

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica

Tesis

**Diseño de una máquina automatizada mediante un  
sistema mecánico-eléctrico para la clasificación de ajíes  
*Capsicum annum* en la provincia de Huancayo**

Gerald Antony Cárdenas Pisco

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecatrónico

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios.

A mis padres por su apoyo incondicional  
A la Universidad Continental que brindó  
la oportunidad de desarrollarme  
académicamente en la facultad de  
Ingeniería Mecatrónica.

## **DEDICATORIA**

A Dios, fuente de inspiración.

A mis padres y hermano, quienes  
me apoyaron en mi desarrollo  
académico.

# ÍNDICE

Agradecimiento .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Índice.....	iv
Lista de tablas .....	viii
Lista de figuras.....	x
Resumen.....	xii
Introducción.....	xiii
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.2. Problemas.....	16
1.2.1. Problema general .....	16
1.3. Objetivos .....	16
1.3.1. Objetivo general .....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. Justificación e importancia .....	17
1.4.1. Justificación teórica.....	17
1.4.2. Justificación práctica .....	17
1.4.3. Justificación metodológica .....	17
1.5. Flujograma del proyecto de tesis.....	18
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	19
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	19
2.1.1.1. Diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas.....	19
2.1.1.2. Diseño de una máquina mecatrónica para seleccionar uvas de mesa.....	20
2.1.1.3. Diseño de una máquina seleccionadora de semillas de sacha inchi peladas, por color con capacidad de 200 kg/h .....	20
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	21
2.1.2.1 Máquina para clasificar aguacates por su peso .....	21

2.1.2.2.	Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/h .....	21
2.1.2.3.	Sistema clasificador de tomate de árbol de acuerdo a su madurez por medio de visión artificial.....	22
2.2.	Bases teóricas .....	23
2.2.1.	Bases teóricas mecánicas .....	23
2.2.1.1.	Volumen del poliedro piramidal .....	23
2.2.1.2.	Relaciones de parámetros físicos .....	28
2.2.1.3.	Cinemática y cinética circunferencial.....	31
2.2.1.4.	Movimiento parabólico.....	32
2.2.1.5.	Diseño de la flecha de transmisión.....	34
2.2.1.6.	Diseño de cuñas mecánicas.....	40
2.2.1.7.	Selección de rodamientos de contacto .....	43
2.2.1.8.	Transmisión por cadenas .....	46
2.2.2.	Bases teóricas eléctricas .....	52
2.2.2.1.	Componentes de un sistema eléctrico.....	52
2.2.2.2.	Protección de motor .....	53
2.2.2.3.	Consumo de un motor .....	53
2.2.3.	Bases teóricas para el sistema de control.....	55
2.2.3.1.	Componentes del sistema control .....	55
2.2.3.2.	Funcionamiento de un sistema de control .....	55
2.2.3.3.	Sensor .....	56
2.2.3.4.	Selección de elementos de mandos.....	59
2.2.3.5.	Colores según el estándar IEC 60204 para pulsadores ....	60
2.2.3.6.	Colores según el estándar IEC 60204 para lámparas .....	61
2.2.3.7.	Pirámide de la automatización .....	61
2.2.3.8.	PLC .....	62
2.3.	Proceso de producción de ají .....	63
2.3.1.	Requerimientos agroclimáticos .....	63
2.3.2.	Requerimientos del suelo.....	64
2.3.3.	Técnicas de plantación .....	64
2.3.4.	Ciclo de producción del ají <i>Capsicum annum</i> .....	65
2.3.5.	Canal de comercio .....	65
2.3.6.	Requerimientos en la cosecha.....	66

2.3.7. Exigencias en el sector agrícola .....	66
2.3.8. Requerimientos del proceso agrícola de producción de ají.....	67
2.4. Definición de términos básicos .....	68
2.4.1. Automatización .....	68
2.4.2. Sistema electromecánico .....	68
2.4.3. Clasificar .....	68
2.4.4. Selección de materiales .....	68
2.4.5. Sistema eléctrico.....	69
2.4.6. Sistema de control .....	69
2.4.7. Optimización de tiempo.....	69
2.4.8. Productividad .....	69
2.4.9. Trabajo.....	69
2.4.10. <i>Capsicum annuum</i> .....	69
2.4.11. Microcontroladores .....	69
2.4.12. Mercado .....	69
2.4.13. Seguridad.....	70
2.4.14. Normativa y legitimidad.....	70
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA .....</b>	<b>71</b>
3.1. Tipo de investigación .....	71
3.2. Metodología aplicada para el diseño de la solución.....	71
3.2.1. Metodología VDI 2221 .....	71
<b>CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN .....</b>	<b>76</b>
4.1. Identificación de requerimientos.....	76
4.1.1. Lista de exigencias.....	76
4.2. Análisis de la solución .....	77
4.2.1. Caja negra .....	77
4.2.2. Estructura de funciones.....	78
4.2.3. Matriz morfológica del sistema mecánico .....	80
4.2.4. Boceto de solución del sistema mecánico .....	81
4.2.5. Matriz de evaluación de la solución mecánica .....	82
4.2.6. Matriz morfológica del sistema eléctrico .....	82
4.2.7. Boceto de solución del sistema eléctrico .....	84
4.2.8. Matriz de evaluación de la solución eléctrica .....	85
4.2.9. Matriz morfológica del sistema de control .....	86

4.2.10. Boceto de solución del sistema de control .....	87
4.2.11. Matriz de evaluación de la solución para el sistema de control ...	87
4.3. Diseño de la solución.....	88
4.3.1. Diseño mecánico .....	88
4.3.1.1. Diseño de tolva.....	88
4.3.1.2. Diseño de rodillos .....	89
4.3.1.3. Cálculo de las fuerzas que soportan los ejes mecánicos .	91
4.3.1.4. Cálculo de los factores de la transmisión por cadena .....	93
4.3.1.5. Cálculo de las dimensiones de la cuña del eje.....	98
4.3.1.7. Selección de cadenas de transmisión .....	101
4.3.1.8. Selección de motor.....	103
4.3.2. Diseño eléctrico .....	104
4.3.3. Diseño del sistema de control .....	106
4.4. Estándares de calidad y disponibilidad del mercado.....	115
4.4.1 Características de materiales adecuados para el contacto con alimentos .....	115
4.5. Costos de la máquina.....	117
4.5. Modelos matemáticos empleados .....	118
4.6. Elaboración de detalles.....	122
Resultados .....	124
Conclusiones.....	126
Recomendaciones.....	128
Proyección de trabajos futuros .....	129
Lista de referencias .....	130
Anexos .....	133



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Serie galvánica .....	31
Tabla 2. Factores de concentración del esfuerzo $K_t$ y $K_{ts}$ .....	38
Tabla 3. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin .....	39
Tabla 4. Dimensiones en pulgadas de algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares .....	41
Tabla 5. Dimensiones para cojinetes de bolas de contacto angular de una fila serie 2.....	45
Tabla 6. Tabla de factores $f_1$ .....	48
Tabla 7. Factores PCB .....	51
Tabla 8. Lenguajes de programación del PLC .....	63
Tabla 9. Lista de exigencias de la seleccionadora de ají .....	76
Tabla 10. Criterios para selección de elementos del sistema mecánico .....	80
Tabla 11. Puntajes de las soluciones de la etapa mecánica .....	82
Tabla 12. Criterio de selección de elementos del sistema eléctrico .....	83
Tabla 13. Puntajes de evaluación de las soluciones del sistema eléctrico.....	85
Tabla 14. Criterios para la selección de elementos del sistema de control .....	86
Tabla 15. Puntajes de evaluación de las soluciones del sistema de control ....	88
Tabla 16. Elección del dispositivo de flujo de corriente .....	104
Tabla 17. Criterios de selección de disyuntor.....	105
Tabla 18. Criterios para el contactor .....	105
Tabla 19. Criterios para el relé térmico .....	105
Tabla 20. Comparativa entre algunos sensores de proximidad.....	106
Tabla 21. Criterios del sensor en la máquina .....	107
Tabla 22. Controladores.....	107
Tabla 23. Tabla comparativa de tipos de PLC.....	108
Tabla 24. Criterios comparativos de modelos PLC .....	109
Tabla 25. Criterios del controlador en la máquina .....	109
Tabla 26. Criterios para seleccionar el pulsador .....	109
Tabla 27. Criterios para selección de lámparas .....	110
Tabla 28. Componentes del sistema de control .....	114
Tabla 29. Costo de la máquina.....	117

Tabla 30. Precio de máquinas similares.....	118
Tabla 31. Modelos matemáticos parte 1 .....	119
Tabla 32. Modelos matemáticos parte 2 .....	120
Tabla 33. Modelos matemáticos parte 3 .....	121
Tabla 34. Modelos matemáticos parte 4 .....	122
Tabla 35. Materiales de la selección de ají.....	123
Tabla 36. Resultados del sistema mecánico .....	124
Tabla 37. Resultados del sistema eléctrico .....	125
Tabla 38. Resultados del sistema de control.....	125
Tabla 39. Configuración de la malla del armazón en Inventor.....	140
Tabla 40. Material de la parte mecánica armazón.....	140
Tabla 41. Fuerzas sometidas al armazón .....	141
Tabla 42. Resumen de resultados del análisis de Von Mises de la parte mecánica del armazón.....	143
Tabla 43. Configuración de la malla de la parte mecánica resbaladera .....	144
Tabla 44. Material de la parte mecánica resbaladera.....	144
Tabla 45. Fuerzas aplicadas en la parte mecánica resbaladera .....	144
Tabla 46. Resumen de los resultados del análisis de tensión de la parte mecánica resbaladera.....	146
Tabla 47. Configuración de la malla de la parte mecánica de la paleta .....	147
Tabla 48. Material de la parte mecánica paleta.....	147
Tabla 49. Fuerza aplicada en la parte mecánica paleta .....	148
Tabla 50. Resumen de resultados del análisis de Von Mises de la parte mecánica paleta.....	150

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de valor del proceso de producción.....	15
Figura 2. Flujograma de actividades generales del proceso de investigación..	18
Figura 3. Poliedro piramidal.....	24
Figura 4. Pirámide .....	25
Figura 5. Vista frontal del poliedro piramidal .....	26
Figura 6. Vista izquierda lateral .....	26
Figura 7. Elementos vectoriales .....	32
Figura 8. Elementos vectoriales del movimiento parabólico.....	33
Figura 9. Gráfica para hallar valor de sensibilidad de muesca por flexión q ...	37
Figura 10 Gráfica para hallar valor de sensibilidad de muesca por torsión q ...	37
Figura 11. Izquierda, vista isométrica de una cuña; derecha, vista frontal de la posición de una cuña en un eje circular .....	40
Figura 12. Componentes vectoriales de transmisión por cadena.....	46
Figura 13. Potencias por seleccionar de cadenas Renold para norma ANSI ...	50
Figura 14. Potencias por seleccionar de cadenas Renold para norma ISO .....	50
Figura 15. Sistema de control, lazo cerrado .....	55
Figura 16 Sistema sensor. ....	56
Figura 17. Señales analógicas. ....	57
Figura 18. Señales digitales. ....	57
Figura 19. Sensor temporal. ....	58
Figura 20. Sensor todo nada. ....	58
Figura 21. Código de color para pulsadores. ....	60
Figura 22. Código de colores para lámparas.....	61
Figura 23. Diagrama de tiempos del proceso de producción .....	67
Figura 24. Proceso general del sistema de desarrollo y diseño .....	72
Figura 25. Fases de diseño, metodología VDI 2221 .....	73
Figura 26. Caja negra de la máquina seleccionadora de ají .....	78
Figura 27. Estructura de funciones de la máquina seleccionadora de ají .....	79
Figura 28. Matriz morfológica del sistema mecánico.....	81
Figura 29. Solución 1 de la matriz morfológica.....	82
Figura 30. Matriz morfológica etapa eléctrica.....	84
Figura 31. Solución 2 de la matriz morfológica del sistema eléctrico .....	85

Figura 32. Matriz morfológica del sistema de control .....	86
Figura 33. Solución 3 de la matriz morfológica del sistema de control.....	87
Figura 34. Diagrama de fuerzas del ají entre rodillos .....	89
Figura 35. Fuerzas que actúan en el ají .....	90
Figura 36. Diagrama de fuerzas del eje .....	92
Figura 37. Diagrama de la fuerza cortante .....	92
Figura 38. Valores de la fuerza cortante .....	92
Figura 39. Diagrama del momento flector del eje.....	93
Figura 40. Fuerza en una transmisión por cadena .....	93
Figura 41. Fuerzas que interactúan en el eje .....	94
Figura 42. Circuito de potencia.....	112
Figura 43. Diagrama Ladder.....	113
Figura 44. Cableado del PLC S7 1200.....	113
Figura 45. Diagrama general.....	114
Figura 46. Diagrama de flujo para el control de la máquina .....	115
Figura 47 Serie galvánica.....	116
Figura 48. Armazón.....	140
Figura 49. Tensión de von mises del armazón.....	141
Figura 50. Coeficiente de seguridad del armazón .....	141
Figura 51. Tensión en XX del armazón.....	142
Figura 52. Tensión XY del armazón .....	142
Figura 53. Tensión XZ del armazón .....	142
Figura 54. Parte mecánica resbaladera .....	144
Figura 55. Tensión de Von Mises de la parte mecánica de la resbaladera ....	145
Figura 56. Coeficiente de seguridad de la parte mecánica resbaladera.....	145
Figura 57. Tensión XX de la parte mecánica de la resbaladera .....	145
Figura 58. Tensión XY de la parte mecánica resbaladera.....	146
Figura 59. Tensión XZ de la parte mecánica resbaladera .....	146
Figura 60. Tensión de Von Mises de la parte mecánica paleta .....	148
Figura 61. Coeficiente de seguridad de la parte mecánica paleta.....	149
Figura 62. Tensión XX de la parte mecánica paleta .....	149
Figura 63. Tensión XY de la parte mecánica paleta.....	149
Figura 64. Tensión XZ de la parte mecánica paleta .....	150

## RESUMEN

En la presente tesis se elaboró el diseño de una máquina automática con sistemas eléctricos, mecánicos y de control, que en conjunto menguan el cuello de botella (tiempo de clasificación del ají *Capsicum annuum*). Siendo este un proceso derivado del contraste entre diversos agricultores de la zona de Huancayo.

