

---

# Diseño e implementación de máquina trituradora para desecho de etiquetas de la empresa Empaques de Calidad, S.A.

---

Jorge Daniel Mejia Ruiz



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



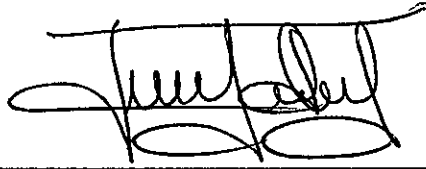
**Diseño e implementación de máquina trituradora para desecho  
de etiquetas de la empresa Empaques de Calidad, S.A.**

Trabajo de graduación presentado por Jorge Daniel Mejia Ruiz para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2019

Vo.Bo.:



(f)

Ing. Julio Vásquez

Tribunal Examinador:



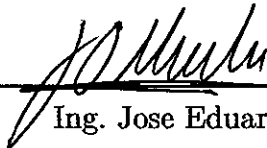
(f)

Ing. Luis Pedro Montenegro



(f)

Ing. Otto Armando Giron



(f)

Ing. Jose Eduardo Morales

Fecha de aprobación: Guatemala, 3 de Diciembre de 2019.

El correcto manejo de los desperdicios en una empresa pueden llegar a determinar la rentabilidad de la misma, cuando estos son controlados y reducidos al máximo permisible [1]. En una empresa de impresión de etiquetas como lo es Empaques de Calidad S.A. los desperdicios deben ser manejados con mayor precaución debido a que existen acuerdos de confidencialidad.

Este trabajo está dirigido a personas interesadas en conocer a detalle el proceso de diseño y construcción de la maquinaria necesaria para procesar este desperdicio clasificado.

Quiero agradecerle a Dios por la combinación especial de talentos, dones y experiencias de vida al igual que por la inspiración y creatividad que permitieron que esta tesis llegara a ser una realidad. Gracias a mis padres, cuyo amor incondicional, estímulo y afirmación me dieron la libertad para trazar mi propio rumbo e ir en pos de mi sueño. Con el correr de los años, mi aprecio ha aumentado por el ejemplo que me han dado y por la sabiduría que me han transmitido.

Además, quiero agradecer al ingeniero Julio Vásquez por sus constante apoyo y observaciones que permitieron que este trabajo fuera posible. También quiero agradecer al Ing. Carlos Solorzano por haber aportado sus conocimientos y ayuda incondicional, los cuales me fueron de gran utilidad para poder llevar a cabo la realización de este trabajo.

<b>Prefacio</b>	<b>III</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>VIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract</b>	<b>X</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>2</b>
<b>3. Justificación</b>	<b>3</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>4</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	4
4.2. Objetivos específicos . . . . .	4
<b>5. Marco teórico</b>	<b>5</b>
5.1. Trituración . . . . .	5
5.1.1. Métodos de trituración . . . . .	6
5.1.2. Tipos de trituradoras . . . . .	6
5.1.3. Precauciones a tomar . . . . .	8
5.2. Elementos mecánicos . . . . .	8
5.2.1. Variadores de frecuencia . . . . .	8
5.2.2. Guardamotores . . . . .	9
5.2.3. Disyuntores . . . . .	9
5.2.4. Ejes . . . . .	9
5.2.5. Engranajes . . . . .	13
<b>6. Metodología</b>	<b>21</b>

<b>7. Resultados</b>	<b>23</b>
7.1. Sistema mecánico . . . . .	23
7.1.1. Estructura de la máquina . . . . .	23
7.1.2. Transmisión de potencia . . . . .	35
7.1.3. Módulo de corte . . . . .	37
7.2. Electrónica del sistema . . . . .	42
7.2.1. Electrónica del microcontrolador . . . . .	42
7.2.2. Panel eléctrico . . . . .	46
7.3. Software . . . . .	50
7.3.1. Programación del microcontrolador Arduino Mega 2560 . . . . .	50
7.3.2. Programa de visualización para la computadora . . . . .	54
<b>8. Conclusiones</b>	<b>60</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>61</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>62</b>
<b>11. Anexos</b>	<b>64</b>
11.1. Planos de construcción . . . . .	64

---

## Lista de figuras

---

1.	Métodos de trituración . . . . .	6
2.	Tipos de trituradoras . . . . .	7
3.	Trituradora de rodillos . . . . .	8
4.	Geometría eje escalonado . . . . .	10
5.	Geometría eje mismo diámetro . . . . .	10
6.	Ejemplo deflexión vigas . . . . .	14
7.	Relación de radios con ángulo de presión . . . . .	15
8.	Nomenclatura engranes rectos . . . . .	15
9.	Ecuación de Lewis . . . . .	17
10.	Rollos de papel . . . . .	24
11.	Boceto inicial de la estructura . . . . .	25
12.	Boceto inicial completo . . . . .	25
13.	Ejes del boceto inicial . . . . .	26
14.	Pernos del boceto inicial . . . . .	26
15.	Diseño de estructura propuesta . . . . .	27
16.	Sección crítica . . . . .	27
17.	Deflexión según simulación . . . . .	29
18.	Diseño estructural completo . . . . .	30
19.	Diseño estructural final de la maquina . . . . .	31
20.	Mesa de trabajo . . . . .	31
21.	Marco metálico inicial . . . . .	32
22.	Marco metálico con chumacera . . . . .	32
23.	Estructura metálica con motor . . . . .	32
24.	Estructura metálica completada . . . . .	33
25.	Contenedor de desechos . . . . .	33
26.	Estructura con lámina galvanizada . . . . .	34
27.	Estructura con panel eléctrico . . . . .	34
28.	Eje crítico . . . . .	35
29.	Diagrama de corte del eje . . . . .	36
30.	Módulo de corte . . . . .	37
31.	Esbozo del módulo de corte . . . . .	38
32.	Esbozo de cuchilla vista lateral . . . . .	38

33.	Esbozo cuchilla . . . . .	39
34.	Diagrama de tren de engranes . . . . .	39
35.	Diagrama de conexión eléctrica . . . . .	42
36.	Pantalla TFT . . . . .	42
37.	Variador de frecuencia . . . . .	43
38.	Arduino Mega 2560 . . . . .	44
39.	Código para trazabilidad . . . . .	44
40.	Sensores de peso . . . . .	44
41.	Sensores de peso instalados . . . . .	45
42.	Sensor de proximidad . . . . .	45
43.	Circuito eléctrico para el motor . . . . .	46
44.	Circuito de potencia . . . . .	47
45.	Elementos del panel eléctrico . . . . .	48
46.	Elementos exteriores del panel eléctrico . . . . .	48
47.	Conexiones del panel eléctrico . . . . .	49
48.	Conexión de voltaje para Arduino . . . . .	49
49.	IDE para Arduino . . . . .	50
50.	Operación del microcontrolador . . . . .	50
51.	Pantalla de bienvenida . . . . .	51
52.	Pantalla de operador . . . . .	51
53.	Pantalla ingreso de contraseña . . . . .	52
54.	Pantalla del primer error . . . . .	52
55.	Pantalla de trabajo . . . . .	53
56.	Pantalla de retoceso . . . . .	53
57.	Pantalla de guardado . . . . .	54
58.	Archivos CSV . . . . .	54
59.	Pantalla de acceso . . . . .	55
60.	Pantalla principal . . . . .	55
61.	Pantalla de agregar usuario . . . . .	56
62.	Pantalla de registros . . . . .	56
63.	Gráfico de pesos . . . . .	57
64.	Gráfico de distancias . . . . .	57
65.	Pantalla para almacenar registros . . . . .	58
66.	Pantalla para la descarga de usuarios . . . . .	58
67.	Máquina trituradora terminada . . . . .	58
68.	Etiqueta triturada . . . . .	59
69.	Planos estructura . . . . .	64
70.	Planos estructura . . . . .	65
71.	Planos estructura . . . . .	66
72.	Planos estructura . . . . .	67
73.	Planos estructura . . . . .	68
74.	Planos estructura . . . . .	69

---

## Lista de cuadros

---

1.	Elementos recibidos por Empaques de Calidad S.A. . . . . .	2
2.	Métodos de trituración . . . . .	6
3.	Esfuerzos primera iteración . . . . .	12
4.	Intervalos pendientes y deflexiones . . . . .	13
5.	Factor de forma de Lewis . . . . .	17
6.	Características físicas de los rollos de etiquetas . . . . .	23
7.	Peso de los componentes sobre la estructura principal . . . . .	24
8.	Propiedades mecánicas del perfil L . . . . .	28
9.	Parámetros de cálculo de factor de seguridad . . . . .	28
10.	Características del motor eléctrico . . . . .	35
11.	Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 . . . . .	37
12.	Cálculo de torques y velocidades de engranes . . . . .	40
13.	Propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1040 . . . . .	40
14.	Propiedades mecánicas del Ertalon . . . . .	40
15.	Resultados de esfuerzos en engranes . . . . .	41
16.	Cálculos de factor de seguridad de engranes . . . . .	41
17.	Características del variador de frecuencia . . . . .	43
18.	Características de Arduino Mega . . . . .	43
19.	Descripción de símbolos de circuitos eléctricos . . . . .	47

Durante el proceso de impresión de etiquetas se utiliza una cantidad de papel para calibrar los distintos parámetros de impresión: colores, tamaños, fuentes, etc., además de esto también pueden ocurrir errores de impresión que se convierten en desecho de etiqueta. Dicho desperdicio es necesario destruirlo antes de desecharlo debido a acuerdos de confidencialidad que maneja la empresa, por lo que es necesario un mecanismo o sistema que optimice la destrucción de las etiquetas.

Para este trabajo de graduación se pretende diseñar y fabricar una máquina trituradora capaz de encargarse de las etiquetas dañadas por motivos de impresión y calibración.

Dicha máquina debe ser manejada por un solo operario, y se debe poder modificar la velocidad de corte para obtener un corte adecuado en las etiquetas, garantizando que estas no se puedan reutilizar; así mismo al finalizar el proceso de corte deberá ser posible conocer la cantidad de papel desperdiciado, con el objetivo de la trazabilidad. Dicha máquina deberá contar con todas las medidas de bioseguridad para el operario.

During the label printing process, a quantity of paper is used to calibrate the different printing parameters: colors, sizes, fonts, etc., in addition to this, printing errors can also occur that become a label waste. This waste is necessary to shatter it before discarding due to confidentiality agreements handled by the company, so a mechanism or system that optimizes the destruction of labels is necessary.

This graduation work, it is intended to design and manufacture a shredder machine capable of handling damaged labels that comes from printing and calibration.

The machine must be operated by a single operator, and the cutting speed must be able to be modified to obtain an adequate cut in the labels, guaranteeing that they cannot be reused; Likewise, at the end of the cutting process, it should be possible to know the amount of wasted paper, disposed for traceability. This machine must have all the biosecurity measures for the operator.

Cuando se trabaja con industrias de alto prestigio son de suma importancia los acuerdos de confidencialidad que existen entre ambas empresas, Empaques de Calidad S.A. se encarga de la impresión de etiquetas adhesivas para diferentes productos alimenticios y de consumo diario, sin embargo en la fabricación de dichas etiquetas siempre existen desperdicios que no se pueden evitar y a su vez no se pueden desechar debido a estos acuerdos de confidencialidad. En este trabajo de graduación se propone y se construye una máquina trituradora de etiquetas que cumpla con los requerimientos y necesidades de la empresa Empaques de calidad.

Para el desarrollo de la máquina trituradora se investigaron sistemas similares de trituración, así mismo como de troqueladores y cortadoras de etiquetas y además se programo un software para generar reportes de uso para la trazabilidad de desperdicio.

Se concluyó que la máquina trituradora, a pesar de haber sido construida mediante material reciclado y componentes de bajo costo, cumplía con los requerimientos y especificaciones que necesitaba la empresa Empaques de Calidad S.A.

La empresa ha intentado diferentes métodos para la eliminación del desecho generado en el proceso de impresión y calibración, los cuales acumulan un estimado de 4 a 5 toneladas en etiquetas fallidas, dichos métodos fallidos de reducción de desperdicio varían desde la incineración hasta un proceso manual de trituración. Los cuales se han descartado debido a problemas medioambientales y de eficiencia.

Para poder crear una máquina encargada de triturar las etiquetas la empresa suministro diferentes dispositivos tanto mecánicos como eléctricos descritos en el Cuadro 1, los cuales son reciclados de maquinaria antigua que contaba la empresa.

<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo / tipo</b>	<b>Cantidad</b>
Variador de frecuencia	Hyundai	N50-0155F	1
Botonera On/Of	chnt	–	1
Ejes	–	–	3
chumacera	Asahi	FL204	6
Relevador térmico	B18k	AEG	1
Contactador magnético	B18K	C-09D 9A	1

Cuadro 1: Elementos recibidos por Empaques de Calidad S.A.

La empresa Empaques de Calidad, S.A. se encarga de la producción de etiquetas adhesivas mediante técnicas de impresión de alta velocidad, conocidas como "flexografía"; al realizar dicho proceso flexográfico se genera como resultado merma o desperdicio de las órdenes de producción realizadas debido a ajustes y preparaciones para la impresión [2]. Dicha merma o desperdicio de etiquetas no puede desecharse si previamente no se corta o destruye de tal forma que no se pueda reutilizar, esto es a causa del acuerdo de confidencialidad que maneja la empresa con los clientes según el reglamento interno de Empaques de Calidad, S.A. [3].

La prensa flexográfica requiere 20 pies de papel para comenzar su funcionamiento, a este proceso se le conoce como enhebrar la máquina. Esta imprime una imagen bajo el estándar CMYK, donde cada estación de la máquina representa uno de estos colores de la cuatricromía; para garantizar la correcta impresión de los cuatro colores es necesario realizar pruebas sobre el papel a utilizar. Dichas pruebas gastan un aproximado de 40 pies por minuto solamente en el proceso de ajuste de colores [2]. Ocurre otro desperdicio cuando la bobina de papel se termina y se reemplaza por una nueva [4].

Por tal motivo es necesario contar con una máquina que se encargue del desecho de forma automatizada, optimizando tiempo, recursos y mano de obra, ya que actualmente la merma o desperdicio se acumula en bodegas de la empresa desde hace más de un año; este desperdicio es equivalente a un aproximado de 4 a 5 toneladas según gerencia de producción[4]. Además, se desea conocer la cantidad de merma en metros cuadrados para que la empresa pueda realizar análisis de costos.[3]

La empresa Empaques de Calidad S.A está en el proceso de una acreditación internacional HACCP por lo que es necesario tener un manejo adecuado del desperdicio que genera la producción de etiquetas y que esta sea trazable por motivos de inocuidad y protección de marca [5].

### 4.1. Objetivo general

Diseñar y construir una máquina trituradora de etiquetas para la empresa Empaques de Calidad, S.A. para el manejo de merma o desecho causado por ajustes, preparación y errores de impresión, y que dicha máquina cuente con todas las medidas requeridas de bioseguridad para el usuario.

### 4.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir la máquina utilizando componentes y piezas recicladas del taller de Empaques de Calidad S.A.
- Que la máquina pueda triturar o rasgar las etiquetas de merma o desperdicio para que al salir de la máquina trituradora, sean irreconocibles y ya no se puedan reutilizar.
- Permitir que el operario pueda ajustar la velocidad de operación de la máquina trituradora en tiempo real.
- Contabilizar y registrar el desecho triturado por medio de un sistema eléctrico o micro controlador para su trazabilidad.
- Proveer capacitación al personal de Empaques de Calidad S.A. mediante charlas informativas sobre el correcto funcionamiento y mantenimiento de la máquina trituradora para que evitar accidentes y se prolongue la vida útil del equipo.
- Redactar un manual de usuario para la correcta operación de la máquina mediante imágenes gráficas y texto claro donde muestre el funcionamiento y mantenimiento de la máquina en donde se dé solución a problemas frecuentes que puedan surgir así como una ayuda para capacitar nuevos operarios.

Según la resolución 281-2012 de la comisión guatemalteca de normas (MINECO) del reglamento técnico de alimentos establece que todos los productos deben venderse envasados o empacados y debidamente etiquetados [6]. Este etiquetado en conjunto con el diseño del envase es un factor importante en la decisión de compra de un producto y de acuerdo a la ley de Metrología y Normalización una etiqueta se puede definir como una imagen gráfica, rotulo, inscripción o marca que se haya impreso, marcado, grabado, adherido a un envase o producto [7].

Empaques de Calidad S.A. se encarga de la impresión de etiquetas para diferentes empresas con productos tanto alimenticios como de uso diario [4].

Para empresas que necesitan etiquetar grandes volúmenes de productos es necesario un método de impresión a alta velocidad para poder suministrar la demanda, es por ello que existe una variedad de métodos y técnicas de impresión a alta velocidad como puede ser la "flexografía".

La "flexografía", es un método de impresión en relieve de alta velocidad, esta utiliza planchas flexibles los cuales son elaborados de caucho o fotopolímeros. Las planchas se pegan a cilindros metálicos [2]

## 5.1. Trituración

El proceso de trituración es conocido como aquel en donde un material determinado en estado sólido se transforma en trozos de menor tamaño [8].

