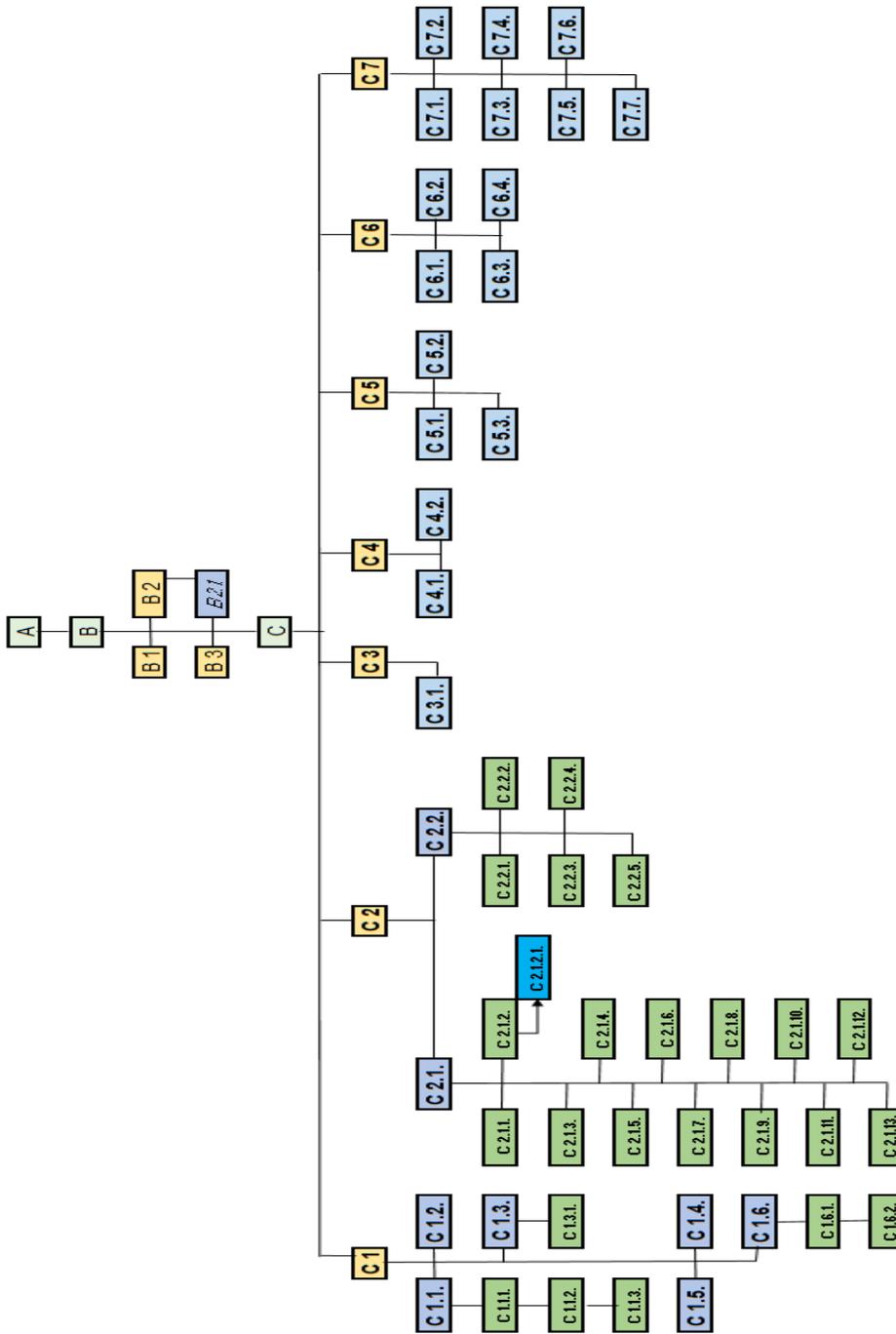
Continuación de la tabla I.

	C 5	Dirección mujer, niñez y juventud		
		C 5.1.	Mujer	
		C 5.2.	Niñez	
		C 5.3.	Juventud	
	C 6	Dirección de seguridad municipal		
		C 6.1.	Policía municipal	
		C 6.2.	Policía municipal de tránsito	
		C 6.3.	Agentes policía municipal	
		C 6.4.	Agentes policía municipal de tránsito	
	C 7	Dirección administrativa		
		C 7.1.	Comunicación municipal	
		C 7.2.	Recepcionista	
		C 7.3.	Libre acceso a la información	
		C 7.4.	Turismo	
		C 7.5.	Informática	
		C 7.6.	Vehículos municipales	
		C 7.7.	Conserjería	

Fuente: Municipalidad de Sololá. *Reglamento interno*. p. 3.

La codificación planteada en la tabla anterior se realiza por iniciativa propia y sugerencia del asesor de EPS, para representarle limpio y ordenado en la imagen del organigrama, el organigrama original no está mal diseñado, pero tampoco es apreciable al lector en una sola página. De esta forma se procede a realizar la representación gráfica como propuesta de una metodología a implementar en la municipalidad y otras instituciones.

Figura 3. Organigrama sintetizado



Fuente: Municipalidad de Sololá. *Reglamento interno*. p. 3.

1.2. Descripción del problema

Muchas ciudades alrededor del mundo continúan trabajando en el tema de reciclaje y tratamiento de residuos, ya que acumulan todos sus desechos en vertederos o rellenos sanitarios, generando graves problemas al medio ambiente. El problema de mezclar todos los tipos de desechos es que se genera una mayor contaminación del aire, suelo y agua.

El primero a causa de gases tipo invernadero provenientes de la descomposición de la basura, y los dos últimos por el contacto directo con los desechos, los cuales pueden ser residuos sólidos o inclusive industriales o sustancias tóxicas.

Por tal razón, la municipalidad de Sololá presta el servicio de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos y residuos sólidos en el casco urbano del municipio, y en tres poblaciones rurales: San Jorge La Laguna, San Isidro, Los Encuentros. El municipio de Sololá cuenta con una planta para el tratamiento parcial de los desechos y residuos sólidos. La planta se ubica en el caserío Coxom en la Aldea San Juan Argueta.

Se estima una cantidad de 34 520,73 toneladas métricas de desechos y residuos sólidos por año. De los cuales el 47,1 % (16 259,26 Tm) se producen en el área urbana y el 52,9 % (18 261,47 Tm) se producen en el área rural.

Las municipalidades de Sololá en conjunto con Pro-Atitlán dentro del casco urbano se dieron a la tarea de educar a la población en temas de manejo de desechos sólidos, esto cumpliendo con las regulaciones municipales, sin embargo, los desechos sólidos eran trasladados a la planta de tratamiento en

Coxom, los mismos pasaban su proceso de maduración por un tiempo prolongado.

Se determinó la necesidad de seleccionar el mejor diseño una máquina trituradora de desechos sólidos y una cribadora para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica y su separación, con esto lograr disminuir el tiempo de espera del desecho dentro de las instalaciones y producir abono orgánico valorizable para la municipalidad.

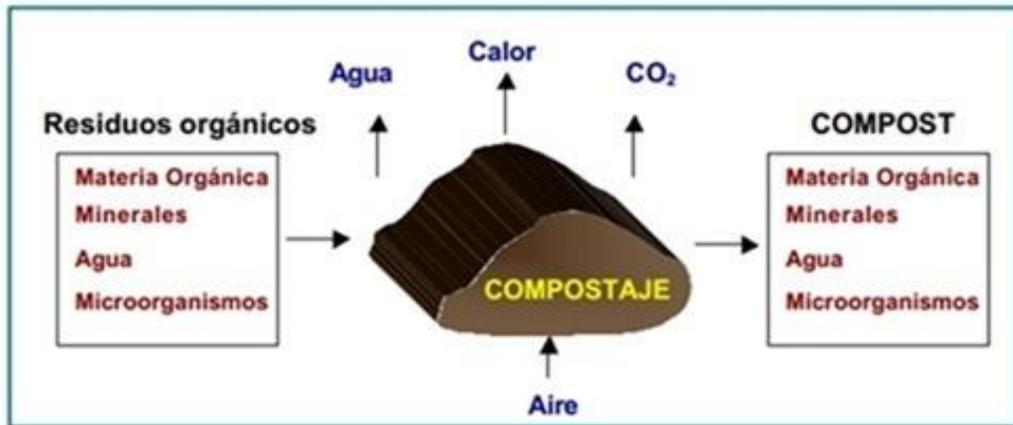
Dado el surgimiento de la necesidad de seleccionar una máquina trituradora de desechos sólidos y una cribadora se realizará el estudio denominado *Selección de máquina trituradora y cribadora de sólidos tipo columpio para la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de Sololá*, para colaborar con la carencia que se posee.

1.3. Descripción del proceso de compostaje

El compostaje es un proceso de transformación natural de los residuos orgánicos (restos de comida que se tiran habitualmente a la basura) para obtener compost, un abono natural que sirve para aportar nutrientes a la tierra. El compostaje es el proceso de la descomposición, que “se produce cuando las plantas y restos orgánicos de los animales muertos se acumulan en el suelo y se descomponen gracias a los insectos y microorganismo para transformarse en nutrientes para las plantas”.⁴ En la figura 4 se muestra el proceso que lleva el compostaje para que se entienda de una mejor manera.

⁴ Conciencia Eco. *¿Qué es el compostaje?* <https://www.concienciaeco.com/2013/07/19/que-es-el-compostaje/>.

Figura 4. **Proceso de compostaje**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos orgánicos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad y pueda ser utilizado como abono.

Figura 5. **Fases de compostaje**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2016.

- Fase mesófila: el material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45 °C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).
- Fase termófila o de higienización: cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45 °C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas, como la celulosa y la lignina. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre

de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal.

- Fase de enfriamiento o mesófila II: agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45 °C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.
- Fase de maduración: es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

1.3.1. Caracterización de los desechos sólidos

Residuo según la *Ley de residuos* sería todo material considerado como desecho y que se necesita eliminar. La eliminación tiene como fin de evitar problemas sanitarios o medio ambientales, así mismo recuperar todo aquello que se pueda reutilizar.

La producción de residuos se encuentra en continuo aumento y la actividad económica vinculada a ellos alcanza cada vez mayor importancia. Existe una conciencia general hacia el reciclado de residuos, esto implica adoptar un conjunto de medidas.

Tabla II. **Conjunto de medidas para conciencia general del reciclado**

Ítem	Descripción
Prevención	Antes de que un producto se convierta en residuo, para reducir la cantidad y tipología de sustancias peligrosas y evitar los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente.
Reutilización	Aporte de valor, mediante gestiones y preparación para que el residuo pueda ser reutilizado, reciclado u otras formas de valorización.
Reciclado	Convertir desechos en nuevos productos o en materia prima para su posterior uso.

Fuente: elaboración propia.

El manejo de los residuos sólidos constituye a nivel mundial un problema, factores como el crecimiento demográfico, la concentración de población en las zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y empresarial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades. Se entiende como residuos sólidos cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido generado por el consumo o uso en actividades domésticas, industriales, comerciales o de servicio. Es toda la basura que se desecha.

En América Latina y el Caribe ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de recolección y disposición final, dejando rezagados el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos, así como la disposición final sanitaria y ambiental adecuada.

En Guatemala se utilizan los vertederos o botaderos a cielo abierto sin las debidas especificaciones técnicas; se continúa con la práctica de recolección sin clasificación y separación de los desechos desde el origen; existe un enorme número de segregadores trabajando en las calles y en los vertederos, buscando plástico, aluminio, papel y cualquier material que sea reciclable. El manejo de estos residuos tiene una estrecha relación con la salud de la población, se han presentado tres situaciones principales:

- Referida a la transmisión de enfermedades bacterianas y parasitarias tanto por agentes patógenos transferidos por los residuos como por vectores que se alimentan y reproducen en los residuos.
- El riesgo de lesiones e infecciones ocasionados por los objetos punzo penetrantes que se encuentran en los residuos, esta condición pone en alto riesgo la salud de las personas que recuperan materiales en los vertederos.
- La contaminación ocasionada por la quema de residuos, la cual afecta el sistema respiratorio de los individuos.

Otro de los ambientes que afecta el manejo de los residuos es la relación con el ambiente, los residuos sobre la tierra, el agua y el aire. La colocación y acumulación de residuos inutiliza las tierras para otros usos; además representa un riesgo para quienes viven cerca de los vertederos y depósitos de desechos, debido a los gases que se originan durante el proceso de descomposición.

La incidencia de la eliminación inadecuada de residuos sólidos en el desarrollo de una región o país se presenta al desmejorar la calidad de vida de sus pobladores, reduciendo su productividad y por ende su contribución al

desarrollo económico de la región; adicionalmente la creación de problemas ambientales conlleva a pagar elevados costos económicos y sociales.

1.3.2. Clasificación de desechos sólidos

Dentro de la gestión global de los residuos generados, es importante clasificar los mismos. Existen distintas clasificaciones, en función de su origen, composición, peligrosidad:

- Residuos domésticos: generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas.
- Residuos comerciales: actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, como servicios de restaurantes, bares, oficinas, mercados y el sector servicios, la basura que esto genera puede ser papel, bolsas, líquidos.
- Residuos industriales: resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial.
- Residuo peligroso: presenta una o varias características peligrosas como lo son sustancias, líquidos venenosos.
- Residuo biodegradable: jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos.

Existen tipos de residuos especiales por su clasificación:

- Residuo radiactivo: es todo material o producto que presenta trazas de radiactividad y para el cual no está previsto ningún uso. Se incluyen los líquidos y gases residuales contaminados.
- Residuos sanitarios: son todos los residuos, cualquiera que sea su estado, generados en centros sanitarios, incluidos los envases, y residuos de envases, que los contengan o los hayan contenido.
- Residuo de construcción y demolición: son de naturaleza generados en obras de excavación, nueva construcción, reparación, remodelación, rehabilitación y demolición, incluidos los de obra menor y reparación domiciliaria.

No es sencilla una única clasificación de tipos de residuos, ya que todas tienen diferentes orígenes o compuestos. No obstante, esta variabilidad es consecuencia de que el objetivo final es proceder a la mejor gestión de los residuos mediante las mejores tecnologías existentes.

1.4. Planta de tratamiento de Coxom, Sololá

Su objetivo primordial es el manejo de los desechos sólidos para disminuir el riesgo de producir contaminación y proteger la salud. El problema principal identificado en el departamento de Sololá es el inadecuado manejo de los desechos sólidos y líquidos, incluyendo los desechos hospitalarios, lo que corresponde a un impacto grave, de intensidad muy alta. Por tal razón, se decidió construir la planta de tratamiento Coxom para contribuir a la limpieza del lago de Atilán y manejar de una forma adecuada todos los desechos.

El costo de la planta, lista para funcionar, fue de Q. 1 millón 523 mil, de los cuales la municipalidad aporta Q. 153 mil y el resto lo dio el Consejo Departamental de Desarrollo (CODEDE). La construcción de la planta tardó cinco meses y contó con el apoyo de la Asociación Amigos de Lago de Atitlán, y de la Autoridad de Manejo Auto sostenible de la Cuenca de Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE).

1.4.1. Horas-hombre usadas para el proceso de compostaje

Para determinar las horas hombre que son necesarias para el proceso de compostaje se utilizará la tabla número 1, que es la representación de la secuencia de elementos que componen las operaciones en que intervienen únicamente los hombres y que permite conocer el tiempo empleado por cada uno, es decir, conocer el tiempo usado y tiempo muerto o improductivo. Los siguientes datos son importantes conocer sobre la planta de tratamiento, los mismos serán útiles para realizar los cálculos respectivos.

- La comisión de medio ambiente del municipio afirmó que el proyecto es el primero a nivel departamental con estas características, de acuerdo a las últimas especificaciones, tiene una capacidad de procesar mil 525 quintales de basura a la semana, y se estima un tiempo de vida de 8 a 10 años.
- La planta tiene una longitud de 57 metros de largo por 14 de ancho y 8,5 metros de profundidad, con esta se pretende dar el tratamiento a la basura que tanto daño causa al medio ambiente principalmente al lago de Atitlán.

- Semanalmente el municipio produce 3,50 toneladas de basura orgánica, con lo cual se produce abono orgánico que se distribuye a los vecinos como abono para sus cultivos, principalmente para el café y milpa.

Los pasos para realizar el diagrama hombre-máquina son:

- Seleccionar la operación: se recomienda seleccionar operaciones importantes que puedan ser, costosas repetitivas y que causen dificultades en el proceso.

Determinar dónde empieza y dónde termina el ciclo que se quiere diagramar. Observar varias veces la operación, para dividirla en sus elementos e identificarlos claramente. Cuando los elementos de la operación han sido identificados, entonces se procede a medir el tiempo de duración de cada uno. El proceso que se analizará en el cuadro 1 es el compostaje, con sus actividades y cuantos operarios son necesarios para la realización del trabajo.

Tabla III. **Proceso a analizar para el compostaje**

Operación:	Compostaje	Fecha	feb-19
Departamento	Coxom, Sololá	Hecho por	
El ciclo empieza	Ingreso de desechos orgánicos	No. De operarios	3
El ciclo termina	Embolsar		
Tiempo en minutos	Descripción	Operario	Número de operarios
10	Ingreso de desechos orgánicos a planta		2
20	Unir todos los desperdicios		2
30	Triturar los desperdicios		
5	Colocarlo en barril o recipiente		2

Continuación de la tabla III.

5	Agregar químicos		1
	Reposar durante 3 días		
5	Verificar humedad		1
5	Colocarlo al sol		1
	Reposar durante 15 días		
10	Revisar		1
30	Retirar del recipiente		2
45	Embolsar		3
	Tiempo productivo		
	Tiempo muerto		

Fuente: elaboración propia.

Como se puede notar en la tabla anterior, se requieren 165 minutos en el proceso y 20 días para completar el compost, sin embargo, en ese tiempo se tienen días muertos lo que quiere decir que las personas no intervienen en ningún proceso. En ese tiempo, los operarios pueden realizar otras actividades o empezar nuevamente el proceso.

1.4.2. Justificación de la selección de máquinas trituradoras y cribadoras de sólidos

La falta de drenajes en el área rural es evidente, ya que solo la Cabecera Municipal y la Colonia María Tecún, cuenta con un sistema de drenaje formal de las aguas residuales, con tres plantas de tratamiento, sin ser suficientes para la cantidad de desechos que se emana.

En la mayoría de comunidades, las aguas servidas fluyen hacia los caminos, veredas y cultivos, lo que influye en la contaminación de suelos, ríos y arroyos a los que llegan. En cuanto a residuos sólidos en el departamento de

Sololá, en el área urbana existe un sistema de recolección compuesto por recurso humano para limpieza, recursos materiales, sin que tenga un tratamiento adecuado para disposición de basura.