Como consecuencia se priorizó delimitar los materiales adecuados para no perjudicar y mantener la calidad de los insumos alimenticios, y así mismo, elaborar el sistema adecuado para reducir el tiempo de la clasificación del producto. Enfocando una metodología adecuada que permita cumplir y satisfacer necesidades solicitadas, como es el caso de la metodología VDI2221, que es el complemento sólido y adecuado para el desarrollo de la tesis en cada uno de los sistemas de la máquina.

En tal medida, se logró seleccionar y diseñar los elementos que componen los sistemas mecánicos, eléctricos y de control para que se cumplan los requerimientos de la máquina.

En el caso de la simulación de modelado y programación de los elementos, se emplea diversos softwares. Para la parte mecánica (*SolidWorks* e *Inventor*), para la parte eléctrica (*Cade Simu*), para la parte de control (*Codesys*, TIA portal, *Cade Simu*); obteniendo diseños capaces de cumplir con la demanda del mercado.

Así mismo, se desprende información sustancial de otros trabajos de investigación de máquinas similares, proyectándolas para que sumen al desarrollo de la tesis, desde funciones de control como el censado encargado en recolectar información, llevados a un comparador para limitar acciones definidas esperadas de la máquina. También funciones eléctricas como la de fuente, protección e indicación. Por último, funciones mecánicas como la alimentación, transporte, dosificación y recolección del ají.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el Perú es reconocido mundialmente por haber logrado reconocimiento gastronómico. Dicho logro hace resaltar el desarrollo de los sectores agrícolas, que tras previos análisis muestran que los productos principales son el ají, que sirven como condimentos para diversos platillos dentro y fuera del país.

El ají dulce (*Capsicum annuum*) es uno de aquellos más producidos en las localidades andinas del Perú. Sin embargo, el constante desarrollo mundial obliga a los agricultores a agilizar sus sectores productivos para poder satisfacer la demanda existente. Para ello, utilizan todo el recurso humano disponible y, a su vez, alguna que otra maquinaria, que comúnmente se puede comprar a un precio elevado y los datos muestran que son poco efectivas.

Teniendo en cuenta el desarrollo de dichos sectores y la necesidad vigente. El proyecto diseña una maquinaria que potencialice el sector agrícola. En tal medida, la investigación presentada consta de una secuencia que procura sustentarse en cálculos de diseño de máquinas, diseño eléctrico e ingeniería de control. A su vez, dicha parte teórica será la que viabilice la elaboración simulada y modelada en 3D en softwares de ingeniería como: *Inventor Professional* y *SolidWorks*; y en lo sucesivo, la simulación será el eje donde se podrá corroborar que los cálculos son correctos.

El enfoque de automatización, dada a la presente investigación, hace denotar la importancia que tiene el desarrollo de maquinaria acorde a nuevas tecnologías y su relación con el progreso del sector agrícola que está comenzando a crecer y necesita potencializar, teniendo en cuenta el desarrollo de dichos sectores y la necesidad vigente. El proyecto diseña una maquinaria que potencializa el sector agrícola, sustentada en cálculos en el diseño de máquinas, diseño eléctrico e ingeniería de control; corroborada con las simulaciones pertinentes en los softwares de ingeniería; logrando así, la combinación de nuevas tecnologías al sector agrícola en su desarrollo actual.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La gastronomía peruana es reconocida a nivel nacional e internacional, tal como se muestra en el diario Gestión (1). Evidenciando el aumento del consumo y producción, de diversos productos alimenticios. Como es el caso del ají, en sus diversas especies nativas.

Así, por ejemplo, según el Ministerio del Ambiente (2) en Junín – Perú, se halla la producción de 5 variedades de ají. Entre ellos, el *Capsicum annum*. Cuya consecuencia, genera iniciativas empresariales para diversos procesos industriales, como el deshidratado, pulverizado, etc.

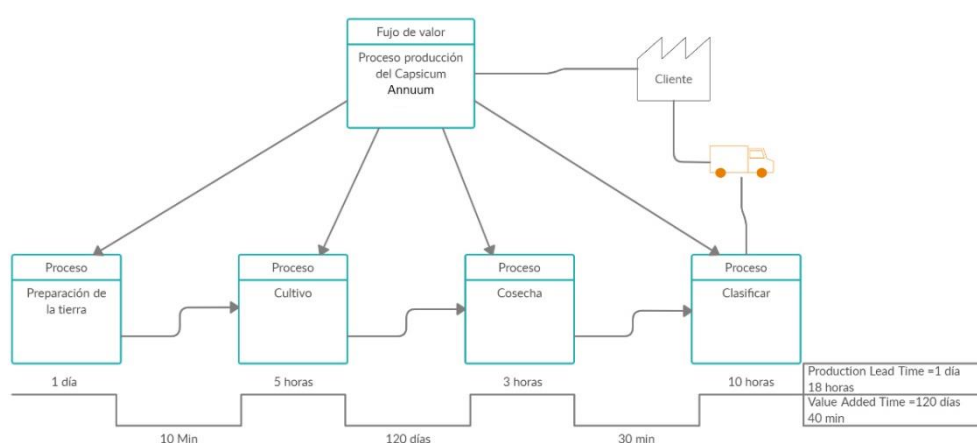
Por otro lado, en el informe del INEI (3) se hallan los principales ingresos del departamento de Junín. Teniendo, en primer lugar, al sector de construcción con 50.7% y al sector de manufactura en el 11.6 %. Dichos valores demuestran el poco interés y desarrollo en actividades de manufactura industrial. Reflejando la necesidad de ser potenciada.

Dada la importancia de ser potenciados los procesos industriales en el sector agrícola. Es necesario contrastar dichos datos con la inversión que se realiza en el departamento de Junín.

En el informe del Banco Central de Reserva del Perú (4), la inversión privada de los últimos 5 años en adelante se concentra en los sectores mineros, eléctricos, hidrocarburos y comercio; dejando al margen los sectores de manufactura.

En tal caso, el crecimiento y cotización empresarial en los sectores agrícolas, extraídos del mismo informe (4), muestran el crecimiento de 8.7% entre los años 2015 – 2017. Llegando a alcanzar el 55.6%. Demostrando la necesidad de expansión de la industria agrícola, con enfoques productivos y eficientes. Que todavía no están desarrolladas por los datos vistos anteriormente.

A continuación, se mostrará el proceso de producción y clasificación del ají *Capsicum annum*.



**Figura 1. Diagrama de flujo de valor del proceso de producción del Capsicum annum**

En la figura 1 se muestran los procesos de producción del ají *Capsicum annum*, divididos en: preparación de tierra, cultivo, cosecha y clasificación. Que muestran, la necesidad de menguar el cuello de botella, ubicado en el proceso de clasificación que hacen los agricultores de Huancayo – Junín.

En el caso del ají se tiene entendido que las condiciones óptimas para la venta derivan del índice de madurez de la cosecha, y ahí interviene el tamaño y la firmeza del producto (5).



Debido a su elevado tiempo, retrasa el comercio y producción del ají. De ahí, la importancia de ejercer acciones en el cuello de botella, para que no perjudiquen el proceso de producción y venta.

En base a ello, la tesis, desarrolla el diseño de una máquina automatizada para erradicar el cuello de botella en el proceso de producción de ají.

## **1.2. Problemas**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo diseñar una máquina automatizada mediante un sistema mecánico-eléctrico para menguar el cuello de botella en el proceso de clasificación de ají *Capsicum annuum* para la provincia de Huancayo, 2021?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar una máquina automatizada mediante un sistema mecánico-eléctrico para menguar el cuello de botella en el proceso de clasificación de ají *Capsicum annuum* para la provincia de Huancayo, 2021.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar los requerimientos del proceso agrícola en la producción y venta de ají.
- Analizar y establecer soluciones de sistemas mecánicos, eléctricos y de control a partir de los requerimientos del proceso agrícola en la producción y venta de ají.
- Realizar el contraste de los elementos de máquina mediante los estándares de calidad industrial vigentes y su disponibilidad del mercado.
- Evaluar la funcionalidad de las soluciones mediante la simulación en softwares especializados.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación teórica**

En la tesis se analiza, evalúa y recopila información relevante de investigaciones similares con el fin de obtener adecuados criterios y estándares a nivel industrial; procurando dar coherencia a la geometría del *Capsicum annuum* en su respectiva selección.

### **1.4.2. Justificación práctica**

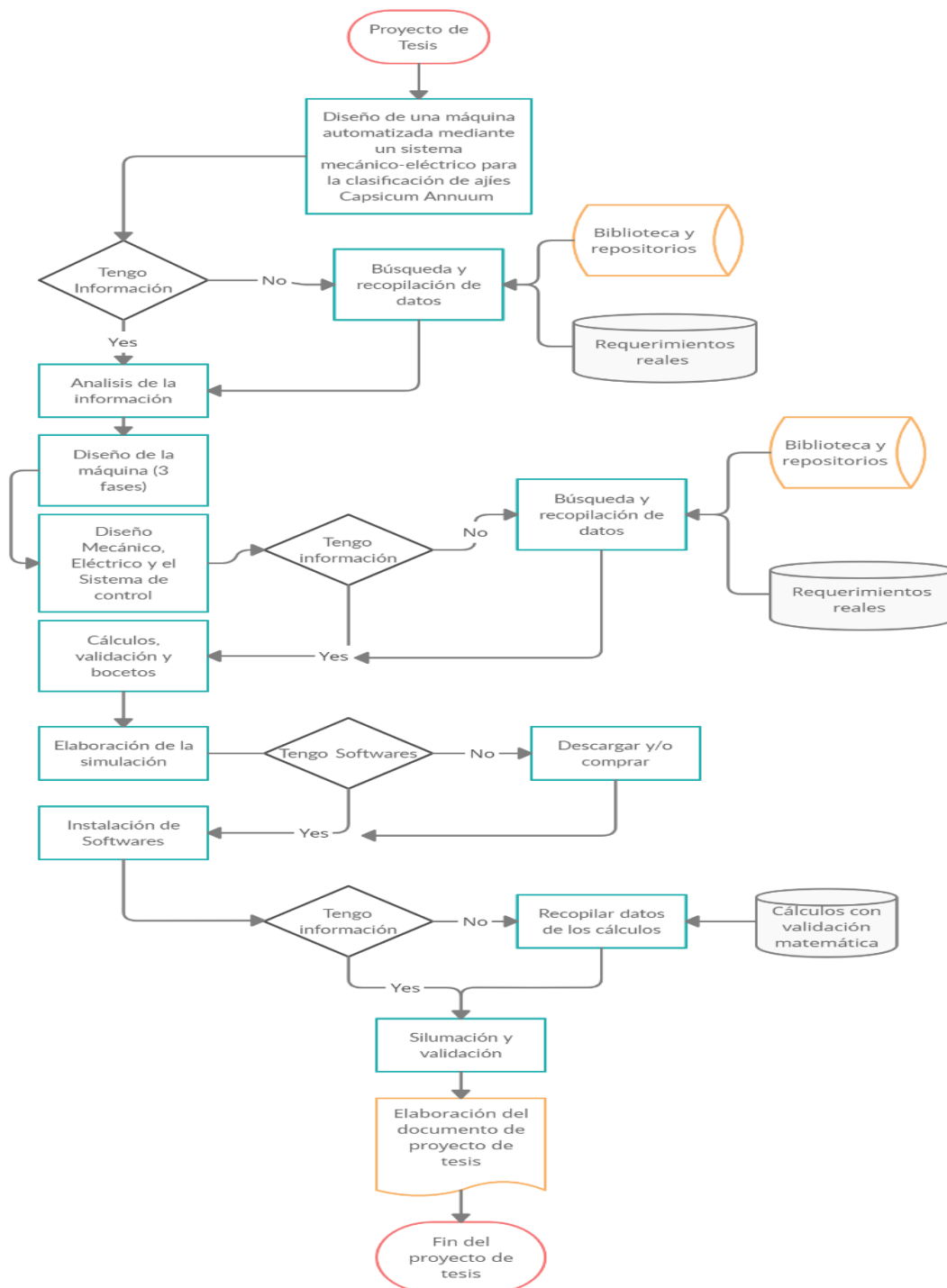
En la tesis, los diversos sistemas empleados para el desarrollo del diseño de la máquina están dirigidos a la necesidad de eliminar el cuello de botella que repercute duramente en el proceso de selección que hacen los agricultores en la cosecha de ají. En tal caso, la selección mecánica se realizó mediante una estructura que permita recibir ají y ser clasificados de forma manual. Así mismo, se tiene el sistema eléctrico que da energía a los engranajes que están conectados al eje principal. Y, por último, el sistema de control está dado por el uso del PLC S7 1200 compacto, que se programa para realizar el trabajo de forma automática, cuyas conexiones están ligadas a dos sensores que aportan información para el arranque del motor y su respectiva clasificación. Así mismo, está sujeto a diversos acontecimientos que puedan ocurrir en casos anómalos como fallas y otros. Por ende, la resultante desembocará en un mejor manejo mercantil de dichos agricultores con respecto al cuello de botella, agilizando el proceso de comercio y distribución.