### 5.1.1. Métodos de trituración

Conociendo las propiedades físicas de un determinado material pueden emplearse distintos métodos de trituración, descritos en el Cuadro 2 y también observados de manera gráfica en la Figura 1.

Material	Método
Material duro	Presión, impacto
Material frágil	Fractura
Material tenaz	Escisión, corte

Cuadro 2: Métodos de trituración Fuente: [8].

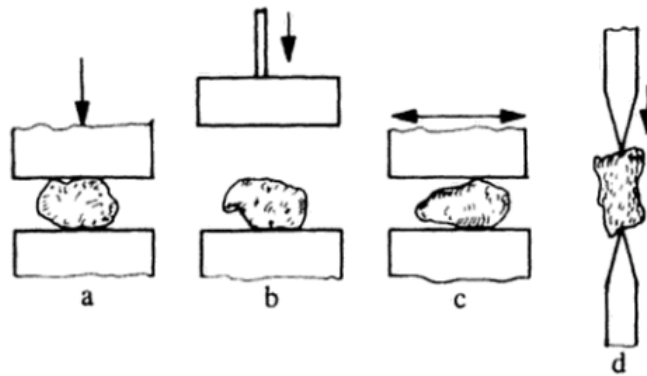


Figura 1: Métodos de trituración. presión (a), impacto (b), fricción (c), escisión (d)  
Fuente: [8].

### 5.1.2. Tipos de trituradoras

En este apartado se discutirán algunos de los distintos tipos de máquinas trituradoras apreciados en la Figura 2.

#### Trituradora de quijadas

Este tipo de trituradora es la que utiliza para triturar terrones. El proceso de trituración se realiza con el movimiento de una quijada grande movida para adelante y para atrás la cual aplasta a los terrones contra una superficie dura y rígida [9].

#### Trituradora giratoria

El proceso de trituración para este tipo de trituradora consta de un cono giratorio y una superficie rígida. A través del movimiento giratorio del cono se logran comprimir los sólidos y reducirlos en partículas más pequeñas [9].

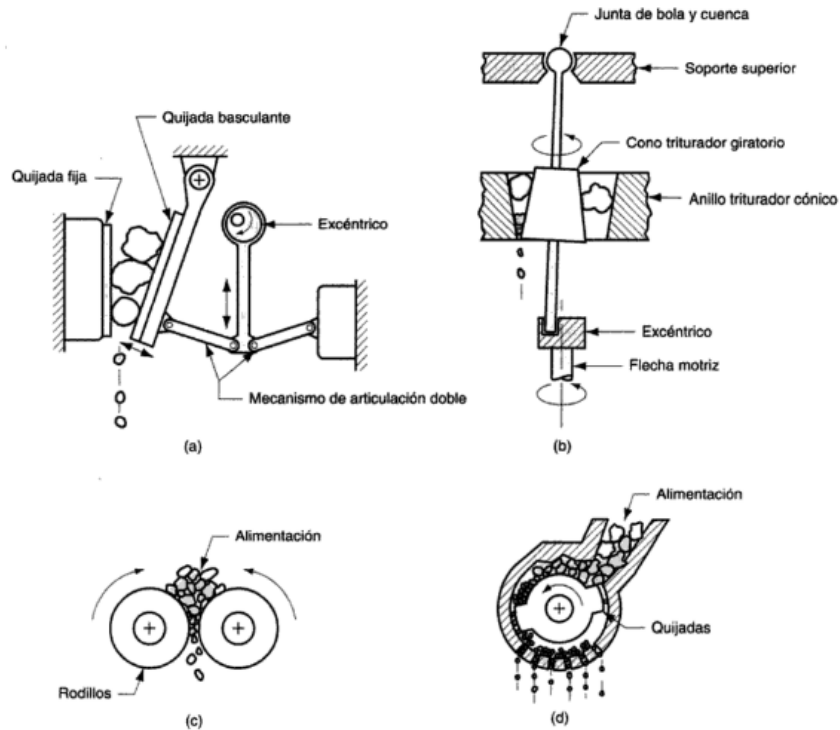


Figura 2: Tipos de trituradoras. Trituradora de quijadas (a), Trituradora giratoria (b), Trituradora de rodillos (c), Molino de martillos (d)

Fuente: [9].

## Molino de martillos

A través de martillos giratorios se golpea el material a triturar y se rompe en trozos. Esta trituradora consta de una quijada giratoria la cual se encuentra encerrada en paredes rígidas en forma de círculo [9].

## Trituradora de cilindros o rodillos

Este tipo de trituradora puede construirse utilizando uno o dos rodillos como puede observarse en la Figura 3. La trituradora de dos rodillos mantiene sus rodillos sobre ejes paralelos los cuales giran en sentido opuesto de manera de triturar el material a través de la compresión entre ambos rodillos [10]. El material sólido cae por gravedad y fricción contra las superficies de los rodillos. La textura y apariencia de los rodillos puede ser de manera que estos sean lisos, corrugados o dentados [11]. Las superficies de los rodillos son fabricadas de revestimiento de acero con composición y se configuran en consonancia con el material a fragmentar [10].

En el caso de de la trituradora de un solo cilindro, consiste de un solo rodillo el cual gira frente a una placa quebrantadora fija rígida. Los dientes son conocidos como *llantas*. En el caso de la fragmentación de metales se combinan los efectos de abrasión, compresión

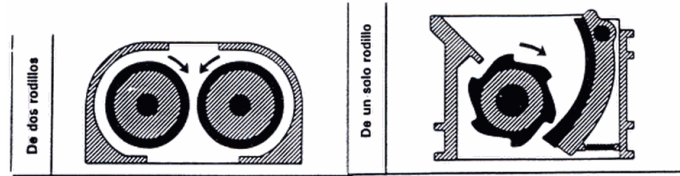


Figura 3: Trituradora de rodillos  
Fuente: [10]

y cizallamiento [11].

Este tipo de trituradoras funcionan de manera más eficiente al trabajar con materiales sólidos en forma de roca laminada o estratificada no abrasiva. La razón de reducción para materiales de mayor diámetro a 2.54 cm siempre será de 4 a 1, sin embargo al utilizar materiales más pequeños puede lograrse hasta una reducción de 10 a 1. Estas reducciones dependen estrictamente de del ángulo de sujeción y la fricción de los rodillos contra el sólido. Este ángulo de sujeción es obtenido al trazar líneas desde los centros de los rodillos hasta el punto de contacto entre los rodillos y el sólido, luego se trazan líneas tangentes y se obtiene este ángulo al intersectarse estas líneas. La fricción de contacto es afectada según la dureza del sólido a triturar y es por esto que una superficie corrugada aumenta el agarre [11].

### 5.1.3. Precauciones a tomar

Cuando se utiliza algún tipo de las trituradoras descritas anteriormente deben tomarse una serie de precauciones. [8]

- Debe mantenerse bajo observación y control la lubricación de las máquinas.
- Comprobar previamente del inicio de la máquina que no existan objetos en el interior de la máquina que puedan causar problemas de funcionamiento.
- Apagar el motor antes de proceder a limpiar la máquina. Debe asegurarse que el motor esté apagado revisando la desconexión de este y bloqueando el conmutador.
- Nunca introducir manos o cualquier herramienta de reparación cuando la máquina está en marcha.

## 5.2. Elementos mecánicos

### 5.2.1. Variadores de frecuencia

El variador de frecuencia es utilizado para controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna, Son conocidos también como drivers, micro drivers e inversores, cada uno se atribuye al valor de voltaje que se maneje (Variadores de Frecuencia, S.f).

El funcionamiento consistió en el voltaje de corriente alterna con el que se alimente, luego de esto se convierte la corriente alterna a corriente directa por medio de un rectificador, se obtiene un voltaje filtrado por medio de capacitores internos, posteriormente entra a una etapa de inversión la cual consiste en transistores que se activan y desactivan en determinada secuencia y como esto se genera una forma cuadrada de voltaje de corriente directa con una frecuencia constante. por último se obtiene un valor de frecuencia promedio en forma de onda sinusoidal de la frecuencia que es aplicada al motor (scheider Electric, S.f)

### 5.2.2. Guardamotores

Un guardamotor se utiliza para proteger al motor en caso de algún fallo como problemas para arrancar, sobrecarga y disminución en la tensión de la red. Estos son interruptores que manejan todos los polos del motor de manera simultánea. Los guardamotores poseen de dos tipos de mecanismo, uno de disparo térmico y otro de disparo electromagnético [12].

### 5.2.3. Disyuntores

Un disyuntor cumple la misma función que un fusible, pero sin la acción de deteriorarse de manera que interrumpe el circuito en caso de sobrecarga como método de protección. Estos son disyuntores de baja tensión por debajo de los 600 voltios y potencia por encima de los 600 voltios. En el caso de los disyuntores pequeños su mecanismo consiste en la utilización de elementos calefactores bimetalicos a diferencia de los disyuntores más grandes que consiste de manera magnética y térmica [13].

### 5.2.4. Ejes

Un eje giratorio, también conocido como *flecha* es un elemento rotatorio que se utiliza para transmitir movimiento o potencia y por lo general poseen sección transversal circular. Un eje se suele combinar con poleas, engranajes, volantes de inercia, entre otros controlando la geometría de su movimiento [14].

## Materiales utilizados

La gran mayoría de ejes son fabricados con aceros ANSI 1020-1050. Esto es por ser un acero de bajo carbono, estirado en frío o laminado en caliente. Como primer paso para realizar los cálculos en el diseño de ejes se comienza analizando un acero de bajo costo de bajo o medio carbono. En el caso de la resistencia del material supere las consideraciones de deflexión se concluye asignando un material de mayor resistencia al antes analizado, permitiendo reducir el tamaño del eje mientras no afecte la deflexión [14].

A la hora de utilizar acero estirado en frío este no debe maquinarse por completo, únicamente se maquina en áreas que requieren ajuste de componentes, se utiliza cuando se poseen diámetros menores a 3 pulgadas. A diferencia del acero estirado en frío, el acero laminado en

caliente debe maquinarse por completo. En algunos casos también puede optarse por utilizar acero inoxidable.

### Definición de la geometría

La geometría del eje más común es en forma de un cilindro escalonado como puede observarse en la Figura 4. Esto se debe al uso de hombros que funcionan como elementos limitantes para componentes tales como engranajes y cojinetes [14]. En muchas otras ocasiones se opta por utilizarse únicamente un diámetro para el eje como el de la Figura 5.

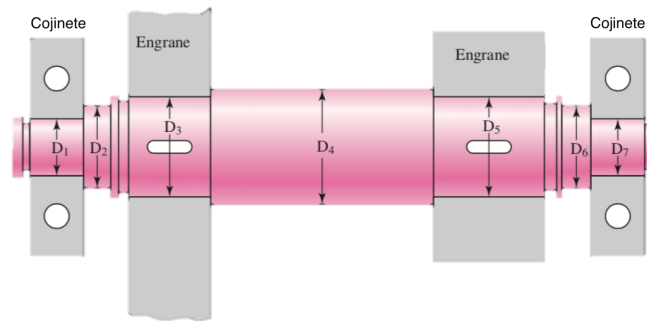


Figura 4: Geometría del eje escalonado. Fuente: Adaptado de [14].



Figura 5: Geometría del eje de un solo diámetro. Fuente: Adaptado de [14].

La geometría del eje dependerá de la cantidad y características de los componentes que van montados sobre este: su ancho, diámetro y posición deseada. En general, se calcula una geometría para colocar dos cojinetes, los cuales es recomendable colocar a los extremos. En el caso que el eje sea muy largo se opta por utilizar más de dos cojinetes, sin embargo, se debe tratar de mantener una longitud de eje pequeña para reducir momentos flexionantes y deflexiones. Se trata de dejar cierto espacio axial entre componentes para permitir flujo de lubricante. Se colocan los componentes cercanos a los cojinetes. En algunos casos pueden evitarse la fabricación de hombros en el caso de ser las cargas axiales pequeñas y recurrir a ajustes por medio de presión para los elementos de transmisión de potencia como lo son los engranajes [14].

## Esfuerzos presentes

Para determinar el par torsor en cualquier sección debe utilizarse un diagrama de cuerpo libre. El par torsor se mantendrá constante a lo largo del eje a excepción de las superficies exteriores en donde será mayor. Por otro lado, los momentos flexionantes se determinan a través de diagramas de corte y momento. Únicamente cuando se presenta flexión en un eje se desprecian los esfuerzos axiales introducidos por los componentes.

Cuando se analizan los esfuerzos se combinan esfuerzos de von Mises alternantes y medios. Estos esfuerzos que surgen debido a la flexión y torsión para un eje sólido con sección transversal redonda se calculan por medio de las ecuaciones (1) y (2).

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad \sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad (1)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad \tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3} \quad (2)$$

donde  $M_m$  y  $M_a$  corresponden a los momentos flexionantes medio y alternante,  $T_m$  y  $T_a$  corresponden a los pares torsionales medio y alternante y  $K_f$  y  $K_{fs}$  los factores de concentración de esfuerzo por fatiga de flexión y torsión.

Estos esfuerzos pueden combinarse con la teoría de falla por energía de distorsión y luego evaluarse usando curvas de falla sobre los diagramas de Goodman, Gerber, ASME elíptica y Soderberg para obtener las siguientes ecuaciones [14]

ED-Goodman

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \quad (3)$$

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (4)$$

ED-Gerber

$$\frac{1}{n} = \frac{8A}{\pi d^3 S_e} \left\{ 1 + \left[ 1 + \left( \frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (5)$$

$$d = \left( \frac{8nA}{\pi S_e} \left\{ 1 + \left[ 1 + \left( \frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (6)$$

donde

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$B = \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

ED-ASME elíptica

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (8)$$

ED-Soderberg

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \quad (9)$$

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (10)$$

A la hora de analizar la concentración de esfuerzos debidos a hombros y cuñeros se realiza según el tamaño de estos que tienen proporciones estándar. Las concentraciones de esfuerzo se realiza de manera iterativa y se modifican paso a paso. Para un primer análisis un cojinete necesita que la relación D/d esté entre 1.2 y 1.5, siendo el mejor de los casos 1.2. Los valores típicos de r/d están entre 0.02 y 0.06. La concentración de esfuerzo para un cuñero es cercana al punto crítico en donde se ubica el componente transmisor de potencia. En el Cuadro 3 se observan valores típicos para realizar la primera iteración de concentraciones de esfuerzo y puede observarse que con ligeros cambios las concentraciones se incrementan de manera significativa.

	<b>Flexión</b>	<b>Torsión</b>	<b>Axial</b>
Filete de hombro agudo: r/d = 0.02	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro bien redondeado: r/d = 0.1	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado: r/d = 0.02	2.2	3.0	-
Cuñero trapezoidal	1.7	-	-
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Cuadro 3: Estimación de concentración de esfuerzos en la primera iteración Fuente: [14].

## Deflexión

En el momento de un análisis de deflexión se debe conocer la geometría completa del eje. La deflexión debe analizarse en engranes y cojinetes. Las deflexiones transversales dependen

	<b>Pendientes [rad]</b>
Rodillo ahusado	0.0005 - 0.0012
Rodillo cilíndrico	0.0008 - 0.0012
Bola con ranura profunda	0.001 - 0.003
Bola esférica	0.026 - 0.052
Bola autoalineante	0.026 - 0.052
Engrane recto sin corona	<0.0005
	<b>Deflexiones transversales [pulgadas]</b>
Engranajes rectos con $P < 10$ dientes/pulgada	0.010
Engranajes rectos con $11 < P < 19$	0.005
Engranajes rectos con $20 < P < 50$	0.003

Cuadro 4: Intervalos de pendientes máximas y deflexiones transversales Fuente: [14].

del tamaño diente del engrane y están representadas por el paso diametral  $P$ . Se muestran intervalos de pendientes máximas y deflexiones transversales del eje en el Cuadro 4.

Para realizar en análisis de deflexión en el resto del eje deben trabajarse métodos de deflexión en vigas como en el caso mostrado en la Figura 6 y utilizando las ecuaciones (11) a (15), pero únicamente en las dimensiones geométricas gruesas despreciando filetes, ranuras y cuñeros.

$$\frac{q}{EI} = \frac{d^4y}{dx^4} \quad (11)$$

$$\frac{V}{EI} = \frac{d^3y}{dx^3} \quad (12)$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (13)$$

$$\theta = \frac{dy}{dx} \quad (14)$$

$$y = f(x) \quad (15)$$

### 5.2.5. Engranajes

El engranaje es un elemento mecánico que se utiliza para transmitir potencia mecánica de un componente a otro se colocan sobre un eje. Dentro de los engranajes más utilizados están los engranajes rectos y helicoidales [14].