En el área rural no se cuenta con ningún sistema de recolección ni deposición de los mismos, por lo que algunas personas lo queman y otras lo tiran en terrenos cercanos a sus viviendas, lo que constituye una amenaza para el medio ambiente y también para la salud de los habitantes. Por la falta de un tratamiento adecuado en la basura es necesario la selección eficiente de la máquina trituradora y cribadora de sólidos, esto apoyará a reducir:

- El volumen de los desperdicios
- Disminuir el impacto ambiental
- Separar vidrio, papel, plástico

1.4.3. Necesidades de personal

El planeamiento de recursos humanos es importante, uno de los principales desafíos para desarrollar las estrategias de la empresa se relaciona con los aspectos de personal, y de manera más precisa con la estabilización de la fuerza de trabajo para facilitar la implementación de las estrategias y proyectos. Realizando la planificación adecuada se podrá hacer lo siguiente:

- Prever la demanda de mano de obra, o cuántos trabajadores necesitará la empresa.
- Prever la oferta de mano de obra, o la disponibilidad de trabajadores con las capacidades requeridas para satisfacer la demanda de mano de obra de la empresa.

- Efectuar proyecciones y planificaciones en forma continua ya que los cambios en el ambiente de recursos humanos son continuos.
- Realizar una planificación de recursos humanos sistemática en el sentido de que sea organizada y conducida con base en una realidad entendida.

La planificación de la demanda de recursos humanos, ya sean internos o externos, deberá contemplar una correlación con los planes estratégicos. Las implicaciones de las acciones tomadas repercutirán de una u otra forma en el departamento de personal, sobre todo en relación al reclutamiento y a la capacitación.

El personal de una organización constituye el recurso más importante y solo puede ser adquirido mediante los esfuerzos de reclutamiento más efectivos. Se necesita de tiempo considerable para reclutar, seleccionar y desarrollar a los empleados.

En síntesis, toda empresa requiere de un funcionamiento eficiente, lo cual implica planear todas las actividades de la organización y de los recursos humanos, y es esta anticipación a los cambios en las necesidades de personal para puestos específicos la actividad que sentará la base a partir de la cual la empresa luego planeará las actividades de reclutamiento, selección, capacitación entre otras. Para desarrollar las actividades en la planta de tratamiento de residuos sólidos se necesitan las siguientes personas:

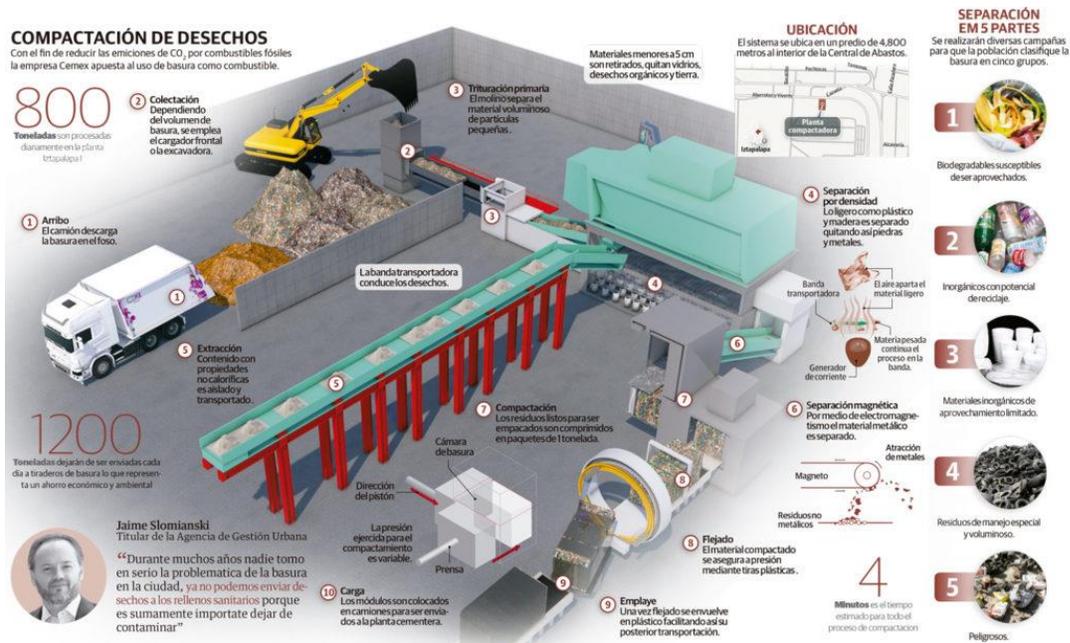
Tabla IV. **Necesidades de personal**

No.	Actividad	Número de personas
1	Arribo del camión de basura / Descargar camión	3
2	Colectación (separar por volumen de basura)	2
3	Enviar a triturador material voluminoso	2
4	Separación de basura (plástico, vidrio, entre otros)	5
5	Poner en cribadora la basura separada	2
6	Compactación	2
7	Carga o almacenaje	3
Total		19

Fuente: elaboración propia.

Según se observan en la tabla 4, la cantidad de personas que se necesita para que la planta funcione bien son de 19 con 7 actividades, tomando en cuenta la cantidad de basura que se recoge en el departamento de Sololá, se debe considerar que en algunas actividades intervienen máquinas por tal razón no se necesita muchas personas.

Figura 6. Ejemplo de actividades de la planta de desechos sólidos



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

En la figura 6 se da un ejemplo de algunas actividades que se enumeraron en la tabla 2, en el proceso de compactación de los desechos. Sin embargo, pueden existir más o menos actividades dependiendo la capacidad que tengan las máquinas y el tamaño.

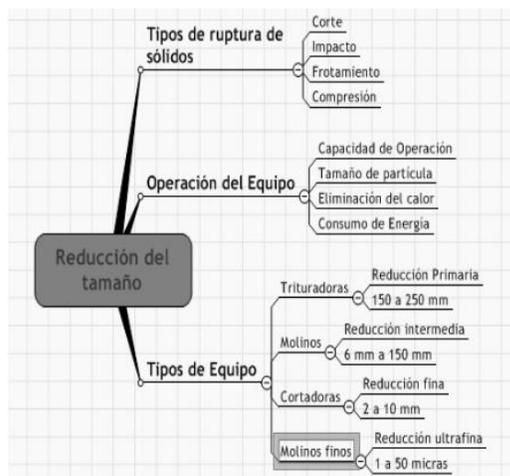
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Fundamentos básicos de la trituración

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es el proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, es una separación de un material en fracciones de tamaño más pequeño; para ello hay que provocar la fractura o quebramiento de los mismos mediante la aplicación de presiones.

Debido a la amplia variedad de materiales que pueden ser triturados, las máquinas acostumbran a ofrecer un alto grado de flexibilidad. La siguiente figura indica los procedimientos y equipos utilizados para reducir el tamaño.

Figura 7. Proceso para la reducción de tamaño



Fuente: elaboración propia.

El proceso de trituración es muy utilizado en la industria alimenticia, de construcción, cerámica, tratamiento de residuos, entre otros. La trituración ocupa los primeros lugares dentro de cualquier proceso.

La diversidad de maquinaria y procedimientos a realizar, se deben a los requerimientos de tamaño que se necesitan, dependiendo del producto final. La trituración es utilizada para reducir tamaños de sólidos muy grandes a partículas grandes (desintegración grosera); y, la molienda también conocida como pulverización, es utilizada para volver un sólido a partículas más pequeñas (desintegración fina).

2.1.1. Clases de trituración

- Trituración primaria:

Reduce normalmente el tamaño de los trozos de material a un valor comprendido entre 8" a 6". A continuación, los productos obtenidos se criban en un tamiz vibrante con objeto de separar aquellas partículas cuyo tamaño ya es lo suficientemente fino, con el consiguiente aumento en la capacidad de las quebrantadoras secundarias. La trituración primaria se lleva a cabo normalmente en quebrantadoras de mandíbulas o en quebrantadoras giratorias.

Las partículas obtenidas en este proceso, son sólidos relativamente grandes, quiere decir que realiza la primera reducción de tamaño dentro del proceso; donde se utiliza maquinaria que recurre a las fuerzas de compresión y de impacto, necesarias para la fragmentación de los materiales.

- Trituración secundaria:

En la trituración secundaria, el tamaño de las partículas se reduce a un valor comprendido entre 3" y 2", dejándolo en condiciones de poder pasar a las operaciones de molturación o concentración preliminar. Las quebrantadoras utilizadas en esta fase son por lo general del tipo giratorio o cónico; las cuales trabajan a velocidades relativamente altas y la abertura de salida de los productos triturados es mucho menor.

Este proceso deja las partículas en condiciones para pasar a las operaciones de molturación o concentración preliminar. Depende del tipo de producción que se esté realizando, éste sería el paso final de la trituración.

- Trituración terciaria:

Fragmenta el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de 1/2" o 3/8". Esta trituración vuelve los sólidos a granos de tamaño muy pequeño, para que sea más fácil la pulverización y poder convertir los sólidos en polvos, según el proceso industrial requerido. No hay un proceso estándar de trituración, la selección del tipo de trituración que se necesita, debe considerar lo siguiente:

- Características del material a triturar
- Tamaño del producto final requerido
- Capacidad requerida

2.1.2. Tamaño de desintegración

El tamaño se clasificará de acuerdo a la capacidad de corte, molido, triturado y velocidad de procesamiento de la trituradora, según especificaciones técnicas del fabricante y los ajustes por el personal de taller de la municipalidad.

2.1.2.1. Molienda (desintegración fina)

Dentro de esta clasificación, se pueden mencionar dos tipos de trituración:

- Molienda grosera: tamaños de partículas de salida entre 0,1 y 0,3 mm
- Molienda fina: tamaños de partículas de salida menores de 0,1 mm

Para llevar a cabo el proceso de trituración deseado, será necesario considerar el tipo de trituradora a utilizar y verificar sus características principales. El tamaño de la desintegración dependerá de las características del material a triturar, como por ejemplo la forma, el tamaño, su dureza, grado de humedad, su resistencia a distintos esfuerzos, entre otros.

2.1.3. Trituradora

Una trituradora, chancadora o chancador, es una máquina que procesa un material de forma que produce dicho material con trozos de un tamaño menor al tamaño original. Es un dispositivo diseñado para disminuir el tamaño de los objetos mediante el uso de la fuerza, para romper y reducir el objeto en una serie de piezas de volumen más pequeñas o compactas. Son máquinas utilizadas en la industria de alimentos, para convertir granos en harinas, por ejemplo, en construcción para producir cementos o pulverizar rocas, en la

minería, agricultura, ferrocarriles, metalurgia, entre otros. Las dimensiones suelen ser robustas y el tamaño depende del tipo de material a triturar y de los procesos de producción.

2.1.3.1. Tipos de trituradoras

A continuación, se describen los tipos más utilizados de trituradoras, en donde se tomará en cuenta el proceso utilizado en la planta de tratamiento de desechos sólidos del Municipio de Sololá.

- Trituradora de mandíbulas

También se le conoce con el nombre de trituradora de quijada. Es una máquina utilizada en la trituración llamada de primer nivel, quiere decir una trituración gruesa y media y las partículas trituradas que se obtienen no son tan finas como resultarían de otro proceso de trituración. Por sus diferentes formas de triturar, la trituradora de mandíbula se puede ubicar en cualquiera de los siguientes modelos de oscilación:

- Oscilación sencilla
- Oscilación media
- Oscilación compleja

Las principales características de la trituradora de mandíbula son los siguientes:

- Alto rendimiento para triturar
- Uniformidad en la granulometría
- Estructura sencilla

- Fácil reparación y mantenimiento
- Fácil de controlar y operar
- Reducidos costos de operación
- Puertos de alimentación y descarga ajustables

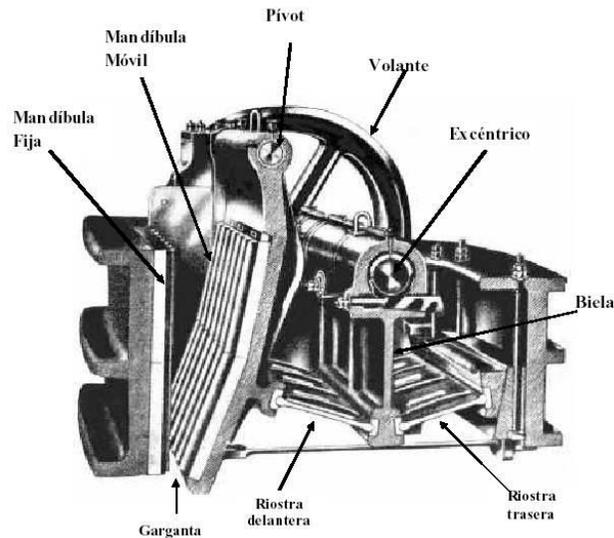
Este tipo de trituradoras de mandíbulas se utilizan en la producción mineral e industrial, donde se considera una trituración gruesa; trabaja en piedras y rocas. Su nombre se deriva a que su funcionamiento se asemeja a las mandíbulas de un animal, por los movimientos que realiza al triturar los sólidos. Debido a que su trabajo se realiza en condiciones extremas, son de construcción robusta.

Figura 8. **Trituradora de mandíbulas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Diagrama de corte de trituradora**



Fuente: Apuntes de Ingeniería Mecánica. *Trituradora de quijadas*. <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/01/trituradoras-quijadas-i.html>. Consulta: enero de 2021.

- Trituradora giratoria

En estos equipos los materiales a triturar se reducen por medio de esfuerzos de compresión entre dos paredes troncocónicas. Una de las cuales es fija y cóncava y la otra forma y tronco de cono animado con movimiento excéntrico. Este movimiento va a hacer que el cono se aleje y se acerque a la pared cóncava de manera alternativa.

Cuando el cono móvil se acerca al cóncavo fijo se produce la fragmentación del material, y cuando se aleja el cono móvil, el material reducido descende por gravedad a otro nivel para prepararse a ser nuevamente triturado.

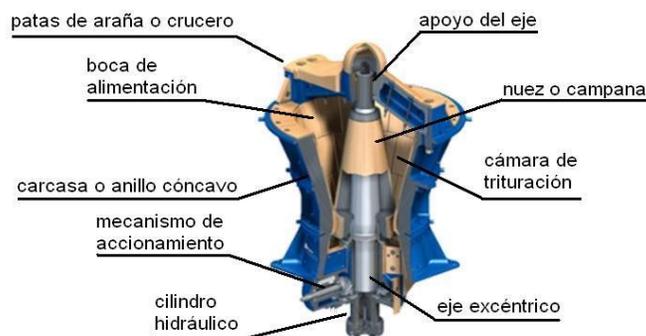
Estos equipos se conocen también como trituradoras de cono, son adecuadas para patios de minería y producción de grandes plantas. En comparación con la trituradora de mandíbulas, tiene una mayor productividad y menor consumo de energía; además los tamaños de partículas que produce son más uniformes. Son utilizadas en la trituración primaria, secundaria y terciaria.

Figura 10. **Trituradora giratoria**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Componentes principales de una trituradora giratoria**



Fuente: elaboración propia.

- Trituradora de eje vertical y apoyo superior

A diferencia de otros tipos de trituradoras de impacto, las trituradoras de impacto de eje vertical (VSI) están diseñadas con un principio de trituración roca con roca, lo que reduce significativamente los costos de desgaste y ofrece una forma cúbica superior para la mejor producción de agregados finos.

Las trituradoras se usan generalmente en las etapas finales del proceso de trituración para dar forma al material plano en las canteras y para preparar materiales para la molienda en la industria minera. Además de ser trituradoras más eficientes con los menores costos operativos, las trituradoras de impacto verticales toleran la humedad y adherencia, y tienen un efecto de secado sobre el material, lo que reduce los costos de secado en los casos en que se requieren productos secos.

Estas trituradoras se fabrican en distintas dimensiones, por lo que puede utilizarse en las tres etapas de la trituración. El esfuerzo que prevalece en la rotura de las rocas es el de compresión, pero el de flexión es más importante que en las trituradoras de mandíbulas. Pueden ser utilizados en la minería, la metalurgia, construcción, carreteras, ferrocarril, conservación de agua, entre otros.

Figura 12. Trituradora de eje vertical



Fuente: elaboración propia.

- Trituradora de eje vertical y apoyo inferior

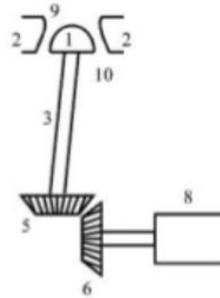
Esta trituradora cuenta con una mandíbula fija (2) y con un cono triturador en forma de hongo (1) que va montado sobre un eje (3) que se encuentra ligeramente inclinado respecto a la vertical.

En la parte inferior del eje se apoya sobre una corona (5) la que gira por la acción de motor (8) acoplado a un piñón (6), según como se muestra en la figura 5. La inclinación del eje hace que el cono triturador se acerque y se aleje de la mandíbula fija, y de esta forma pueda triturar las rocas. La boca de entrada (9) está en la parte superior y la de salida del material en la inferior (10).

Este tipo de máquinas es utilizado para la trituración secundaria y terciaria; mejora la calidad del producto de salida, realiza una trituración por impacto lo cual genera mayor cantidad de producto cúbico. Su desgaste es menor, por lo

que los costos de mantenimiento son reducidos. La altura del tubo de alimentación del material es ajustable.

Figura 13. **Componentes principales de trituradora de eje vertical**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Trituradora de eje vertical y apoyo inferior**



Fuente: elaboración propia.

- Trituradora de rodillos

Existen diversas clases de trituradoras de este tipo, que consiste en dos cilindros del mismo diámetro que giran en sentido opuesto. El material es tomado por ambos cilindros y es apretado entre ellos para efectuar la trituración. Los cilindros son accionados por un motor y el acople entre ambos se hace a través de ruedas dentadas. Estos pueden ser lisos, estriados o dentados.

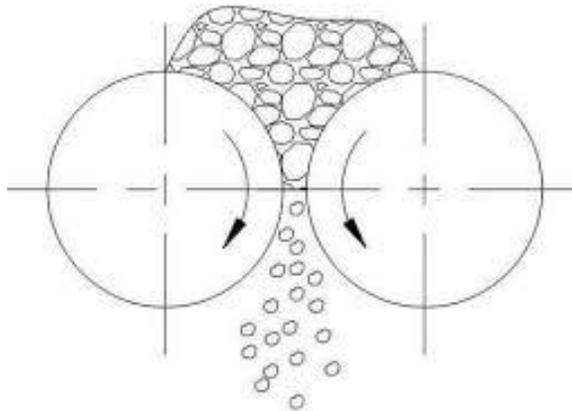
Estos equipos pueden ser utilizados en la trituración secundaria y terciaria; incluso la molienda. Son utilizados en su mayoría en la industria agrícola y alimenticia. Son máquinas de fácil mantenimiento, adecuadas para material húmedo y pegajoso, pero necesitan una alimentación uniforme a lo largo del cilindro.

Figura 15. **Trituradora de rodillos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Diagrama de acción de trituradora de rodillos**



Fuente: elaboración propia.

- Trituradora de impacto o martillos

Este tipo de trituradoras actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. Se caracterizan por una elevada tasa de reducción, y por la propiedad de dar forma cúbica al producto, por lo que suelen utilizarse para trituración primaria.

A su vez estos equipos pueden ser utilizados en la trituración selectiva, método que libera minerales duros de material estéril. Las trituradoras de martillos están compuestas por una carcasa cubierta por placas de acero, en cuyo interior se aloja un eje y un conjunto de rotor.