### **1.4.3. Justificación metodológica**

En la tesis se muestra una metodología que compacta los requerimientos planteados con el desarrollo del diseño de la máquina, mediante un sistema adecuado que viabilice la clasificación del ají *Capsicum annuum* por tamaño; teniendo en cuenta que su elaboración da pie a la posterior implementación de mejoras de otros sistemas de maquinarias.

## 1.5. Flujograma del proyecto de tesis

En el flujograma se puede visualizar el esquema de actividades generales planteadas para realizar el proyecto de tesis.



**Figura 2. Flujograma de actividades generales del proceso de investigación**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales**

###### ***2.1.1.1. Diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas***

La tesis “*Diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas*” (6) tiene como objetivo principal el diseño de un sistema mecánico eléctrico que se encargue de trasladar 5 t /día de chirimoyas, muestra una lista de exigencias para la obtención de un diseño adecuado para una máquina seleccionadora de chirimoyas, como lo estipula la metodología VDI2221. Las funciones utilizadas son volcar, alinear, individualizar, transportar, trasladar y seleccionar. El motor utilizado para la máquina es de 550 W, con un torque de 122 Nm y una velocidad angular de 43 rpm. El costo total para una producción a mediana escala es de US\$ 22000. Las dimensiones de la máquina son longitud de 2700 mm, ancho de 750 mm y alto de 1300 mm. La eficiencia del sistema es de 95% (6).

La relevancia de la tesis se debe a su buen uso de las metodologías de diseño, y también a su estructura en general, ya

que, esta es muy pertinente e idónea para el diseño de cualquier máquina, como en este caso una seleccionadora de ají (6).

#### **2.1.1.2. Diseño de una máquina mecatrónica para seleccionar uvas de mesa**

En la tesis “*Diseño mecánico-eléctrico de una máquina mecatrónica para seleccionar uvas de mesa*” (7), el objetivo principal es el diseño de una máquina mecatrónica que automatice la clasificación de uvas *Red Globe* por tamaño y peso, empleando la metodología de diseño europea VDI 2221 y la VDI2225 para la selección de la idónea alternativa de máquina, en esta tesis se obtienen los diseños, cálculos y costos de las opciones para la clasificación de uvas de mesa. El costo de la máquina planteada es de S/ 27600 soles, y el costo del diseño es de S/ 16650 soles, tiene como fuente de alimentación a una de rectificado y filtrado, monofásico 220 V o 440 V, sensores ultrasónicos de tipo difuso, motor de 24 V DC, factor de seguridad de su estructura igual a 4,4 y un PLC para el control (7).

La parte concerniente a la electrónica y el control, así como la elección de sus componentes son muy pertinentes, es por lo que esta tesis puede servir como un punto de apoyo en la seleccionadora de ají, utilizándola para descartar ciertos componentes, así como para tener en cuenta otros (7).

#### **2.1.1.3. Diseño de una máquina seleccionadora de semillas de sachá inchi peladas, por color con capacidad de 200 kg/h**

En la tesis “*Diseño de una máquina seleccionadora de semillas de sachá inchi peladas, por color con capacidad de 200 kg/h*” (8), se sigue la norma VDI2221 en diseño. Se calculó un costo total de S/ 16760 soles para su implementación. La parte de control se realiza con sensores de color y un Arduino, tiene una altura de 1180 mm y 695 mm de ancho. La capacidad máxima de la máquina

es menor a 64 kg, permitiendo seleccionar solo entre 2 colores, café oscuro y color almendra, todo ello con el objetivo principal de diseñar un sistema seleccionador de frutos de sachá inchi. Esta tesis tiene un gran valor, debido a su buen manejo de cálculos y validación de materiales, en el diseño de la máquina en cuestión, así como sus mecanismos, que pueden ser una buena base, para la construcción de una máquina seleccionadora de ají (8).

## **2.1.2. Antecedentes internacionales**

### **2.1.2.1 Máquina para clasificar aguacates por su peso**

En el artículo “*Máquina para clasificar aguacates por su peso*” (9), se desarrolló el diseño y la elaboración de una máquina para la clasificación de los aguacates por su respectivo peso, procurando tener así mismo el conteo de cada una de ellas, disminuyendo también el costo de inversión de cada elemento sin bajar su calidad, cumpliendo así con su objetivo principal. Su implementación al sector comercial mostró la clara optimización del proceso y tiempo. Logrando reemplazar la selección manual de 20,000 unidades en 8 horas de forma diaria, sin reducir la calidad del producto (9).

Este artículo es una gran referencia para la realización de la presente investigación, debido principalmente a las características técnicas e industriales de la máquina planteada, que cuenta con tres subsistemas, que después de unas modificaciones podría servir para la selectora de ají (9).

### **2.1.2.2. Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/h**

En la tesis “*Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/h*” (10), se diseñó y construyó una máquina que selecciona fresas utilizando conocimientos nutricionales y geométricos estándares para definir una adecuada calidad en las fresas y también se estudió diferentes

máquinas que tienen objetivos similares y así poder complementarla en esta máquina (10).

Su tiempo de clasificación fue de 40 min por 100 kg de fresas. Reduciendo 1 hora y media al proceso manual, bajando considerablemente los daños a un 1.7%, mejorando la productividad económica, ahorrándose 600 dólares al mes y triplicando la cantidad de fresas clasificadas. Cumpliendo así el objetivo general de diseñar y construir una máquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/h, el que se había plantado (10).

La metodología utilizada en esta tesis es de gran importancia, tanto los estudios previos, diseño de concepto, diseño de materialización, diseño de detalle, podrían ser utilizados para el diseño y la implementación de la máquina seleccionadora de ají (10).

### **2.1.2.3. Sistema clasificador de tomate de árbol de acuerdo con su madurez por medio de visión artificial**

En la tesis "*Sistema clasificador de tomate de árbol de acuerdo con su madurez por medio de visión artificial*" (11), utilizando una metodología denominada como mecatrónica, se tuvo como objetivo general elaborar un sistema que clasifica tomates mediante visión artificial, logrando sinergia entre los elementos de máquina y de control para un adecuado uso y óptimo proceso. Definiéndose las dimensiones del tomate previamente para la elección del mejor método para su clasificación. También se recalibraron los sensores de visión artificial para no presentar datos falsos. Sin embargo, está sujeto a condiciones de luz por lo que se requiere tener en cuenta para que pueda ser operativo y productivo. Además, se utilizó Arduino para controlar los sistemas, fajas para el transporte y acero galvanizado para la estructura (11).

La forma en cómo se abordan los diferentes inconvenientes relacionados al cálculo de la estructura y piezas de la máquina planteada en esta investigación, realzan su importancia, ya que, es posible aplicar el mismo análisis matemático en esta investigación (11).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Bases teóricas mecánicas**

#### ***2.2.1.1. Volumen del poliedro piramidal***

Se escoge el modelo tronco piramidal invertido, debido a requerimientos funcionales de la máquina, la relación entre almacenaje y descarga, coste estructural y sistema. Así mismo, se puede visualizar en la tesis *“Diseño de una planta piloto para la producción de filamentos, integrado en la reutilización de PET (polietileno tereftalato), útil para la impresora 3D”* el uso de este tipo de tolva (12).

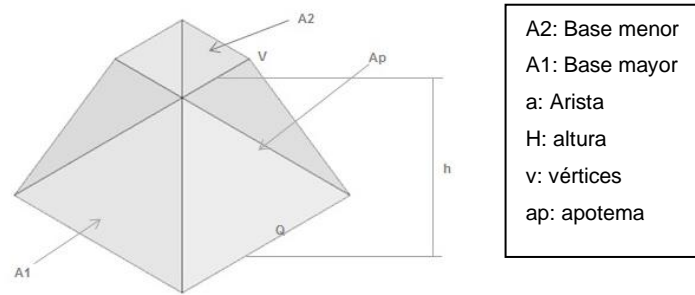
En el caso de las secciones cuadráticas, el almacenaje es mayor al cilíndrico. También, se puede ver la inclinación de las paredes, implicadas en la velocidad de descarga de los productos, y presenta mayor facilidad en su desarrollo, construcción y coste menor al cilíndrico (13).

El poliedro piramidal es un sólido que tiene seccionada la punta, cuyo plano de referencia es la misma base, compuesta por caras y trapecios.

“Un poliedro normal está definido por una base, un polígono y aristas adyacentes que llegan a ser congruentes” (14).



Dicho poliedro tiene por elementos los siguientes:



**Figura 3. Poliedro piramidal**

Por lo que, el cálculo del volumen del poliedro piramidal comprendido requiere el uso de la siguiente fórmula:

$$V_p = \frac{A_b \times h}{3} \dots (1.1)$$

Donde  $A_b$  es el área de la base y  $h$  la altura de la pirámide completa.

Además, se logra colegir que el volumen del tronco de la pirámide es el volumen del total de la pirámide restado por el volumen de la punta de la pirámide, el que también se hallaría con la fórmula de la pirámide ya mencionada:

$$V_{TP} = V_T - V_{PP} \dots (1.2)$$

Donde  $V_{TP}$  es el volumen del tronco de pirámide,  $V_T$  el volumen total de la pirámide y  $V_{PP}$  el volumen de la punta de la pirámide.

Por lo tanto, reemplazando la ecuación (1.1) en cada volumen de la ecuación (1.2):

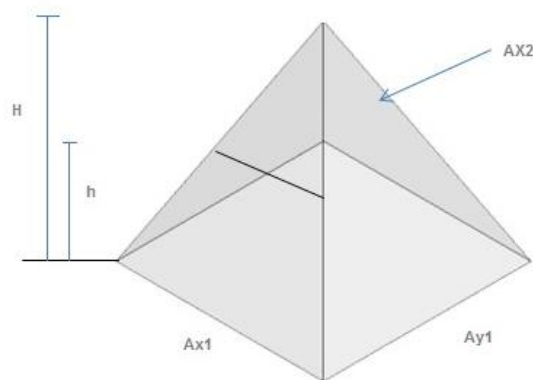
$$V_{TP} = \frac{A_1 \times H}{3} - \frac{A_2 \times (H - h)}{3} \dots (1.3)$$

Donde  $A_1$  es el área de la base menor,  $A_2$  es el área de la base mayor,  $H$  es la altura de la pirámide completa y  $h$  es la altura de la punta de la pirámide.

Después de factorizar la ecuación (1.3) se obtiene:

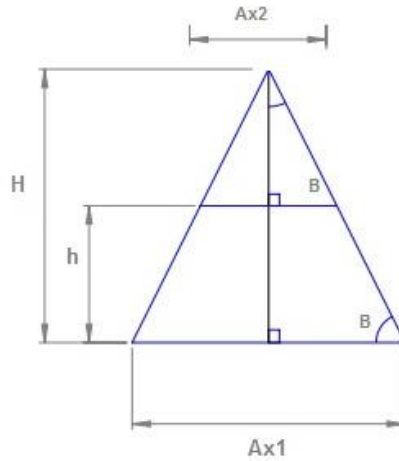
$$V_{TP} = \frac{(H(A_1 - A_2) + h \times A_2)}{3} \dots (1.4)$$

Con la pirámide de 4 aristas, es posible relacionar la ecuación anterior con el criterio de semejanza de ángulo-ángulo-ángulo, al analizar la parte interna de la pirámide desde una vista frontal:



**Figura 4. Pirámide**

Se asignan variables a las medidas de las aristas de las bases,  $A_{x_1}$  y  $A_{y_1}$  para la base mayor,  $A_{x_2}$  y  $A_{y_2}$  para la base menor.



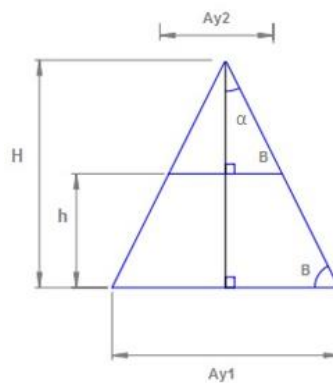
**Figura 5. Vista frontal del poliedro piramidal**

Con ello se puede concluir que la relación entre la medida de una arista de la base mayor y la altura total será igual a la relación existente entre la medida de la base menor y la altura del tronco de la pirámide. Obteniendo la siguiente ecuación:

$$\frac{H}{H - h} = \frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} \dots (1.5)$$

Donde  $H$  es la altura total,  $h$  es la altura del tronco de la pirámide,  $A_{x_1}$  es la medida de una arista de la base mayor y  $A_{x_2}$  es la medida de una arista de la base menor.

Para la parte interna de la pirámide desde una vista lateral, se puede observar la siguiente relación:



**Figura 6. Vista izquierda lateral**

Donde al igual que en el caso anterior, se puede extraer la siguiente relación:

$$\frac{H}{H-h} = \frac{A_{y_1}}{A_{y_2}} \dots (1.6)$$

Donde  $H$  es la altura total,  $h$  es la altura del tronco de la pirámide,  $A_{y_1}$  es la medida de una arista de la base mayor y  $A_{y_2}$  es la medida de una arista de la base menor.

Por lo que al comparar (1.5) y (1.6) se obtiene lo siguiente:

$$\frac{H}{H-h} = \frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} = \frac{A_{y_1}}{A_{y_2}} \dots (1.7)$$

Donde  $H$  es la altura total,  $h$  es la altura del tronco de la pirámide,  $A_{x_1}$  y  $A_{y_1}$  son las medidas de las aristas de la base mayor;  $A_{x_2}$  y  $A_{y_2}$  son las medidas de las aristas de la base menor.

De donde se puede despejar  $H$  de la siguiente forma:

$$H = \frac{\frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} \times h}{\frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} - 1} = \frac{\frac{A_{y_1}}{A_{y_2}} \times h}{\frac{A_{y_1}}{A_{y_2}} - 1} \dots (1.8)$$

Donde  $H$  es la altura total,  $h$  es la altura del tronco de la pirámide,  $A_{x_1}$  y  $A_{y_1}$  son las medidas de las aristas de la base mayor;  $A_{x_2}$  y  $A_{y_2}$  son las medidas de las aristas de la base menor.