Al momento de acoplarse dos engranajes, estos ruedan uno sobre otro sin deslizamiento por medio de sus círculos de paso. La velocidad de la línea de paso se obtiene por medio

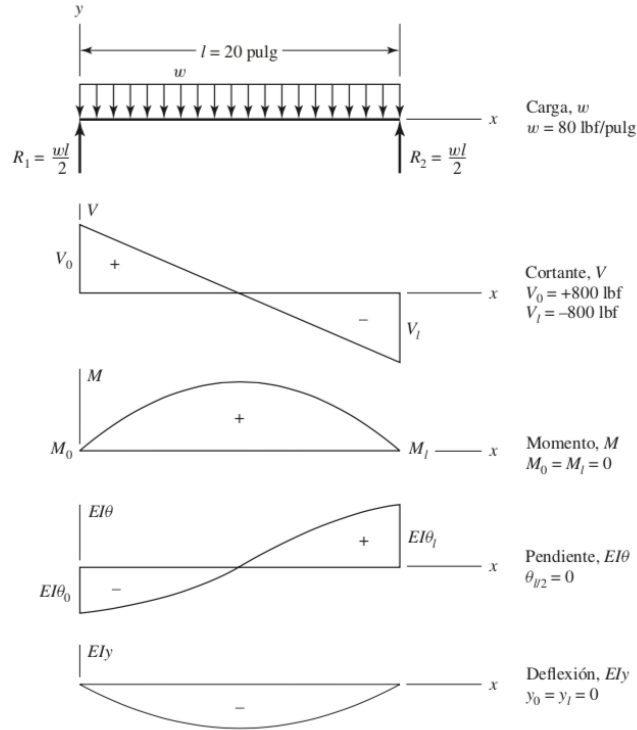


Figura 6: Ejemplo caso de deflexión en vigas. Fuente: Adaptado de [14].

de la ecuación (16) que se utiliza para luego obtener la relación entre radios de la ecuación (17).

$$V = |r_1\omega_1| = |r_2\omega_2| \quad (16)$$

$$\left| \frac{\omega_1}{\omega_2} \right| = \frac{r_2}{r_1} \quad (17)$$

El ángulo de presión  $\phi$  es conocido como el ángulo de desviación generado en el contacto entre los dientes de los engranajes y puede calcularse despejando la ecuación (18) o puede utilizarse para determinar algunos de los radios mostrados en la Figura 7. El ángulo de presión en general tiene valores de  $20$  o  $25^\circ$ .

$$r_B = r \cos \phi \quad (18)$$

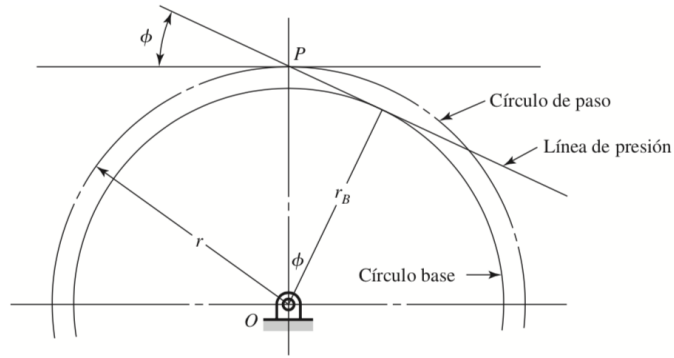


Figura 7: Radios del engranaje en relación al ángulo de presión. Fuente: [14].

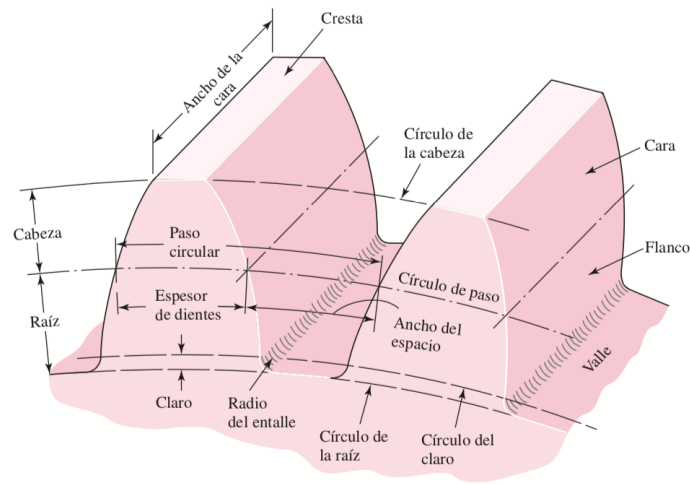


Figura 8: Nomenclatura que presentan los engranajes rectos. Fuente: [14].

## Rectos

Son el tipo de engranaje más sencillo, estos tienen dientes paralelos al eje de rotación y transmiten potencia y movimiento entre ejes paralelos. Los engranajes rectos presentan la nomenclatura que se muestra en la Figura 8 la cual es útil para combinarse dentro de las ecuaciones (19) a (22).

$$P = \frac{N}{d} \quad (19)$$

$$m = \frac{d}{N} \quad (20)$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m \quad (21)$$

$$pP = \pi \quad (22)$$

donde  
 P = paso diametral [Dientes/pulgada]  
 N = número de dientes  
 d = diámetro de paso [pulgadas]  
 m = módulo [mm]  
 p = paso circular

## Helicoidales

Los dientes para este tipo de engranaje se encuentran de manera inclinada respecto al eje de rotación y se utilizan para transmitir potencia y movimiento entre ejes no paralelos. Una de las ventajas que tiene este engranaje sobre el recto es que producen una menor cantidad de ruido debido a un mejor acoplamiento entre los engranajes. Debe tomarse en cuenta que se producen cargas de empuje y pares de flexión las cuales no se presentan en engranajes rectos.

## Ecuación de Lewis

Lewis propuso una ecuación para calcular el esfuerzo de flexión producido entre los dientes de los engranes la cual se analiza tomando los aspectos de una viga como se muestra en la Figura 9. Esta es la siguiente

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{6W^t l}{Ft^2} \quad (23)$$

donde  $M$  es el momento flector,  $c$  la distancia desde el centro al extremo de la viga,  $I$  el segundo momento de área.  $F$  es el ancho de cara,  $t$  es la sección transversal,  $l$  la longitud de la viga y  $W^t$  es la carga que soporta la viga distribuida uniformemente.

Observando la Figura 9 puede observarse que el esfuerzo máximo producido en el diente del engrane se da en el punto  $a$ . Otra manera de representar la ecuación de Lewis es como se muestra en la ecuación 24 utilizando el paso diametral  $P$ .

$$\sigma = \frac{W^t P}{FY} \quad (24)$$

donde

$$Y = \frac{2xP}{3}$$

Al utilizar esta forma de la ecuación solo se considera la flexión y se ignora la compresión debido al componente radial de la fuerza. Los valores de  $Y$  se calculan según el Cuadro 5.

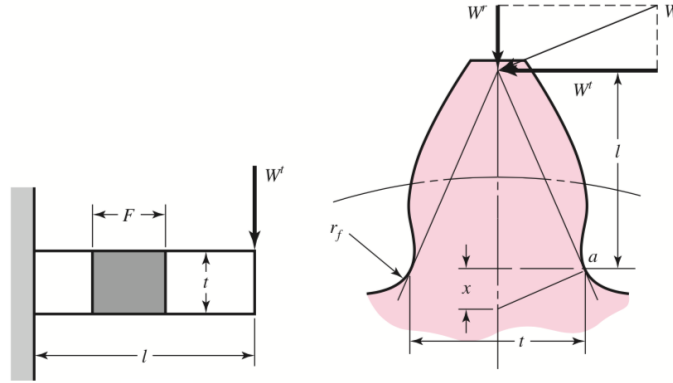


Figura 9: Deducción de la ecuación de Lewis. Fuente: Adaptado de [14].

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

Cuadro 5: Factor de forma de Lewis Fuente: [14].

### Falla de la superficie

A la falla en la superficie se le conoce como *desgaste*. Para calcular el desgaste entre dos cilindros se utiliza la teoría de Hertz con la siguiente ecuación

$$\sigma^2 c = \frac{W^t}{\pi F \cos \phi} \frac{(1/r_1) + (1/r_2)}{[(1 - \nu_1^2/E_1) + (1 - \nu_2^2/E_2)]} \quad (25)$$

donde

$\nu_1$ ,  $\nu_2$ ,  $E_1$  y  $E_2$  son constantes elásticas y

$$r_1 = \frac{d_p \sin \phi}{2} \quad r_2 = \frac{d_G \sin \phi}{2} \quad (26)$$

siendo  $\phi$  el ángulo de presión,  $d_p$  y  $d_G$  los diámetros de paso del piñón y de la corona.

### Esfuerzo según la norma AGMA

Según la norma AGMA se utilizan ecuaciones fundamentales de esfuerzo, una de flexión y otra de resistencia a la picadura. La ecuación para la flexión es la siguiente

$$\sigma = \begin{cases} W^t K_o K_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J} & (\text{unidades inglesas}) \\ W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} & (\text{unidades SI}) \end{cases} \quad (27)$$

Donde

$W^t$  es la carga tangencial [lbf (N)],  $K_o$  el factor de sobrecarga,  $K_v$  el factor dinámico,  $K_s$  el factor de tamaño,  $P_d$  el paso diametral transversal,  $F(b)$  el ancho de cara del elemento más angosto [pulgadas (mm)],  $K_m(K_H)$  el factor de distribución de la carga,  $K_B$  el factor del espesor del aro,  $J(Y_J)$  el factor geométrico de resistencia a la flexión y  $m_t$  el módulo métrico transversal.

La ecuación fundamental de la resistencia a la picadura es

$$\sigma_c = \begin{cases} C_p \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_m C_f}{d_p F} I} & (\text{unidades inglesas}) \\ Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H Z_R}{d_w 1b} Z_I} & (\text{unidades SI}) \end{cases} \quad (28)$$

Donde

$C_p(Z_E)$  es un coeficiente elástico,  $C_f(Z_R)$  es el factor de condición superficial,  $d_p(d_w 1)$  es el diámetro de paso del piñón y  $I(Z_I)$  es el factor geométrico de resistencia a la picadura.

### Factores geométricos I y J ( $Z_I$ y $Y_J$ )

Estos factores dependen de la relación de contacto de la cara  $m_F$  la cual es la siguiente

$$m_F = \frac{F}{p_x} \quad (29)$$

donde

$p_x$  es el paso axial,  $F$  el ancho de la cara. Para engranes rectos  $m_F = 0$ .

El factor geométrico  $J$  ( $Y_J$ ) se determina por medio de

$$J = \frac{Y}{K_f m_N} \quad (30)$$

donde

$Y$  es el factor de forma de Lewis,  $K_f$  el factor de concentración de esfuerzo por fatiga, y  $m_N$  una relación de repartición de la carga.

$$m_N = \frac{p_N}{0.95Z}$$

siendo  $p_N$  el paso de base normal y  $Z$  la longitud de la línea de acción en el plano transversal.

### **Coefficiente elástico $C_p(Z_E)$**

El coeficiente elástico se calcula según la ecuación

$$C_p = \left[ \frac{1}{\pi \left( \frac{1-\nu_p^2}{E_p} + \frac{1-\nu_G^2}{E_G} \right)} \right]^{1/2} \quad (31)$$

### **Factor dinámico $K_v$**

El factor dinámico está dado por

$$\sigma_c = \begin{cases} \left( \frac{A+\sqrt{V}}{A} \right)^B & V \text{ en pie/min} \\ \left( \frac{A+\sqrt{200V}}{A} \right)^B & V \text{ en m/seg} \end{cases} \quad (32)$$

donde

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3}$$

### **Factor de tamaño $K_s$**

El factor de tamaño está dado por

$$K_s = \frac{1}{K_b} = 1.192 \left( \frac{F\sqrt{Y}}{P} \right)^{0.0535} \quad (33)$$

### Factor de distribución de la carga $K_m$ ( $K_H$ )

El factor de distribución está dado por

$$K_m = C_{mf} = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e) \quad (34)$$

donde

$$C_{mc} = \begin{cases} 1 & \text{para dientes sin coronar} \\ 0.8 & \text{para dientes coronados} \end{cases}$$
$$C_{pf} = \begin{cases} \frac{F}{10d} - 0.025 & F \\ \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F & \\ \frac{F}{10d} - 0.1109 + 0.0207F - 0.000228F^2 & \end{cases}$$

Se realizó una investigación preliminar sobre los sistemas trituradores de diferentes clases de papel así como de maquinas rebobinadoras y troqueladoras rotativas con el objetivo de conocer sus características, ventajas, funcionalidad, operación, etc. Así mismo se habló con Empaques de Calidad, S.A. para conocer con que materiales y componentes reutilizables contaban que fueran adaptables a las necesidades de la máquina a construir con la finalidad de disminuir costos.

Posteriormente se realizó un esbozo de la máquina utilizando el software CAD de Autodesk Inventor en su versión del 2020 para conocer diferentes propuestas del resultado final y se eligió el modelo más adecuado basándose en las necesidades de la empresa.

Con base en este modelo definido se calcularon y diseñaron los componentes para transmisión de potencia para la máquina y se verificó que los componentes proveídos por la empresa fueran adecuados a este diseño; se diseñó una base adecuada a este modelo de transmisión de potencia con las debidas protecciones hacia el operador.

Se inició la construcción de la máquina comenzando con la mesa de trabajo que sostendrá los diferentes módulos, de potencia, ejes y cortes de etiquetas, posteriormente a esto se realizó la construcción del sistema de potencia y de la estación de triturado utilizando materiales y componentes reutilizados de la empresa Empaques de Calidad, S.A.

Finalizada la construcción de los sistemas mecánicos se procedió a investigar, diseñar y construir un sistema de variación de velocidad el cual puede ser ajustado por el operador en tiempo real. Posteriormente se investigó y construyó un sistema para medir los desperdicios y que estos queden registrados para trazabilidad.

Se realizaron pruebas de destrucción para comprobar la operación de la máquina y se verificó que los sistemas cumplieran con los requerimientos de la empresa Empaques de

Calidad, S.A.

Se procedió a brindar una capacitación al ingeniero de planta y producción así como a operarios sobre el correcto uso y mantenimiento de la máquina, se realizó un manual en donde se especifica nuevamente el funcionamiento, precauciones, diagramas eléctricos y problemas frecuentes que puedan surgir al operar la máquina.

## 7.1. Sistema mecánico

El sistema mecánico de la trituradora de etiquetas cuenta con diferentes secciones siendo estas: el área estructural, el sistema de transmisión de potencia y el módulo de corte.

### 7.1.1. Estructura de la máquina

Para poder determinar el diseño adecuado de la máquina trituradora fue necesario poder realizar diferentes esbozos mediante el software CAD de Autodesk Inventor en su versión del 2020. Este diseño debía ser capaz de manejar los embobinados de etiquetas según las necesidades de la empresa por lo que la empresa proveyó una serie de rollos de etiqueta así como información adicional acerca de los rollos que se estarían utilizando en la destrucción [3] siendo esta la descrita en el Cuadro 6

<b>Elemento</b>	<b>Peso</b>	<b>Diámetro externo mínimo</b>	<b>Diámetro externo máximo</b>	<b>Diámetro interno</b>
Rollos de etiquetas	25 lb	5 in	10 in	10 in

Cuadro 6: Características físicas de los rollos de etiquetas



Figura 10: Rollos de papel antes de ser etiquetas

Además del peso de los rollos de etiquetas, la estructura debía soportar también el peso del motor eléctrico, y el peso de los diferentes componentes mecánicos (ejes, chumaceras, cuchillas, etc.). En el Cuadro 7 se describen los pesos de cada componente.

<b>3 ejes de acero Inoxidable</b>	5 lb
<b>Soporte de rollo de etiquetas</b>	3 lb
<b>Motor eléctrico</b>	20 lb
<b>Estación de cuchillas</b>	10 lb
<b>6 chumaceras</b>	18 lb
<b>Rollos de Etiquetas</b>	25 lb

Cuadro 7: Peso de los componentes sobre la estructura principal

El peso total de los componentes fue de ochenta y un libras; sin embargo, para ser conservadores en el diseño, los cálculos se realizaron con un peso de cien libras.