Pueden ser empleadas en las tres etapas de la trituración, son utilizadas en la industria minera, de construcción, de energía, química, entre otras. Estas trituradoras se clasifican en:

- Trituradora de martillos de eje horizontal
- Trituradora de martillos de eje vertical

Figura 17. **Trituradora de impacto**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Trituradora de martillos**



Fuente: elaboración propia.

- Trituradora de martillos de eje horizontal

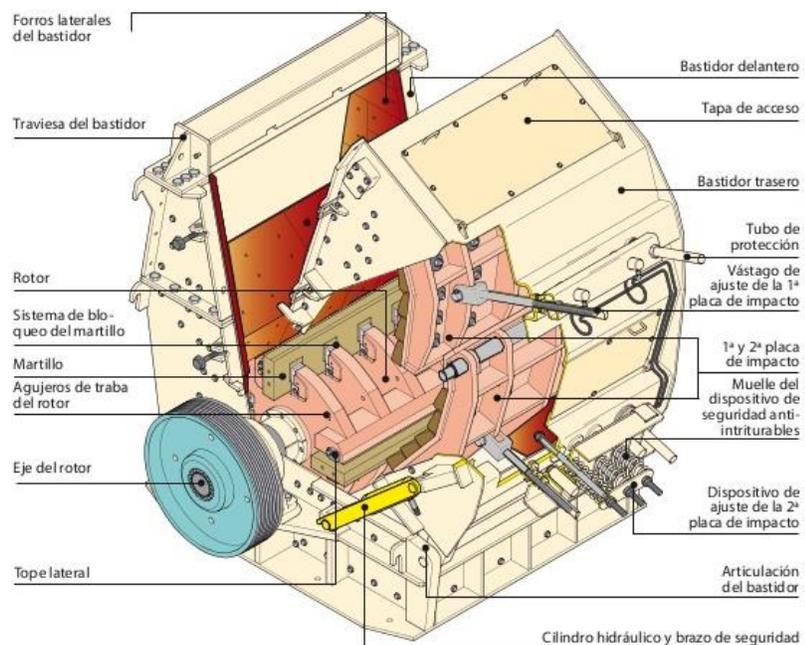
Existen de diversos tamaños y capacidades, pudiendo utilizarse desde la trituración primaria de productos calcáreos en grandes capacidades hasta la trituración de pequeñas cantidades de escoria. Este tipo de trituradoras es utilizado para materiales suaves y poco abrasivos, con un mantenimiento sencillo de realizar. Es utilizada para la trituración primaria y secundaria.

Figura 19. **Trituradora de martillos de eje horizontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Componentes principales de trituradora de martillos de eje horizontal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad.

- Trituradora de martillos de eje vertical

El método de operación es similar a una bomba centrífuga. El material se alimenta a través del centro del eje del rotor, donde es acelerado a una alta velocidad antes de ser descargado a través de aberturas en la periferia del rotor. La trituración ocurre cuando el material impacta a alta velocidad contra las placas de desgaste de la carcasa exterior y también debido a la acción de roca contra roca.

Es utilizada en materiales a prueba de fuego, cementos, diamante, vidrio, arena de construcción, piedra, metalurgia, minerales industriales, agregados de

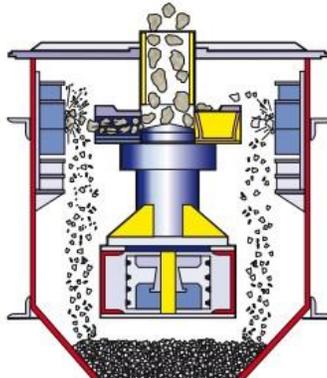
asfalto, entre otros. Se utilizan principalmente para obtener materiales finos, debido al impacto que causan. Son máquinas que utilizan la fuerza del impacto; y el fundamento de roca contra roca para reducir el tamaño de los materiales.

Figura 21. **Trituradora de martillos de eje vertical**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop 2016.

Figura 22. **Sección transversal de trituradora de martillos**



Fuente: elaboración propia, empleando Photoshop 2016.

2.1.4. Cribas

Son aparatos mecánicos complejos, que fundamentalmente presentan partes móviles que, con frecuencia, y a propósito, no están balanceadas mecánicamente.

Las cribas persiguen tres fines fundamentales: provocar el paso del material fino a través de las aberturas; mantener el flujo constante del material grueso sobre la superficie del cribado e impedir la obstrucción de las aberturas por partículas o pedazos de sobre medida. Las principales características de este tipo de equipo son:

- Tamaño de las aberturas uniformes.
- Suficiente robustez y rigidez para soportar las cargas mecánicas.
- Con una superficie o sesión viva suficientemente grande.

Las cribas también son utilizadas para la eliminación del agua de los materiales. Para realizar el cribado se puede utilizar mallas, telas o cualquier tipo de rejilla, de acuerdo al material que se requiera separar. La mayoría de cribas poseen plataformas con múltiples ranuras, con el objeto de clasificar los materiales en grados distintos.

2.1.4.1. Tipos de cribas

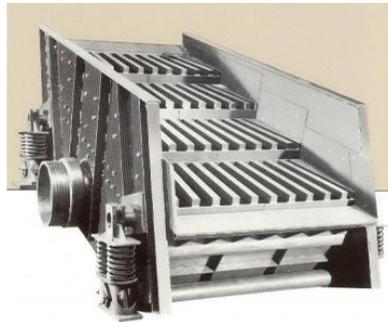
De acuerdo a las necesidades del proceso de producción, hay variedad de cribas según lo que se describe a continuación:

- Cribas fijas de barrote

Las parrillas fijas son los dispositivos más sencillos usados en el tamizado, y se construyen usualmente inclinadas desde 30 hasta 45 grados. Se usan en la separación de fracciones de muy diferentes tamaños o cuando la mayor fracción del alimentado pasa libremente a través de los agujeros grandes del tamiz, como en el caso del cernido de arena seca, o cuando los pedazos gruesos al caer provocan la vibración de las barras de la superficie de tamizado y eliminan la obstrucción de las aberturas.

Por lo regular tienen algunos grados de inclinación para que el material pueda avanzar, tienen el defecto de atascamiento de los materiales húmedos o arcillosos. Son utilizadas en su mayoría en la primera etapa de separación, su inclinación oscila desde los 30 hasta 45 grados.

Figura 23. **Criba de barrotes de perfil cuadrado**



Fuente: elaboración propia.

- Cribas de tambos o *trommels*

Consisten en un tambor rotatorio horizontal o ligeramente inclinado de 4 a 7 grados compuesto por una armadura a la cual está sujeta una superficie de tamizado, que es generalmente una plancha perforada o una barrera doblada en espiral.

Estos equipos cuentan con un embudo de entrada del producto, por donde caen en la criba cilíndrica interior accionado por medio de un mecanismo. El rechazo sale luego de viajar por toda la criba y el cernido cae al fondo del aparato y se recoge en el extremo opuesto empujado por un tornillo sin fin.

Presentan la desventaja de una capacidad relativamente baja y una baja eficiencia de tamizado, fundamentalmente para el tamizado fino. La eficiencia aumenta considerablemente si el tamizado se realiza por vía húmeda, rociando con duchas a presión el material en el interior del cilindro.

Este tipo de cribas han sido sustituidas por las vibratorias, son poco utilizadas en la minería para separar arenas libres de finos, o en los molinos en la salida de los productos, separa tierra, abono orgánico y productos de origen vegetal. Pueden ser utilizadas en el manejo de residuos sólidos, como por ejemplo para rasgar las bolsas y separación parcial del material.

Figura 24. **Criba de tambos o *trommels***



Fuente: elaboración propia.

- Cribas giratorias o semivibratorias (de columpio)

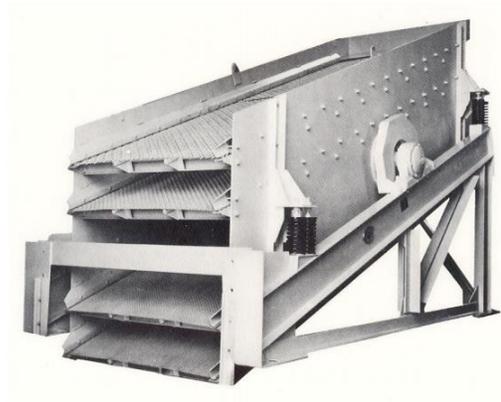
Son aparatos con un bastidor que tienen de uno a tres tamices y al que se le comunica un movimiento circular en el plano vertical por medio de un árbol excéntrico acoplado al centro del mismo bastidor, el cual se encuentra inclinado un ángulo entre 10 y 30 grados con respecto a la horizontal.

El radio del movimiento vertical es de 1,5 0 6 milímetros y su frecuencia oscila entre 750 y 1 000 revoluciones por minutos, debido a que el árbol excéntrico está provisto de compensadores. El funcionamiento del aparato es suave. Se utiliza mucho en el cribado grueso con pedazos de hasta 400 milímetros y agujeros del tamiz de 150 a 200 milímetros.

Es utilizada para el cribado de compost, madera, áridos, turba, metales, chatarra, abonos, fertilizantes, entre otros; debido a que pueden trabajar con materiales gruesos y pesados con un elevado rendimiento. Las mallas que

utilizan están elaboradas de acero inoxidable, y aguantan vibraciones en niveles altos con cargas pesadas, debido a que se aplica un movimiento circular en el plano vertical.

Figura 25. **Criba semivibratoria (de columpio)**



Fuente: elaboración propia.

- Cribas coladores de arco o planas

Se emplean para el tamizado de suspensiones, con el fin de separar como rechazo parte de la misma con las partículas mayores o sencillamente para separar solamente estas partículas, en cuyo caso se proveen de dispositivos para sacar el sólido rechazado de la parte superior del tamiz.

Estos tamices se construyen de rejillas de ranuras de alambre trapezoidal o con tela metálica, con aberturas del tamiz que generalmente tiene un tamaño menor que 1 milímetro. Este tipo de cribas son utilizadas para un solo tipo de material, donde se necesita separar las partículas gruesas de las finas, por ejemplo, en arenas, harinas, salvado, productos químicos, entre otros.

Figura 26. **Cribas coladores de arco o planas**



Fuente: elaboración propia.

2.2. **Estudio y selección de alternativas de trituradora**

Para evitar atrasos en la maduración del compostaje dentro de la planta de tratamiento de desechos sólidos, en la Unidad de Recuperación Ambiental de la municipalidad de Sololá, es necesario disponer con la maquinaria precisa que reúna las características para el tipo de desecho y cantidades previstas recolectadas en el área.

Además, después de verificar las características y usos más comunes de las trituradoras anteriormente enunciadas, se consideran tres (3) máquinas elegibles, que apoyen a la planta de tratamiento de desechos sólidos:

- Trituradora giratoria
- Trituradora de rodillos dentados

- Trituradora de impacto o martillos

2.3. Parámetros funcionales

Dentro de los parámetros que se requieren para el equipo de trituración que apoye a la planta de tratamiento de desechos sólidos se pueden enumerar los siguientes:

- Alta capacidad de producción
- Mantenimiento sencillo y económico
- Manipulación accesible y segura
- Tratamiento de material húmedo y pegadizo
- Alimentación factible de los desechos a la máquina
- Costo de instalación bajo o moderado

2.4. Parámetros de diseño de la maquinaria a seleccionar

Determinar los parámetros de diseño de maquinaria trituradora y cribadora de desechos sólidos, valorar cada aspecto respecto al municipio de Sololá que sea conveniente.

2.4.1. Características de la materia prima

La materia prima que será triturada en la máquina seleccionada, será cualquier materia orgánica (desechos sólidos), recolectada en el municipio de Sololá, la cual será húmeda, pegajosa, de tamaños irregulares, de acuerdo a lo siguiente:

- Restos de vegetales como frutos, hojas, troncos, ramas, tallos, restos de césped, entre otros.
- Estiércol animal, como de vaca, de caballo, gallinaza, de cerdo, de oveja, conejo, entre otros.
- Restos orgánicos procedentes de las viviendas, como restos de fruta, alimentos, legumbres.
- Restos de animales procedentes de los rastros.

2.4.2. Capacidad de carga de la estructura

De acuerdo a los datos estadísticos relacionados a las cantidades de desechos sólidos generados en el municipio de Sololá, es necesario que la trituradora elegible pueda producir altas cantidades de materia prima, realizando un trabajo continuo, para que se pueda llevar a cabo la madurez adecuada del compostaje, bajo condiciones controladas. Asimismo, deberá facilitar la carga de la materia prima a la máquina, sin necesidad de requerir mecanismos adicionales para ello.

2.4.3. Espacio físico requerido (largo, ancho y altura)

De acuerdo a la selección de las tres trituradoras elegibles, que apoyen a la planta de tratamiento de desechos sólidos, se describen el espacio físico aproximado requerido por cada una de ellas, y se hace la observación que los tamaños dependen exclusivamente del fabricante, así como de las necesidades de la alcaldía.

2.4.3.1. Alternativa 1: Trituradora giratoria

Se puede encontrar con dimensiones de más de 10 metros de altura, con pesos mayores a 600 toneladas y consumos de energía superiores a 1 000 KW. Para tamaños de alimentación < 66mm, la circunferencia a lo largo de la entrada de la alimentación debe estar entre 8 a 10 veces la boca de alimentación, medida a lo largo del perímetro exterior.

Para tamaños de alimentación > 66mm, la circunferencia a lo largo de la entrada de la alimentación debe estar entre 6,5 a 7 veces la boca de alimentación, medida a lo largo del perímetro exterior. El tamaño del producto de alimentación es igual a 0,9 veces la boca de alimentación, hasta 2 metros de diámetro. Los tamaños comerciales disponibles varían, y es designado por la boca de alimentación y el diámetro de la nuez.

2.4.3.2. Alternativa 2: Trituradora de rodillos dentados

El diámetro de los cilindros viene dado en función del tamaño máximo del bloque que hay que triturar ($D_{\text{máx}}$):

Serie Normal	$D_{\text{cilindro}} = 3 D_{\text{máx de la roca}}$
Serie Pesada	$D_{\text{cilindro}} = (1,5 \text{ a } 3) D_{\text{máx de la roca}}$

En los trituradores de cilindros dentados, el reglaje se define como la distancia existente entre la punta de un diente y la concavidad del cilindro que hay enfrente a ese diente. Hay que tomar en cuenta, que los tamaños de las trituradoras de rodillos, dependen además de la marca del fabricante.

2.4.3.3. Alternativa 3: Trituradora de impacto o martillos

La longitud de este tipo de máquinas varía de entre 14,80 metros a 19,40 metros aproximadamente, se puede tomar como referencia la tabla siguiente:

Tabla V. Longitud de trituradora de impacto

	LT 1110	LC 11105	LT 1213	LT 12135	LT 1315	LT 7150
Transport dimensions						
Length	14,850 mm (49')	17,700 mm (58'1")	15,400 mm (50'6")	19,400 mm (63'7")	18,000 mm (59')	16,750 mm (54'11")
Width	2550 mm (8'4")	2,750 mm (9')	2,980 mm (9'9")	3,200 mm (10'6")	3,500 mm (11'5")	3,000 mm (9'10")
Height	3,400 mm (11'2")	3,400 mm (11'2")	3,600 mm (11'10")	3,600 mm (11'9")	3,800 mm (12'5")	3,400 mm (11'1")
Weight	32,000 kg (71,000 lbs)	38,000 kg (84,000 lbs)	42,000 kg (93,000 lbs)	51,000 kg (112,000 lbs)	60,000 kg (132,000 lbs)	30,000 kg (66,000 lbs)
Crusher						
Model	Nordberg* NP 1 110M	Nordberg* NP 1 110M	Nordberg* NP 1 213M	Nordberg* NP 1 213M	Nordberg* NP 1 315	Barmac B 7 150M

Fuente: elaboración propia.

2.4.4. Grado de trituración requerido

Para obtener un buen compost, en tiempo mínimo, es necesario que la materia prima sea orgánica y que esté bien triturada. Además, el proceso de descomposición será más eficiente con la materia prima en un grado de trituración secundaria, donde el tamaño de las partículas se reduce a un valor comprendido entre 2" y 1", respectivamente.

2.4.5. Ergonomía

La función principal de la ergonomía es la adaptación de las máquinas y puestos de trabajo al hombre. Tiene como objetivos:

- Seleccionar la tecnología para las herramientas y equipos de trabajo más adecuada al personal disponible.
- Controlar el entorno del puesto de trabajo.
- Optimizar la interrelación de las personas disponibles y la tecnología.
- Favorecer el interés de los trabajadores por la tarea y por el ambiente de trabajo.

Tiene como principios fundamentales:

- Estudiar la configuración del puesto y de las condiciones de trabajo.
- Adaptar las exigencias de la tarea a las capacidades del hombre.
- Concebir las máquinas, equipos e instalaciones con un máximo rendimiento, precisión y seguridad.
- Adaptar el ambiente (luz, ruido, temperatura) a las necesidades del hombre en su puesto de trabajo.

Por lo anteriormente descrito, el equipo a seleccionar que favorezca a la planta de tratamiento de desechos sólidos, y que se integra por la trituradora y la máquina cribadora, deben llenar los objetivos y principios de ergonomía enunciados, velando por la seguridad y bienestar del trabajador, y asimismo, mejorar y aumentar la productividad. De esta forma, el ambiente de trabajo será sano, lo cual motivará al trabajador para realizar sus actividades con satisfacción y eficiencia.

2.4.6. Capacidad de la tolva

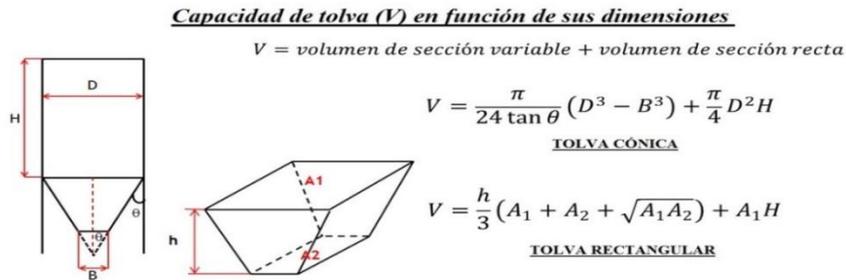
La capacidad de una tolva se determina teniendo presente diferentes aspectos como material, forma y tamaño de alimentación.

2.4.6.1. Tamaño de alimentación

Es una caja en forma de pirámide o de cono invertido y abierta por abajo, en la que se echan granos y otros cuerpos para que caigan poco a poco entre las piezas del mecanismo que los triturará, molerá, limpiará o clasificará. En este caso, la tolva se convierte en un mecanismo adicional a la cribadora, para seleccionar la materia prima que necesita ser triturada y llevar a cabo el proceso del compost. Además, requiere un espacio más amplio tanto para su instalación como para el funcionamiento.