Además, al asignar las variables para las medidas de las bases mayor y menor, y debido a que estas bases son rectangulares y sus áreas se obtienen de multiplicar las medidas

de sus aristas, se puede concluir que las variables se relacionan con sus respectivas formas de la siguiente manera:

$$A_1 = A_{x_1} \times A_{y_1} \dots (1.9)$$

$$A_2 = A_{x_2} \times A_{y_2} \dots (1.10)$$

Donde  $A_1$  y  $A_2$  son las áreas de las bases mayor y menor,  $A_{x_1}$  y  $A_{y_1}$  son las medidas de las aristas de la base mayor;  $A_{x_2}$  y  $A_{y_2}$  son las medidas de las aristas de la base menor.

Para obtener una ecuación que relacione el volumen del tronco de la pirámide ( $V_{TP}$ ), las variables de las medidas de las aristas de las bases ( $A_{x_1}$ ,  $A_{y_1}$ ,  $A_{x_2}$  y  $A_{y_2}$ ) y la altura del tronco ( $h$ ) será necesario reemplazar las ecuaciones (1.8), (1.9) y (1.10) en (1.4), obteniéndose la siguiente fórmula:

$$V_{TP} = \frac{\left( \frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} \times h \right)}{\left( \frac{A_{x_1}}{A_{x_2}} - 1 \right)} \times (A_{x_1} \times A_{y_1} - A_{x_2} \times A_{y_2}) + h \times A_{x_2} \times A_{y_2} \dots (1.11)$$

Esta ecuación (1.11) es la que se utilizó para el diseño de una tolva que tendrá la forma de tronco de pirámide.

### **2.2.1.2. Relaciones de parámetros físicos**

Para obtener el peso de algún elemento de la máquina es necesario conocer valores como su masa, gravedad, densidad, volumen, peso, peso específico, etc.

Por lo que se utiliza las siguientes definiciones:

“Cada sólido determina una región delimitada del espacio que tiene una medida conocida como volumen” (14).

“La densidad es una proporción de una masa a un producto de tres longitudes” (15).

“La masa es la propiedad de un objeto que especifica cuánta resistencia muestra un objeto para cambiar su velocidad” (15).

“Todos los cuerpos caen sobre la Tierra, en el vacío, para puntos próximos a su superficie y para pequeñas variaciones de altura comparadas con el radio de esta, con la misma aceleración a la que se llama aceleración de la gravedad” (16).

“Se le llama peso específico al peso que corresponde a la unidad de volumen” (16).

Relacionados en las siguientes ecuaciones:

$$w = m \times g \dots (2.1)$$

Donde  $w$  es el peso,  $m$  la masa y  $g$  gravedad.

$$m = \rho \times v \dots (2.2)$$

Donde  $m$  es la masa,  $\rho$  la densidad y  $v$  el volumen.

$$\gamma = \rho \times g \dots (2.3)$$

Donde  $\gamma$  es el peso específico,  $\rho$  la densidad y  $g$  gravedad.

Por lo que, reemplazando la ecuación (2.2) en (2.1) y factorizando el peso específico con la ecuación (2.3) se obtiene:

$$w = v \times \gamma \dots (2.4)$$

Donde  $v$  es el volumen y  $\gamma$  es el peso específico.

En el caso de utilizar un cilindro, el volumen de este estará dado por la siguiente fórmula:

$$v = \pi \times \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 \times L \dots (2.5)$$

Donde  $\emptyset$  es el diámetro del cilindro y  $L$  es su longitud.

Por lo tanto, reemplazando la fórmula (2.5) en (2.4):

$$w = \pi \times \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 \times L \times \gamma \dots (2.6)$$

Donde  $\emptyset$  es el diámetro del cilindro y  $L$  es su longitud y  $\gamma$  es el peso específico.

Referente a otro parámetro físico como el material, que es importante porque engloba todos los otros parámetros ya mencionados y a partir de él se pueden obtener diferentes resistencias de los elementos que se realizarán, debe tenerse en cuenta las siguientes características galvánicas de los elementos considerando que la protección catódica es una característica química de los metales que asegura la resistencia a la corrosión, en consecuencia, los metales que no se encuentren dentro de esta tabla son altamente corrosivos y tóxicos, por ello, los materiales de la siguiente tabla están clasificados de tal forma que puedan estar en contacto con alimentos.

**Tabla 1. Serie galvánica**

Extremidad protegida catódica	Metales más nobles Oro Grafito Plata
Pasivo	Acero inoxidable tipo 316 Acero inoxidable tipo 310 Acero inoxidable tipo 446 Acero inoxidable tipo 304 Acero inoxidable tipo 301 y 302 Acero inoxidable tipo 434 y 430 Acero inoxidable tipo 410
Pasivo	80% Ni - 20% Cr Inconel 60% Ni - 15% Cr Níquel Metal Monel Cuproníquel Bronce Cobre Latón
Activo	80% Ni - 20% Cr Inconel 60% Ni - 15% Cr Níquel Estaño Plomo
Activo	Acero inoxidable tipo 316 Acero inoxidable tipo 310 Acero inoxidable tipo 304 Acero inoxidable tipos 302 y 301 Acero inoxidable tipo 446 Acero inoxidable tipos 434 y 430 Acero inoxidable tipo 410 Fundición de hierro Cadmio Aluminio 2S Zinc Magnesio en aleaciones Magnesio
Extremidad corroída anódica	Metales menos nobles

Debido a la disponibilidad del mercado y las buenas características del acero inoxidable de tipo 316, este será utilizado en las partes de la máquina que puedan estar susceptibles a oxidación o corrosión.

### **2.2.1.3. Cinemática y cinética circunferencial**

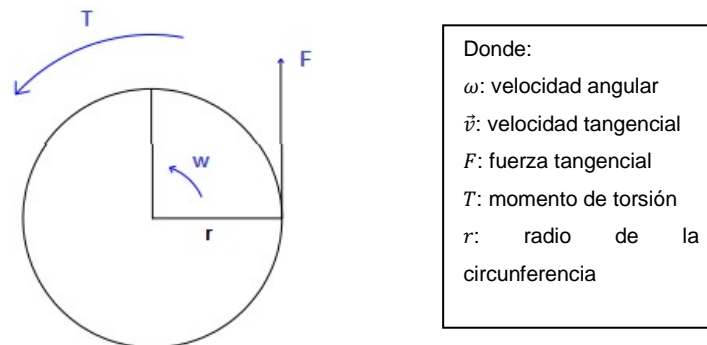
El movimiento circular es un movimiento que se realiza periódicamente y tiene como trayectoria a una circunferencia,



basada en un eje de giro, cuando la velocidad de giro es constante, se llamará movimiento circular uniforme (MCU).

“El movimiento circular de una partícula es aquel cuya trayectoria es una circunferencia” (16).

A continuación, se muestran los componentes de un MCU:



**Figura 7. Elementos vectoriales**

La relación existente entre estos componentes es la siguiente:

$$\vec{v} = r \times \omega \dots (3.1)$$

Donde  $\vec{v}$  es la velocidad tangencial,  $r$  es el radio de la circunferencia y  $\omega$  es la velocidad angular.

Además:

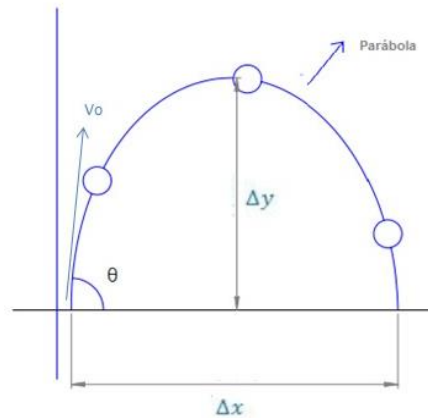
$$T = F \times r \dots (3.2)$$

Donde  $T$  es el momento de torsión,  $r$  es el radio de la circunferencia y  $F$  es la fuerza tangencial.

#### **2.2.1.4. Movimiento parabólico**

El movimiento parabólico es el resultado de la combinación de movimiento rectilíneo uniforme y movimiento rectilíneo

uniformemente variado, donde se lanza un cuerpo con cierta velocidad a una determinada dirección, cuyo trayecto forma una parábola. A continuación, se muestran los componentes del movimiento parabólico:



**Figura 8. Elementos vectoriales del movimiento parabólico**

Donde  $\vec{v}_0$  es la velocidad inicial,  $\Delta x$  es la diferencial de posición en el eje  $x$ ,  $\Delta y$  es la diferencial de la posición en el eje  $y$  y  $\theta$  es la dirección de la velocidad.

“Las componentes horizontal y vertical del movimiento de un proyectil son completamente independientes una de otra y se manejan por separado, con el tiempo  $t$  como la variable común para ambas componentes” (15).

Las fórmulas que relacionan las variables mencionadas son:

$$\Delta x = \vec{v}_{0x} \times t \dots (4.1)$$

Donde  $\vec{v}_{0x}$  es la componente del vector velocidad inicial en el eje  $x$ ,  $\Delta x$  es la diferencial de posición en el eje  $x$  y  $t$  es el tiempo que tarda el cuerpo en llegar a su posición final.

$$\Delta y = \vec{v}_{0y} \times t \pm \frac{g}{2} t^2 \dots (4.2)$$

Donde  $\overline{v_{0y}}$  es el componente del vector velocidad inicial en el eje  $y$ ,  $\Delta y$  es la diferencial de posición en el eje  $y$ ,  $t$  es el tiempo que tarda el cuerpo en llegar a su posición final y  $g$  es la aceleración de la gravedad.

$$t_v = \frac{2v_0 \text{Sen } \theta}{g} \dots (4.3)$$

Donde  $t_v$  es el tiempo de vuelo, representa el tiempo que demora el cuerpo en llegar al punto final,  $\overline{v_0}$  es la velocidad inicial,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $\theta$  es la dirección de la velocidad.

#### **2.2.1.5. Diseño de la flecha de transmisión**

Una flecha de transmisión es un componente mecánico que se encarga de transmitir potencia mecánica, usualmente tiene una sección circular y está provisto con soportes que le permiten un libre giro. Además, es muy común que soporten a otros elementos mecánicos como engranajes, poleas, ruedas, etc.

Una flecha es un elemento rotatorio, por lo general, de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Ella constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, catarinas y miembros similares y, además, controla la geometría de su movimiento (17).

Para el diseño de estas flechas es necesario tener en cuenta los esfuerzos cortantes y momentos flectores a los que comúnmente se ve sometido, para ello se debe realizar un diagrama de fuerza cortante (DFC) y el diagrama de momento flector (DMF).

Para la realización de estos diagramas es necesario seguir los siguientes pasos:

Calcular todas las fuerzas, reacciones y momentos que interactúan con el eje.

Realizar cortes en el eje, en las regiones entre fuerzas, momentos y donde haya discontinuidad de carga.

Asignar una fuerza cortante que produzca un giro horario en segmento del eje y un momento interno que cause compresión en la parte superior del eje.

Calcular los valores de la fuerza cortante y el momento asignado, igualando la sumatoria de fuerzas y la sumatoria de momentos fuerza a cero. Esto sin considerar la parte del eje a la derecha de la sección de la que se quiere hallar su fuerza y momento.

En el plano dibujar las funciones  $y =$  fuerza cortante, posteriormente integrar esta función e igualarla a los valores obtenidos en el momento flector reemplazando los valores de  $x$ , con esto se obtendrá el valor de la constante de integración y así se podrá graficar dicha función en el plano cartesiano.

Si los valores del momento y fuerza cortante son positivos las gráficas se realizan sobre el eje  $x$ , si son negativos bajo el eje  $x$ .

En los diagramas mencionados se puede apreciar los máximos valores de fuerza cortante y momento flector, para utilizarlos en el diseño del eje.

### Cálculo del diámetro del eje:

Para el cálculo del diámetro tentativo del eje se supondrá que el esfuerzo a la fluencia y el esfuerzo cortante permisible son iguales, para de esta forma calcular un diámetro que pueda resistir a ambos esfuerzos. Por lo tanto, se utilizará la siguiente fórmula:

$$s_y = \tau = \frac{16T}{\pi \times d^3} \dots (5.1)$$

Donde  $s_y$  es el esfuerzo a la fluencia,  $\tau$  el esfuerzo cortante máximo,  $T$  el momento de torsión y  $d$  el diámetro del eje.

Posteriormente, se utilizará un análisis estático para hallar el diámetro del eje, para lo que tendrán que combinarse las fórmulas de los esfuerzos con la teoría de fallas de Von Mises para ejes y las fórmulas de esfuerzos, además tendrá que tener en cuenta la curva de fallas de Goodman, teniendo en cuenta que el momento de flexión constante creará un esfuerzo de flexión completamente reversible y torsión constante por lo que se hará cero, después deberá despejarse el diámetro, con lo que se obtiene:

$$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi \times S_y} \left[ 4 \times (k_f \times M)^2 + 3 \times (K_{fs} \times T)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \dots (5.2)$$

Donde  $d$  es el diámetro del eje,  $n$  el factor de seguridad,  $S_y$  el esfuerzo a la fluencia,  $M$  el momento flector máximo,  $T$  el momento de torsión que soporta el eje,  $k_f$  y  $K_{fs}$  son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga por flexión y torsión.