Para el diseño estructural inicial de la máquina trituradora se tomó en consideración los materiales provistos por la empresa así como la facilidad de construcción y la maleabilidad de los materiales, en este diseño se utilizó planchas de acero de 3/8´ montadas sobre la mesa de trabajo, realizada de perfil metálico [11], estas planchas tenían como finalidad soportar el módulo de triturado así como el sistema de transmisión de potencia [12], los ejes que sostendrían la bobina de etiquetas serían colocados mediante chumaceras hacia las planchas metálicas [13] las cuales a su vez serían sujetadas a la mesa de trabajo por medio de pernos. [14]

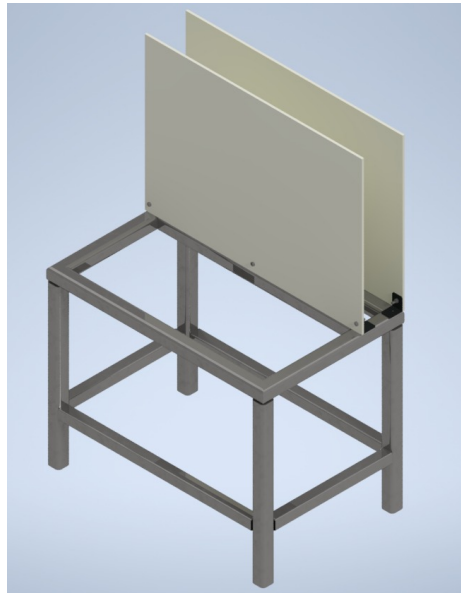


Figura 11: Boceto de la estructura inicial

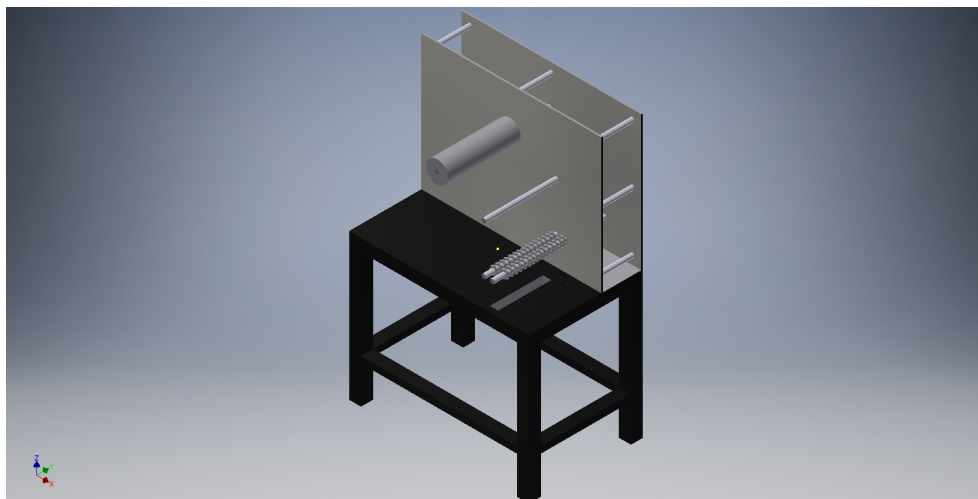


Figura 12: Ejes del boceto inicial

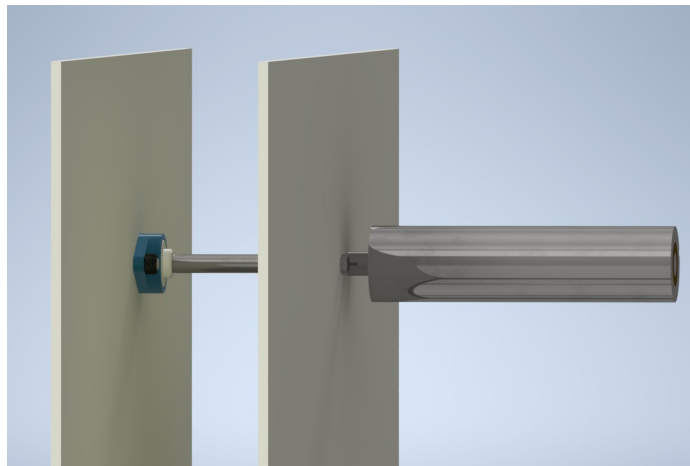


Figura 13: Boceto inicial de la trituradora

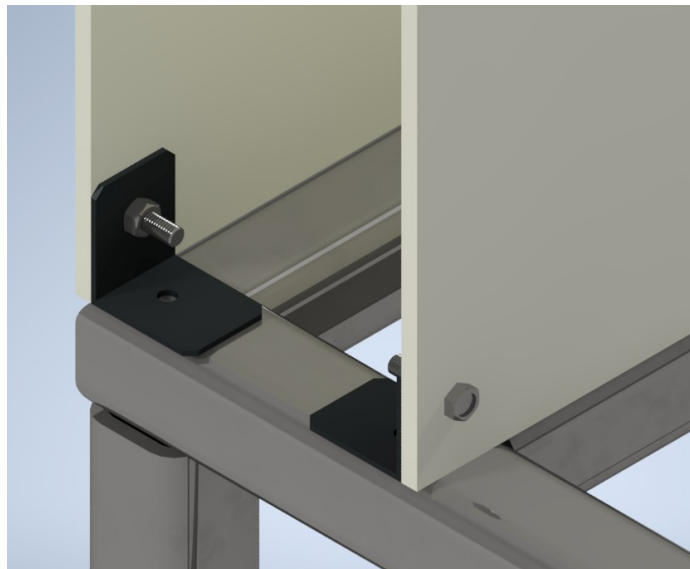


Figura 14: Sujeción del boceto inicial

El boceto [12] contaba con diversos requisitos de los mencionados anteriormente sin embargo dado que las planchas de metal a utilizar eran de  $3/8'$  de espesor el material era difícilmente maleable además de costoso por lo que se decidió rediseñar la estructura metálica para que se ajustara a un modelo más económico y de fácil manejo, siendo este un perfil metálico. En la Figura 16, se puede observar la estructura propuesta, y se determinó la ubicación de la sección crítica (punto A). Todos los cálculos de esfuerzos estáticos se realizaron en esta sección, utilizando el peso completo de cien libras. Al estar ubicada la fuerza fuera de la base, el momento flector resultante fue de 2100 lb in.

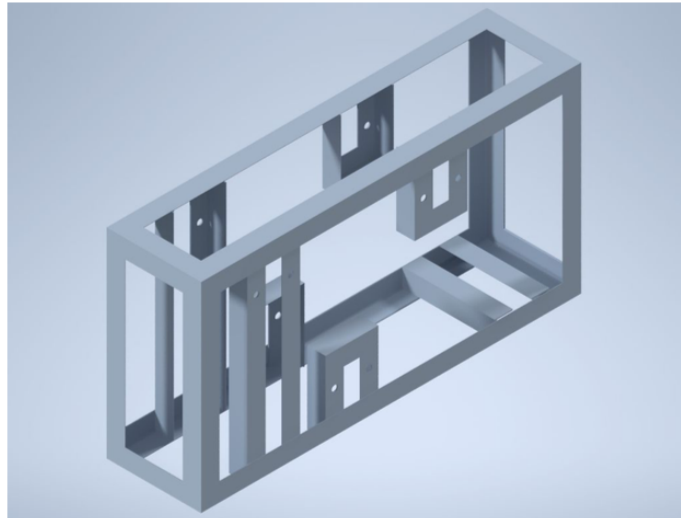


Figura 15: Diseño de estructura propuesta

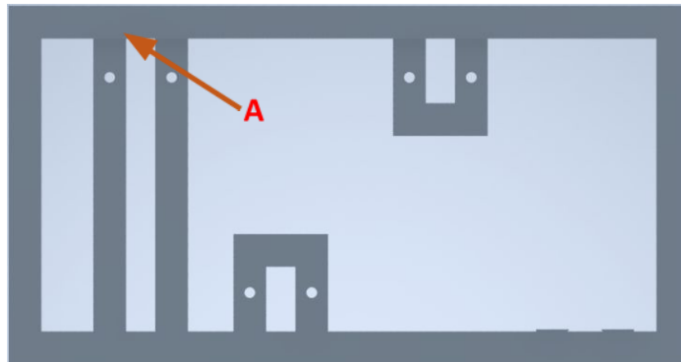


Figura 16: Ubicación de la sección crítica

El perfil utilizado para el diseño fue un perfil angular de 2" de acero al carbono, con un espesor de chapa de 1/8". Las propiedades mecánicas de este material se pueden observar en el Cuadro 8.

<b>Material</b>	acero al carbono AISI 1020
<b>Sy (Esfuerzo en tension)</b>	42 ksi
<b>I</b>	0.30 in4

Cuadro 8: Propiedades mecánicas del perfil L

Se determinó que el esfuerzo presentado sobre la sección crítica era solamente de flexión, por lo que se utilizó la ecuación de esfuerzo máximo 35 para encontrar el esfuerzo máximo en dicho punto.

$$\sigma_{(max)} = \frac{M * c}{I} \quad (35)$$

Donde M es el momento flector máximo sobre la viga, c es la distancia del eje neutro a la fibra más alejada de la sección transversal, e I es el segundo momento de inercia de área de la sección transversal respecto a su eje neutro. El esfuerzo máximo determinado sobre la sección fue de 7 ksi.

El factor de seguridad se obtuvo utilizando la "clásica regla de dedo del factor de seguridad" [14], empleando la ecuación de factor de seguridad 36. Esto dio como resultado un factor de seguridad de 2.68, el cual se aproximó a 3 por temas de cálculos conservadores. Los parámetros utilizados para este cálculo se muestran en el Cuadro 9.

$$n = n_{(materia)} * n_{(esfuerzo)} * n_{(geometria)} * n_{(fallas)} * n_{(confiabilidad)} \quad (36)$$

<b>Contribución del material n(material)</b>	1.3
<b>Contribución del esfuerzo n(esfuerzo)</b>	1.3
<b>Contribución por geometría n(geometría)</b>	1.2
<b>Contribución por análisis de fallas n(fallas)</b>	1.1
<b>Contribución por confiabilidad n(confiabilidad)</b>	1.2

Cuadro 9: Parámetros de cálculo de factor de seguridad

La teoría de falla utilizada para determinar los esfuerzos fue la de energía de distorsión o de von Mises. Primero se determinó el esfuerzo de von Mises, o esfuerzo equivalente (37), y luego se obtuvo el factor de seguridad para ese esfuerzo (38), siendo este de 8, el cual, al ser mayor al factor de seguridad empleado (3), da como conclusión que el material soporta la carga estimada, por lo que la estructura es la adecuada para el trabajo.

$$\sigma^* = \frac{\sqrt{2}}{2} * \sigma \quad (37)$$

$$\sigma^* \leq \frac{S_y}{n} \quad (38)$$

En la Figura 17 se puede observar la deflexión máxima, obtenida mediante simulación, usando el software de diseño de ingeniería Autodesk Inventor 2020.

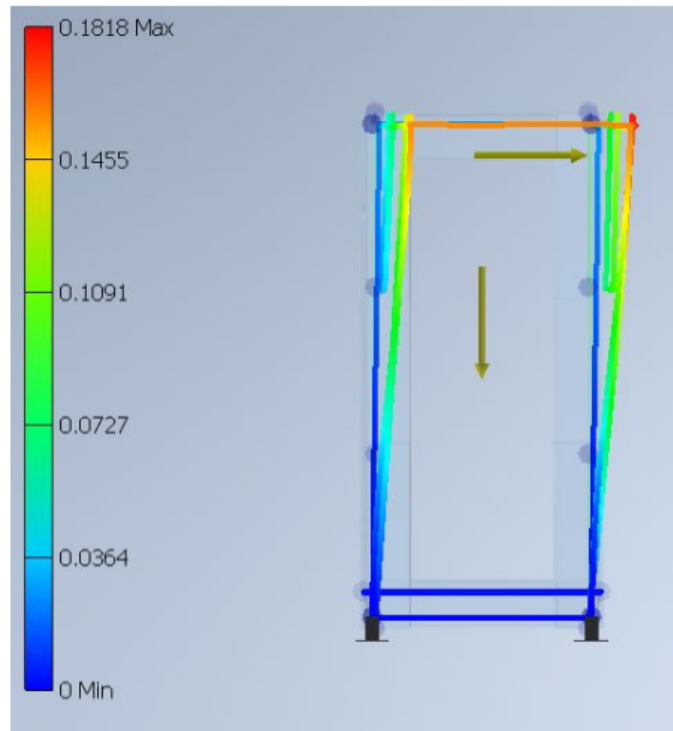


Figura 17: Deflexión máxima según simulación

Al haber realizado los análisis de esfuerzos, puntos críticos y factores de seguridad de la máquina trituradora se completo el diseño estructural de la misma como se puede ver en la Figura 18 y en la Figura 19 en donde se muestra la estructura con chumaceras y ejes.

Los cálculos de esfuerzos sobre los ejes y cuchillas se abordan a detalle en la sección de transmisión de potencia

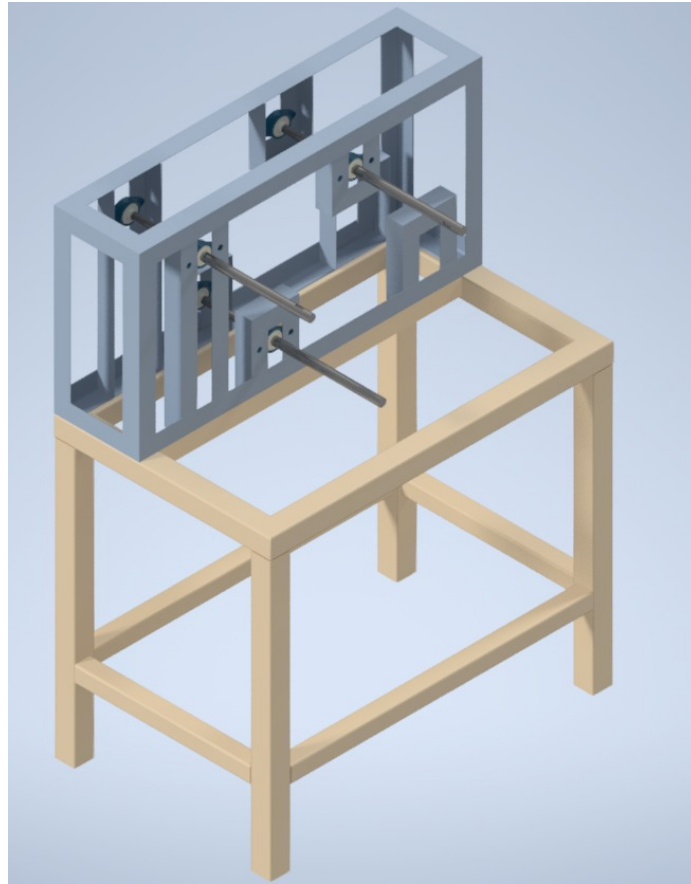


Figura 18: Diseño estructural final

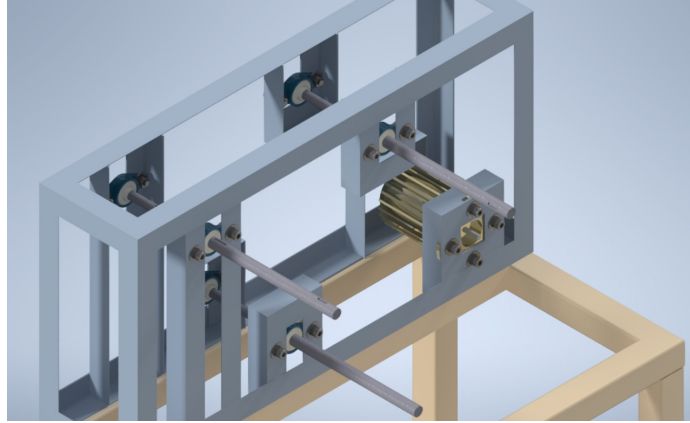


Figura 19: Diseño estructural final área de trabajo

Al haber cumplido todos los requisitos de diseño estructural se autorizó la construcción de la trituradora de papel por lo que se inició construyendo la mesa de trabajo la cual soportara el módulo de corte, ejes de embobinado, motor y panel eléctrico, esta mesa de trabajo se realizó con material metálico proporcionado por la empresa[20].



Figura 20: Mesa de trabajo

Al tener la mesa de trabajo se inicio la construcción de paneles capaces de soportar los ejes, los rollos de etiquetas y el motor, estos paneles se realizaron mediante un perfil metálico de 1/8 de pulgada y se soldaron para poder crear la estructura metálica, para poder soldarlos y que estos se mantuvieran alineados se trabajaron con las chumaceras y ejes correspondientes así mismo se tuvo la ayuda de escuadras y sargentos.



Figura 21: Marco metálico inicial



Figura 22: Marco metálico con soporte para chumaceras



Figura 23: Estructura metálica con motor



Figura 24: Estructura metálica completada

Al finalizar la estructura metálica se procedió a crear un contenedor especializado capaz de recibir los desechos triturados descrito en la Figura 25, este contenedor se trabajó con lámina galvanizada dándole una forma inclinada la cual permite que el desecho llegue hasta el fondo de este contenedor para su correcto pesaje, así mismo es de fácil acceso para poder retirar la basura.



Figura 25: Contenedor de desechos

Utilizando lámina galvanizada se recubrió la estructura principal, por lo que se realizó el montaje de ejes y chumaceras para poder sostener adecuadamente esta lámina como se muestra en la Figura 26.



Figura 26: Estructura con lámina galvanizada

Finalmente se procedió a instalar el panel eléctrico el cual se mostrara a detalle en la sección de electrónica del sistema, este se puede observar en la Figura 27



Figura 27: Estructura con panel eléctrico

### 7.1.2. Transmisión de potencia

Para la transmisión de potencia hacia las cuchillas de corte, como elemento conductor, se utilizó un motor eléctrico trifásico; se debe a su facilidad para modificar su velocidad angular, y debido a las características eléctricas de la planta de Empaques de Calidad S.A. Las características importantes del motor trifásico se muestran en el Cuadro 10 .

Marca	Siti
<b>Velocidad angular</b>	1800 RPM
<b>Potencia</b>	1/3 HP
<b>Voltaje</b>	230V 3PH
<b>Corriente</b>	2.7 A

Cuadro 10: Características del motor eléctrico

Para los cálculos de los ejes, se determinó el eje crítico, es decir, el que soportaría mayores esfuerzos (carga del rollo y tensión del papel), y se hicieron los cálculos sobre este, de acuerdo con el diseño, para posteriormente utilizar esas mismas dimensiones en los otros ejes, facilitando así la tarea del cálculo mecánico. Este eje se muestra en la Figura 28 como el eje A.