Una de las ventajas de utilizar una tolva en el proceso, es que ayudan a que el flujo del material sea uniforme al ingresar en la cribadora y que la clasificación sea más eficiente. La tolva que se elija para el equipo de cribación, su capacidad deberá ser proporcional al equipo seleccionado, para no interferir en la producción. La capacidad de una tolva rectangular se puede calcular de acuerdo a las fórmulas siguientes:

Figura 27. **Capacidad de tolva**



Fuente: PAREDES, Alfredo. *Mecanotecnia*.

<https://mecanotecnia.blogspot.com/2017/04/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>.

Consulta: enero de 2021.

2.5. Estudio de alternativas

En los incisos posteriores se verificarán las ventajas y desventajas de las tres trituradoras seleccionadas, las cuales reúnen la mayor parte de requisitos para el tipo de materia prima que será utilizada; la cual será instalada en la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de Sololá.

2.5.1. Alternativa 1: Trituradora giratoria

Tritura el material a compresión, su trabajo consiste en una sucesión ininterrumpida de acciones de presión y expansión, trabajan en continuo con su en la mitad de su volumen, mientras que las mandíbulas con el total de su volumen.

2.5.1.1. Ventajas de la alternativa 1

- Es una máquina que opera por la acción de la gravedad, debido a que el material circula desde la parte superior a la inferior (producción continua).
- Productividad suave y alta.
- Diseño compacto.
- Mayor proporción de volumen de material para procesar.
- Trabaja por compresiones y aberturas alternativas, evitando la atrición.
- Especial para material abrasivo.
- Se puede prescindir del costoso sistema de alimentación.
- Especificadas donde la capacidad de producción excede las 800 toneladas/hora.

2.5.1.2. Desventajas de la alternativa 1

- Procesan cualquier tipo de material, excepto arcillosos
- El consumo de energía dependerá del tamaño del equipo
- Desgaste alto de los blindajes, que deben sustituirse a intervalos cortos

2.5.2. Alternativa 2: Trituradora de rodillos dentados

Como su nombre lo indica, están formados por dos cilindros dentados, donde los dientes podrán ser cuchillas, dientes de tiburón, picas, estrías, resaltes, entre otros. El diseño de los dientes se ha desarrollado mucho con el fin de conseguir una fragmentación regular y una mínima producción de finos. Estos trituradores disponen las hileras de dientes de forma intercalada, actuando de alguna manera como cribas.

2.5.2.1. Ventajas de la alternativa 2

- Máquina robusta, sencilla y de fácil mantenimiento.
- Más económica que la trituradora de mandíbulas.
- Adecuada para el tratamiento de material húmedo y pegadizo.
- Altura limitada.
- Dispositivo de seguridad eficaz.
- Granulometría de salida muy regular, exenta de grandes trozos y de finos.

2.5.2.2. Desventajas de la alternativa 2

- No son adecuadas para materiales duros y/o abrasivos.
- Relación de reducción limitada 4:1.
- Necesita una alimentación uniforme a lo largo de la generatriz del cilindro.

2.5.3. Alternativa 3: Trituradora de impacto o martillos

Diseñada para la trituración de materiales con alta dureza, trituran el material haciéndolo impactar contra otro objeto, tiene resistencia a la compresión y sin tensión ni grietas.

2.5.3.1. Ventajas de la alternativa 3

- Apta para materia prima dura
- Material de alimentación variable
- Velocidad en la alimentación del material
- Rompen el material, aprovechando la energía del impacto

- Adecuada para el tratamiento de material húmedo y pegadizo
- Alto rendimiento en la producción de material triturado

2.5.3.2. Desventajas de la alternativa 3

- No son adecuadas para materiales abrasivos
- Debido al impacto que genera, provoca desgaste en las corazas
- Necesita controles en la alimentación del material
- Calibración constante de las corazas
- Exposición del operador a ruido y polvo excesivos

2.6. Selección de la trituradora

De acuerdo a los resultados obtenidos de las tres alternativas propuestas, se determina que la trituradora de rodillos reúne la mayoría de los requisitos y cualidades requeridas para la trituración de la materia prima que será utilizada en la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de Sololá. Además, se puede prescindir del costoso sistema de alimentación donde el material puede llegar directamente desde los camiones a la tolva y luego de pasar el proceso de compost puede ser cribado.

2.7. Parámetros funcionales de cribadora tipo columpio

Dentro de los parámetros que se requieren para el equipo de cribación que apoye a la planta de tratamiento de desechos sólidos están:

- Alta capacidad para el cribado de la materia prima.
- Mantenimiento sencillo y económico.
- Manipulación accesible y segura.

- Cribado de material húmedo y pegadizo.
- Alimentación factible desde la tolva.
- Costo de instalación bajo o moderado.
- Trabajar con materiales gruesos y pesados.
- Resistir vibraciones en niveles altos con cargas pesadas.
- Especializadas para residuos sólidos urbanos, reciclaje de materiales, entre otros.

2.8. Parámetros necesarios de la cribadora a seleccionar

Los parámetros adecuados para la cribadora tienen como función principal separar los componentes de una forma eficiente y funciona, el proceso de clasificación en función a las características funcionales.

2.8.1. Características del compostaje

El compostaje es el resultado de la materia prima que pasará por el proceso de trituración en la máquina seleccionada, producto de la mezcla de cualquier materia orgánica (desechos sólidos), recolectada en el Municipio de Sololá, la cual será húmeda, pegajosa, de tamaños irregulares, de acuerdo a lo siguiente:

- Restos de vegetales como frutos, hojas, troncos, ramas, tallos, restos de césped, entre otros. Estos elementos en particular, necesitan triturarse antes de añadirse al compost, para acelerar el proceso de descomposición, debido a su gran tamaño en la mayoría de los casos.
- Estiércol animal, como de vaca, de caballo, gallinaza, de cerdo, de oveja, conejo, entre otros.

- Restos orgánicos procedentes de las viviendas, como restos de fruta, alimentos, legumbres.
- Restos de animales procedentes de los rastros.

2.8.2. Capacidad de carga de la estructura

De acuerdo a los datos estadísticos relacionados a las cantidades de desecho sólido generado en el Municipio de Sololá, y con el equipo de trituración elegido, es necesario que la cribadora pueda tamizar altas cantidades de materia prima para seleccionar la que seguirá el proceso de trituración, en trabajo continuo, bajo condiciones controladas.

2.8.3. Espacio físico requerido (largo, ancho y altura)

Las cribas se fabrican de diferentes tamaños, los cuales pueden ser:

- 1 800 x 7 000 mm
- 2 000 x 8 000 mm
- 2 500 x 9 000 mm
- 2 500 x 12 000 mm

También se ofrecen soluciones a medida, según las específicas indicaciones del cliente.

2.8.4. Grado de tamiz requerido

Se definen métodos y fórmulas para determinar la eficacia de las cribas y se dan valores adecuados o recomendados para su uso. En los métodos para la determinación del caudal se parte de unos parámetros tipo o referencia que se modifican según la operación deseada. Existe un sistema de tamices normalizados para diversos países y se pueden relacionar como principales o más usados los indicados a continuación:

Tabla VI. **Grado de tamiz requerido**

Norma	País	Denominación	Escala	Observaciones
Tyler	Internacional Mesh (**)		26,9 mm - 37 μ m	Relación de raíz 4 (2)
ASTM	Americana	ASTM Specification E-11-70	125 mm - 38 μ m	(3*) USA. Sieve series
Standard	Canadá	8-Gp-1d	125 mm - 38 μ m	Standard Tamices Canadienses
AFNOR	Francesa	Francia. AFNOR X-11-501	5 mm - 40 μ m	French Standart Specifications
BS	British Standard	BS-410.62	3,35 mm - 45 μ m	British Standart Institution
DIN	Alemania	DIN 4188	25 mm - 40 μ m	German Standart Specifications
UNE 7050	España		125 mm - 40 μ m	Legislación española

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la criba tipo columpio, está clasificada dentro de los equipos móviles por la vibración que se aplica, el movimiento facilita el proceso y la limpieza, además el desplazamiento de la carga es más eficiente. Se debe tomar en cuenta que la capacidad de las cribas disminuye en relación con el tamaño de la malla, así como la densidad y la forma del material. Además, el cribado de materiales húmedos se simplifica con la colocación de mallas alargadas. Asimismo, el tamiz a utilizar debe estar acorde al tamaño de las partículas trituradas, las cuales estarán comprendidas entre 3" y 2", respectivamente.

(**) Mallas por pulgada. Número de divisiones en la longitud de una pulgada, es necesario para el paso real considerar el espesor de los hilos. Al aumentar el número de mallas disminuye el tamaño de paso.

(3*) La relación básica es muy coincidente con la Tyler, aumentando el rango de tamices en la escala de tamaños mayores.

2.9. Propuesta eficiente del uso de trituradora y cribadora

El uso eficiente de la trituradora y cribadora dependerá de las condiciones de manejo óptimo del recurso humano asignado, también dependerá del tipo de producto que será procesado en determinado tiempo.

2.10. Propuesta eficiente del uso de trituradora y cribadora idóneas para la municipalidad de Sololá

Actualmente, la disposición de los desechos al aire libre y en lugares inapropiados, es un problema que afecta a la población en general, debido a los efectos que causan en el medio ambiente y por ende en la salud de las personas. El proyecto que se pretende implementar, dispondrá de los desechos en forma apropiada, utilizando la tecnología más adecuada y amigable con el medio ambiente y la localidad.

Los desechos reciclados pueden ser utilizados como compostaje, fertilizante orgánico que se convierte en nutrientes para las plantas, el cual es beneficioso para los países en desarrollo. Los ingresos por la producción del fertilizante orgánico, se podrán utilizar para realizar los mantenimientos a los equipos de trituración y cribación, así como para el funcionamiento de la planta de tratamiento en general. Además, se deberán implementar medidas de control para obtener los mejores resultados, entre los cuales se pueden mencionar:

- Mantenimientos programados a los equipos de trituración y cribación, donde se deben registrar los datos más relevantes en tarjetas de control.

- Mantenimiento y cuidado del equipo de protección personal, el cual deberá sustituirse cuando se deteriore, llevando un *stock* adecuado de los mismos.
- Registro de herramientas utilizadas, las cuales deberán sustituirse cuando se deterioren.
- Mantener una apropiada señalización de las áreas.
- Mantenimiento del sistema contra incendios con sus respectivos registros.
- Registro diario de la cantidad de desechos que ingresan a la planta.
- Cumplir con las normas ambientales en el tratamiento de los desechos.
- Capacitación constante del personal involucrado en cada fase.
- Involucrar la participación de la población en el proyecto, proporcionando información y las herramientas que sean necesarias para llevar a cabo el manejo de los desechos sólidos.

En este caso, la trituradora de rodillos y la cribadora tipo columpio, reúnen la mayoría de requisitos y cualidades requeridas para la trituración y cribación de la materia prima que será utilizada en la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de Sololá.

Además, se puede prescindir del costoso sistema de alimentación donde el material puede llegar directamente de los camiones a la trituradora y cuando finalice el proceso de compostaje a la cribadora. A continuación, se verificarán los componentes principales de cada uno de los equipos indicados.

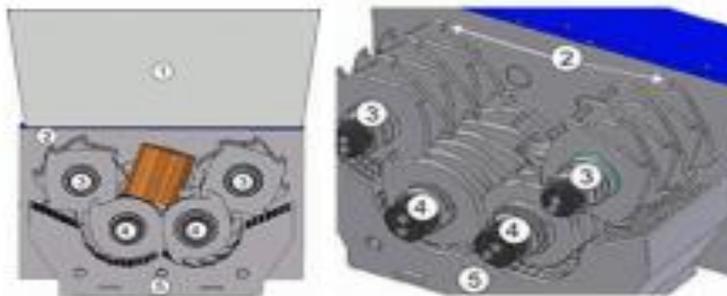
2.11. Componentes de las máquinas a seleccionar para su implementación

La parte más importante es la implementación de la maquinaria, de eso deriva que los componentes deben ser acorde a las especificaciones y elementos principales que lo constituyen.

2.11.1. Trituradora de rodillos

Un molino de rodillos es una máquina empleada para reducir de tamaño partículas de diversos materiales utilizados en numerosos sectores industriales. En este tipo de molinos las partículas sólidas son captadas y trituradas entre uno o más medios rodantes, los cuales presionan con gran fuerza al material.

Figura 28. Elementos principales que constituyen una trituradora giratoria



1. Tolva
2. Rodillo dentado
3. Eje
4. Eje
5. Cuerpo de la trituradora

Fuente: elaboración propia.

2.11.2. Cribadora tipo columpio

Este tipo de cribadoras son utilizadas cuando se necesita tratar cantidades grandes de material y que el proceso de tamizado sea eficaz. Entre las ventajas de utilizar este tipo de equipo se pueden mencionar:

- Precisión en la clasificación de tamaños
- Los costos bajos en mantenimiento
- Espacio reducido para su instalación

La operación de cribado depende de las siguientes variables:

2.11.2.1. Método de alimentación

La alimentación a la criba vibratoria se hará de forma que se extienda uniformemente por a todo lo ancho de la tela de la malla y de forma que llegue a la superficie en dirección paralela al eje longitudinal de la criba, con una velocidad práctica tan baja como sea posible, para obtener de esta forma una eficiencia y capacidad máximas. Se va a alimentar a razón de 10 t/h, por tanto, la máquina debe tener un rango de capacidad admisible capaz de tratar dicha alimentación.

2.11.2.2. Ángulo de inclinación

Como se ha mencionado anteriormente, la criba se monta en posición inclinada con respecto a la horizontal. La pendiente óptima es aquella que permite manejar el volumen de partículas de tamaños mayores y retirar las partículas de tamaños menores que se requieran.

Para separar el material en fracciones gruesas y finas, se debe limitar el espesor del lecho, de modo que la vibración pueda estratificar la carga y permitir que las partículas finas se abran paso hasta la superficie de la criba y pasen por las aberturas. La mayor pendiente hace que se incremente la velocidad de desplazamiento y, a una velocidad determinada, se reduce el espesor del lecho.

2.11.2.3. Dirección de rotación

Al tratarse de una máquina de impulso circular, para obtener una mayor eficacia, se trabaja con rotación a contraflujo, es decir, hacer que el material descienda por la criba en contra de la rotación.

2.11.2.4. Frecuencia de vibración

La frecuencia de vibración se debe transportar el material adecuadamente y evitar que se atasque la tela. Esto va a depender en cierto punto del tamaño y del peso de los materiales que se manejan y se relacionan con el ángulo de inclinación y el tipo de superficie de la cribadora. “El objetivo es ver que la alimentación se estratifique de forma adecuada para que la separación sea eficiente.”⁵

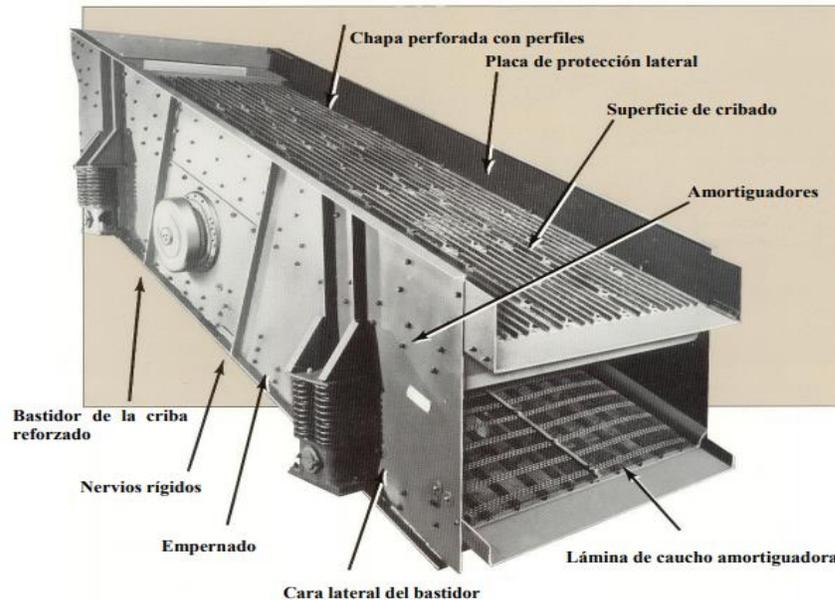
A través de la cinta triangular, el motor deja girar rápidamente el bloque excéntrico, el cual consigue gran fuerza centrífuga, y luego excita la caja de filtro para hacer movimiento circular. Por el nivel o niveles de la caja pasan los materiales, en la cubierta inclinada hacen moción de lanzamiento y se caen los más finos que el tamiz, de esta forma se realiza la clasificación.⁶

Es un factor muy importante para una gran fuerza de vibración.

⁵ Scribd. *Criba vibratoria*. <https://es.scribd.com/document/260138375/Anexo1-Criba-Vibratoria-pdf>.

⁶ SlideShare. *Zaranda Vibratoria*. <https://es.slideshare.net/athegsurperu/zaranda-o-criba-vibratoria>.

Figura 29. **Unidad vibratoria de cribadora**



Fuente: elaboración propia.

2.12. **Materiales propuestos para la selección del equipo recomendado a la municipalidad de Sololá**

Para el equipo de trituración, el material que puede ser utilizado en la ficha técnica y descripción de las navajas como los engranes, deberá ser del acero sisa A2, por sus características, ofrece una combinación de buena tenacidad, así como alta resistencia al desgaste e impacto. El material tiene dureza uniforme y propiedades mecánicas.

El acero sisa A2, es de media aleación (medio carbón, medio cromo), de temple al aire que alcanza durezas de 60-62 HRC. Su resistencia al desgaste es entre los aceros temple al aceite (O1) y los aceros de alto cromo/carbón (D2).

Al ofrecer la combinación de buena tenacidad, así como moderada resistencia al desgaste, se ha usado ampliamente por muchos años en una variedad de aplicaciones de trabajo en frío que requieren buena resistencia a la abrasión, pero en donde los aceros de alto cromo / carbón sufren despostillado o fractura.

En el equipo de cribación, las mallas que se utilizan están elaboradas de acero inoxidable, y soportan vibraciones en niveles altos con cargas pesadas, debido a que se aplica un movimiento circular en el plano vertical.

Además, se pueden encontrar en el mercado otro tipo de mallas de poliuretano, las cuales son adecuadas para materiales abrasivos. Entre sus propiedades se pueden mencionar que son antiadherentes y pueden ser fabricadas con aberturas cuadradas, rectangulares y rectangulares con esquinas redondeadas.

Las mallas pueden encontrarse en el mercado de distintos tamaños y presentaciones, de acuerdo al requerimiento solicitado, entre ellas de acero inoxidable 304, 316, malla galvanizada, malla ondulada, sencilla, plana, triple alambre y rectangular. Al utilizar mallas de alta calidad, se tienen ventajas como larga duración en ambientes extremos, alta resistencia a la abrasión y corrosión, entre otros.

2.13. Dimensiones ideales de la capacidad necesaria a procesar

Para el cálculo de la capacidad requerida de la trituradora, se pueden utilizar ábacos del fabricante, fórmulas aproximadas por métodos de estimación o la fórmula de Gieseking aplicada a las trituradoras de mandíbulas, con las modificaciones que se indican.