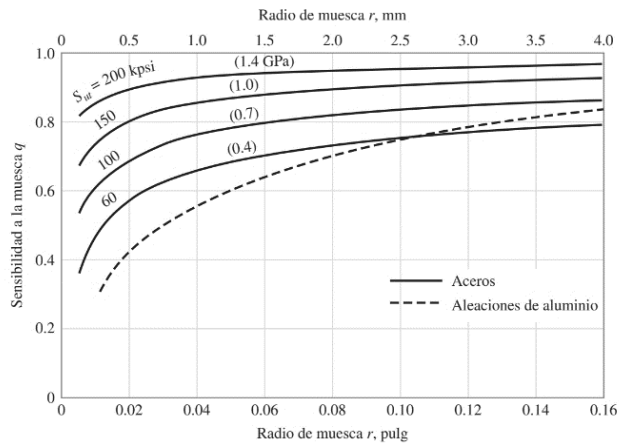
Para hallar los valores de los factores de concentración de esfuerzos, es necesario reemplazar los valores en las siguientes fórmulas:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \dots (5.3)$$

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) \dots (5.4)$$

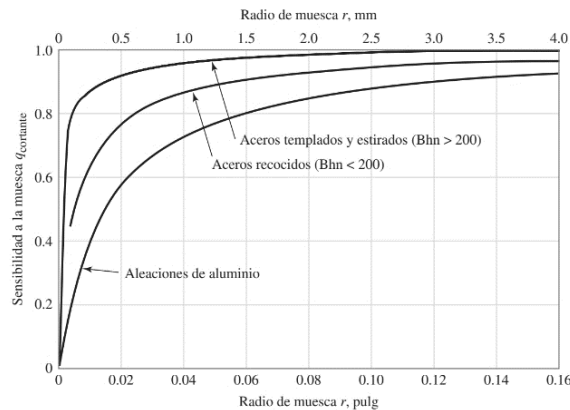
Donde  $k_f$  y  $K_{fs}$  son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga por flexión y torsión,  $q$  es la sensibilidad de muesca,  $k_t$  y  $k_{ts}$  son los factores teóricos de concentración de esfuerzos por fatiga por flexión y torsión.

Para hallar el valor de la sensibilidad de muesca por flexión es necesario extraerlo de la siguiente gráfica:



**Figura 9. Gráfica para hallar el valor de la sensibilidad de muesca por flexión  $q$  (17) (p. 287)**

Para hallar el valor de la sensibilidad de muesca por torsión es necesario extraerlo de la siguiente gráfica:



**Figura 10 Gráfica para hallar el valor de la sensibilidad de muesca por torsión  $q$  (17) (p. 288)**

Los valores de  $k_t$  y  $k_{ts}$  se extraerán de la siguiente tabla:

**Tabla 2. Factores de concentración del esfuerzo  $K_t$  y  $K_{ts}$  (17)**

	Flexión	Torsión	Axial
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 de patín trapezoidal	1,7	-	-
Ranura para anillo de retención	5,0	3,0	5,0

Posteriormente, se realiza el análisis de falla por fatiga con el criterio de ASME Elíptica:

$$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left[ 4 \times \left( \frac{k_f \times M}{S_e} \right)^2 + 3 \times \left( \frac{k_{fs} \times T}{s_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \dots (5.5)$$

Donde  $d$  es el diámetro del eje,  $n$  el factor de seguridad,  $S_y$  el esfuerzo a la fluencia,  $M$  el momento flector máximo,  $T$  el momento de torsión que soporta el eje,  $k_f$  y  $k_{fs}$  son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga por flexión y torsión,  $S_e$  es el límite de la resistencia a la fatiga en el punto crítico.

Para hallar el límite de la resistencia a la fatiga en el punto crítico se debe tener en cuenta la siguiente fórmula:

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S'_e \dots (5.6)$$

Donde  $S_e$  es el límite de resistencia a la fatiga,  $K_a$  es el factor de modificación de la condición superficial,  $K_b$  factor de modificación del tamaño,  $K_c$  factor de modificación de la carga,  $K_d$  factor de modificación de la temperatura,  $K_e$  es el factor de

confiabilidad,  $K_f$  es el factor de modificación de efectos varios y  $S'_e$  es el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Para el cálculo de  $K_a$  se tiene la siguiente fórmula:

$$K_a = aS_u^b \dots (5.7)$$

Donde  $K_a$  es el factor de modificación de la condición superficial y  $S_u$  es la resistencia mínima a la tensión.

Los valores de  $a$  y  $b$  deben extraerse de la siguiente tabla:

**Tabla 3. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin (17)**

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	Sut Kps	Sut MPa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	2,7	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272,0	-0,995

El valor de  $K_b$  depende de la medida del diámetro obtenido anteriormente:

$$k_b = 0,879d^{-0,107} \dots \dots \dots 0,11 \leq d \leq 2 \text{ in}$$

$$k_b = 0,910d^{-0,157} \dots \dots \dots 2 \leq d \leq 10 \text{ in} \dots (5.8)$$

$$k_b = 1,240d^{-0,107} \dots \dots \dots 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

$$k_b = 1,510d^{-0,157} \dots \dots \dots 51 \leq d \leq 154 \text{ mm}$$

Donde  $K_b$  es el factor de modificación del tamaño y  $d$  es el diámetro del eje.

El valor de  $S'_e$  depende de la resistencia a la tensión mínima, se obtiene de la siguiente forma:



$$S'_e = 0,5S_{ut} \dots \dots S_{ut} \leq 200Kpsi (1400 MPa)$$

$$S'_e = 100 Kpsi \dots \dots S_{ut} > 200 Kpsi$$

$$S'_e = 700 MPa \dots \dots S_{ut} > 1400 MPa \dots (5.9)$$

Donde  $S'_e$  es el límite a la resistencia a la fatiga y  $S_{ut}$  es la resistencia a la tensión mínima.

Comúnmente, el producto de los otros factores tiene como valor a la unidad, por lo que no alteran el valor del límite a la resistencia a la fatiga, por lo que para efectos prácticos puede obviarse su cálculo y además se puede inducir lo siguiente:

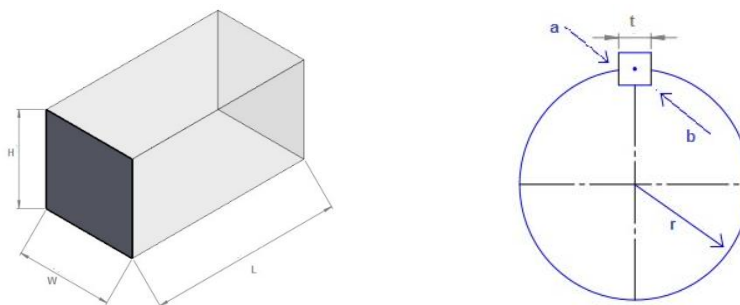
$$K_c \times K_d \times K_e \times K_f \approx 1 \dots (5.10)$$

Donde  $K_c$  factor de modificación de la carga,  $K_d$  factor de modificación de la temperatura,  $K_e$  es el factor de confiabilidad y  $K_f$  es el factor de modificación de efectos varios.

### 2.2.1.6. Diseño de cuñas mecánicas

“Las cuñas se emplean para permitir la transmisión del par de torsión del eje al elemento que soporta” (17).

Las cuñas rectangulares tienen la siguiente forma y desde una vista lateral del eje puede ser observada así:



**Figura 11. Izquierda, vista isométrica de una cuña; derecha, vista frontal de la posición de una cuña en un eje circular (17)**

Donde  $h$  es la altura,  $w$  es la anchura y  $l$  la longitud de la cuña.

La altura y anchura de la cuña dependerán del diámetro del eje y se pueden obtener de la siguiente tabla:

**Tabla 4. Dimensiones en pulgadas de algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares (17)**

Diámetro de eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta	w	h	Profundidad
7,9375	11,1125	2,38125	2,38125	1,19062
11,1125	14,2875	3,175	2,38125	1,19062
		3,175	3,175	1,5875
14,2875	22,225	4,7625	3,175	1,5875
		4,7625	4,7625	2,38125
22,225	31,75	6,35	4,7625	2,38125
		6,35	6,35	3,175
31,75	38,1	7,9375	6,35	3,175
		7,9375	7,9375	3,96875
38,1	44,45	9,525	6,35	3,175
		9,525	9,525	4,7625
44,45	57,15	12,7	9,525	4,7625
		12,7	12,7	6,35
57,15	69,85	15,875	11,1125	5,55625
		15,875	15,875	7,9375
69,85	82,55	19,05	12,7	6,35
		19,05	19,05	9,525

Para calcular su longitud será necesario tener en cuenta las siguientes fórmulas.

Resistencia al cortante, en base a la teoría de la energía de distorsión:

$$S_{Sy} = 0,557(S_y) \dots (6.1)$$

Donde  $S_{Sy}$  es la resistencia a la fluencia cortante y  $S_y$  es la resistencia a la fluencia.

Debido a las fuerzas que interactúan en la cuña, existirá un esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F}{w \times l} \dots (6.2)$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante,  $F$  es la fuerza,  $w$  es la anchura y  $l$  la longitud de la cuña.

Además,  $\tau$  también cumple la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{S_{Sy}}{n} \dots (6.3)$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante,  $S_{Sy}$  es la resistencia a la fluencia cortante y  $n$  el factor de seguridad.

Por lo tanto, igualando las ecuaciones (5.2) y (5.3):

$$\frac{S_{Sy}}{n} = \frac{F}{w \times l} \dots (6.4)$$

Donde  $S_{Sy}$  es la resistencia a la fluencia cortante,  $n$  el factor de seguridad,  $F$  es la fuerza,  $w$  es la anchura y  $l$  la longitud de la cuña.

Debido a que queremos hallar el valor de  $l$ :

$$l = \frac{F \times n}{w \times S_{Sy}} \dots (6.5)$$

Donde  $S_{Sy}$  es la resistencia a la fluencia cortante,  $n$  el factor de seguridad,  $F$  es la fuerza,  $w$  es la anchura y  $l$  la longitud de la cuña.

El área de la mitad de la cuña es la que resiste el aplastamiento ocasionado por las fuerzas, por lo que es necesario

que se considere la medida de la mitad de la longitud de la cuña, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\frac{l}{2} = \frac{F \times n}{w \times S_{Sy}} \dots (6.6)$$

Donde  $S_{Sy}$  es la resistencia a la fluencia cortante,  $n$  el factor de seguridad,  $F$  es la fuerza,  $w$  es la anchura y  $l$  la longitud de la cuña.

### **2.2.1.7. Selección de rodamientos de contacto**

“Cojinete de rodamiento se emplean para describir la clase de cojinete en la que se transfiere la carga principal mediante elementos que experimentan contacto rodante en vez de contacto deslizante” (17).

Para la selección de los cojinetes es necesario utilizar las reacciones que provocan las fuerzas.

Para la selección de los cojinetes es necesario utilizar las reacciones que provocan las fuerzas externas en el eje, posteriormente, es necesario definir la velocidad deseada ( $n_D$ ) en revoluciones por minuto, la vida deseada ( $L_D$ ) en horas y la fuerza de carga radial deseada ( $F_D$ ) en libras fuerza o kilo Newton. Además, tener en cuenta la vida nominal en horas ( $L_R$ ), velocidad nominal ( $n_R$ ) en revoluciones por minuto, todo ello para obtener la clasificación en el catálogo ( $C_{10}$ ) con la siguiente fórmula:

$$C_{10} = F_D \times \left( \frac{L_D \times n_D \times 60}{L_R \times n_R \times 60} \right)^{\frac{1}{a}} \dots (7.1)$$

$a = 3$  para cojinetes de bolas.

$a = 10 / 3$  es para cojinetes de rodillos.

Donde  $L_R$  es la vida nominal en horas y  $n_R$  es la velocidad nominal en revoluciones por minuto.

La vida de diseño adimensional  $x_D$  se obtiene de la siguiente forma:

$$x_D = \frac{L_D \times n_D \times 60}{L_R \times n_R \times 60} \dots (7.2)$$

Donde  $x_D$  es la vida de diseño adimensional,  $L_D$  es la vida deseada,  $n_D$  es la velocidad deseada,  $L_R$  es la vida nominal y  $n_R$  es la velocidad nominal.

A partir de ello, la compañía SKF utiliza los cojinetes para un millón de revoluciones, por lo que:

$$L_R \times n_R \times 60 = 10^6 \dots (7.3)$$

Para el análisis de la carga-vida-confiabilidad del cojinete se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{10} = F_D \times \left[ \frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0) \times (1 - R)^{\frac{1}{b}}} \right]^{\frac{1}{a}} \dots (7.4)$$

Donde  $x_D$  es la vida de diseño adimensional,  $x_0$  es el valor mínimo de la variante adimensional,  $\theta$  es parámetro característico que corresponde al valor 63.2121 del percentil de la variable,  $R_D$  es la confiabilidad y  $b$  es el parámetro de la forma que controla el sesgo.

Para una gran capacidad de ajuste de las cantidades variantes de sesgo se utiliza el ajuste Weibull, cuyos parámetros son:

$$x_0 = 0,02 \dots (7.5)$$

$$\theta - x_0 = 4,439 \dots (7.6)$$

$$b = 1,483 \dots (7.7)$$

Y la confiabilidad debe ser superior a 90% para el buen rendimiento del sistema mecánico.