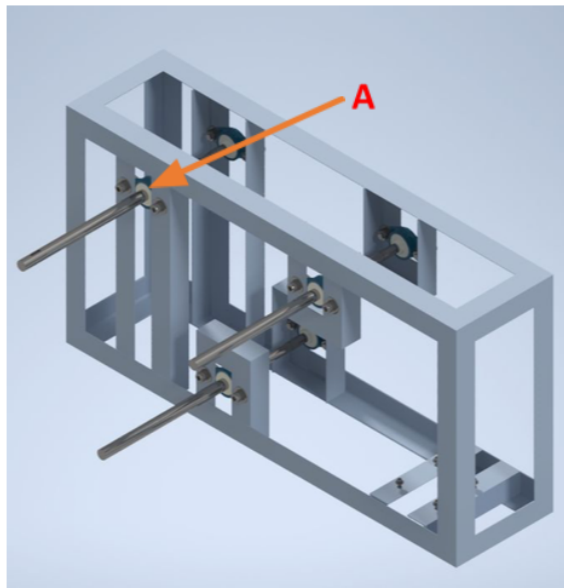


Figura 28: Eje crítico de máquina trituradora de etiquetas

Para facilidad de cálculos, se asumirá que el eje se encuentra en voladizo, y que la única fuerza determinante es la de la provocada por el peso del rollo de etiqueta, pues la tensión de las etiquetas fue mínima: el eje se encontraba girando libremente, y la velocidad de giro del eje no supondría un torque significativo. En la Figura 29 se muestra el eje con su respectiva carga y el diagrama de corte.

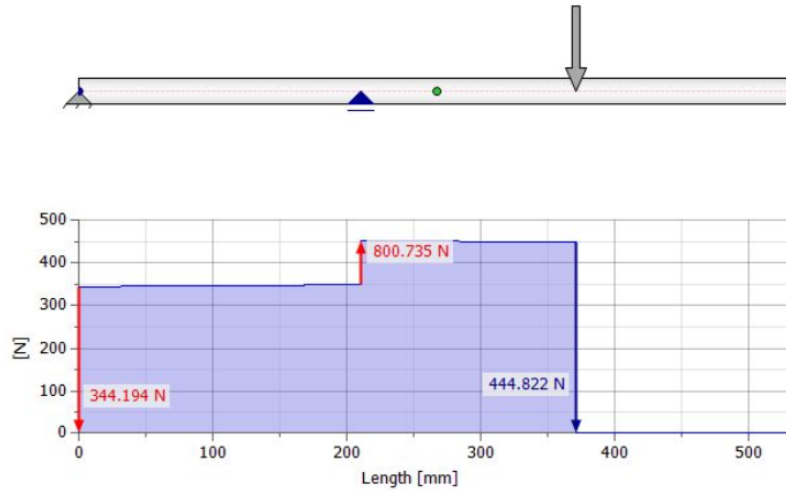


Figura 29: Diagrama de corte de eje crítico

La carga provocada por el peso del rollo de etiquetas se transformó en un momento flector libre y una fuerza cortante en el punto de voladizo; luego se empleó la teoría de falla de la fluencia estática de Langer para comprobar que el diseño propuesto cumplía con los requerimientos de diseño. Solamente se comprobó la fluencia en primer ciclo, pues la velocidad del eje era relativamente baja y se podía tomar como un caso de estática. Los cálculos se pueden observar de la Ecuación 39 a la Ecuación 42.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (39)$$

$$\alpha = \frac{F * l * c}{I} \quad (40)$$

$$\alpha_m = \sqrt{(K_f * \alpha_m)^2 + 3(k_f * \tau_m)^2} \quad (41)$$

$$\alpha_m = \frac{S_y}{n} \quad (42)$$

La Ecuación 39 muestra el esfuerzo cortante provocado por el peso del rollo de papel, y la Ecuación 40 el esfuerzo normal provocado por flexión; dichos esfuerzos fueron de 57 psi y 3848 psi respectivamente. Aplicando la Ecuación 41, con un factor K f de 1.1 para ser conservadores (a pesar de que el eje no presentaba discontinuidades a lo largo de su geometría), el esfuerzo equivalente de von Mises resultó en 4233 psi.

El material elegido para los ejes, por su bajo costo y facilidad de maquinado, fue acero inoxidable 304, y las propiedades mecánicas importantes se pueden observar en el Cuadro 11

sy (Esfuerzo de tensión)	31.2 Ksi
su(Esfuerzo único)	73.2 ksi

Cuadro 11: Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304

Continuando con el factor de seguridad mínimo permisible de 3, se obtuvo por último, usando la Ecuación 42, el factor de seguridad comparativo, siendo este de 7.37; con esto se concluye que el eje es lo suficientemente robusto para soportar los esfuerzos provocados por la carga de trabajo.

### 7.1.3. Módulo de corte

Los cálculos para los engranes, fueron solamente de comprobación, pues la caja reductora junto a las cuchillas ya se encontraba construidas como se puede observar en la Figura 30, esto debido a términos de costos de fabricación, por lo que no fue necesario diseñar toda esta etapa, sin embargo se realizó un esbozo del módulo de cuchillas en el software de Autodesk inventor 2020 para comprender de mejor forma su funcionamiento, este se puede observar de la Figura 31 a la Figura 33. La caja reductora consistió en la combinación de distintos trenes de engranes hacia la cuchilla. En esta sección se detallarán los cálculos mecánicos de cada uno de estos engranes.



Figura 30: Módulo de corte

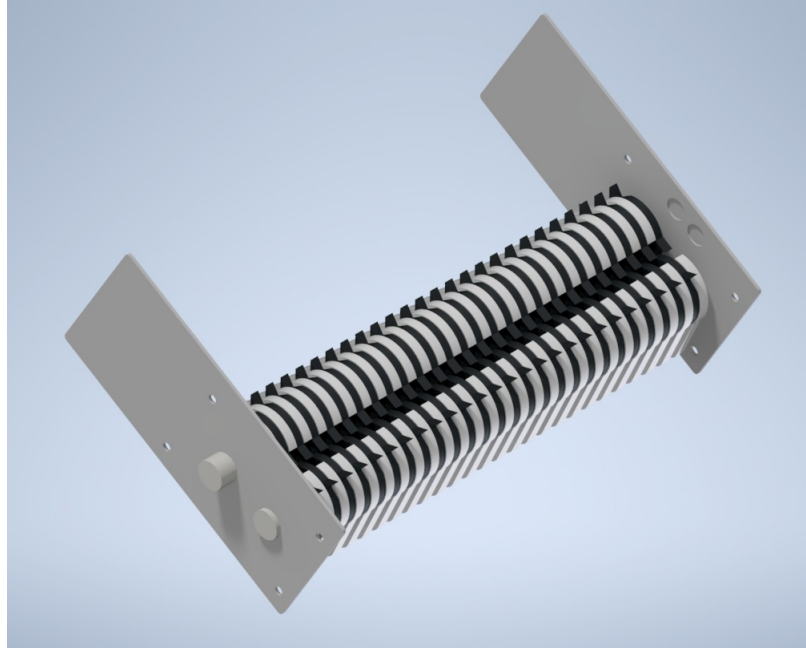


Figura 31: Esbozo del módulo de corte

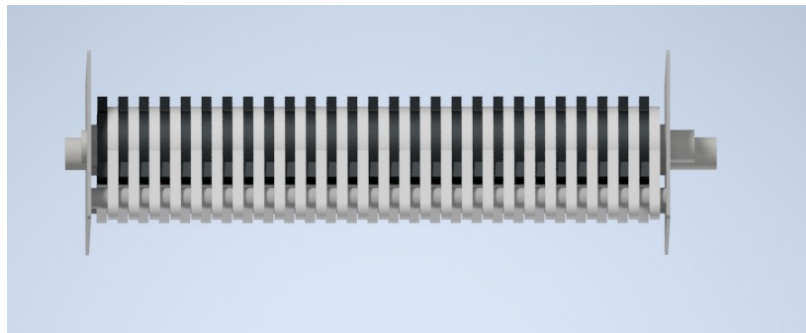


Figura 32: Esbozo módulo de corte vista lateral



Figura 33: Esbozo de cuchilla

En la Figura 34 se puede observar el esquemático del tren de engranes, y en el Cuadro 12 se muestran los cálculos para las velocidades y los torques respectivos de cada tren/engrane. Para los engranes helicoidales, se utilizó una eficiencia del 95 %, y para los engranes rectos, eficiencia del 90 %; se incluyen las eficiencias en los cálculos por temas de conservadurismo durante el diseño.

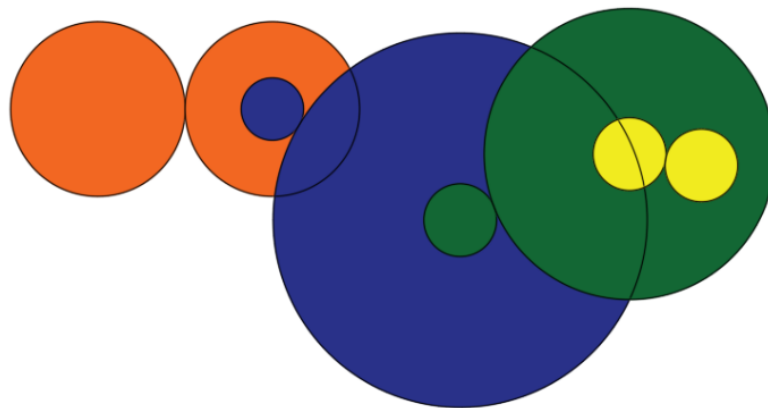


Figura 34: Diagrama de tren de engranes

tipo	Piñon 1 (Tren 1)	Engrane 1 (Tren 1)	Piñon 1 (Tren 2)	Engrane 1 (Tren 2)	Piñon 1 (Tren 3)	Engrane 1 (Tren 3)	Piñon 1 (Tren 4)	Engrane 1 (Tren 4)
material	Erlaton	Erlaton	Acero 1080	Erlaton	Acero 1080	Acero 1080	Acero 1080	Acero 1080
Dientes	42	42	10	40	10	28	8	8
Modulo	0.80	0.80	1.50	1.50	2	2	2.5	2.5
Diámetro (mm)	33.6	33.6	15	60	20	56	20	20
Ancho de cara (mm)	12	12	20	20	10	10	10	10
Velocidad angular (rpm)	1800	1800	1800	450	450	160.71	160.71	160.71
Velocidad lineal (mm/2)	3166.73	3166.73	1413.72	1413.72	471.24	471.24	168.30	168.30
Eficiencia	0.95	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Torque de entrada (Nm)	1.27	1.20	1.20	4.33	4.33	10.91	10.91	9.82

Cuadro 12: Cálculo de torques y velocidades de engranes

Material	Acero al Carbono AISI 1040 endurecido
St (resistencia de flexión)	289 MPa

Cuadro 13: Propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1040

Material	Ertalon / Nylatron
St (resistencia de flexión)	107 MPa

Cuadro 14: Propiedades mecánicas del Ertalon

Para los cálculos de resistencia a la flexión, se utilizó la Ecuación de Flexión de Lewis con efectos dinámicos (Ecuación 43), donde  $K_v$  son los efectos dinámicos,  $W_t$  la fuerza tangencial provocada por el torque,  $m$  el módulo del engrane,  $Y$  el factor de forma de Lewis y  $F$  el ancho de la cara del engrane. Los resultados de los cálculos de esfuerzos se muestran en el Cuadro 15.

$$\alpha = \frac{K_y * W^t}{F * m * Y} \quad (43)$$

$$K_v = \frac{6.1 + V}{6.1} \quad (44)$$

	<b>Y</b>	<b>Kv</b>	<b><math>\alpha</math>(Mpa)</b>
<b>Piñón 1 (Tren 1)</b>	0.394	1.519	30.24
<b>Engrane 1 (Tren 1)</b>	0.394	1.519	28.73
<b>Piñón 1 (Tren 2)</b>	0.230	1.232	28.63
<b>Engrane 1 (Tren 2)</b>	0.391	1.232	15.17
<b>Piñón 1 (Tren 3)</b>	0.225	1.077	103.66
<b>Engrane 1 (Tren 3)</b>	0.353	1.077	59.47
<b>Piñón 1 (Tren 4)</b>	0.225	1.028	199.35
<b>Engrane 1 (Tren 4)</b>	0.225	1.028	179.41

Cuadro 15: Resultados de esfuerzos en engranes

Una vez obtenidos todos los esfuerzos de flexión de los engranes, se procedió a calcular el factor de seguridad de cada uno de los engranes. Para ello, se asumió una confiabilidad del cálculo del 99 %, una temperatura de trabajo menor a 120°C y una cantidad de ciclos de trabajo mayor a 100,000. De acuerdo con la Ecuación 45,  $S_t$  es la resistencia a la flexión del material,  $Y_N$  el factor de ciclos de esfuerzo de flexión,  $K_T$  el factor de temperatura,  $K_R$  el factor de confiabilidad y  $S_F$  el factor de seguridad a la flexión. En el Cuadro 16 se observan los resultados de dichos cálculos.

$$S_F = \frac{(S_t * Y_N)/(K_T * K_R)}{\alpha} \quad (45)$$

	$Y_N$	$K_T$	$K_R$	$S_F$
<b>Piñón 1 (Tren 1)</b>	1.37	1.00	1.00	4.86
<b>Engrane 1 (Tren 1)</b>	1.37	1.00	1.00	5.11
<b>Piñón 1 (Tren 2)</b>	1.37	1.00	1.00	13.85
<b>Engrane 1 (Tren 2)</b>	1.37	1.00	1.00	9.68
<b>Piñón 1 (Tren 3)</b>	1.37	1.00	1.00	3.82
<b>Engrane 1 (Tren 3)</b>	1.37	1.00	1.00	6.67
<b>Piñón 1 (Tren 4)</b>	1.37	1.00	1.00	1.99
<b>Engrane 1 (Tren 4)</b>	1.37	1.00	1.00	2.12

Cuadro 16: Cálculos de factor de seguridad de engranes

Como se observa en el Cuadro 16, todos los factores de seguridad están por arriba de 1.5, por lo que se concluye que la caja reductora, trabajando a la potencia máxima del motor eléctrico, es capaz de soportar las cargas y los esfuerzos de trabajo.

## 7.2. Electrónica del sistema

La electrónica de la máquina trituradora de etiquetas se divide en dos áreas importantes, siendo estas: la electrónica relacionada al microcontrolador y la electrónica relacionada al panel eléctrico.

### 7.2.1. Electrónica del microcontrolador

La electrónica de la máquina trituradora de etiquetas estaba conformada de varios dispositivos, como reloj digital, sensores de peso, sensor de proximidad inductivo, etc. El diagrama de conexión entre los distintos dispositivos se muestra en la Figura 35.

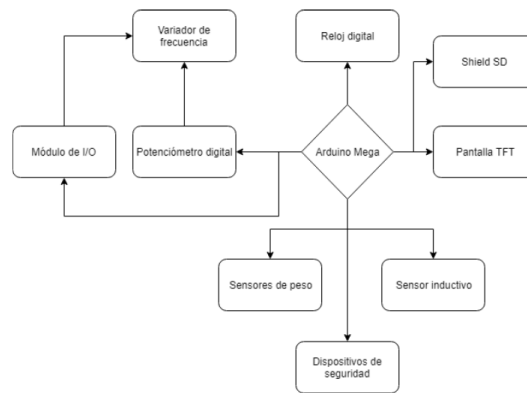


Figura 35: Diagrama de conexión de dispositivos electrónicos

Como interfaz de usuario o de operador, se decidió utilizar una pantalla TFT táctil de 3.2", eliminando así la necesidad de botones y perillas, para hacer la interfaz más intuitiva y agradable para el usuario. La pantalla táctil solamente tiene como uso proveer una interfaz gráfica, no añadir o eliminar usuarios autorizados.



Figura 36: Pantalla TFT táctil de 3.2"

Para variar la velocidad del motor trifásico descrito en la sección Transmisión de Potencia, se utilizó un variador de frecuencia [37], cuyas características principales se describen en el Cuadro 17 .

<b>Marca</b>	Hyundai
<b>Modelo</b>	N50-015SF
<b>Voltaje de entrada</b>	230V, 1PH
<b>Voltaje de salida</b>	230V, 3PH
<b>Potencia</b>	1 HP

Cuadro 17: Características del variador de frecuencia



Figura 37: Variador de frecuencia utilizado

Dicho variador fue controlado mediante el Arduino Mega[38], desde la pantalla táctil TFT, utilizando para ello como interfaz de comunicación un potenciómetro digital y un módulo de relés como interruptores. Esto debido a que el Arduino Mega solo es capaz de manejar hasta 5V, mientras que el variador de frecuencia maneja 24V en sus pines de entradas y salidas. Las características del Arduino Mega se muestran en el Cuadro 18.