Aplicación de la fórmula de Gieseking a las trituradoras de rodillos:

$$Q(t/h) = f \times a \times u \times s \times d \times L \times n \times pa$$

De donde:

f= coeficiente de utilización

a= coeficiente ligado al ángulo de toma

u= factor ligado al coeficiente de alimentación

s= reglaje en centímetros

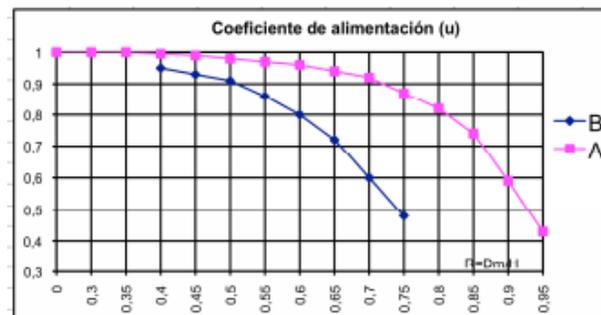
d= recorrido en cm

L= longitud de la boca en cm

n= velocidad en r.p.m.

pa= densidad aparente

Figura 30. **Coefficiente de alimentación**



Fuente: elaboración propia.

A= alimentación regulada mediante tolva de distribución.

B= descarga directa desde camión o vagoneta a la cámara de quebrantado.

Además:

$$a = 1 + 0,03 (26 - \alpha)$$

α = ángulo de toma en grados (posición cerrada)

Para estos equipos giratorios la regulación es dos veces el desplazamiento de la excéntrica. El recorrido varía, normalmente, entre un 15 % y un 30 % del reglaje, y el resto de factores se pueden considerar los mismos.

Para la determinación de la capacidad mediante los datos de los fabricantes, usualmente en forma de tablas, es necesario corregirlos para adaptarlos al caso real en estudio utilizando para ello la variación de los factores de la fórmula de Giesecking entre unas condiciones y otras. Esta operación, por el efecto lineal de los parámetros en la fórmula, es de sencilla aplicación, manteniendo la congruencia de unidades.

Estos equipos pueden trabajar recibiendo directamente la descarga del camión, haciendo la cámara de la máquina de silo o tolva de alimentación. En este caso la instalación se realiza a nivel con la rampa de volcado de los camiones, con la precaución obligada de instalar un muro con altura y capacidad suficiente para soportar el golpe de un camión y evitar la caída dentro del equipo.

- Capacidad de la criba, dada por la siguiente expresión:

$$Q_{DSM} = 200 \cdot S \cdot V$$

Siendo:

$$Q_{DSM} = \text{Capacidad en m}^3/\text{h}$$

S = Superficie libre, en m²

V = Velocidad de la alimentación, en m/s. Donde $V = (2 \cdot h \cdot g)^{1/2}$

2.14. Ficha técnica del motor seleccionado

En el equipo de trituración, se utilizará el motor con carcasa de chapa, destinado a uso general, desarrollado para atender las más variadas aplicaciones con desempeño y ahorro máximos, de acuerdo a lo siguiente:

Tabla VII. **Resumen de características técnicas**

Resumen de las características técnicas			
Norma	NEMA MG-1	Potencia	2 HP
Frecuencia	50 Hz	Fijación	Con pies
Tensión	220 V	Brida	FC 149
Numero de polos	4	Forma constructiva	F-1
Grado de protección	IP21	Caja de conexión ¹	Sin caja de conexión
Rotación sincrónica	1500 rpm	Refrigeración	IC01 - ODP

Fuente: elaboración propia.

Además, en relación al equipo de trituración, la potencia total en kW será determinada por lo siguiente:

$$\text{Pot} = Q * W * f$$

Donde:

Pot = potencia total requerida, kW.

Q = flujo o capacidad de operación de la trituradora, ton/h.

f = factor de corrección por ubicación en el proceso: 0,75 para trituración primaria, 1,00 para trituración secundaria.

La potencia en el motor está dada por:

$$Pot_m = 1,6 * Pot$$

“Con el dato de la potencia del motor, se localizará en las tablas de los fabricantes, para comprobar que el motor del modelo seleccionado posee como mínimo este valor.”⁷ Como uno de los requisitos es verificar este dato y obtener la potencia necesaria para la trituración.

Con respecto al equipo de cribación, existen en el mercado tamices con vibración mecánica y tamices con vibración eléctrica. En este caso, para reducir los costos se considera utilizar una criba con vibración mecánica tipo Ty-Rock, la cual se instala en posición inclinada y sobre cojinetes y materiales de caucho que ayudarán a absorber los impactos de los materiales pesados y permite que gire el eje en torno a su propio centro natural de rotación.

2.15. Tipo de mantenimiento se recomienda y su periodicidad

“El mantenimiento preventivo es aquel que se realiza de manera anticipado con el fin de prevenir el surgimiento de averías en los artefactos, equipos electrónicos, vehículos automotores, maquinarias pesadas, etcétera.”⁸ Entre las acciones de mantenimiento preventivo se pueden mencionar: limpieza diaria, ajustes, calibración y lubricación de los componentes, entre otros.

El mantenimiento preventivo se realiza de forma periódica, y tiene como objetivo determinar las posibles fallas que pueden suceder para evitar altos costos de reparación y evitar paros imprevistos. Es necesario contar con el manual del fabricante para tomar en cuenta sus recomendaciones. En este

⁷ Apuntes de Ingeniería Mecánica. *Trituradoras giratorias*. <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/03/trituradoras-giratorias-iii.html>.

⁸ Apuntes de Ingeniería Mecánica. *¿Qué es el mantenimiento preventivo?* <https://www.significados.com/mantenimiento-preventivo>.

caso, los equipos se deben revisar antes de iniciar la jornada, para verificar si es necesario realizar ajustes o lubricación de las piezas, además, limpiarse al finalizar cada día. Este mantenimiento es realizado por los operadores responsables de los equipos.

Puede generarse un plan de mantenimiento diario que incluya todas las actividades a realizar, sin olvidar hasta el más mínimo detalle y un plan de mantenimiento mensual para que se realice más profundo y en un período más largo de tiempo. También es función de mantenimiento responder por la seguridad industrial. Es importante mencionar que cuando se cumple el programa de mantenimiento preventivo con calidad y puntualidad, se alarga la vida útil de los equipos; y se obtiene lo siguiente:

- Se reducen las acciones correctivas, debido a que durante el mantenimiento se corrigen los posibles desperfectos.
- Se disminuyen los gastos por mantenimiento correctivo y las reparaciones.
- La maquinaria se encuentra disponible la mayor parte del tiempo, y no hay interrupciones durante la producción; por lo que la productividad aumenta.
- Se alarga la vida útil de los equipos.
- Se evitan los accidentes laborales.

Las ventajas de elegir una trituradora de cuchillas son el tamaño reducido, su alta capacidad, bajo consumo de energía y sobre todo el poco desgaste de sus revestimientos. El mantenimiento preventivo debe incluirse dentro del presupuesto de la entidad, ochenta por ciento (80 %) para el mantenimiento preventivo y un veinte por ciento (20 %) para corrección de deterioros. Además, designar a los responsables que participarán en el plan de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo, es aquel que se realiza mediante una programación previa de actividades, con el fin de evitar en lo posible la mayor cantidad de daños

imprevistos, disminuir los tiempos muertos de producción por tallas y por ende disminuir los costos de la misma.⁹

A continuación, se presenta una ficha de ejemplo, para llevar el control de mantenimiento preventivo:

Tabla VIII. **Bitácora de mantenimiento preventivo**

Fecha	Responsable	Equipo	Tipo de mantenimiento realizado	Tipo de repuestos necesarios	Observaciones

Fuente: elaboración propia.

⁹ Sena. *Manual de mantenimiento*. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetalmanual_mantenimiento/#.

A la bitácora propuesta se le pueden agregar otros datos que se consideren relevantes en el transcurso de las actividades. Los mismos deben archivar para tener un mejor control de los equipos y sus posibles fallas.

El éxito de un programa de mantenimiento radica en cumplir todas las actividades descritas en el programa, además de llevar un buen control del mismo. Es indispensable tener un manual de procedimientos donde una manera clara se definan las normas para la ejecución de las diferentes actividades del sector de mantenimiento. El manual debe contener las siguientes partes:

- “Numeración
- Nombre y contenido
- Objetivos
- Normas procedimentales
- Departamentos y personas involucradas y responsables
- Procedimientos que lo complementan
- Procedimientos a los cuales reemplaza”¹⁰

Para el óptimo funcionamiento y larga duración del equipo, deberán realizarse los mantenimientos de forma cíclica y periódica, sin dejar pasar por alto el calendario de programaciones óptimas y adecuadas.

Se recomienda utilizar productos, insumos y repuestos de buena calidad, no sustituir piezas originales por genéricas o por repuestos más baratos por reducir costos, esto provoca que los equipos se deterioren más fácilmente y sufran paros inesperados al estar operando.

¹⁰ Sena. *Manual de mantenimiento*. https://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/#.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Taller titulado Uso Correcto del EPP

Un taller es un proceso planificado y estructurado de aprendizaje, que implica a los participantes del grupo y que tiene una finalidad concreta. Ofrece siempre la posibilidad, cuando no exige, para que los participantes contribuyan activamente. En el caso de la seguridad, los EPP actúan reduciendo las consecuencias derivadas de la materialización del riesgo. En el caso de la higiene industrial los equipos suelen actuar minimizando la concentración del contaminante al que se encuentra expuesto el trabajador.

Debido a que se realizará la instalación de equipos de cribación y trituración para apoyar a la planta de tratamiento de desechos sólidos en la Unidad de Recuperación Ambiental de la Municipalidad de Sololá, es necesaria la utilización de equipos de protección personal (EPP), con el fin de prevenir los riesgos residuales, ya que disminuyen algunos de los componentes factoriales de riesgo. Además, será importante la utilización de ropa adecuada que evite el contacto del cuerpo con gérmenes que pongan en riesgo la salud del trabajador.

Tabla IX. **Contenido del taller para el Uso Correcto del Equipo de Protección Personal (EPP)**

<p>Municipalidad de Sololá Unidad de Recuperación Ambiental Planta de Tratamiento de Desechos Sólidos Taller para el Uso correcto del Equipo de Protección Personal</p> <p>Fecha del Taller: _____ Horario: _____</p> <p>Beneficiarios: trabajadores municipales de la Unidad de Recuperación Ambiental de la Municipalidad de Sololá.</p> <ul style="list-style-type: none">• Objetivos:<ul style="list-style-type: none">○ Reconocer la importancia del uso del equipo de protección personal, para prevenir lesiones y/o enfermedades en el área de trabajo.○ Seleccionar el equipo de protección personal adecuado a los riesgos a los que estarán expuestos los trabajadores.○ Identificar los riesgos a los que están expuestos en el área de trabajo, así como los elementos que son necesarios para controlar el riesgo.○ Supervisar constantemente, el uso adecuado del equipo de protección personal, así como su vida útil y su mantenimiento, si fuera necesario.○ Apoyar en la inducción de los nuevos compañeros de trabajo, en el uso adecuado e importancia del equipo de protección personal. • Material y equipo a utilizar:<p>El taller se realizará en un lugar cómodo y alejado del ruido, con los materiales y equipos indispensables para la inducción del personal, entre los que se pueden mencionar:</p><ul style="list-style-type: none">○ Equipo de cómputo○ Retroproyector o cañonera○ Pizarrón y marcadores○ Pupitres○ Material de apoyo impreso○ Muestras del equipo de protección personal a utilizar
--

Fuente: elaboración propia.

La planta de tratamiento de desechos sólidos será utilizada para llevar a cabo el taller práctico, con las muestras del equipo de protección personal que se dispongan.

3.1.1. Dinámica de presentación, tanto de los participantes como de los monitores

Incluye la motivación a los participantes, la cual debe ser constante durante el proceso de modernización de la planta de tratamiento, que debe incluir:

- Importancia de la comunicación interpersonal
- Cómo vencer las barreras en la comunicación
- Relaciones humanas
- El valor que representa el trabajador para la unidad
- Aplicar técnicas de motivación

3.1.2. Descripción de los equipos de trituración y cribación que se instalarán en la planta de tratamiento de desechos sólidos

- Importancia de la instalación de los equipos en la planta de tratamiento; y cómo apoyarán a aumentar su eficiencia.
- Partes principales de los equipos.
- Funcionamiento de cada equipo.
- Descripción de las partes de los equipos y ambiente de trabajo que presentan riesgo para el trabajador.

3.1.3. Exposición y descripción del equipo de protección personal a utilizar

El equipo de protección es personal y solo protege al trabajador que lo lleva puesto en ese momento, no puede compartirse; y deben ser utilizados obligatoriamente por éstos. El equipo de protección personal evita daños a la salud del trabajador, ya sea por accidente o enfermedad, en relación a:

- Exposición a polvo o partículas en suspensión en el ambiente
- Exposición a gases en el ambiente
- Elementos cortantes que provoquen rasguños
- Inclusión de objetos cortantes en los pies
- Exceso de ruido, entre otros

Cada trabajador deberá ser capacitado al menos en:

- Cuando es necesario el EPP
- Qué EPP es necesario para realizar el trabajo asignado
- Cómo ponérselo, quitárselo, ajustarlo y usar el EPP
- Las limitaciones del EPP
- El cuidado apropiado
- Mantenimiento, vida útil y la disposición del EPP

3.1.4. Equipo mínimo a utilizar por el personal a cargo de uso de la trituradora

- Protectores de cráneo

Casco de seguridad que protege totalmente el cráneo, protegiéndolo contra los efectos golpes, sustancias químicas, riesgos eléctricos y térmicos. Se compone de arnés interno y carcasa o parte externa.

Figura 31. Casco de seguridad



Fuente: elaboración propia.

- Protectores de ojos

Anteojos tanto para proyección de partículas como para proyección de líquidos, humo, vapor o gases y radiaciones.

Figura 32. **Protectores de ojos**



Fuente: elaboración propia.

- Protectores de rostro

Se pueden utilizar protectores faciales, comúnmente llamados caretas.

Figura 33. **Protectores de rostro**



Fuente: elaboración propia.

- Protectores de oído

Tapones y orejeras que previenen el daño al sistema auditivo, provocado por el exceso de ruido o constante. Hay de diversos tipos, algunos cascos de seguridad traen incorporados los protectores, todo dependerá del presupuesto con que se cuente.

Figura 34. **Protectores de oído y casco de seguridad**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Protector de oído tipo diadema**



Fuente: elaboración propia.

- Protectores de las vías respiratorias

Se dividen en tres categorías:

- Purificadores de aire. En ellos el aire pasa a través de filtros; controla la inhalación de polvos en un ambiente contaminado. Además, hay modelos donde protege además la cabeza, los ojos y la cara.
- Filtro mecánico. Retiene partículas contenidas en el aire. No retiene gases.
- Filtro químico. Retiene gases y vapores mezclados con el aire.

Figura 36. **Protectores de vías respiratorias**



Fuente: elaboración propia.

- Protecciones para las piernas y pies

Zapatos con punta protectora, debido a la exposición a objetos cortantes dentro de los residuos recolectados. Además, debe proteger a los pies y piernas

de la humedad a la que estarán expuestos; con fuerte agarre para evitar resbalones.

Figura 37. **Protecciones para las piernas y pies**



Fuente: elaboración propia.

- Protección de manos y brazos

Guantes especiales para riesgos de accidentes por raspaduras o fricción.

Figura 38. **Protección de manos y brazos**



Fuente: elaboración propia.

- Ropa protectora

Se utiliza para proteger al cuerpo de posibles daños, de los contaminantes del ambiente; y del manejo de residuos sólidos.

Figura 39. **Ropa protectora sin reflectivos y con reflectivos**



Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Resolución de conflictos e interrogantes de los participantes

Es necesario generar un proceso de participación en el cual los participantes puedan resolver sus interrogantes de manera conjunta; con el fin de lograr una solución satisfactoria y válida a los planteamientos. En algún momento, resulta incómodo el uso constante de los EPP por parte de los trabajadores, y es necesario señalar las ventajas de su uso:

- Proporcionan una barrera entre un determinado riesgo y la persona.
- Disminuyen la gravedad de las consecuencias de un accidente sufrido por el trabajador.

- Mejoran el resguardo de la integridad física del trabajador.
- La mayoría de los EPP son de fácil selección.
- Fáciles de implementar.
- Gran variedad de oferta en el mercado.

3.1.6. Prácticas sobre el uso adecuado del equipo de protección personal

En esta etapa es donde se verifica que los participantes entendieron la instrucción sobre los EPP, realizando una práctica segura donde se debe tomar en cuenta:

- La supervisión a cargo de un compañero disminuye el riesgo, ya que emitirá una opinión informal sobre la colocación y desempeño.
- El entrenamiento es sumamente importante.
- El EPP no debe restringir la visibilidad y movilidad de quien lo lleva puesto;
- No debe causar incomodidad, lo que puede generar que el uso no sea el más adecuado.
- El retiro del EPP debe ser inmediato después de usarlo.

3.1.7. Evaluación

Para realizar la evaluación del taller de EPP, es necesario verificar lo siguiente:

- Si produjo beneficios para la planta de tratamiento de desechos sólidos y los resultados compensan los costos.
- Si proporciona un valor agregado a la unidad y los usuarios.

- Si produjo cambios en el comportamiento de los participantes en el trabajo.
- Si aporta satisfacción y mejora la actitud del trabajador en su ambiente laboral.
- Escribir lo positivo y lo negativo que sucedió en el taller, así como los aspectos que se deben mejorar.

3.2. Taller titulado Seguridad Industrial

Características de la seguridad:

- La seguridad industrial requiere de la protección de los trabajadores (con la vestimenta y equipo de protección personal necesarias) y su monitoreo médico.
- La implementación de controles técnicos y la formación vinculada al control de riesgo.
- La seguridad industrial siempre es relativa, ya que es imposible garantizar que nunca se producirá ningún tipo de accidente.
- Un aspecto muy importante de la seguridad industrial es el uso de la estadística, que le permite advertir en qué sectores suelen producirse los accidentes para extremar las precauciones.

La innovación tecnológica, recambio de maquinarias, la capacitación de los trabajadores y los controles habituales, son algunas de las actividades vinculadas a la seguridad industrial. Cuidar la vida y la salud del trabajador deber ser una de las prioridades principales de toda empresa, sobre todo si los procesos que se realizan implican riesgos que no pueden evitarse; y los accidentes pueden afectar al trabajador en forma irreversible.

La prevención de riesgos en los procesos, conlleva al conocimiento de los elementos que integran la Seguridad en el trabajo. La seguridad implica instituir medidas de prevención tanto de accidentes como de enfermedades derivadas del trabajo.

La intención del taller es apoyar al trabajador a mantener una vida de satisfacción personal; por medio de que pueda aplicar los procedimientos necesarios de seguridad en su lugar de trabajo; así como establecer un plan de seguridad en conjunto con los directivos de la Unidad. Es importante mencionar que la seguridad se vuelve una necesidad.