Para la selección del cojinete se deben tener en cuenta la clasificación de catálogo y el diámetro del eje en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Dimensiones para cojinetes de bolas de contacto angular de una fila serie 2 (17)**

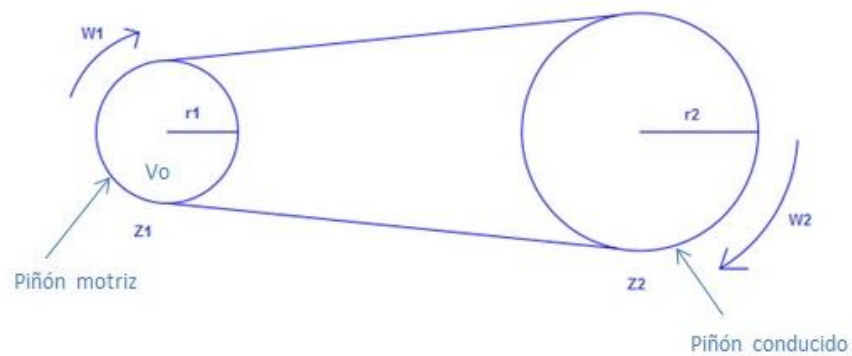
Diámetro interior en mm	DE, mm	Ancho, mm	Radio del entalle, mm	Diámetro del hombro ds	Diámetro del hombro dH	Ranura profunda C10	Ranura profunda C0	Contacto angular C10	Contacto angular C0
10	30	9	0,6	12,5	27	5,07	2,24	4,94	2,12
12	32	10	0,6	14,5	28	6,89	3,10	7,02	3,05
15	35	11	0,6	17,5	31	7,80	3,55	8,06	3,65
17	40	12	0,6	19,5	34	9,56	4,50	9,95	4,75
20	47	14	1,0	25	41	12,7	6,20	13,3	6,55
25	52	15	1,0	30	47	14,0	6,95	14,8	7,65
30	62	16	1,0	35	55	19,5	10,0	20,3	11,0
35	72	17	1,0	41	65	25,5	13,7	27,0	15,0
40	80	18	1,0	46	72	30,7	16,6	31,9	18,6
45	85	19	1,0	52	77	33,2	18,6	35,8	21,2
50	90	20	1,0	56	82	35,1	19,6	37,7	22,8
55	100	21	1,5	63	90	43,6	25,0	46,2	28,5
60	110	22	1,5	70	99	47,5	28,0	55,9	35,5
65	120	23	1,5	74	109	55,9	34,0	63,7	41,5
70	125	24	1,5	79	114	61,8	37,5	68,9	45,5
75	130	25	1,5	86	119	66,3	40,5	71,5	49,0
80	140	26	2,0	93	127	70,2	45,0	80,6	55,0
85	150	28	2,0	99	136	83,2	53,0	90,4	63,0
90	160	30	2,0	104	146	95,6	62,0	106	73,5
95	170	32	2,0	110	156	108	69,5	121	85,0

### 2.2.1.8. Transmisión por cadenas

“Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante, puesto que no se involucra al deslizamiento ni el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia” (17).

La transmisión por cadenas es un método eficaz para transmitir potencia mecánica, es muy efectiva para transmitir bajas de velocidad y torques altos, para producirla es necesario utilizar un piñón motriz, otro conducido y unos eslabones que los conectan y transmiten la potencia.

En la siguiente imagen se puede observar su funcionamiento:



**Figura 12. Componentes vectoriales de transmisión por cadena**

Donde  $w_1$  es la velocidad angular del piñón motriz,  $w_2$  es la velocidad angular del piñón conducido,  $z_1$  es el número de dientes del piñón motriz,  $z_2$  es el número de dientes del piñón conducido,  $r_1$  es radio del piñón motriz y  $r_2$  es el radio del piñón conducido.

La relación existente entre estos parámetros es conocida como relación de transmisión ( $i$ ) y es el resultado de las siguientes relaciones:

$$i = \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{w_2}{w_1} \dots (8.1)$$

Donde  $w_1$  es la velocidad angular del piñón motriz,  $w_2$  es la velocidad angular del piñón conducido,  $z_1$  es el número de dientes del piñón motriz,  $z_2$  es el número de dientes del piñón conducido,  $r_1$  es radio del piñón motriz y  $r_2$  es el radio del piñón conducido.

Para selección de cadenas Renold se deben seguir los siguientes pasos:

- Evaluar el número de dientes de los piñones y su relación de transmisión.
- Determinar el factor de transmisión según los siguientes factores:

Factor de aplicación  $f_1$ , tomando las características del motor y la máquina, se debe hallar su valor en la siguiente tabla:



**Tabla 6. Tabla de factores f1 (17)**

Características de la máquina a mover		Características del propulsor		
		<b>Funcionamiento suave</b> Motores eléctricos, turbinas de vapor y gas, motores de explosión con acoplamiento hidráulico.	<b>Ligeramente impulsivo</b> Motores de explosión de 6 o más cilindros con acoplamiento mecánico, motores eléctricos con arrancadas frecuentes.	<b>Medianamente impulsivo</b> Motores de explosión de menos de 6 cilindros con acoplamiento mecánico.
Funcionamiento suave	Bombas centrífugas y compresores, máquinas de impresión, coladores de papel, transportadores de cargado uniformemente, escaleras mecánicas, agitadores líquidos y mezcladores, secadores rotativos aficionados.	1	1.1	1.3
Medianamente impulsiva	Bombas y compresores (3+ cil.), máquinas mezcladoras de hormigón, correas transportadoras de carga no uniforme, agitadores sólidos y mezcladores.	1.4	1.5	1.7
Altamente impulsiva	Cepilladoras, excavadoras, roll y bola molinos, máquinas de procesamiento de caucho, prensas y tijeras 1 Y 2 cil. bombas y compresores, equipos de perforación de petróleo.	1.8	1.9	2.1

Posteriormente, para el factor de diente  $f_2$  utilizando la ecuación que se presenta a continuación:

$$f_2 = \frac{19}{z_1} \dots (8.2)$$

Donde  $f_2$  es el factor de diente y  $z_1$  es el número de dientes del piñón motriz.

Calcular la potencia a seleccionar con la siguiente fórmula:

$$P_s = P_T \times f_1 \times f_2 \dots (8.3)$$

Donde  $P_s$  es la potencia por seleccionar,  $P_T$  la potencia a transmitir,  $f_1$  el factor de aplicación y  $f_2$  es el factor de diente.

$$f_2 = \frac{19}{z_1} \dots (8.4)$$

Con la potencia a seleccionar es posible seleccionar el tipo de cadena y el paso diametral que se puede utilizar, gracias a la siguiente gráfica:

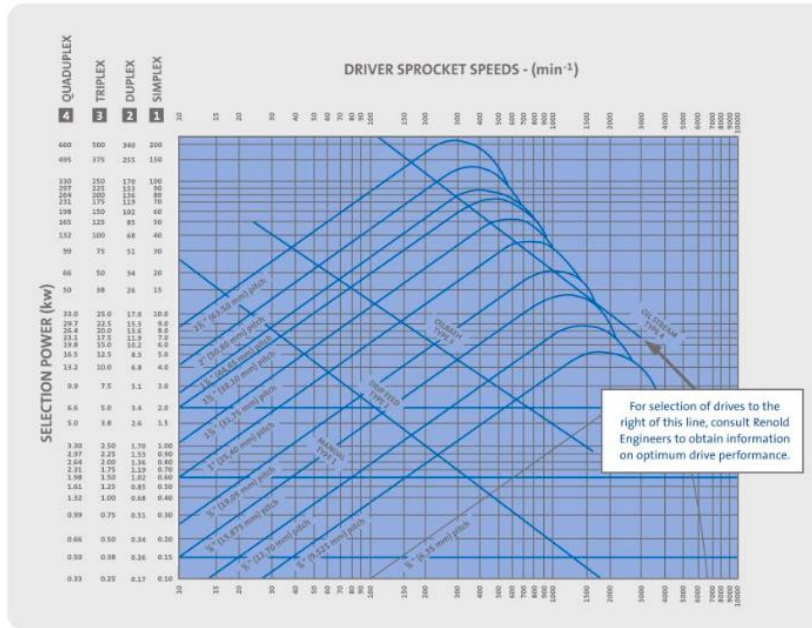


Figura 13. Potencias por seleccionar de cadenas Renold para norma ANSI

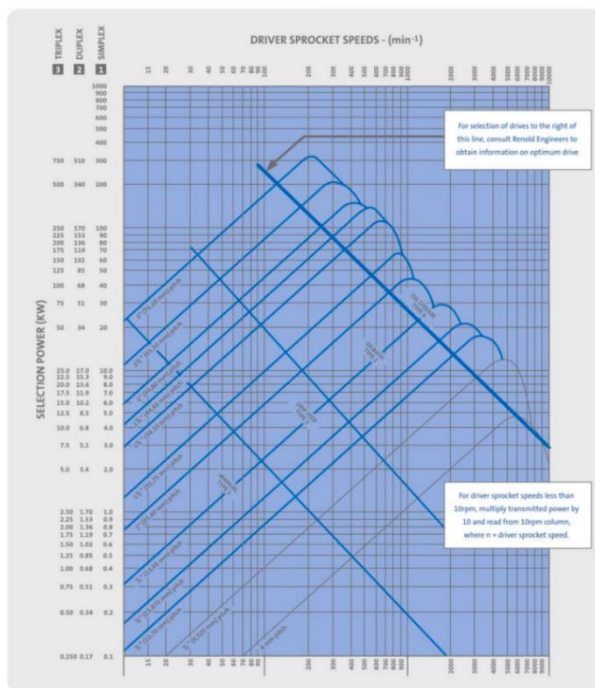


Figura 14. Potencias por seleccionar de cadenas Renold para norma ISO

- Para calcular el largo de la cadena, debe utilizarse la siguiente fórmula:

$$L = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2C}{P} + \frac{\left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2 \times P}{C} \dots (8.5)$$

Donde  $L$  es el largo de la cadena,  $z_1$  es el número de dientes del piñón motriz,  $z_2$  es el número de dientes del piñón conducido,  $P$  es el paso diametral y  $C$  es la distancia prevista entre centros.

La distancia debe ser entre 30 o 50 veces el paso diametral.

- Para calcular el valor exacto de la distancia entre centros se deben reemplazar los valores de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P}{8} \left[ 2L - Z_2 - Z_1 + \sqrt{(2L - z_2 - z_1)^2 - \frac{\pi}{3,88} (z_2 - z_1)^2} \right] \dots (8.6)$$

Donde  $C$  es la distancia entre centros,  $P$  el paso diametral,  $L$  el largo de la cadena,  $z_1$  es el número de dientes del piñón motriz y  $z_2$  es el número de dientes del piñón conducido. Posteriormente, para calcular el diámetro de las ruedas dentadas se debe multiplicar el paso de la cadena por el factor PCB:

$$N = P \times PCB \dots (8.7)$$

Donde  $N$  es el número de dientes y  $P$  es el paso diametral. El factor PCB se obtiene de la siguiente tabla según el número de dientes del piñón:

**Tabla 7. Factores PCB**

Número de dientes	Factor PCD	Número de dientes	Factor PCD
9	2,924	17	5,442
10	3,236	18	5,759
11	3,549	19	6,076
12	3,864	20	6,392
13	4,179	21	6,709
14	4,494	22	7,027
15	4,810	23	7,344
16	5,126	24	7,661

Con estos datos se puede seleccionar la cadena idónea y las ruedas dentadas necesarias en los catálogos de Renold.

## **2.2.2. Bases teóricas eléctricas**

### **2.2.2.1. Componentes de un sistema eléctrico**

Un sistema eléctrico aprovecha la energía eléctrica utilizándola para impulsar un actuador que proporcione energía mecánica, para la tesis se utilizó un motor como actuador, conectado al fluido eléctrico y a un dispositivo que lo controle, también es necesaria la utilización de un componente que proteja dicho motor.

Una máquina eléctrica es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando este dispositivo se utiliza para convertir energía mecánica en energía eléctrica se denomina generador, y cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica se llama motor (18).

Algunos conceptos utilizados en eléctrica, que definen ciertos parámetros y magnitudes son:

Voltaje o tensión eléctrica, “es la energía requerida para mover una carga unitaria a través de un elemento, medida en volts” (19).

Corriente eléctrica, “es la velocidad de cambio de la carga respecto al tiempo, medida en amperes” (19).

Carga y resistencia eléctrica, “Una carga es un componente que recibe energía (un receptor de energía), en oposición a un generador, que suministra energía” (19).

“Potencia eléctrica, “es la variación respecto del tiempo de entrega o absorción de la energía, medida en watts” (19).

### **2.2.2.2. Protección de motor**

Debido a las posibles sobretensiones o corto circuitos que puedan existir tanto en el sistema de control, sistema eléctrico o incluso en los sistemas eléctricos donde la máquina funcione, se deben de utilizar ciertos componentes como relés y contactores magnetotérmicos, con una alta capacidad de ruptura e intensidad nominal, que impidan el daño en los elementos más valiosos de los circuitos eléctricos a utilizar. La capacidad de ruptura se relaciona a la corriente máxima que puede soportar dicho dispositivo sin sufrir daños que impidan su buen funcionamiento y la intensidad nominal es la que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$P = I^2 \times R \dots (9.1)$$

Donde P es la potencia nominal y R la resistencia nominal.

También debe tenerse en cuenta el tiempo de disparo en función de la intensidad de corriente, esto debido a que es importante que el tiempo en que el componente de protección desconecta los dispositivos a proteger de la corriente, después de una sobrecarga es fundamental, porque si es mínimo, los daños también lo serán.

### **2.2.2.3. Consumo de un motor**

La potencia especificada en los catálogos de motores es la potencia mecánica que transmitirá a la máquina, para calcular su consumo es necesario calcular la potencia eléctrica a consumir, esto se realiza utilizando la eficiencia (que también figura en los catálogos) en la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{P_u}{P_c} \dots (10.1)$$

Donde  $\eta$  es la eficiencia,  $P_u$  la potencia útil y  $P_c$  la potencia consumida.

Evidentemente, la potencia útil es la potencia mecánica que aporta el motor mientras la potencia consumida es la potencia eléctrica que el motor utiliza para funcionar.

Además, debe tenerse en cuenta que la potencia consumida en el circuito es la suma de todas las potencias consumidas por cada uno de los elementos utilizados en el circuito eléctrico.