<b>Voltaje de operación</b>	5V
<b>Rango de voltaje de entrada</b>	7V-12V
<b>Entradas y salidas digitales</b>	54
<b>Entradas analógicas</b>	16
<b>Memoria flash</b>	256 KB
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>Frecuencia de reloj</b>	16 MHz

Cuadro 18: Características de Arduino Mega

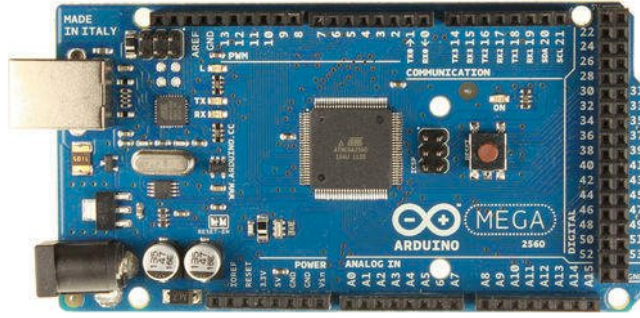


Figura 38: Tarjeta de Arduino Mega 2560

Por motivos de trazabilidad, era necesario almacenar la información de uso de la máquina trituradora, y que esta se pudiese verificar posteriormente, por lo que se utilizó un módulo de SD junto a un reloj digital. Estos se conectaban al Arduino Mega mediante el protocolo de comunicación I2C, y la información fue guardada en un documento de valores separados por comas (CSV). En la Figura 39 se observa una línea almacenada en la memoria SD.

`11/07/2019;10:51;12:39;13271;12.50;18.5`

Figura 39: Línea de información

La línea de información estaba formada por: fecha, hora de inicio de trituración, hora de finalización de trituración, código del empleado, peso y distancia triturada. Esta información se podía observar más detalladamente en el software de la computadora, como se verá en la sección Software. Además, era necesario limitar el acceso a los operadores de la máquina trituradora, por lo que dicha información también fue almacenada en la memoria SD, para que el Arduino Mega pudiese leerla y actuar en base a ella.

Se utilizaron sensores de peso [40] para determinar cuándo el contenedor se encontrase lleno o para almacenar también cuánta etiqueta en peso se había triturado. Estos sensores estaban ubicados debajo del contenedor de etiquetas trituradas, y estos se taraban (configurar el cero de los sensores de peso) al arrancar la máquina trituradora.



Figura 40: Sensores de peso utilizados



Figura 41: Sensores de peso colocados en la estrucutra

Para medir la distancia de etiqueta triturada, se utilizó un sensor de proximidad inductivo [42], el cual determinaba la posición de una leva que era movida por el eje de soporte del rollo de etiquetas a triturar.



Figura 42: Sensor de proximidad utilizado

Este sensor mostraba un flanco ascendente por cada revolución de la leva y del eje, por lo que, para determinar la distancia recorrida, se midió el diámetro máximo de la leva y con este dato se determinó el perímetro o la distancia recorrida por cada revolución. Esto se observa en la ecuación 46.

$$L = \pi * d \quad (46)$$

Donde L es la distancia recorrida, y d es el diámetro máximo de la leva. Dicho cálculo resultó en una distancia de 188.5mm (diámetro máximo de la leva de 60mm). Por último, esta constante se multiplicó por la cantidad de revoluciones determinada por el Arduino Mega, y se obtuvo un aproximado de la distancia total triturada. Esta precisión pudo haberse mejorado utilizando un encoder más fino, sin embargo, se utilizó la leva proporcionada por la empresa Empaques de Calidad. S.A.

### 7.2.2. Panel eléctrico

En la Figura 43 y en la Figura 44 se muestra el diagrama esquemático de control del motor principal y el diagrama de potencia respectivamente, siendo el circuito de control un simple circuito de arranque y paro, e incluyendo las protecciones necesarias para evitar daños tanto en el motor eléctrico como en el circuito eléctrico; dichas protecciones incluyeron un relé térmico de corriente variable, el cual se accionaría cuando el motor estuviese consumiendo una corriente mayor a la designada por el equipo, evitando así que el variador de frecuencia se sobrecargara.

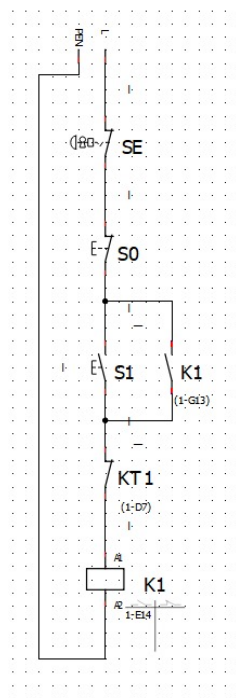


Figura 43: Circuito de control para el motor principal de la máquina trituradora

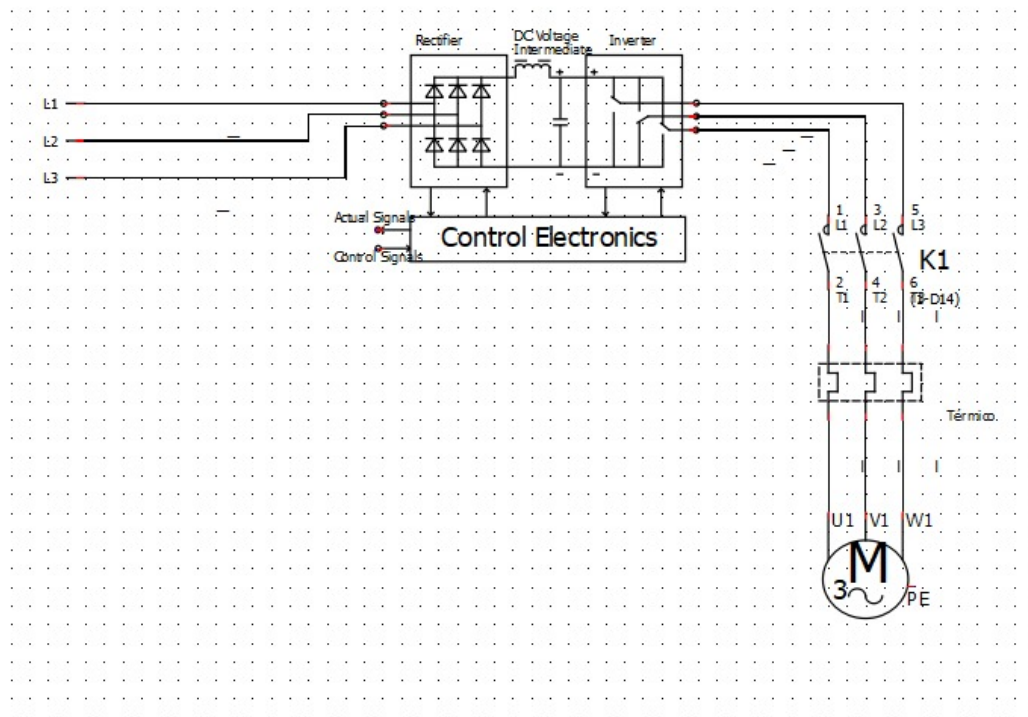


Figura 44: Circuito de potencia para motor de máquina trituradora

En el Cuadro 19 se puede observar la definición de cada uno de los símbolos de los elementos utilizados para los circuitos de control y de potencia del motor eléctrico de la máquina trituradora de etiquetas.

<b>SE</b>	Interruptor de emergencia
<b>S0</b>	Pulsador de paro
<b>S1</b>	Pulsador de arranque
<b>K1</b>	Contacto principal
<b>KT1</b>	Relé térmico
<b>VDF</b>	Variador de Frecuencia

Cuadro 19: Descripción de símbolos de circuitos eléctricos

Se inicio la construcción del panel eléctrico, en la Figura 45 se puede observar los elementos principales que utiliza la trituradora de etiquetas como lo son el variador de frecuencia, contacto principal, relé térmico, guarda-motor.



Figura 45: Elementos del panel eléctrico

En la Figura 46 se puede observar los diferentes elementos con los que el operario puede interactuar para hacer funcionar la máquina trituradora, siendo estos la botonera On/Of el pulsador de paro de emergencia y las luces de estado.



Figura 46: Elementos exteriores del panel eléctrico

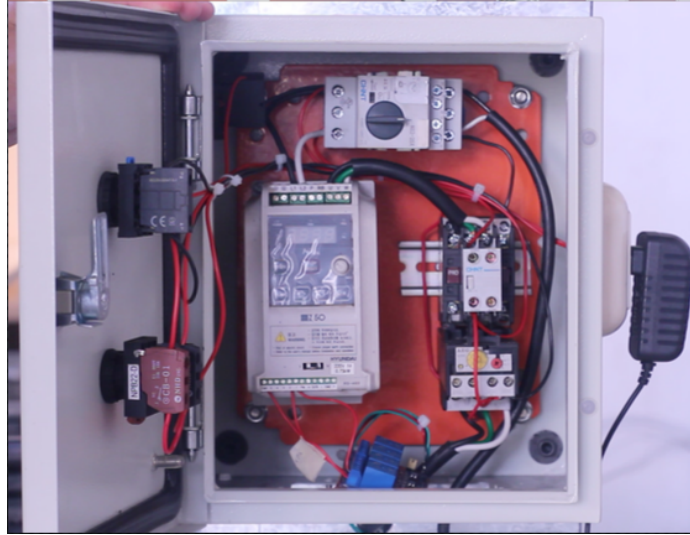


Figura 47: Conexiones del panel eléctrico

En la Figura 48 se muestra un conector que se encuentra en la parte trasera del panel eléctrico el cual se encarga de suministrar el voltaje hacia el Arduino, se utilizó esta alimentación hacia el Arduino para garantizar un fácil acceso por desperfectos eléctricos.



Figura 48: Conexión de voltaje para Arduino

## 7.3. Software

Se desarrollaron dos programas de forma separada: uno para el microcontrolador Arduino Mega 2560, que controlaba la correcta operación de la máquina; y otro para la computadora, con el objetivo de visualizar los datos obtenidos de la máquina trituradora.

### 7.3.1. Programación del microcontrolador Arduino Mega 2560

Para la programación del Arduino Mega, se utilizó el entorno de desarrollo integrado para Arduino, versión 1.8.6, como se observa en la Figura 49. Este utiliza un lenguaje de programación de alto nivel basado en C.



Figura 49: IDE para Arduino

El proceso de control de la máquina fue determinar si el operador se encontraba autorizado para la operación de la máquina, accionar el motor eléctrico en ambos sentidos de giro (dependiendo de lo que se necesitase) y finalizar la operación. Esto se muestra en el diagrama de la Figura 50.

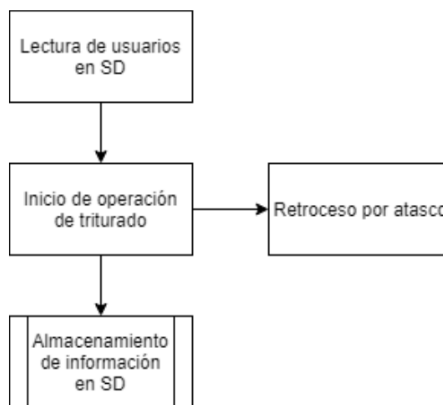


Figura 50: Operación del microcontrolador

Para la programación del microcontrolador se utilizaron las diferentes librerías de código abierto ofrecidas para Arduino, lo cual simplificó en gran parte el código. No se entrará en detalles acerca de las librerías, puesto que el fuerte de este trabajo de graduación no es la programación de microcontroladores.

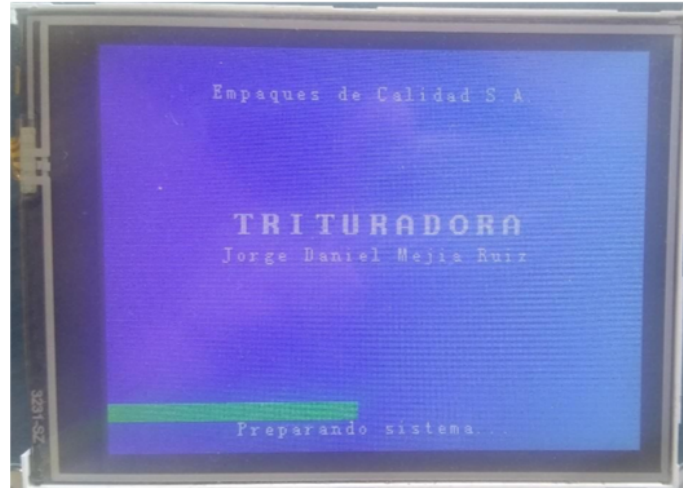


Figura 51: Pantalla de bienvenida



Figura 52: Pantalla de ingreso de operador

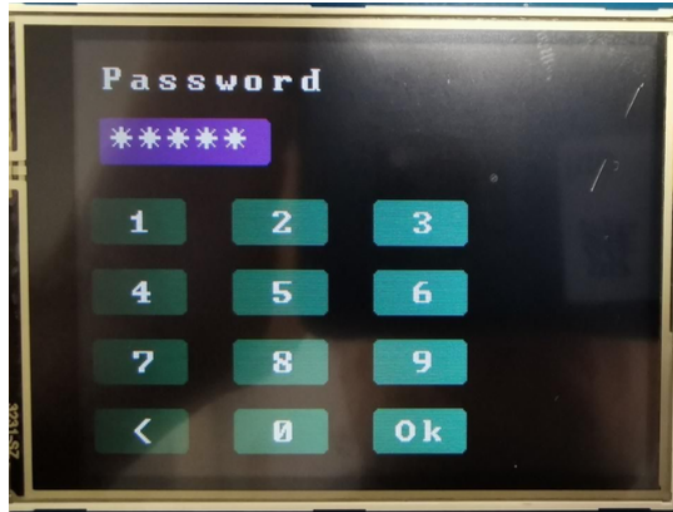


Figura 53: Pantalla de ingreso de contraseña

Como se observa en la Figura 52 y en la Figura 53, para poder operar la máquina trituradora de etiquetas, es necesario estar autorizado y conocer tanto el usuario como la contraseña. Los datos de los usuarios y las contraseñas se encuentran almacenados en un archivo dentro de la memoria SD; el microcontrolador, al iniciar operación, lee la memoria SD y obtiene la lista de operadores y contraseñas para posteriormente compararlos y autorizar el uso de la máquina trituradora de etiquetas. En caso de que no se reconozca el usuario o la contraseña, la pantalla mostrará un error, como se observa en la Figura 54.

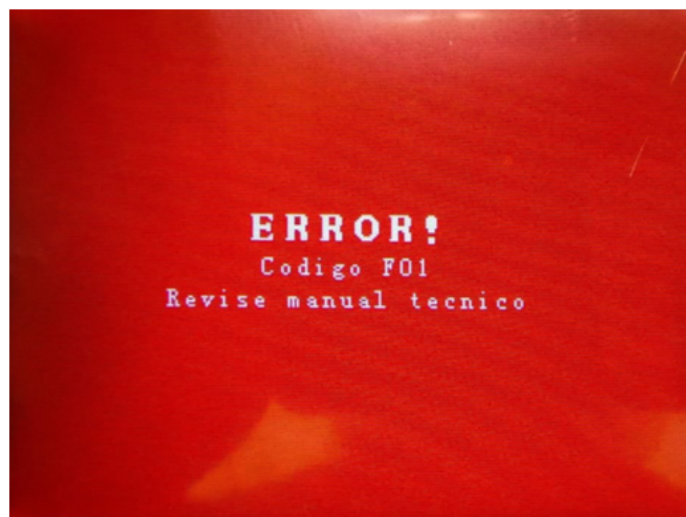


Figura 54: Pantalla de error por operador o contraseña incorrecta

Al ingresar un operador y una contraseña correctos, se mostrará la pantalla principal (como se observa en la Figura 55), donde se iniciará la operación de la máquina trituradora de etiquetas. En esta pantalla se pueden observar tres botones, 'Start', que se utiliza para iniciar la trituración de las etiquetas; 'Retro', utilizado para hacer que el motor principal gire en sentido contrario en caso de atasco (Figura 56) y 'Fin', el cual debe ser presionado al finalizar la trituración de la etiqueta.



Figura 55: Pantalla principal de trabajo de máquina trituradora

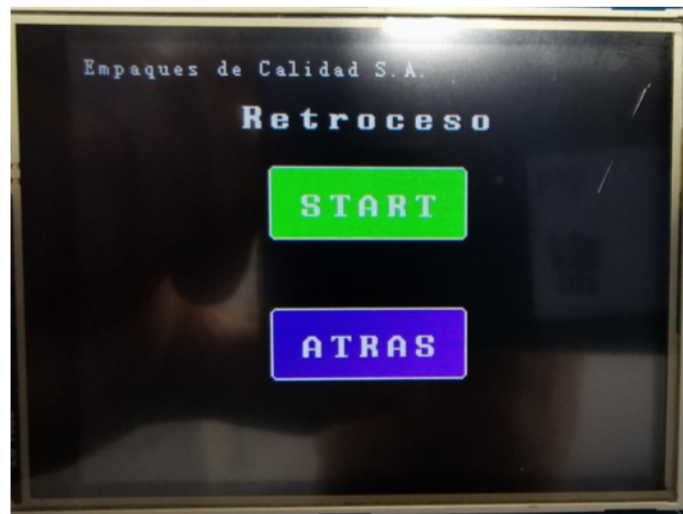


Figura 56: Pantalla de retroceso por atasco

Al presionar el botón 'Fin', se da por terminada la trituración, y todos los datos obtenidos mediante los sensores y la información de la fecha y hora son almacenados en la memoria SD para su posterior registro y consulta. Esto se puede observar en la Figura 57.