Tabla X. **Contenido del taller de Seguridad Industrial**

<p>Municipalidad de Sololá Unidad de Recuperación Ambiental Planta de Tratamiento de Desechos Sólidos Taller de Seguridad Industrial</p> <p>Fecha del Taller: _____ Horario: _____</p> <p>Beneficiarios: trabajadores municipales de la Unidad de Recuperación Ambiental de la Municipalidad de Sololá.</p> <p>Objetivos</p> <ul style="list-style-type: none">• Definir los conceptos básicos de seguridad industrial y su importancia.• Identificar los posibles accidentes que pueden surgir en el área de trabajo y cómo evitarlos.• Seleccionar y utilizar en forma adecuada el equipo de protección personal.• Aplicar los procedimientos de prevención de seguridad industrial para evitar accidentes.• Emplear los conocimientos adquiridos sobre seguridad industrial, en caso de accidentes. <p>Material y equipo a utilizar</p> <p>El taller se realizará en un lugar cómodo y alejado del ruido, con los materiales y equipos indispensables para la inducción del personal, entre los que se pueden mencionar los siguientes.</p> <ul style="list-style-type: none">• Retroproyector o cañonera• Pizarrón y marcadores• Pupitres• Material de apoyo impreso• Equipo de computo

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Contenido del taller

Dinámica de presentación, tanto de los participantes como de los monitores. Incluye la motivación a los participantes, la cual debe ser constante y continua, la cual debe incluir:

- Importancia de la comunicación interpersonal, con el fin de evitar conflictos.
- Cómo vencer las barreras en la comunicación.
- Relaciones humanas.
- El valor que representa el trabajador para la unidad.
- Aplicar técnicas de motivación sobre seguridad industrial.

3.2.2. Conceptos básicos de seguridad industrial

Es necesario que los participantes comprendan los términos relacionados a la seguridad industrial, por lo que se les deberá proporcionar material escrito con los siguientes conceptos, y realizar una explicación de cada uno de ellos para su mayor comprensión:

- Seguridad: es el grado ideal de compenetración del Hombre, consigo mismo y con el medio ambiente que lo rodea, donde su salud, integridad física y la satisfacción de todas sus necesidades, estén garantizadas por un margen del 100 % de probabilidad.

La seguridad es una de las necesidades básicas que debe satisfacer el ser humano; e implica reducir el riesgo a condiciones aceptables. La seguridad busca las acciones a tomar, al momento en que se presente un riesgo.

- Seguridad industrial: es una disciplina que establece normas preventivas con el fin de evitar Accidentes y Enfermedades Ocupacionales-Profesionales, causados por los diferentes tipos de agentes.

La seguridad industrial minimiza los riesgos de tener accidentes laborales; previene daños físicos al trabajador y evita daños a la infraestructura, equipos y procesos de la unidad de trabajo.

- Higiene industrial: es la rama de la medicina preventiva, que trata de los medios que deben usarse en el trabajo, tanto en su ambiente como en sus propias tareas, para evitar daños a la salud de los trabajadores.

Son acciones preventivas que se inician antes que se presente un riesgo o accidente. Su función es vigilar el medio ambiente de trabajo para detectar, controlar y eliminar los factores que presentan peligro, antes que provoquen un daño irreversible.

- Ergonomía: es la moderna ciencia del mejoramiento de las condiciones de trabajo humano, en función de las facultades y limitaciones reales de los hombres que desarrollan su labor productiva. Viene de: Ergón – Género – Trabajo y de Nomos – Ley o Norma.

Es adaptar el trabajo a las necesidades del trabajador, con lo que se busca analizar las condiciones laborales y las lesiones ocasionadas por las malas posturas, movimientos y las fuerzas realizadas; por ende, trata de eliminar los malos hábitos que puedan provocar accidentes. Identifica, analiza y reduce los riesgos laborales; y adapta el puesto de trabajo a la persona que lo utiliza. Además, apoya en la introducción de nueva tecnología y aumenta la motivación del trabajador.

- **Prevención de accidentes:** es la ciencia destinada a evitar los accidentes en todas las actividades de la vida humana.

Son las medidas que se toman a nivel individual como de empresa para impedir o disminuir hechos que ocasionan daños; y tomar las medidas preventivas como, por ejemplo: usar el equipo de protección personal asignado, control de la maquinaria y ambiente de trabajo, entre otros.

- **Riesgos profesionales:** es el grado de probabilidad al cual se enfrenta una persona que le ocurran accidentes o enfermedades ocupacionales-profesionales en o con ocasión del trabajo. **Riesgo:** Umbral del peligro. **Profesión:** oficio al cual se dedica una persona.

En otras palabras, son las situaciones de trabajo que afectan la salud física, mental y social del trabajador. Por lo que son las enfermedades o lesiones provocadas por el trabajo que se realiza.

3.2.3. Accidentes laborales

Es un acontecimiento deseado o no, que trae como resultado un daño físico a la persona o a la propiedad. a consecuencia del contacto con una fuente de energía que sobrepasa la capacidad de resistencia límite del cuerpo o estructura. Los accidentes laborales ocurren por las causas siguientes:

- **Realizar actos inseguros (negligencia):** no utilizar el equipo de protección personal, realizar mantenimientos al equipo en funcionamiento, realizar movimientos inadecuados, entre otros.

- Condiciones inseguras: ventilación e iluminación defectuosa en el área de trabajo, partes móviles de los equipos que presentan riesgo sin protección, herramientas y equipos defectuosos, entre otros.
- Causas personales: desconocer el trabajo que realizar, hábitos inseguros, vicios, entre otros.
- Medio ambiente: es específico dónde se envuelve y desarrolla el trabajador en su vida cotidiana y qué afecta directamente a la actividad que realiza.

Accidente común son las lesiones funcionales o corporales resultantes de la acción violenta de una fuerza exterior, comprendida en un período fuera del horario de trabajo.

Enfermedad ocupacional-profesional son los estados patológicos resultantes del trabajo, causado por el medio ambiente laboral en el cual se encuentra obligado a trabajar, causando un trastorno funcional o lesión en el organismo.

Algunos factores que afectan la enfermedad ocupacional son las condiciones de seguridad y ergonomía, el área de trabajo; la exposición a ambiente contaminado, utilización de equipo y herramientas, características personales del trabajador, temperaturas extremas, ventilación e iluminación deficientes, entre otros.

Enfermedad común es el trastorno funcional del trabajador ocurridos fuera, o si ocasión del trabajo desempeñado.

Acto inseguro es toda violación que comete el ser humano a las normas consideradas seguras en la seguridad industrial. Se presentan cuando no se

siguen los procedimientos correctos para realizar el trabajo, por ejemplo: no utilizar el equipo de protección personal asignado, sobrecargar la maquinaria, quitar los dispositivos de seguridad de los equipos, utilizar aparatos no autorizados, jugar en el área de trabajo, entre otros.

Figura 40. **Actos inseguros**



Fuente: elaboración propia.

Condiciones inseguras son todos aquellos riesgos o peligros mecánicos o físicos, provenientes de máquinas, instalaciones, herramientas, inmuebles, medio ambiente laboral, entre otras, que amenazan la integridad física del trabajador.

Entre las condiciones inseguras se pueden mencionar las siguientes: desorden en el área de trabajo, iluminación y ventilación inadecuada, equipo de protección personal deteriorado o deficiente, equipo y maquinaria sin las protecciones necesarias, cables eléctricos sin la debida protección, entre otros.

Factor personal inseguro es la característica mental que permite ocasionar el acto inseguro, tales como: falta de conocimiento teórico – prácticos, motivación incorrecta, supervisión inadecuada, problemas físicos y mentales, malos hábitos de trabajo, entre otros.

Incidente es un acontecimiento no deseado, que, bajo circunstancias ligeramente diferentes, podría haber resultado en lesiones a las personas, daño a la propiedad o pérdida para el proceso.

Es una alerta que brinda la oportunidad para identificar las causas que generaron el incidente antes que ocurra un accidente. Es importante que cuando se detecte un incidente se busquen las causas que lo generaron, para controlar los riesgos con anticipación. Pueden surgir varios incidentes antes de que ocurra un accidente.

3.2.4. Tipos de accidentes

Las máquinas son peligrosas por naturaleza. Existe un riesgo derivado de la manipulación de las máquinas en general, por lo que debemos considerar la obligatoriedad de que estas reúnan los sistemas de protección más adecuados al tipo de máquina y al sistema de trabajo. Los peligros más frecuentes generados por una máquina se pueden clasificar en:

- Peligro mecánico

Es aquel que puede producir lesiones debidas principalmente a los elementos móviles de la máquina, o de las piezas o material con el que se trabaje. Se puede subdividir en:

- Corte o seccionamiento
- Cizallamiento
- Aplastamiento
- Enganche
- Atrapamiento o arrastre
- Punzonamiento
- Fricción o abrasión
- Proyección de fluido a alta presión

Por el tipo de maquinaria que se utilizará en la planta de tratamiento de desechos sólidos, se debe tener precaución en las partes móviles de la maquinaria, sobre todo en el proceso de trituración.

- Peligro eléctrico

Puede producir lesiones o la muerte debido al choque eléctrico. También pueden producirse quemaduras internas y/o externas.

- Peligro térmico

Pueden originarse quemaduras por contacto con materiales o piezas a temperaturas extremadamente frías o muy calientes.

- Peligro producido por la exposición a ruido

La exposición continua a ruido puede ocasionar en unos casos pérdida permanente de audición, y en otros, fatiga, estrés y trastornos generales. Dificulta los procesos de comunicación y puede invalidar, en algunos casos, las señales acústicas utilizadas para avisar de algún otro peligro o de una situación

de emergencia. En este caso, es indispensable utilizar los protectores de oídos, por el ruido constante ocasionado por la cribadora y la trituradora, dispositivo que forma parte del equipo de protección personal asignado y de uso obligatorio.

- Peligros producidos por la exposición a vibraciones

Pueden ocasionar trastornos musculares (mano, lumbago, ciática), además de trastornos de tipo neurológico y vascular.

- Peligro debido a las radiaciones

Peligro debido a la exposición a sustancias peligrosas y a la emisión de polvo, gases, entre otros. Estos pueden desprenderse en el procesado de los materiales, ocasionando riesgo higiénico para los operarios que pudieran inhalarlos o entrar en contacto con ellos. Es por ello que es necesario que se utilice en forma adecuada el equipo de protección personal, para evitar enfermedades y posibles accidentes.

- Peligros debidos a defectos ergonómicos

El operador puede sufrir trastornos físicos por la adopción de posturas incorrectas o la necesidad de realizar esfuerzos mayores que los que serían propios de la tarea. Es indispensable orientar al trabajador para corregir o aprender sobre las mejores condiciones en su área de trabajo.

3.2.5. Medidas de protección

El taller representa una de las medidas de protección para el trabajador, ya que se les proporcionará los medios y el equipo indispensable para evitar accidentes, entre las cuales se pueden mencionar:

- Compromiso de la dirección para velar por la seguridad y bienestar del trabajador.
- Uso adecuado del equipo de protección personal asignado.
- Análisis de los posibles riesgos a los que están expuestos.
- Mantener orden y limpieza en el área de trabajo.
- Seguir las especificaciones técnicas de la máquina.
- Los resguardos de seguridad de las máquinas no deben quitarse.
- Realizar inspecciones de seguridad periódicas.
- Inducción a los nuevos trabajadores sobre seguridad.
- Mantener una postura correcta durante la manipulación de la maquinaria y herramienta.

3.2.6. Demarcación y señalización de áreas

La señalización es el conjunto de estímulos que condicionan la actuación del individuo que los recibe frente a unas circunstancias (riesgos, protecciones necesarias a utilizar) que se pretende resaltar. En otras palabras, es la acción y efecto de señalar a través de símbolos, figuras o elementos en lugares específicos, y que esas señales transmitan algún tipo de información que pretenda ser distinguido o advertido por quien lo perciba.

La señalización de seguridad es un mecanismo de control de riesgos, conformado por un sistema de señales relacionadas a objetos, actividades o

situaciones determinadas, y que proporcionen indicaciones, orientaciones u obligaciones referidas a la seguridad y salud en el trabajo.

Se debe realizar una adecuada planificación para la señalización de todas las áreas y secciones de la unidad, así como áreas destinadas al almacenamiento y circulación, gradas, ubicación de máquinas y equipos, instalación de equipos contra incendio, y darles el debido mantenimiento a las señales instaladas.

La señalización debe captar la atención sobre la presencia de riesgos, prohibiciones u obligaciones, según el área en que se encuentren ubicadas. Además, debe proporcionar información sobre la localización de medios de protección, evacuación o primeros auxilios en caso de accidentes.

Figura 41. **Obligar al trabajador a utilizar el equipo de protección personal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Instalación del equipo contra incendios**



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Salidas de emergencia**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Rutas de evacuación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Al ingresar al área de máquinas



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. En el área donde se encuentran ubicados los equipos de trituración y cribación



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. En la ubicación del botiquín



Fuente: elaboración propia.

3.2.7. Evaluación

Para realizar la evaluación del taller de seguridad industrial es necesario verificar lo siguiente:

- Si produjo beneficios para la planta de tratamiento de desechos sólidos y los resultados compensan los costos.
- Si proporciona un valor agregado a la Unidad y los usuarios.
- Si produjo cambios en el comportamiento de los participantes en el trabajo.
- Si aporta satisfacción y mejora la actitud del trabajador en su ambiente laboral.
- Escribir lo positivo y lo negativo que sucedió en el taller, así como los aspectos que se deben mejorar.

3.3. Presentación de mejoras y avances

Toda capacitación representa mejoras y avances, tanto para el trabajador como para la empresa, en este caso se pueden mencionar los siguientes:

- Fortalece el trabajo en equipo.
- El liderazgo se inicia a desenvolver.
- Se incrementa la lealtad del trabajador hacia la Unidad.
- Mejora las habilidades de comunicación y vence las barreras.
- Se mejora el desempeño del trabajador, y se siente más útil.
- La satisfacción del trabajador se incrementa con lo que hace.
- Desarrollo de las habilidades de los trabajadores, lo cual conlleva producir más sin menos errores.

- Motiva al trabajador en forma constante, y se gana su lealtad hacia la empresa.
- Los trabajadores son capaces de tomar decisiones y darles solución a los problemas cotidianos.
- Es un medio para formar líderes.
- Se incrementa el grado de satisfacción con el puesto.

Después de realizar el esfuerzo por parte de la Municipalidad de Sololá en ejecutar talleres de capacitación para los trabajadores de la planta de tratamiento de desechos sólidos, por la instalación de nuevos equipos para la trituración y cribación, se pueden mencionar mejoras y avances de acuerdo a los resultados siguientes:

- Mejoramiento de la productividad, que incluye la producción, la eficiencia, innovación, tecnología y nuevos métodos de trabajo.
- Incremento del trabajo en equipo y comunicación.
- Desarrollo de las habilidades de los trabajadores, las cuales están al servicio de la empresa.
- Se genera un buen clima de trabajo, cada uno es responsable de la actividad que desempeña.
- Incremento de la satisfacción laboral, por la motivación recibida y progreso en el puesto de trabajo.
- Incremento de la tecnología, al instalar los equipos de trituración y cribación en la planta de tratamiento de desechos sólidos.

3.4. Presentación de resultados finales

De acuerdo a los datos estadísticos relacionados a las cantidades de desechos sólidos generados en el municipio de Sololá, y con los equipos de

trituration y cribación elegidos, se incrementó la recolección de los desechos sólidos, así como la maduración eficaz del compostaje, debido a la clasificación de la materia prima y la trituración del desperdicio de tamaño mayor. A continuación, se realiza un análisis FODA de los resultados obtenidos:

- Fortalezas
 - Desarrollo de habilidades y destrezas en los trabajadores.
 - Conocimientos adquiridos de suma importancia para su desempeño.
 - Probabilidad de ascensos dentro de la unidad.
 - Maquinaria nueva instalada para aprender.
 - Integración de la Unidad con la población.
 - Nueva tecnología que apoyará a la maduración eficaz del compostaje.
 - Utilizar el equipo de trituración y cribación para reciclar otro tipo de desechos.

- Debilidades
 - Presupuesto mínimo para la instalación de los nuevos equipos
 - Poco presupuesto para llevar a cabo los talleres de capacitación
 - Costo elevado del equipo de protección personal
 - Costo elevado de la señalización industrial a implementar
 - Infraestructura limitada

- Oportunidades
 - Creación de nuevos empleos

- Búsqueda de nuevas alternativas
- Cuidado del medio ambiente por medio del reciclado
- Reconocimientos por haberse tecnificado

- Amenazas
 - Falta de cooperación por parte de los pobladores del municipio en reciclar los desechos.
 - Cambios en el entorno.
 - Pérdida de recursos.

CONCLUSIONES

1. Con el desarrollo de la investigación y las prácticas supervisadas en la municipalidad de Sololá, se trabajó directamente en el vertedero municipal, estableciendo la clasificación de materiales orgánicos, inorgánicos y de riesgo biológico (desechos médicos o desechos hospitalarios), con la finalidad e intención de que sean procesados según sus propiedades físicas y químicas por cada categoría.
2. Se diseñó un método de planeación agregada que se enfoca en una estimación global de la producción de compostaje, de forma tal que se cumpla con lo proyectado como con los suministros necesarios para este período, manteniendo costos mínimos y que el beneficio conserve un nivel de servicio óptimo aprovechando al máximo los recursos disponibles.
3. El equipo disponible dentro de las instalaciones de la municipalidad de Sololá, el vertedero municipal y herramienta indispensable para el uso adecuado del manejo de desechos humanos, fueron supervisados, evaluados y engrasados según los datos del fabricante de cada uno.
4. La implementación de la trituradora y cribadora dependerá del análisis en conjunto de las máximas autoridades de la municipalidad de Sololá. Con el desarrollo del trabajo se plantearon los beneficios a corto, mediano y largo plazo.
5. La máquina seleccionada cumple con las especificaciones técnicas solicitadas por el alcalde, predominando la longitud de banda de 2 metros,

esta fue el punto central del proyecto que no podía ser negociado o sustituido.