Teniendo en cuenta que la potencia es la velocidad en la que se consume cierta cantidad de energía, para calcular el consumo del circuito eléctrico, se deben reemplazar los datos en la siguiente fórmula:

$$E = P_t \times t \dots (10.2)$$

Donde  $E$  es la energía consumida,  $P_t$  la potencia consumida y  $t$  el tiempo de consumo de la potencia en horas.

A partir de ello se puede obtener el costo de mantener funcionando el motor en un determinado tiempo con la siguiente fórmula:

$$C_T = E \times C_u \dots (10.3)$$

Donde  $C_T$  es el costo de mantener conectado el circuito en un determinado número de horas,  $E$  la energía utilizada en un determinado número de horas y  $C_u$  es el cargo unitario establecido por la empresa proveedora de electricidad.

## 2.2.3. Bases teóricas para el sistema de control

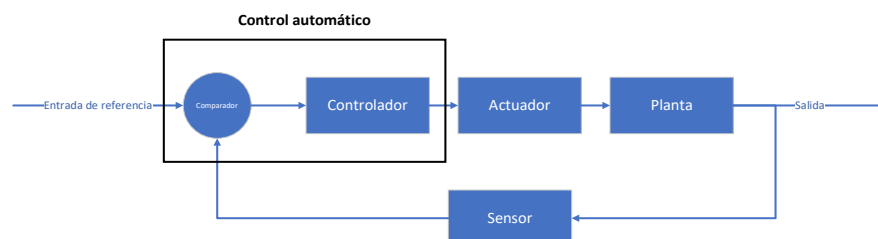
### 2.2.3.1. Componentes del sistema control

Un sistema de control habitualmente este compuesto por un controlador, que es el encargado de ejercer dominio y gobernar un sistema o circuito eléctrico mediante pulsos eléctricos, transductores que se encargan de medir información física y convertirla en señales eléctricas comprensibles para el controlador, un actuador que es un dispositivo que transforma energía comúnmente eléctrica, neumática o hidráulica en energía mecánica y una planta que representa al sistema, que tiene una función determinada, que quiere controlarse.

### 2.2.3.2. Funcionamiento de un sistema de control

El control retroalimentado, “se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí solo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que, las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema” (20).

En la siguiente imagen se representa un sistema de control de lazo cerrado (retroalimentado):



**Figura 15. Sistema de control, lazo cerrado**

Donde el controlador recibe la información comparada del sensor y la referencia que es habitualmente una señal de entrada conocida que sirve para calibrar el sistema, de acuerdo con ello,



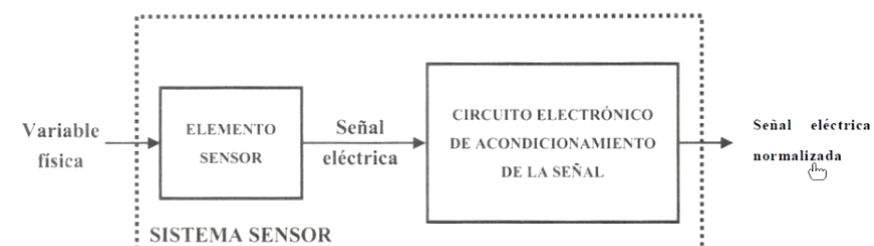
gobierna a los actuadores que pueden ser bombas, motores, cilindros, etc. Los actuadores brindan la energía mecánica a la planta, de la que el sensor obtiene los datos que sirven para ser comparados con la referencia. Esta retroalimentación permite minimizar el error en cada ciclo hasta estabilizar el sistema en un valor de salida deseado.

Para Ogata:

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. En este libro se llamará planta a cualquier objeto físico que se va a controlar (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial)” (20).

### 2.2.3.3 Sensor

Las diversidades de sensores presentan diversos parámetros, algunos similares y otros diferentes. En efecto, se necesita conectar la salida a un sistema circuital para la maniobra de las señales, cumpliendo el rol de acondicionador.



**Figura 16 Sistema sensor. Tomada del Sistema automatizado PLC**

## A. Clasificación de sensores

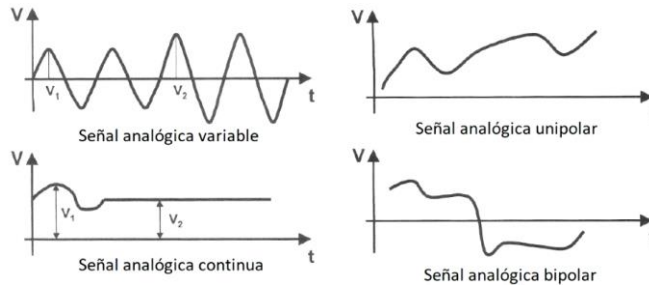
### a) Sensores por funcionalidad

**Activos:** son aquellos sensores que tienen suficiente energía para enviar la señal eléctrica. Entre ellos están los piezoeléctricos, termoelectrónicos, etc.

**Pasivos:** son aquellos sensores que necesitan energía externa. Entre ellos están los termorresistivos, fotorresistivos, etc.

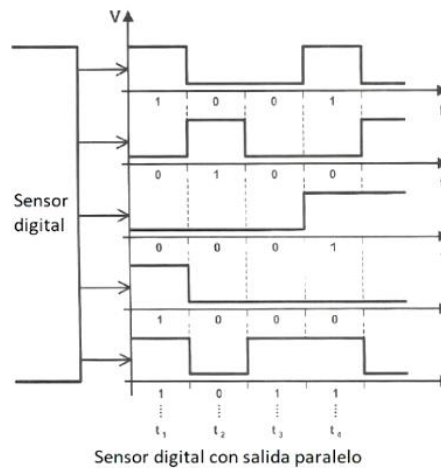
**b) Sensores por tipo de señal eléctrica**

**Sensores analógicos:** envían señales analógicas. Lo que genera una variación de valores.



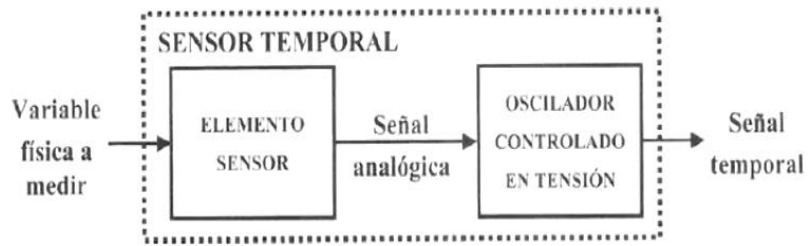
**Figura 17. Señales analógicas. Tomada del sistema automatizado**

**Sensores digitales:** envían señales eléctricas que optan valores entre un máximo o mínimo.



**Figura 18. Señales digitales. Tomada de Autómatas programables**

**Sensores temporales:** envían señales eléctricas ligadas al tiempo. Entre ellas se encuentran las señales senoidales o cuadradas.

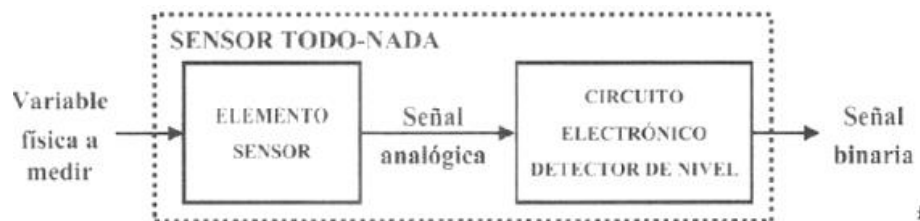


**Figura 19. Sensor temporal. Tomada de Autómatas programables**

**c) Sensores por el rango de valores de señal de salida**

**Sensores de medida:** detectan una gama de valores en un determinado rango, que serán enviadas a la salida. Entre ellos se encuentran los analógicos y digitales.

**Sensores de todo o nada:** detectan si el objeto está presente o ausente. Por ello, toma dos valores, ejemplos de ello, los sensores de nivel, de proximidad, etc.



**Figura 20. Sensor todo nada. Tomada de Autómatas programables**

**d) Sensores por el tipo de variable medida**

En esta clasificación se hallan la diversidad de sensores mencionados. Entre ellos están la presión, humedad, fuerza, velocidad, presencia, proximidad, químicos, temperatura, etc.

**B. Criterios de selección**

Para escoger un sensor se necesita saber el proceso en el que será aplicado. Así también, características y factores de proceso al que estará sometido.

De ahí que las condiciones puedan derivar en los siguientes: temperatura, humedad, gases tóxicos, erosión, corrosión, vibraciones, entre otros.

Por otro lado, se tienen que considerar ciertas características de los materiales.

**Fluido:** las características están relacionadas a la densidad, turbidez, viscosidad, etc. Todo aquello que pueda afectar en menor o mayor grado al sensor.

**Sólidos:** las características están relacionadas a los tamaños, la composición, si es orgánico, si hay polvo, etc.

En el caso de los sensores, es necesario saber qué especificaciones debe cumplir el instrumento medidor. Se tiene que evaluar el margen de medida, la precisión, el tiempo de respuesta, estabilidad del sensor, exactitud deseada, entre otros.

### ***C. Características de entrada y salida***

Los sensores deben estar relacionados a un tipo de sensibilidad, como de tensión, frecuencia, etc. También, se debe considerar la forma de señal, la impedancia de las entradas-salidas y el destino, ya sea analógico y digital.

### ***D. Factores adicionales***

Los sensores también requieren diversas consideraciones en los ámbitos del peso, disponibilidad, tiempo de instalación, situaciones en caso de fallo, costos, etc.

#### ***2.2.3.4. Selección de elementos de mandos***

Los elementos de mando permiten a los operarios, mandar a ejecutar uno o varias actividades. Ya sea para cambiar de velocidad, hacer una parada o ejecutar arranques. Como, por

ejemplo: pulsadores, palancas, presostatos y termostatos. Cada uno tiene una determinada función, que sirve de forma coherente a la actividad que se desea realizar.








Dentro de los pulsadores: se tiene a los momentáneos, actuadores rasantes y del tipo *JOy Stick*.

En los presostatos: se tiene a los de presión diafragma y fuelle.

En los termostatos: se tiene a los bimetálicos y de sistema lleno.

### 2.2.3.5 Colores según el estándar IEC 60204 para los pulsadores

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (21) hay un orden funcional para los colores de los pulsadores. A continuación, se muestra el código en base al estándar IEC 60204.

Color	Significado	Explicación	Ejemplos de aplicación
ROJO 	Emergencia	Accionar en el caso de condiciones peligrosas o de emergencia.	Parada de emergencia. Iniciación de la función de emergencia.
AMARILLO 	Anomalia	Accionar en caso de condiciones anormales.	Intervención para suprimir condiciones anormales. Intervención para restablecer un ciclo automático interrumpido.
AZUL 	Obligatorio	Accionar en caso de condiciones que requieran una acción obligatoria.	Función de rearme.
VERDE 	Normal	Accionar para iniciar las condiciones normales.	Puesta en marcha/Puesta en tensión.
BLANCO 	Sin significado específico asignado	Para un inicio general de las funciones excepto la parada de emergencia (véase nota).	Puesta en marcha/Puesta en tensión (preferente). Parada/ Puesta fuera de tensión.
GRIS 			Puesta en marcha/Puesta en tensión. Parada/ Puesta fuera de tensión.
NEGRO 			Puesta en marcha/Puesta en tensión. Parada/ Puesta fuera de tensión (preferente).

Nota. Cuando se utilizan medidas de codificación suplementarias (por ejemplo, forma, posición, símbolo) para la identificación de los órganos de accionamiento de los pulsadores, entonces el mismo color BLANCO, GRIS o NEGRO se puede utilizar para varias funciones (por ejemplo, BLANCO para Puesta en marcha/Puesta en tensión y para Parada/ Puesta fuera de tensión).

**Figura 21. Código de color para pulsadores. Tomada de la norma IEC 60204**

### 2.2.3.6. Colores según el estándar IEC 60204 para las lámparas

En el caso del código de lámparas en maquinaria o trabajos. La norma IEC 60204, establece lo siguiente.

Colores para lámparas de señalización para indicación de estados de servicio		
COLOR	ESTADO DE SERVICIO	EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN
Rojo	Estado normal.	Indicación de que la máquina ha parado por medio de uno de los elementos de protección, por ejemplo, a causa de sobrecarga, por sobrepasar una posición límite o a causa de otra orden. Invitación a detener la máquina, por ejemplo, a causa de sobrecarga.
Amarillo (ámbar)	Atención o precaución.	Un valor (intensidad, temperatura) se aproxima a su valor límite aún admisible. Señal para el ciclo automático.
Verde	Máquina preparada para servicio	Máquina lista para marcha: funcionan todos los dispositivos auxiliares necesarios. Las diversas unidades se encuentran en la posición de partida y la presión hidráulica o la tensión de un convertidor tienen los valores prescritos, etc.  El ciclo de trabajo ha terminado y la máquina se encuentra preparada para un nuevo arranque.
Blanco (sin color)	Los circuitos eléctricos se encuentran en tensión.	Interruptor principal en la posición «Conectado». Elección de la velocidad o del sentido de giro.
	En servicio normal.	Accionamientos individuales y dispositivos auxiliares están en servicio. La máquina está en marcha.
Azul	Todas las funciones para las que no vale ninguno de los colores antes citados	

**Figura 22. Código de colores para lámparas. Tomada de la norma IEC 60204**

### 2.2.3.7. Pirámide de la automatización

La pirámide de automatización es el orden prioritario para integrar procesos en el sector empresarial.

**Nivel de campo:** es el primer escalón, donde se encuentran los sensores que miden las variables de los procesos. Básicamente, son los que intervienen directamente con los procesos.

**Nivel de control:** es el segundo, aquí se realiza la programación. Se controla todo lo que ocurre en el nivel de campo, mediante: PLC, controladores, numéricos, CNC, etc.