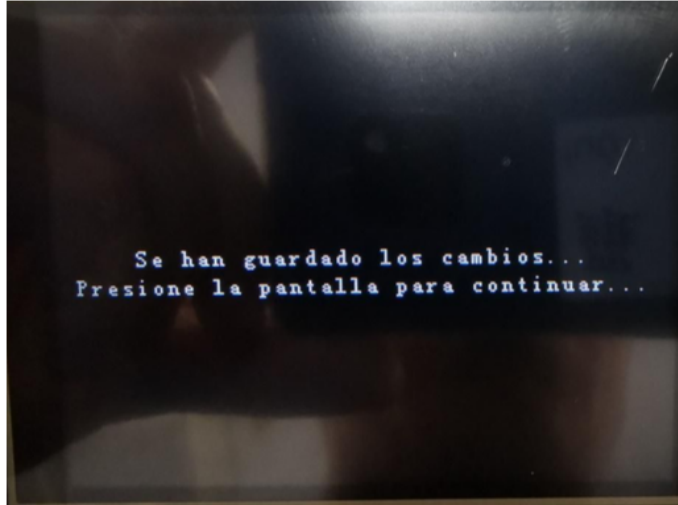


Figura 57: Pantalla de fin de operación de máquina trituradora

### 7.3.2. Programa de visualización para la computadora

El software para generar los reportes de la trituración de etiquetas debía ser capaz de almacenar toda la información proveniente de la máquina trituradora de etiquetas. Dicha información debía incluir fecha, hora, datos del operador y cantidades trituradas para su trazabilidad. Para ello, los datos se almacenaron en un archivo de valores separados por comas (CSV). En la Figura 58 se pueden observar los campos utilizados en los archivos CSV.

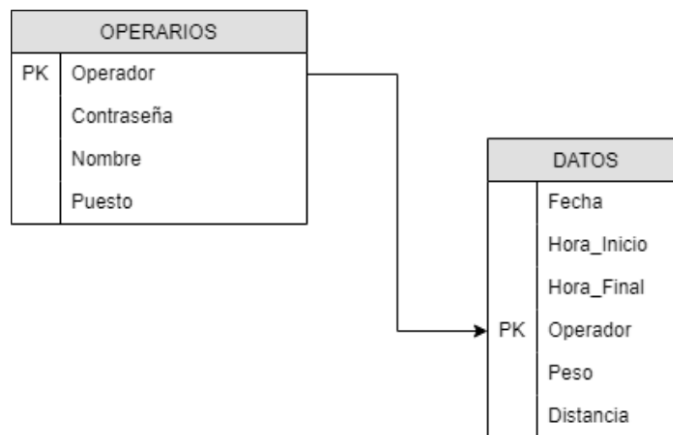


Figura 58: Campos en archivos CSV

El software principal de la computadora, encargado de gestionar los archivos CSV y visualizar la información recopilada por la máquina trituradora, se programó utilizando el lenguaje de alto nivel Java, en el entorno de desarrollo integrado Eclipse. En la Figura 59 se muestra la pantalla de acceso al software.

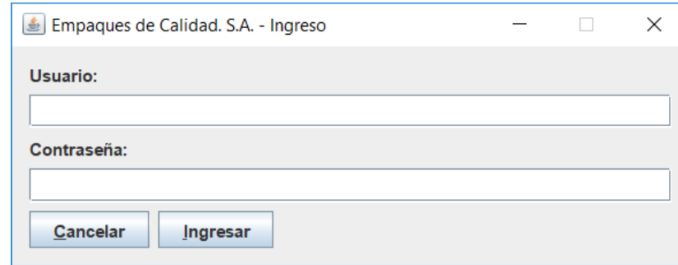


Figura 59: Pantalla de acceso al software principal

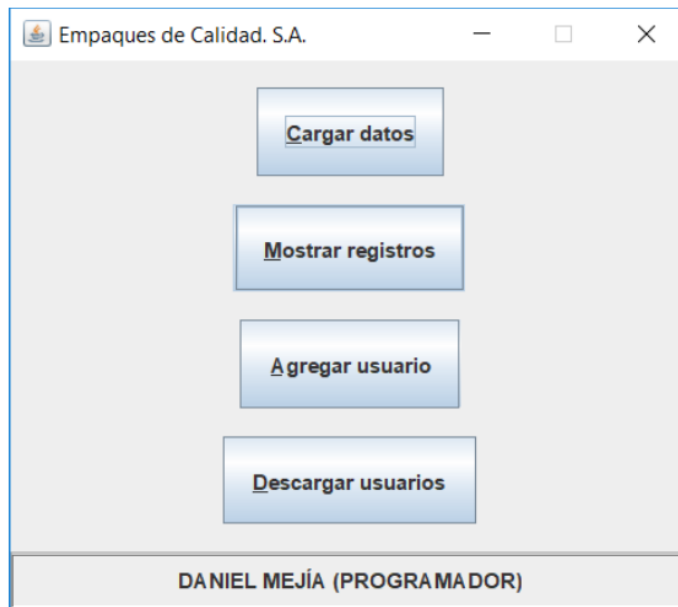


Figura 60: Pantalla principal

Empaques de Calidad. S.A. X

**Usuario:**

**Nombre:**

**Contraseña:**

**Repetir contraseña:**

ADMINISTRADOR ▼

PROPIETARIO

ADMINISTRADOR

SUPERVISOR

OPERADOR

Figura 61: Pantalla de agregar usuario

Como se observa en la Figura 61, a los operadores se les pueden asignar distintos roles y limitar así el acceso tanto al software de la computadora, como a la operación de la máquina. Esto con el objetivo de controlar de mejor manera la correcta utilización de la máquina trituradora de etiquetas.

Empaques de Calidad. S.A. X

Fecha	Hora Inicio	Hora Final	Usuario	Peso	Metraje
11/07/2019	10:51	12:39	JULIO VÁSQUEZ	28.50	35.05
08/07/2019	17:51	18:39	JENNY LI	12.50	05.39
04/07/2019	15:51	16:39	JULIO VÁSQUEZ	10.50	08.50
03/07/2019	13:51	15:39	JENNY LI	30.50	17.32
02/07/2019	09:51	11:39	ALBERTO MONTENEG...	25.50	19.50

Imprimir Salir Graficar

Figura 62: Pantalla de registros

En la Figura 62 se puede observar la ventana de los registros históricos, que incluyen los datos necesarios para su trazabilidad.

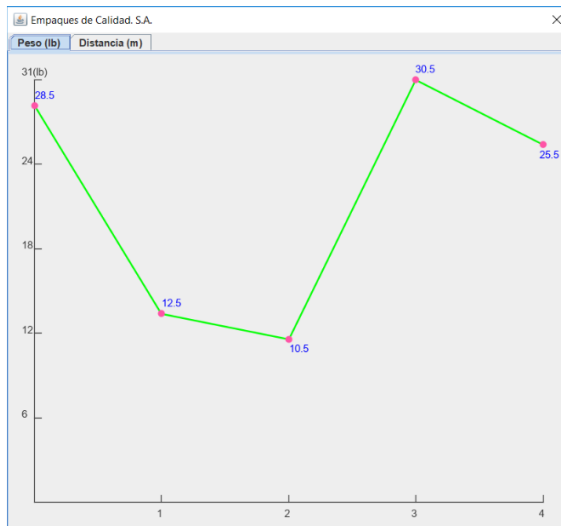


Figura 63: Pantalla de gráfico histórico de pesos

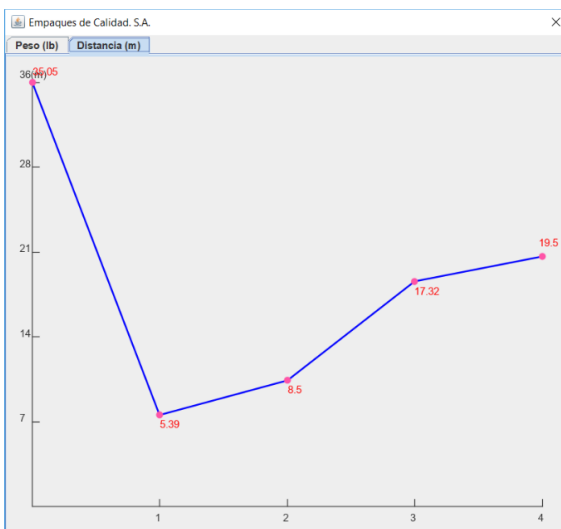


Figura 64: Pantalla de gráfico histórico de distancias

En la Figura 63 y en la Figura 64 se observan las tendencias de la trituración de etiquetas, tanto en peso (libras) como en distancia (metros).

Para almacenar los registros obtenidos de la máquina trituradora, es necesario retirar la memoria SD e introducirla en la computadora; la ventana que se mostrará se observa en la Figura 65, y ahí debe seleccionarse la unidad perteneciente a la memoria SD.

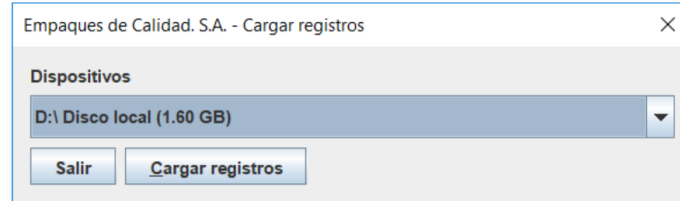


Figura 65: Pantalla para almacenar registros

Para agregar usuarios, y que estos estén autorizados para utilizar la máquina trituradora, es necesario descargar los datos en la memoria SD. La ventana mostrada por el programa se observa en la Figura 66, y debe seleccionarse la unidad perteneciente a la memoria SD.

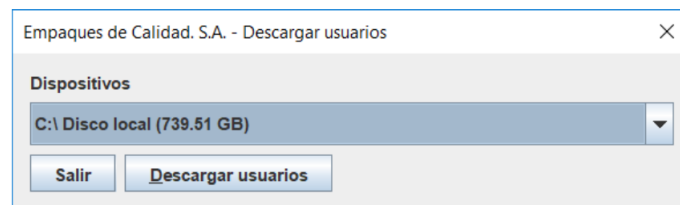


Figura 66: Pantalla para la descarga de usuarios

Gracias a este software principal para la computadora se puede garantizar la trazabilidad de la información en el uso de la máquina trituradora ya que los datos son almacenados y estos se pueden verificar posteriormente, En la Figura 67 se muestra el resultado final de la máquina trituradora y en la Figura 68 se muestra etiqueta triturada mediante esta máquina.



Figura 67: Máquina trituradora terminada



Figura 68: Etiqueta triturada

- Mediante materiales reciclados de la empresa Empaques de Calidad S.A se pudo diseñar y construir una máquina trituradora de etiquetas.
- Gracias a esta máquina trituradora se pudo triturar merma de etiquetas o desperdicio los cuales al salir de esta máquina son irreconocibles y no se pueden reutilizar
- La máquina cuenta con un ajuste de velocidad en tiempo real.
- La información almacenada por la máquina trituradora de etiquetas durante su operación fue de suma utilidad para su trazabilidad, y fue posible acceder posteriormente a esta información, cumpliendo así con el objetivo de contabilización del desecho triturado
- Gracias a la trituradora de etiquetas se pudo salvaguardar la información confidencial de empresas prestigiosas así como reducir el desecho que Empaques de Calidad S.A. contenía en bodegas
- Mediante un manual de usuario la empresa Empaques de Calidad S.A. conoce la correcta operación de la máquina y sabe como actuar en caso de un mal funcionamiento.
- Mediante el software del microcontrolador y la computadora se pudo restringir el uso de la máquina trituradora únicamente al personal capacitado.

---

### Recomendaciones

---

- Colocar un acrílico o plexiglass con un sensor magnético alrededor del módulo de corte para garantizar mayor seguridad al operador y que se detenga el proceso de triturado si el sensor no se encuentra activo.
- Utilizar bases de datos para un mejor manejo de estadísticas y usuarios, así mismo para poder acceder a los registros mediante una conexión a internet
- Modificar el módulo de corte a cuchillas de teflón para evitar atascamientos continuos debido al pegamento de la calcomanía.
- Agregar un dispensador de desengrasante automático.
- Utilizar un sensor que mida el diámetro de las bobinas para conocer con mayor precisión el metraje final
- No utilizar la trituradora cerca de maquinaria pesada para evitar daños y desgaste debido a campos magnéticos.
- Utilizar un PLC y pantalla HMI para que la máquina sea utilizada en un entorno industrial.
- Utilizar un guardamotor con acceso desde el exterior para evitar abrir el panel eléctrico constantemente .

- 
- [1] N. aca. (11 de sep. de 2018). Lean Manufacturing: 8 desperdicios en las empresas, dirección: <https://www.merca20.com/8-desperdicios-en-las-empresas-lean-manufacturing/> (visitado 03-07-2019).
- [2] J. Anguita Carpio, *La flexografía actual*, 2.<sup>a</sup> ed. Barcelona, España: Gremio de industrias graficas de Cataluña, 2011, 277 págs., ISBN: 978-8493016227.
- [3] Col. de M. Pineda, Tel.: (+502) 55959895, abr. de 2019. dirección: [mgpinedaempadiver@gmail.com](mailto:mgpinedaempadiver@gmail.com).
- [4] Col. de A. López, Tel.: (+502) 41505527, abr. de 2019. dirección: [Jefaturaproduccion.empadiver@gmail.com](mailto:Jefaturaproduccion.empadiver@gmail.com).
- [5] V. T. di Caracalla, , *Food Quality and Safety Systems – A Training Manual on Food Hygiene and the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System*, 1.<sup>a</sup> ed. Roma, Italia: pubilsh management Group, FAO infomation Division, 1998, 178 págs., ISBN: 92-5-1041156.
- [6] MINECO. (2011). Reglamento tecnico centroamericano, dirección: <https://www.mineco.gob.gt/listado-de-reglamentos-t%C3%A9cnicos-centroamericanos>.
- [7] O. Olachea. (15 de jul. de 2013). Etiquetas, más que un simple diseño, dirección: <https://www.paredro.com/etiquetas-mas-que-un-simple-diseno/> (visitado 11-07-2019).
- [8] V. Hopp, *Fundamentos de tecnología química*. Reverte, jun. de 1994, 540 págs., ISBN: 978-84-291-7245-4.
- [9] M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Mode*. Pearson Educación, 1997, 1096 págs., ISBN: 978-968-880-846-7.
- [10] F. R. Ortega, *Introducción a la recuperación y reciclado de los metales no féreos*. IGME, 1992, 276 págs., ISBN: 978-84-7840-131-4.
- [11] C. C. Villalaz y C. Crespo, *VIAS DE COMUNICACION : CAMINOS, FERROCA-RRILES, AEROPUERTOS, PUENTES Y PUERTOS*. Editorial Limusa, 30 de jun. de 2007, 744 págs., ISBN: 978-968-18-4849-1.

- [12] P. Bastian, *Electrotecnia*. Ediciones AKAL, 23 de mayo de 2001, 564 págs., ISBN: 978-84-460-1346-4.
- [13] I. L. Kosow, *Control de maquinas eléctricas*. Reverte, 1977, 452 págs., ISBN: 978-84-291-3046-1.
- [14] R. G. Budynas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 1092 págs.