RECOMENDACIONES

1. Implementar y dar continuidad a las propuestas del presente trabajo, por el beneficio económico, ordenamiento y control de las actividades para la instalación y uso de la trituradora y cribadora, además de dotar del apoyo necesario a beneficio de la comunidad y la jefatura de la municipalidad de Sololá.
2. Para que sea posible ejecutar la propuesta se analizarán los costos presentes en insumos, materiales y mano de obra, haciendo una evaluación situacional de los recursos de que disponía la municipalidad que pudiesen ser utilizados en la implementación. Se validó y evidenció que únicamente se podrá disponer de la mano de obra, ya que motores, insumos, equipo especial y programas similares son inexistentes.
3. Se deben mantener actualizados los cuadros de indicadores, ya que estos mostrarán la capacidad de producción para cada proceso, y así de esta forma elaborar un programa de producción viable, realizable con costos mínimos y eficiente en la utilización de los recursos.
4. Es importante evaluar periódicamente el funcionamiento del sistema de planificación de la producción, así como el plan de mantenimiento preventivo, para que estos respondan ante la demanda cambiante de un mercado competitivo.
5. Instalar y emplear la máquina seleccionada que logró cumplir con los objetivos y especificaciones proporcionados por el alcalde.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agroterra. *Trituradora de piedra*. [en línea]. <<https://www.agroterra.com/s/trituradora+de+piedra>>. [Consulta: enero de 2021].
2. Apuntes de Ingeniería Mecánica. *Quijadas de trituradoras*. [en línea]. <<http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/01/trituradoras-quiјadas-i.html>>. [Consulta: octubre de 2020].
3. _____. *Trituradora de rodillos*. [en línea]. <<https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradora-de-rodillos-iii.html>>. [Consulta: octubre de 2020].
4. BLANCO, Emilio. *Clasificación de cribado*. [en línea]. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/9._clasificacion_cribado.pdf>. [Consulta: octubre de 2020].
5. BUSO, Magdalena. *¿Cómo determinamos nuestras necesidades de personal?* [en línea]. <<http://www.actiongroup.com.ar/como-determinamos-nuestras-necesidades-de-personal/>>. [Consulta: octubre de 2020].
6. Conciencia Eco. *¿Qué es el compostaje?* [en línea]. <<https://www.concienciaeco.com/2013/07/19/que-es-el-compostaje/>>. [Consulta: enero de 2021].

7. Corporación Municipal de Sololá. *Plan del municipio de Sololá con enfoque territorial, género y pertinencia cultural 2011-2018*. Sololá, Guatemala: 53 p.
8. ESTEBAN CÁRDENAS, Franklin. *Apuntes sobre trituración*. [en línea]. <<https://www.slideshare.net/franklinsitoesteban/05-apunte-trituracion-69430240>>. [Consulta: octubre de 2020].
9. Federación de Trabajadores de la Enseñanza. *Portal de los riesgos laborales de los trabajadores de la enseñanza*. [en línea]. <<https://riesgoslaborales.feteugt-sma.es/portal-preventivo/riesgos-laborales/riesgos-relacionados-con-la-hergonomia/ergonomia/>>. [Consulta: junio de 2020].
10. Formats Construction Machinery Co., Ltd. *Trituradoras de roca*. [en línea]. <<http://trituradoras-de-roca.com/noticias/1547.html>>. [Consulta: octubre de 2020].
11. Global Sources. *Información de la empresa*. [en línea]. <<https://globalsources.com>>. [Consulta: octubre de 2020].
12. Hidronor. *Cómo afectan los residuos sólidos al medio ambiente*. [en línea]. <<https://www.hidronor.cl/afectan-los-residuos-solidos-al-medio-ambiente/>>. [Consulta: octubre de 2020].
13. JARA RIOFRÍO, Marco. *Información sobre Slide Player*. [en línea]. <<https://slideplayer.es/slide/1075365/>>. [Consulta: octubre de 2020].

14. JULALUJ, Ángel. *Planta en San Juan la Laguna ayudará a reducir contaminación del Lago de Atitlán*. [en línea]. <<https://www.prensalibre.com/ciudades/solola/lago-de-atitlan-planta-en-san-juan-la-laguna-ayudara-a-reducir-contaminacion/133974/>>. [Consulta: octubre de 2020].
15. MARTES, Leonela; DE LA CRUZ, Alcairis; VALDEZ, Diego. *Trituración y moliendas*. [en línea]. <<https://es.slideshare.net/sharo007/trituracin-y-moliendas>>. [Consulta: octubre de 2020].
16. Meka Global. *Triturador de impacto de eje vertical*. [en línea]. <<https://www.mekaglobal.com/es/productos/trituradores-y-cribas/trituradores/triturador-de-impacto-de-eje-vertical>>. [Consulta: octubre de 2020].
17. Metso. *Información sobre la institución*. [en línea]. <<https://www.metso.com/>>. [Consulta: octubre de 2020].
18. Municipalidad de Sololá. *Información sobre la Institución*. [en línea]. <<http://municipalidaddesolola.org/>>. [Consulta: enero de 2021].
19. PAREDES GUERRA, Alfredo. *Mecanotecnia*. [en línea]. <<https://mecanotecnia.blogspot.com/2017/04/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>>. [Consulta: octubre de 2020].
20. PEÑALOZA, Jonathan. *Proceso de trituración*. [en línea]. <<https://prezi.com/m3e8e3ncevbl/proceso-de-trituracion>>. [Consulta: octubre de 2020].

21. QUESADA CASTRO, María del Rocío. *Estudio del trabajo*. Bogotá, Colombia: Editorial ITM, 2007. 152 p.
22. QuimiNet. *Funcionamiento y características de la trituradora de mandíbula*. [en línea]. <<https://www.quiminet.com/articulos/funcionamiento-y-caracteristicas-de-la-trituradora-de-mandibula-2653608.htm>>. [Consulta: octubre de 2020].
23. ROMÁN, Pilar. *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: ONU, 2013. 198 p.
24. SÁEZ, Alejandrina. *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Venezuela: Revista Omnia, vol. 20. Mum.3. 2014, 16 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Cotización de repuestos para trituradora de desechos orgánicos para la Municipalidad de Sololá



TIPSA

TROQUELADOS INDUSTRIALES DE PRECISIÓN

Nombre	Municipalidad de Sololá	Guatemala 29 de enero del 2018
Atención	Luis Fernando Cordón Ruiz	
Teléfono		
Cotización No. 586		Página 1 de 2

Fabricación de componentes para trituradora de desechos orgánicos para la municipalidad de Sololá los trabajos a realizar se detallan a continuación:

Cantidad	Descripción	Unitario	TOTAL
1	Chaveta eje cuadrado de 20 mm x 2 metros en acero para cuña	Q 1,890.00	Q 1,890.00
1	Chaveta engranaje cuadrado de 20 mm x 100 mm elaborada en acero para cuña	Q 450.00	Q 450.00
50	Disco no.1 con diámetro máximo de 430mm y 20mm espesor en acero A36 con recubrimiento de electrodo anti desgaste ecadur 10 y rectificado con disco los filos, centro de 10 mm diámetro con cuñero y filos a 72 grados según diseño plano no.8	Q 825.00	Q 41,750.00
50	Disco no.2 con diámetro máximo de 430mm y 20mm espesor en acero A36 con recubrimiento de electrodo anti desgaste ecadur 10 y rectificado con disco los filos a 18 grados según diseño plano no 9	Q 825.00	Q 41,750.00
100	Disco no.3 con diámetro externo de 230mm interno de 100mm con cuñero espesor de 20 mm elaborado en acero A36 según plano no.10	Q 365.00	Q 36,500.00
2	Eje No.1 diámetro de 100mm largo de 237.5 cm elaborado en acero 705 contiene cuñero y rectificado de medida	Q 12,500.00	Q 25,000.00
2	Engranaje de 32 dientes rectos diámetro de 337mm largo de 50 mm elaborado en acero 7210 y tratamiento termo químico de cementado con certificado de dureza	Q 21,800.00	Q 43,600.00
100	Limpiador No.1 según plano no. 4 medidas máximas 160 x 430 mm en platina de 20mm en acero A36	Q 400.00	Q 40,000.00
100	Limpiador No.2 según plano no. 5 medidas máximas 320 x 430 mm en platina de 20mm en acero A36 según plano no.4	Q 670.00	Q 67,000.00
2	Tapadera no. 1 según plano no. 1 con dimensiones de 630mm x 970mm con espesor 1.5cm cotizado en lamina de 5/8 de espesor	Q 2,400.00	Q 4,800.00

Continuación de apéndice 1.



TIPSA

TROQUELADOS INDUSTRIALES DE PRECISIÓN

Nombre	Municipalidad de Sololá	Guatemala 29 de enero del 2018
Atención	Luis Fernando Cordón Ruiz	
Teléfono		
Cotización No. 586		Página 2 de 2

2	Tapadera no. 2 según plano no. 2 con dimensiones de 630mm x 970mm con espesor 1cm cotizado en lamina de 1/2 de espesor contiene agujeros y 4 dobleces a 90 grados	Q 3,300.00	Q 6,600.00
2	Tapadera no. 3 según plano no. 3 con dimensiones de 630mm x 2160mm con espesor 1cm cotizado en lamina de 1/2 de espesor contiene agujeros y 2 dobleces a 90 grados	Q 3,700.00	Q 7,400.00
Trescientos dieciséis mil setecientos cuarenta quetzales exactos			Q 316,740.00

Nota:

Para reducir costo de mano de obra en la fabricación de componentes y reducir desperdicios de material tomar en cuenta que los espesores de 20 mm se cotizo con lamina A36 de 1 pulgada teniendo que rebajar la medida 5.5 mm implicando desperdicio de material y más horas de trabajo se recomienda:

- Sobre dimensionar las componentes dejándolos de 25.4mm de ser necesario se puede rectificar 1mm de las caras reduciendo mano de obra
- De no ser necesario rectificar las caras del material se puede trabajar con lamina A36 de ¾ de pulgada los componentes quedarían de 19.1mm de espesor reduciendo costo de material y maquinado

Tiempo estimado de fabricación 60 días

Esta cotización tiene valides 20 días

Forma de pago 50% anticipo y 50% contra entrega

Observación. Nuestro precio incluye impuestos, mano de obra, materiales y equipo. Los trabajos se realizarán bajo normas sanitarias y seguridad, el personal es calificado para realizar estos tipos de trabajos y equipo que se utilizará es apto y adecuado para la realización de los trabajos. Esta cotización no incluye ningún trabajo no mencionado en ella.

En espera de su respuesta, atentamente

Ing. Leonardo Recinos Reyes

Coordinador de proyectos

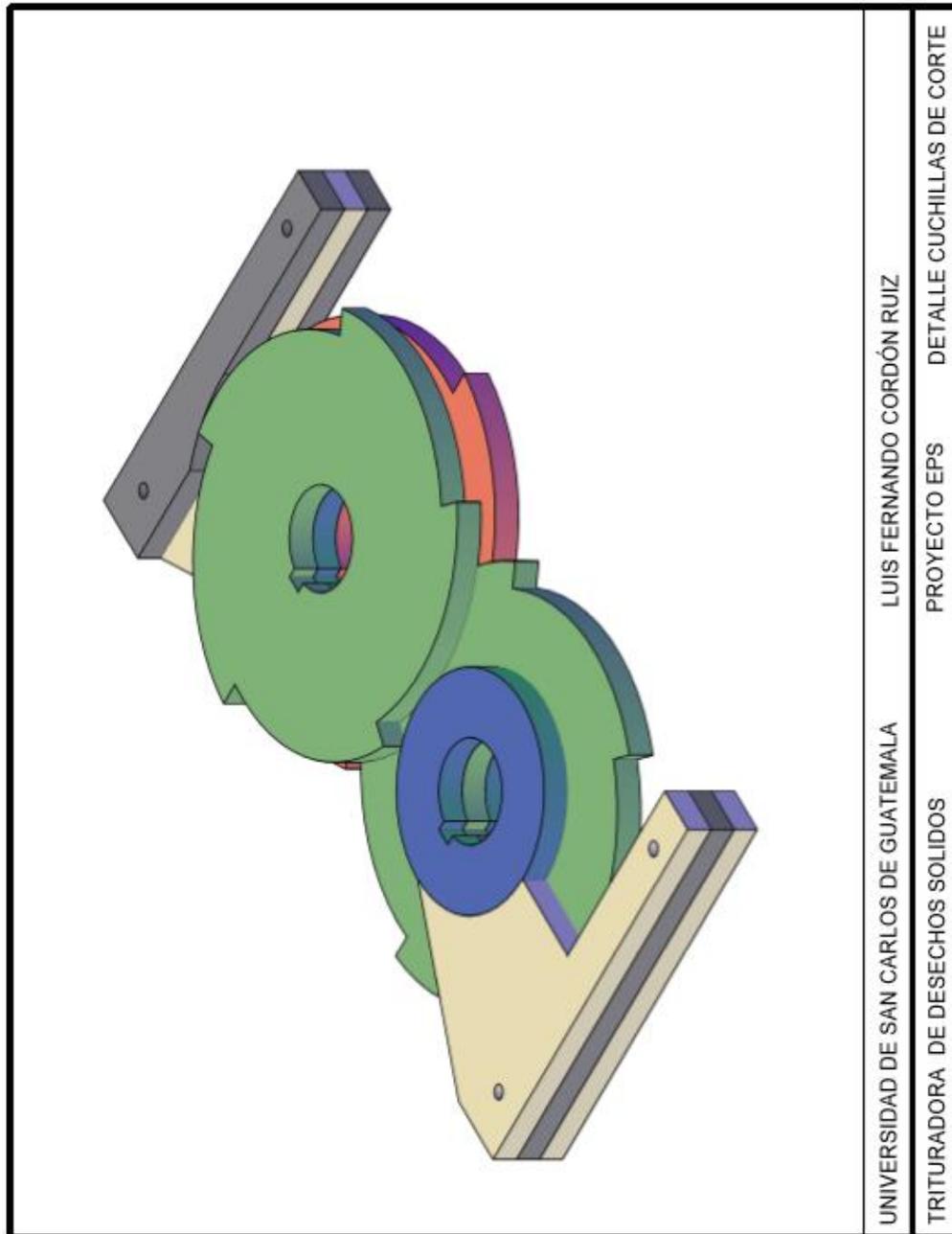
E-mail: leonardorecinos@gmail.com cel: 58347922

www.tipsaindustrial.com

Km. 17.5 carretera a villa canales, zona 6 los Alamos Sn. Miguel Petapa

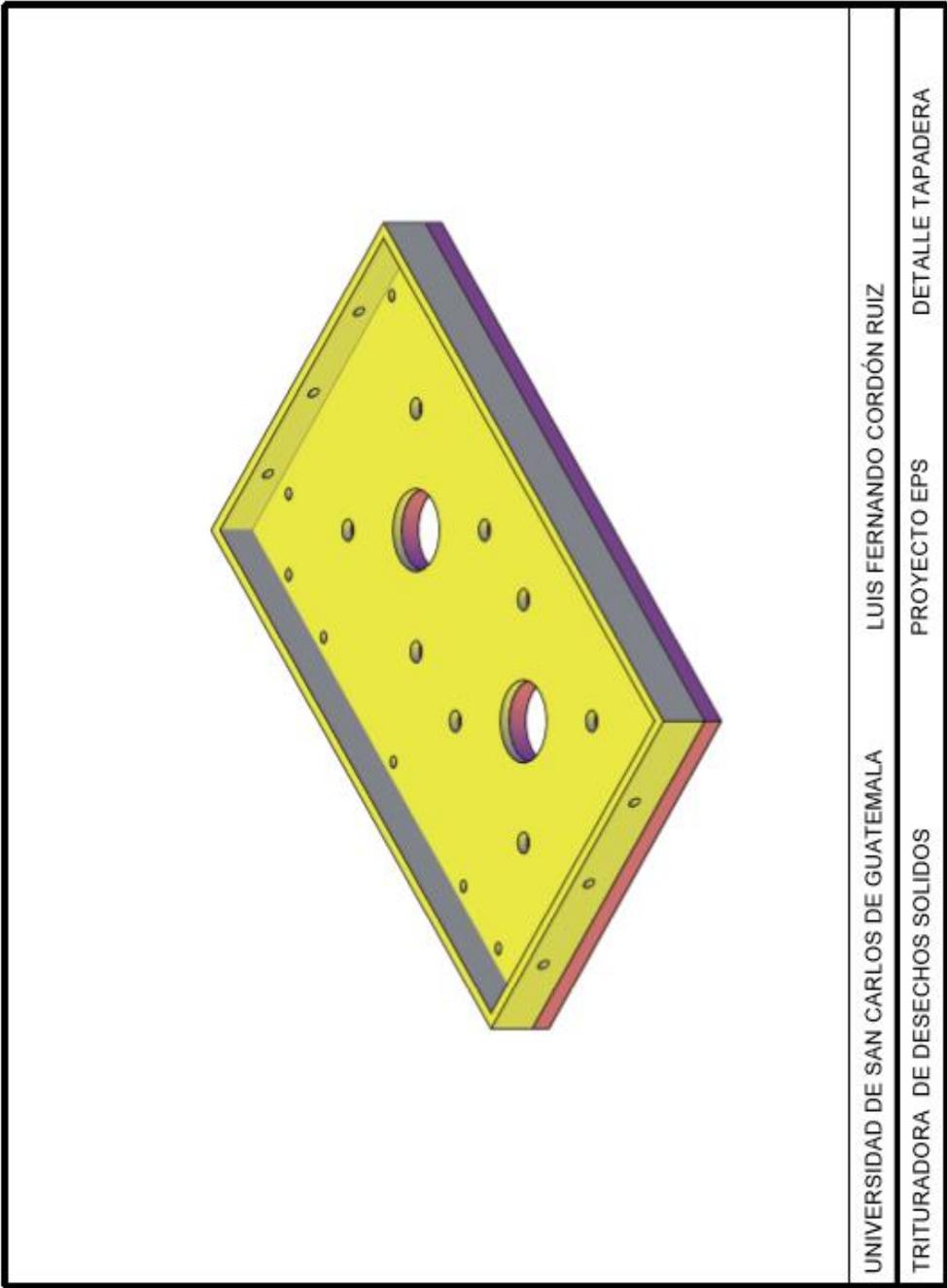
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Plano de cuchillas de corte propuesto y mejorado para repuesto**



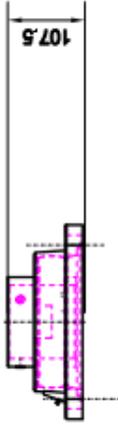
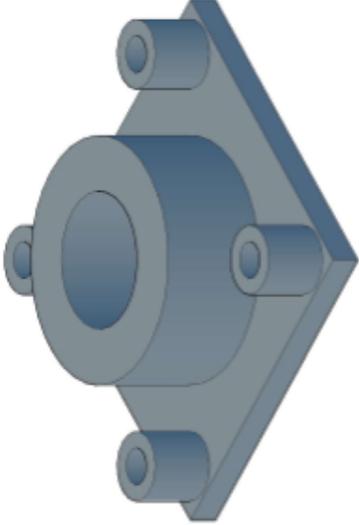
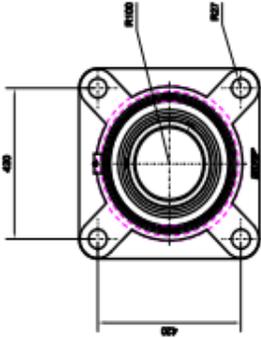
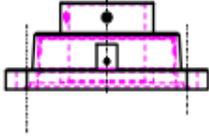
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Tapadera de la trituradora propuesta y mejorada para repuesto



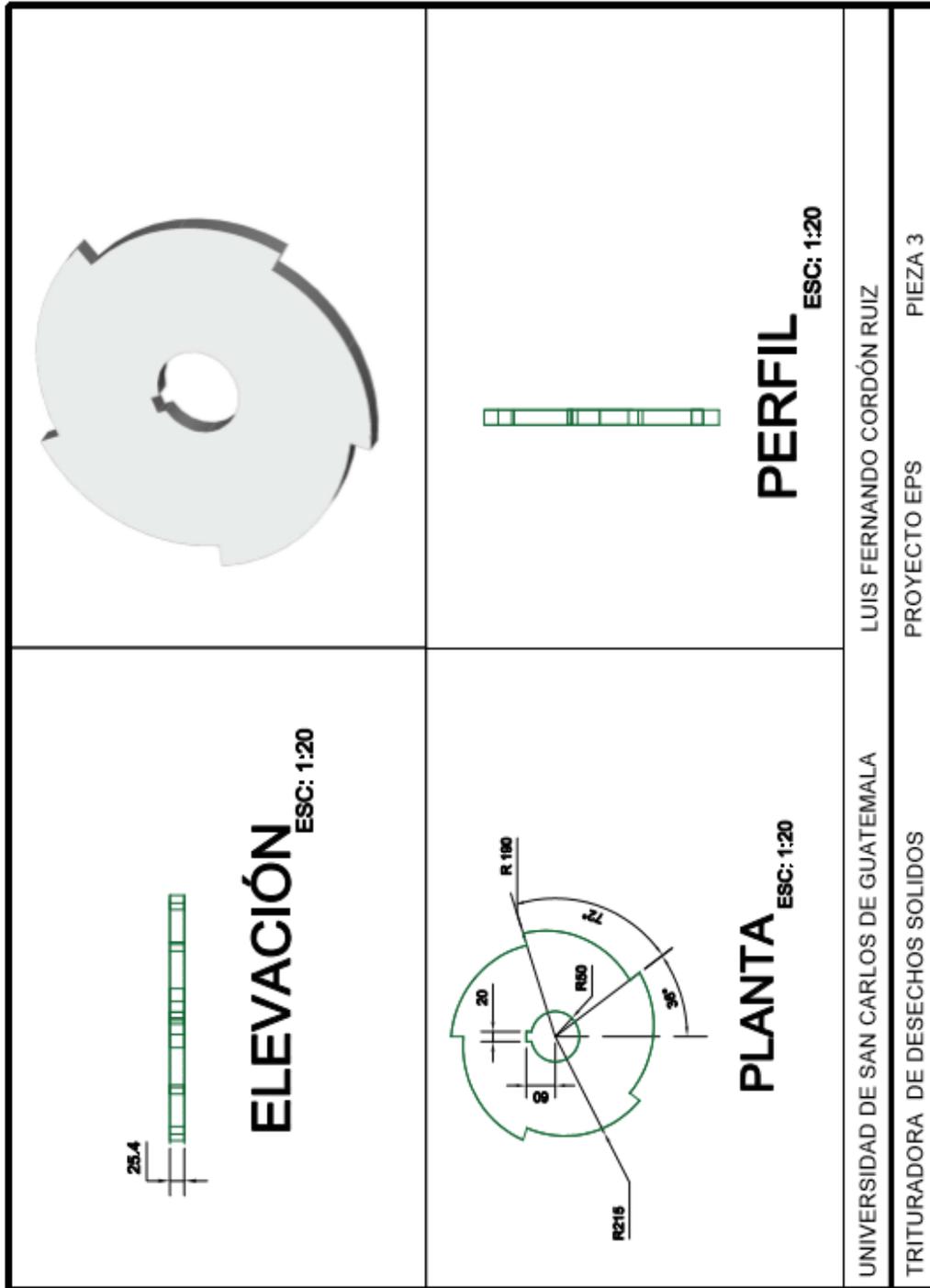
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Elemento rodante propuesto y mejorado para repuesto

 <p>ELEVACIÓN ESC: 1:20</p>		
 <p>PLANTA ESC: 1:20</p>	 <p>PERFIL ESC: 1:20</p>	
<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>		<p>LUIS FERNANDO CORDÓN RUIZ</p>
<p>TRITURADORA DE DESECHOS SOLIDOS</p>		<p>PROYECTO EPS FYJ 100 TF SKF</p>

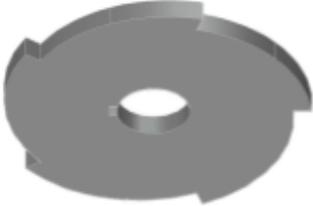
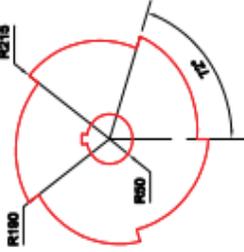
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Plano de pieza 3



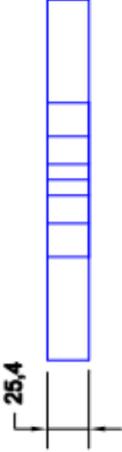
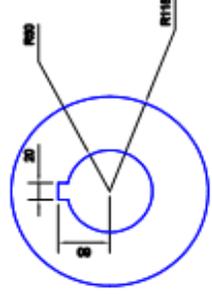
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Plano de pieza 4

 <p>ELEVACIÓN ESC: 1:20</p>		
 <p>PLANTA ESC: 1:20</p>	 <p>PERFIL ESC: 1:20</p>	
<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>		<p>LUIS FERNANDO CORDÓN RUIZ</p>
<p>TRITURADORA DE DESECHOS SOLIDOS</p>		<p>PROYECTO EPS</p> <p>PIEZA 4</p>

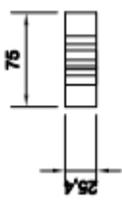
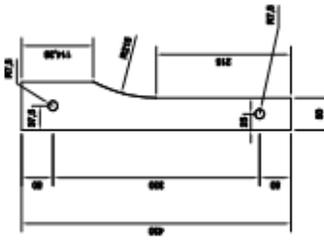
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Plano de pieza 5

 <p>ELEVACIÓN ESC: 1:10</p>	
 <p>PLANTA ESC: 1:10</p>	 <p>PERFIL ESC: 1:10</p>
<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>	
<p>TRITURADORA DE DESECHOS SOLIDOS</p>	
<p>LUIS FERNANDO CORDÓN RUIZ</p>	
<p>PROYECTO EPS</p>	
<p>PIEZA 5</p>	

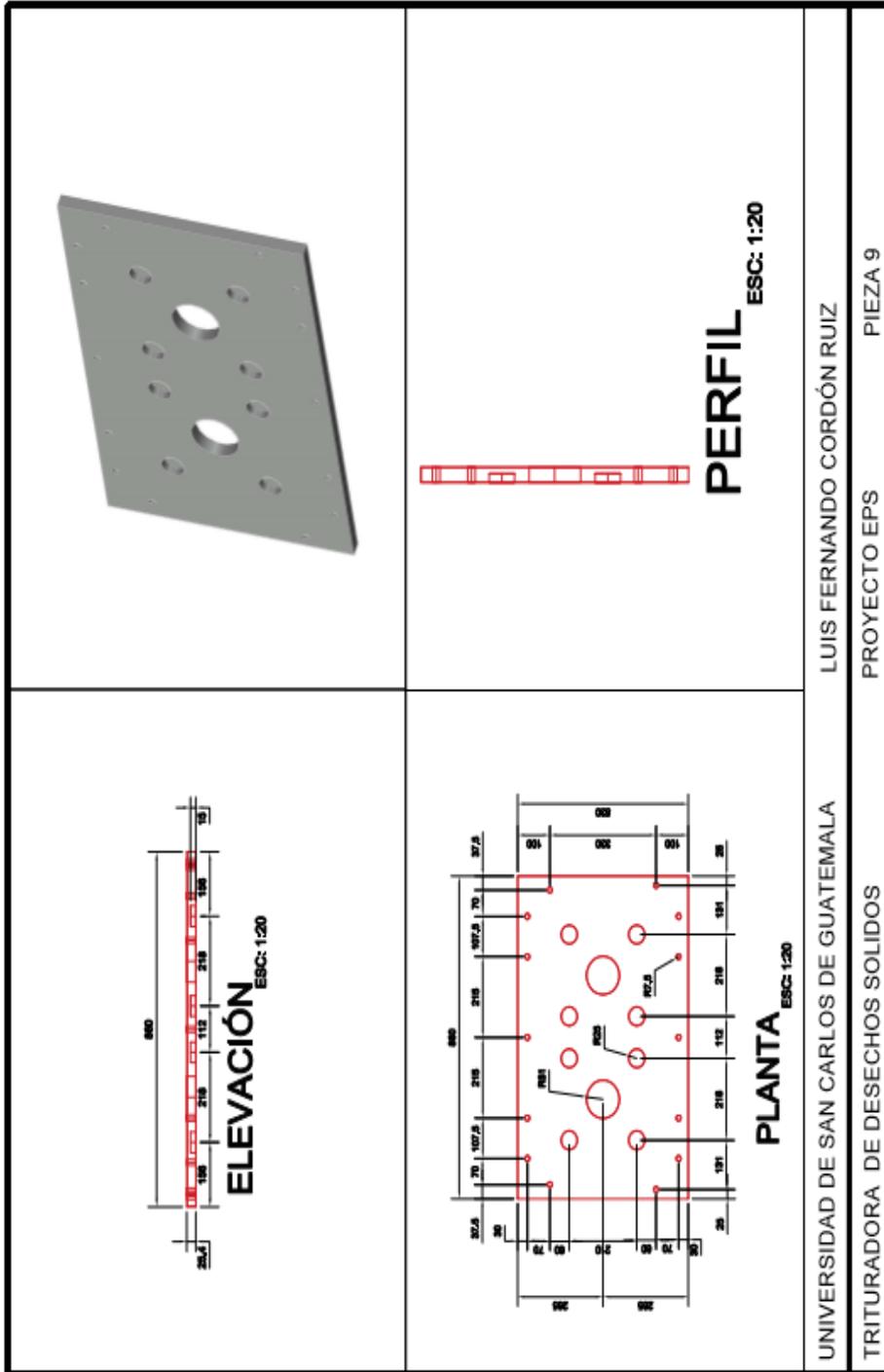
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Plano de pieza 6

 <p>ELEVACIÓN ESC: 1:10</p>		
 <p>PLANTA ESC: 1:10</p>	 <p>PERFIL ESC: 1:10</p>	
<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>		<p>LUIS FERNANDO CORDÓN RUIZ</p>
<p>TRITURADORA DE DESECHOS SOLIDOS</p>		<p>PROYECTO EPS PIEZA 6</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Elaboración de pieza 9



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. Ficha técnica de acero SISA A2



SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción verde blanco

CARACTERÍSTICAS
 Acero grado herramienta de media aleación (medio carbón, medio cromo), de temple al aire que alcanza durezas de 60-62 HRC. Su resistencia al desgaste es entre los aceros temple al aceite (O1) y los aceros de alto cromo / carbón (D2). Al ofrecer la combinación de buena tenacidad así como moderada resistencia al desgaste, se ha usado ampliamente por muchos años en una variedad de aplicaciones de trabajo en frío que requieren buena resistencia a la abrasión pero en donde los aceros de alto cromo / carbón sufren despostillado o fractura.
 El acero SISA A2 es de fácil maquinado en estado recocido y como los otros aceros herramienta de temple al aire, exhibe mínima distorsión durante al temple, haciéndolo una excelente elección para herramientas de configuración complicada.

APLICACIONES TÍPICAS

Estampado y Formado Matrices y Punzones Troquelado y Perforado Troquelado Fino Dados para Acusado Herramientas de Roscado Herramientas para Rebabeo Insertos para Moldes	Partes de Desgaste Dados de Laminación Punzones para Pastillas Farmacéuticas Cuchillas para Corte de Chatarra y Sitters Herramientas para Embutido
---	--

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
1.00	0.85	0.30	5.25	1.10	0.25

NORMAS:

SAE / AISI	DIN	JIS
A2	1.2363	SKD 12

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES
 El Acero SISA A2 puede ser nitrurado, recubierto con TiN (nitruro de titanio) o cromo duro. Cuando se utilizan recubrimientos superficiales, templar al rango de temperaturas altas de austenización y revenir a la misma temperatura o superior a la del tratamiento superficial.



PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad 30 psi x 10⁶ (207 GPa)
Densidad 76861 kg/m³ (0.284 lb/in³)
Conductividad Térmica

	BTU/hr-ft ² -°F	W/m ² -K	cal/cm-s-°C
a 95°C (200°F)	15	25	0.0520

Coefficiente de Dilatación Térmica

°C	°F	mm/mm-°C	in/in-°F
20-260	70-500	10.6x10 ⁻⁶	5.91x10 ⁻⁶
20-425	70-800	12.9x10 ⁻⁶	7.19x10 ⁻⁶
20-540	70-1000	14.0x10 ⁻⁶	7.76x10 ⁻⁶
20-650	70-1200	14.2x10 ⁻⁶	7.91x10 ⁻⁶

PROPIEDADES MECANICAS

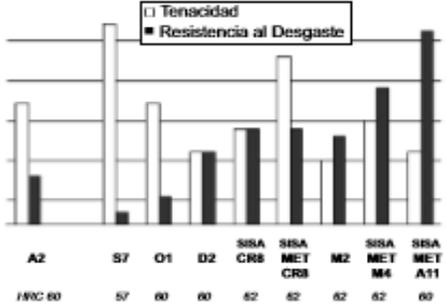
	Temperatura ⁽¹⁾ de Temple °C	Temperatura ⁽¹⁾ de Temple °F	Dureza HRC	Resistencia ⁽²⁾ al Impacto ft.-lb. (J)	Resistencia ⁽⁴⁾ al Desgaste Adhesivo
A2	955	1750	60	40 (53)	2-3
S7	955	1750	57	125 (165)	1
D2	1010	1850	60	21 (28)	3-4
SISA CR8	1065	1950	62	30 (40)	5-6
SISA-MET CR8	1065	1950	62	70 (95)	5-6
M2	1120	2050	62	20 (27)	8-10
SISA-MET M4	1120	2050	62	32 (43)	20-25
SISA-MET A11	1175	2150	63	14 (19)	90

(1) Tratamiento Térmico: Templado según se indica con revenido a la dureza.
 (2) Prueba de Impacto Estalla Charpy C.
 (3) Valores relativos.
 (4) El número mayor representa resistencia al desgaste superior.

CAMBIO DIMENSIONAL DURANTE TRATAMIENTO TÉRMICO

Temperatura de Temple		Temperatura de Revenido		Dureza	Cambio Longitudinal en Medida
°C	°F	°C	°F	HRC	%
970	1775	205	400	61	+0.07
970	1775	260	500	59	+0.10
970	1775	315	600	58	+0.09

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES



Grado	Tenacidad	Resistencia al Desgaste
A2	40	2-3
S7	125	1
O1	21	3-4
D2	30	5-6
SISA CR8	70	5-6
SISA MET CR8	20	8-10
M2	32	20-25
SISA MET M4	14	90
SISA MET A11	14	90

HRC: 60, 57, 60, 60, 62, 62, 62, 62, 60

Note: Las aplicaciones indicadas son típicas. No se debe intentar su aplicación específica sin un estudio independiente y una evaluación de funcionalidad.

Continuación de anexo 1.

SISA A2

TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjar

1050-850°C (1920-1560°F)

No forjar por debajo de 825°C (1520°F), enfriamiento lento en horno o material termoaislante.

Recocer

Calentamiento a 870°C (1600°F), mantener 2 horas, enfriamiento lento 30°C (50°F) por hora hasta alcanzar 650°C (1200°F), posterior enfriamiento al aire.

Recocido alternativo Calentamiento a 870°C (1600°F), mantener 2 horas, enfriamiento a 760°C (1400°F), mantener 6 horas, posterior enfriamiento al aire.

Dureza en Estado Recocido BHN 197/241

Relevado de Tensiones

Material Recocido 650-675°C (1200-1250°F) Mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Material Templado Calentar 15-30°C (25-50°F) por debajo de la temperatura de revenido, mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Recomendable para reducir las tensiones causadas por un extenso maquinado en caso de herramientas de configuración complicada y para reducir las tensiones después de un proceso de electro-erosión.

Enderezado

Preferible a 205-425°C (400-800°F).

TEMPLE

Precalentar

595-650°C (1100-1250°F) - Normalizar, posteriormente a 730-790°C (1350-1450°F) - Normalizar.

Temple (Austenización)

955-980°C (1750-1800°F) - Mantener 30 a 45 minutos a temperatura.

Enfriamiento

Al aire, aceite o enfriamiento con presión positiva (2 bar mínimo) a 150°F (65°C). Tratamiento en baño de sales, cuando es práctico, asegura la máxima tenacidad alcanzable para un tratamiento térmico. Revenir inmediatamente.

Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica y aplicaciones, acudir al departamento técnico de SISA.

Revenir

205-540°C (400-1000°F) - Doble revenido es necesario. Revenir por un mínimo de 2 horas por cada revenido o por lo menos 1 hora por cada pulgada (25 mm) de espesor para secciones arriba de 2" (50 mm) de espesor. Enfriar a temperatura ambiente entre revenidos.

RESPUESTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO

Dureza y Tenacidad al Impacto

Temperatura de Revenido	HRC	Entalla Charpy C	
		Ft. lbs.	Joules
Temple al Aire	64	—	—
150°C - (300°F)	62	—	—
205°C - (400°F)	61	31	42
260°C - (500°F)	60	41	56
315°C - (600°F)	59	37	50
380°C - (700°F)	58	33	45
425°C - (800°F)	58	31	42
480°C - (900°F)	58	29	39
540°C - (1000°F)	55	41	56

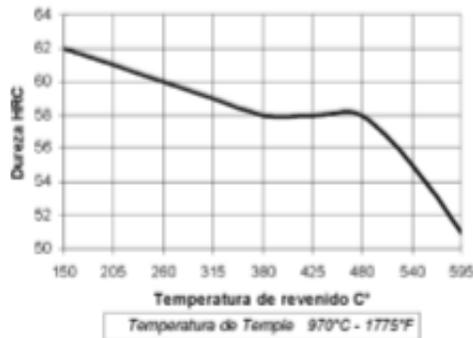
Temple a 970°C (1775°F) Enfriamiento al Aire

Los resultados pueden variar dependiendo del método de temple y el tamaño de la pieza. Enfriamiento al vacío o en atmósfera puede resultar hasta en 1-2 puntos HRC menos.

MAQUINABILIDAD Y RECTIFICABILIDAD

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 50% de un acero tipo W1 (1% C).

DIAGRAMA DE REVENIDO



ACEROS
SISA Servicio Industrial, S.A. de C.V.
 www.acerosisa.com.mx

Aceros Especiales Grados Herramienta y Maquinaria
Aceros SISA-MET® de Metalurgia en Polvo (PM)
Piezas Industriales Forjadas

Ciudad de México: Naranjos 6 - Col. San Francisco Cuauhtlapan, Naucalpan - cp 53569, Estado de México
 Tel - (55) 5576-4011 Fax - (55) 5576-4997 isa@sisa1.com.mx
 Monterrey: Guerrero Norte 4120 - Col. del Norte, Monterrey - cp 64500, Nuevo León
 Tel - (81) 8351-7220 Fax - (81) 8351-2981 sisamty@sisa1.com.mx

Cal. A2 12/12 © Derechos Reservados, México DF, 2012 Servicio Industrial, S.A. de C.V. SISA® y SISA-MET® son Marcas Registradas. Impreso en México