11.1. Planos de construcción

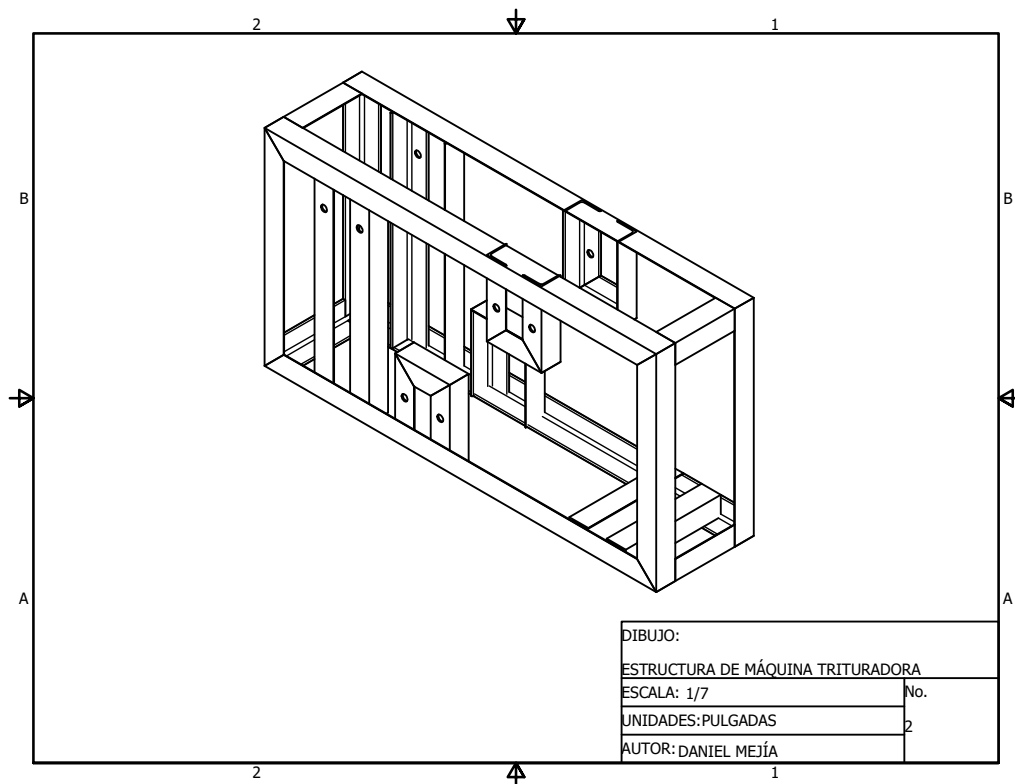


Figura 69: Planos estructura máquina trituradora

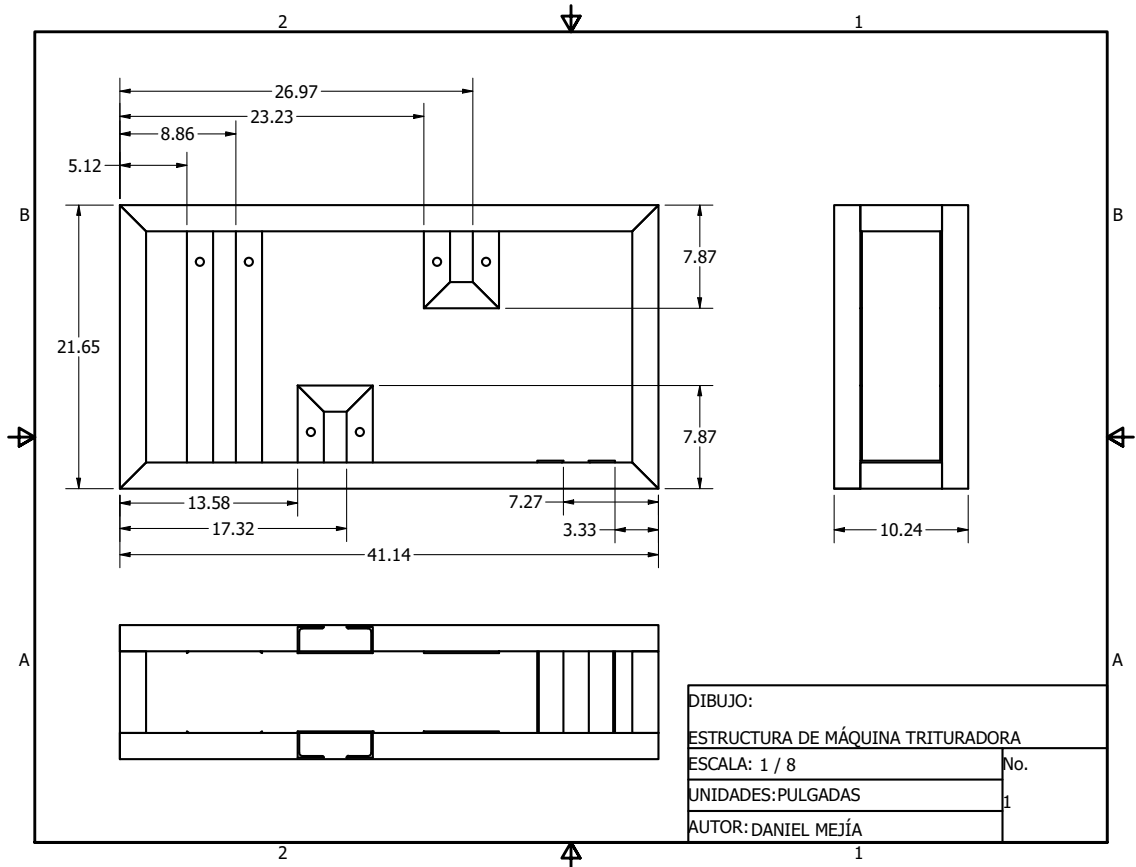


Figura 70: Planos estructura máquina trituradora

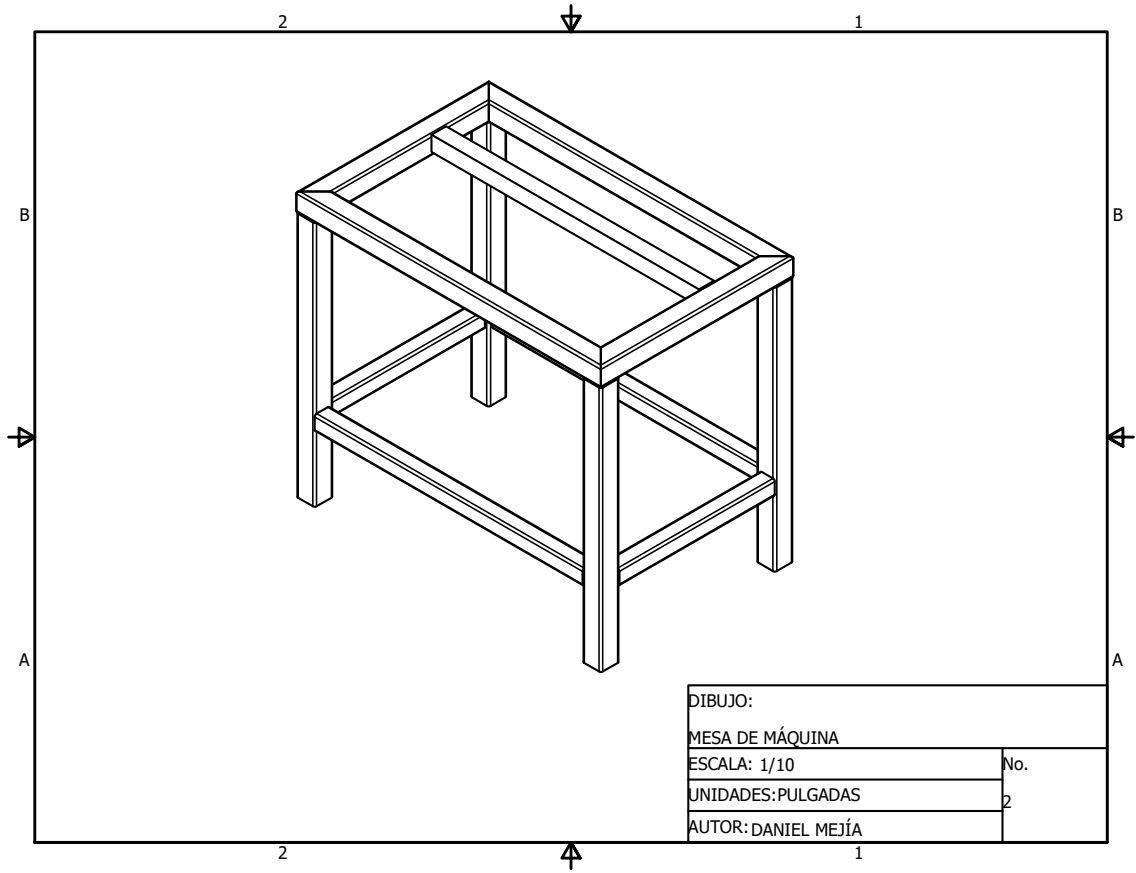


Figura 71: Planos estructura máquina trituradora

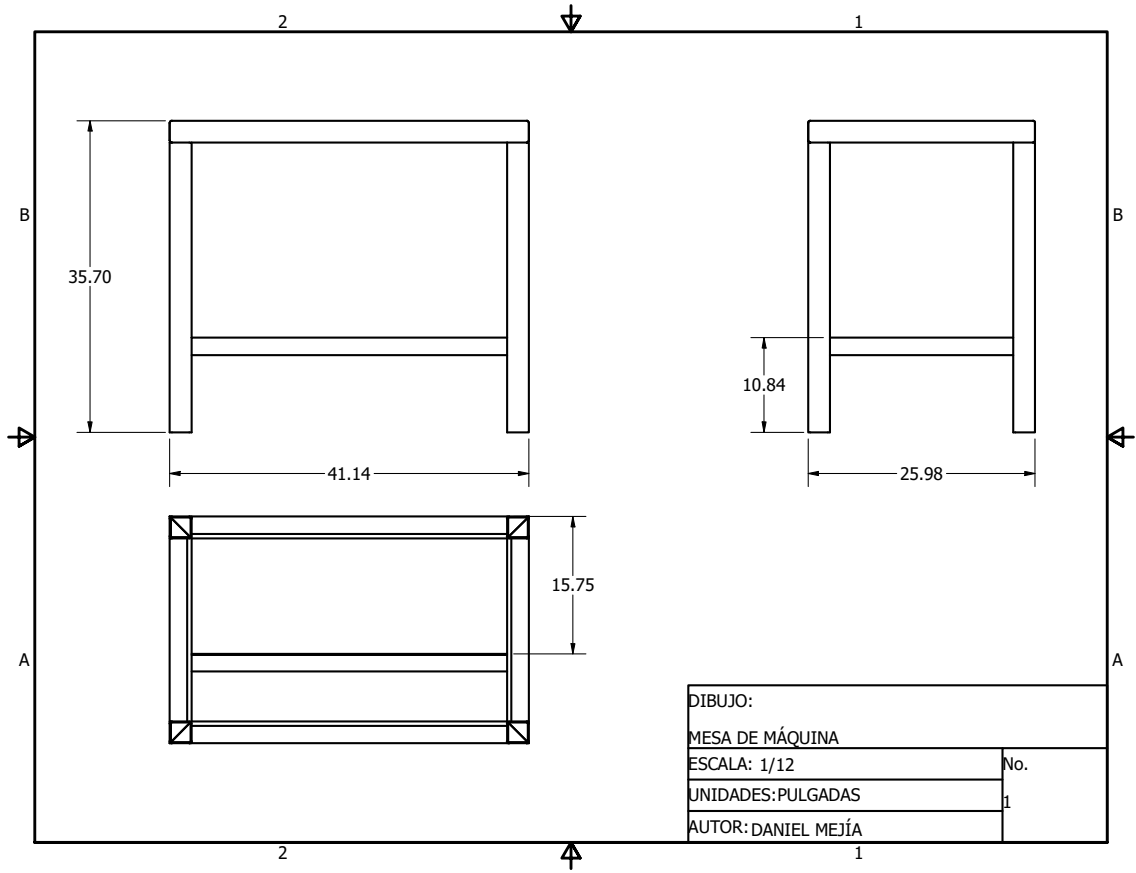


Figura 72: Planos estructura máquina trituradora

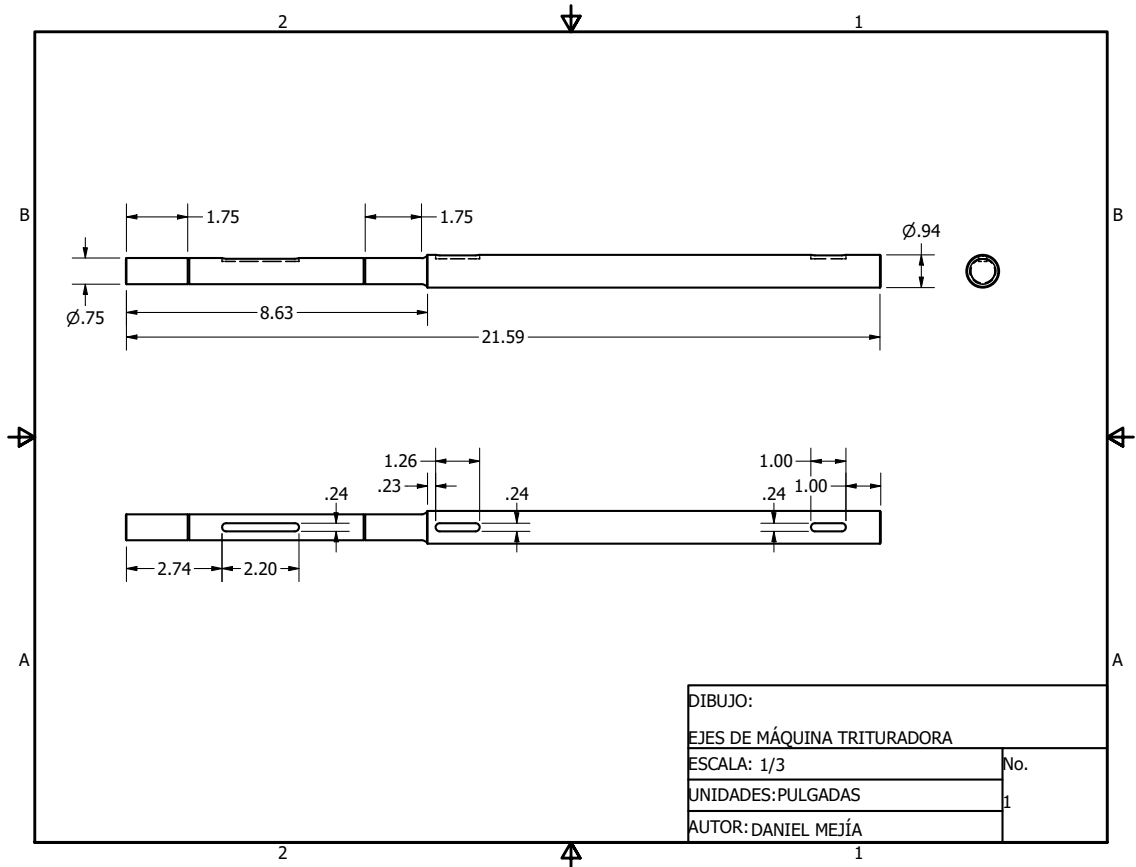


Figura 73: Planos estructura máquina trituradora

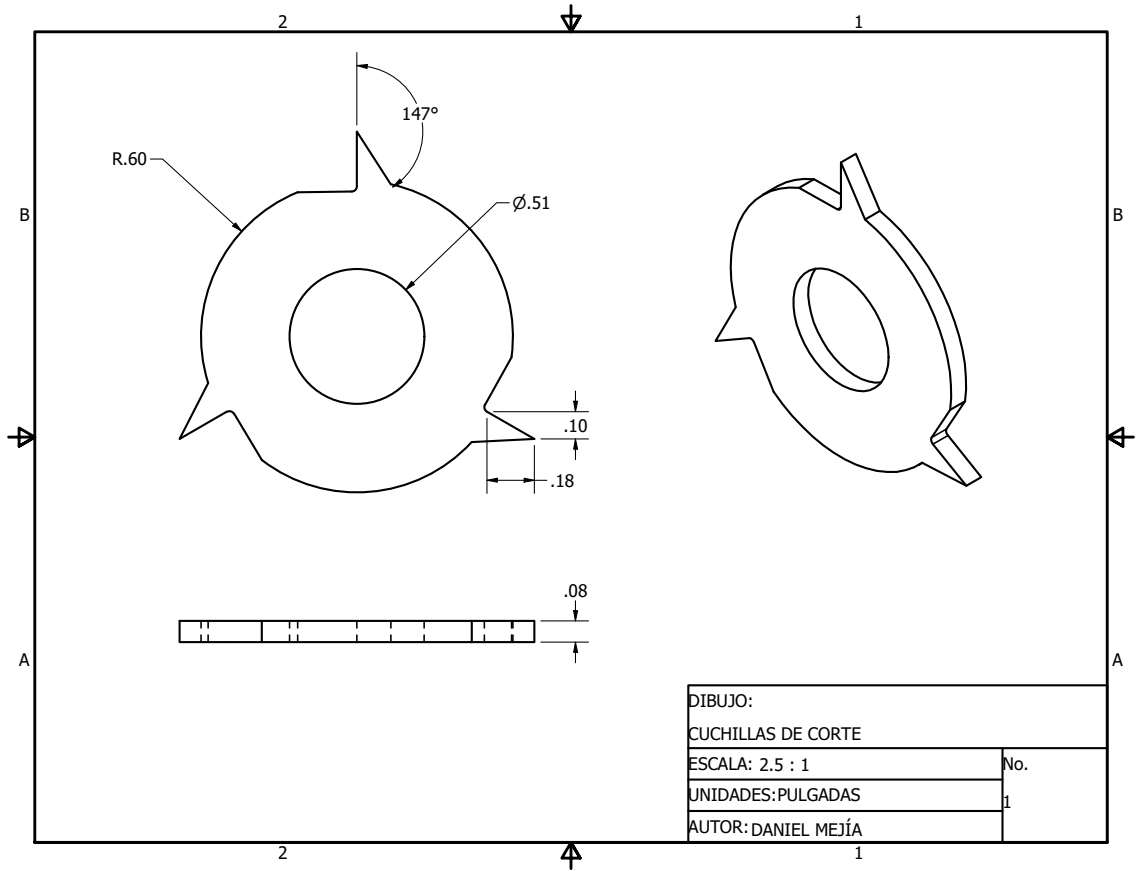


Figura 74: Planos estructura máquina trituradora