**Nivel de supervisión:** es el tercero, donde se puede manipular el sistema de control acorde a alguna necesidad emergente. Se prioriza la comunicación entre equipos dentro de

una red: Ethernet, sistemas Scada, etc. Obteniendo reportes y acceso a toda la información de todo el proceso.

**Nivel de gestión:** el último escalón, hace referencia al seguimiento del producto. En este nivel se planifica y gestiona el stock, marketing, administración de recursos, etc. No se prioriza la supervisión de procesos sino la gestión y producción.

#### **2.2.3.8. PLC**

Los PLC siemens presentan una gran flexibilidad y potencia para el control de diversos dispositivos al mismo tiempo, específicamente para cubrir necesidades de automatización industrial. Así mismo, se dividen en dos: los PLC compactos y los PLC modulares.

##### **A. Modulares y compactos**

**Modulares:** en esta categoría, los PLC modulares son destacados por su alto rendimiento en actividades pesadas y complejas en las industrias. También, presentan tarjetas que son de fácil instalación y escalabilidad a la hora de diseñar. Ejemplos de ellos se tienen los modelos S7 1500 y S7 1300.

**Compactos:** en esta categoría, los PLC compactos, son más pequeños, se caracterizan por tener todos los componentes necesarios para la automatización y generar soluciones en actividades ligeras y medianas en el sector industrial. Ejemplo de ello se tiene el modelo PLC Siemens S7 1200.

##### **B. Lenguaje de programación**

Los PLC presentan ciertos lenguajes para poder agilizar la programación en base a normas internacionales. Dentro de los que la marca Siemens, adoptó el lenguaje LD (Diagrama de contactos o escalera) semejante a un esquema eléctrico y FBD (Diagrama de bloques funcionales), semejante a un circuito digital.

**Tabla 8. Lenguajes de programación del PLC**

Lenguaje	Características	Ejemplos*	Tipo	Nivel
Listas	Lista de Instrucciones	IL AWL STL IL/ST	Escrito	Bajo
Plano	Diagrama Eléctrico	LADDER LD KOP	Visual	Alto
Diagrama de Bloques Funcionales	Diagrama Lógico	FBD FBS FUD		
Organigrama de Bloques Secuenciales	Diagrama Algorítmico	AS SFC PETRI GRAFSET		
Otros	Lenguajes Usados en Otras Áreas de la computación	BASIC C	Escrito	

\* Los nombres fueron asignados por el fabricante

*Nota:* tomada del Libro de la automatización

### **C. Softwares para la programación**

Los lenguajes de programación necesitan softwares para su desarrollo. Entre ellos se tiene a la empresa Festo (Software-Codesys), que utiliza 9 lenguajes estandarizados por la IEEE. A la que toda empresa de PLC se somete para su respectivo uso. También *Cade Simu* cuyo lenguaje común es el LD.

## **2.3. Proceso de producción de ají**

### **2.3.1. Requerimientos agroclimáticos**

El *Capsicum annum* acepta temperaturas diurnas oscilantes a 20-25 °C y nocturnas de 16 – 18 °C (22). En el caso que dichas temperaturas varíen, promueven una calidad inferior a lo establecido. Y en caso, se establece la temperatura a 12 °C, el ají llega a tener frutos Partenocárpicos. O sea, frutos sin semillas.

Así mismo, la humedad también es factor importante para el ají. Debido a que, si son bajas, no aparecen frutos. Por tal motivo es preciso que la humedad oscile entre el 50 al 70% durante las primeras fases.

Es indispensable en la fase de floración, establecer un sistema de riego. Para mantener la maduración de frutos. Y en el caso de luminosidad



para el ciclo de desarrollo es indefectible. Debido a que la falta de esta puede ocasionar tallos frágiles, ahilamiento y entrenudos.

### **2.3.2. Requerimientos del suelo**

El *Capsicum annuum* requiere suelos de textura suelta y honda (22). Así también debe ser rico en fósforo, nitrógeno y con pH oscilante entre 5.5 hasta 7. Y es indispensable que dichos suelos no presenten anegamiento, porque el ají de este tipo presenta problemas de asfixia radicular. Por el contrario, si su suelo es compacto, seco o cálido, la pungencia incrementa en el ají. Es decir, su picor incrementa en los frutos.

### **2.3.3. Técnicas de plantación**

En vigencia existen dos tipos de plantación

#### **Siembra directa**

Establece una preparación adecuada del suelo. Y está sujeta a variaciones en el fruto, debido a la exigencia que presenta el ají. Así su calidad es poco uniforme, por lo que se requiere previa clasificación para su posterior venta.

La presente técnica, requiere terreno descubierto, irrigación por aspersión, entre otras. Que, a su vez, delimitan un menor costo de mano de obra y permite alcanzar densidad del producto por área. Precisamente, los productos que se benefician de este suelo son los de desarrollo corto y maduración agrupada.

#### **Trasplante**

El tipo de suelo donde se realiza la presente técnica es uno profundo. Donde no haya malezas y el clima es seco. Por lo que también requiere tratamiento el suelo.

En dicho suelo se tiene que tratar con estiércol fermentado (30-40 kg) por cada metro cuadrado. Por lo que se realiza dicha práctica cerca de un mes y medio, previa siembra.

Así también, se aplica bromuro de metilo, para fumigar (gas licuado). Desinfectando el terreno de todo tipo de insectos, nematodos, hongos, malezas. Cubriendo por dos días y medio con plástico el lugar donde se vertió. Tras cumplirse el tiempo se remueven las tierras para que así se libere de los gases impregnados en dicho suelo. Posteriormente, ya se delimitan las zonas para la siembra.

#### **2.3.4. Ciclo de producción del ají *Capsicum annuum***

Según el Ministerio de agricultura (23), menciona que el *Capsicum annuum* es producido durante todo el año. Precisando que debe estar protegido.

Así mismo, depende de la zona, el preparado de la tierra, la fumigación, para desinfectar todo tipo de plagas para que el ají pueda tener sus raíces sanas.

#### **2.3.5. Canal de comercio**

Según Tagle (24) hace menester la diferencia de productores agrícolas. Debido a que diversos agricultores no presentan contratos definidos con empresas de agroindustria y sus precios son reducidos.

En Agronegocios (25) se aclara que, para acceder a mejores ingresos, se debe establecer contratos mediante la venta en base a estrategias. Como la venta del ají en base a calidad (tamaño) dirigido a empresas de despulpado, deshidratado, etc. No dejando de lado la venta del fruto extraído e inalterado a los mercados.

Todo ello, implicado en base a la calidad del producto. Según Zambrano y Zambrano (26), se establece que el criterio para que el ají sea considerado bueno debe tener valor diametral mayor a 2.5 cm. Que señala que es necesario que los de valor inferior, deben incluirse dependiendo la estrategia que se requiera. Tales como: pulverizado, deshidratado, despulpado, molienda, etiquetado, embazado, etc. Para así, tener mejor oportunidad de ingresos.

### **2.3.6. Requerimientos en la cosecha**

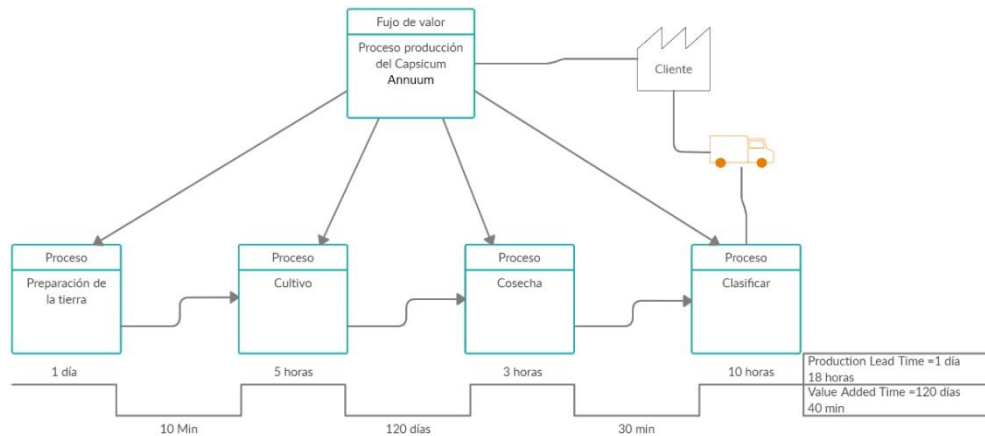
Se recolecta solo cuando se llega a la fecha de maduración. Dependiendo del tipo de técnica realizada. En el caso del ají *Capsicum annuum* está sometido en gran parte a la técnica de plantación de siembra directa. Cuya dificultad reside en la variación de la calidad del ají. Entonces, cuando llega la maduración, se recoge mediante el tamaño y color que precisan. Luego se almacena para su posterior selección y venta.

En el caso del ají *Capsicum annuum*, su madurez es relativamente rápida según Quiroz (27) debido a su germinación y crecimiento, frente a otras especies. Siendo muy prácticos para la plantación de siembra directa. Lo más común en el sector Junín.

### **2.3.7. Exigencias en el sector agrícola**

Según el Ministerio del Ambiente (28) presenta las fases para producir ají. Dentro del cual, se menciona que para los microempresarios del sector agrícola constaría de los siguientes: preparado de tierra, cultivo, cosecha, clasificación y venta.

En el caso de Huancayo, se realizó un cotejo en el sector agrícola. Que incluye tiempos para definir el cuello de botella que presentan estos sectores. Y así contrastarlo para su posterior definición y elaboración de una máquina que pueda resolver dichos problemas.



**Figura 23. Diagrama de tiempos del proceso de producción en el sector agrícola de Huancayo**

### 2.3.8. Requerimientos del proceso agrícola de producción de ají

En base a la información previa. En el proceso de producción del ají, se evidencia la necesidad de menguar el cuello de botella, para agilizar el proceso de producción.

En el caso del ají *Capsicum annum*. Se tiene entendido por Moreno (5) que las condiciones óptimas para la venta derivan del índice de madurez de la cosecha. Y ahí interviene el tamaño y la firmeza del producto.

Debido a su elevado tiempo, retrasa el comercio y producción del ají. De ahí, la importancia de ejercer acciones en el cuello de botella, para que no perjudiquen el proceso de producción y venta.

Por otro lado, en el informe del INEI (3) se hallan los principales ingresos del departamento de Junín. Teniendo en primer lugar al sector de construcción con 50.7% y al sector de manufactura en el 11.6%. Dichos valores demuestran el poco interés y desarrollo en actividades de manufactura industrial. Reflejando la necesidad de ser potenciada.

Dada la importancia de ser potenciada los procesos industriales en el sector agrícola. Es necesario contrastar dichos datos con la inversión que se realiza en el departamento de Junín.

En el informe del Banco Central de Reserva del Perú (4) la inversión privada de los últimos 5 años en adelante se concentra en los sectores: minero, eléctrico, hidrocarburo y comercio. Dejando al margen los sectores de manufactura.

En tal caso, el crecimiento y cotización empresarial en los sectores agrícolas, extraídos del mismo informe, muestran el crecimiento de 8.7% entre los años 2015 – 2017. Llegando a alcanzar el 55.6%. Demostrando la necesidad de expansión de la industria agrícola, con enfoques productivos y eficientes. Que todavía no está desarrollada por los datos vistos anteriormente.

## **2.4. Definición de términos básicos**

### **2.4.1. Automatización**

“Es la aplicación de tecnologías dispuestas para el monitoreo de uno o varios procesos, de forma cíclica” (29).

### **2.4.2. Sistema electromecánico**

“Es la orientación a sistemas híbridos, donde hay un entable entre la parte mecánica y eléctrica” (30).

### **2.4.3. Clasificar**

“Es la organización mediante técnicas o métodos en base a un determinado objetivo” (31).

### **2.4.4. Selección de materiales**

“Indica que la selección de materiales comprende el análisis de fases químicas y físicas que pueda soportar un determinado material para su correspondiente uso” (32).

#### **2.4.5. Sistema eléctrico**

“Comprende la interacción de sistemas circuitales en busca de un determinado objetivo” (33).

#### **2.4.6. Sistema de control**

“Es el empleo de técnicas para organizar, dirigir y regular algún proceso” (34).

#### **2.4.7. Optimización de tiempo**

“Es la reducción de tiempo de alguna actividad en base a los recursos que haya para acortarlo. De tal forma que no perjudique al sistema” (35).

#### **2.4.8. Productividad**

“Es un indicador que muestra la eficiencia de una empresa” (36).

#### **2.4.9. Trabajo**

“Son las actividades realizadas por personas en una determinada área con fin de cubrirse así mismas o algunas necesidades en una comunidad” (18).

#### **2.4.10. *Capsicum annuum***

“Es una especie solanácea producida en el Perú, siendo una de las que tiene mayor importancia en el cultivo de ají local del Perú” (37).

#### **2.4.11. Microcontroladores**

“Son sistemas de circuitos integrados con componentes de ordenador que se emplean para el monitoreo y control de un proceso o actividad” (38).

#### **2.4.12. Mercado**

“Es el proceso de interacción donde se brindan bienes o servicios” (39).

#### **2.4.13. Seguridad**

“En la parte industrial es el monitoreo de acciones para la prevención de accidentes y riesgos laborales” (40).

#### **2.4.14. Normativa y legitimidad**

“Son los estándares requeridos para poder obtener un producto o servicio con calidad” (41).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo de investigación**

“La investigación tecnológica, también denominada desarrollo, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico” (42).

Se aplican los conocimientos teóricos en la parte de diseño mecánico, eléctrico y electrónico, principalmente en la validación de la selección de componentes, para su respectiva modificación en la búsqueda de una correcta selección de ají. Brindando un análisis y solución ante la necesidad planteada, cuya aplicación se transforme en una máquina de selección de ají.

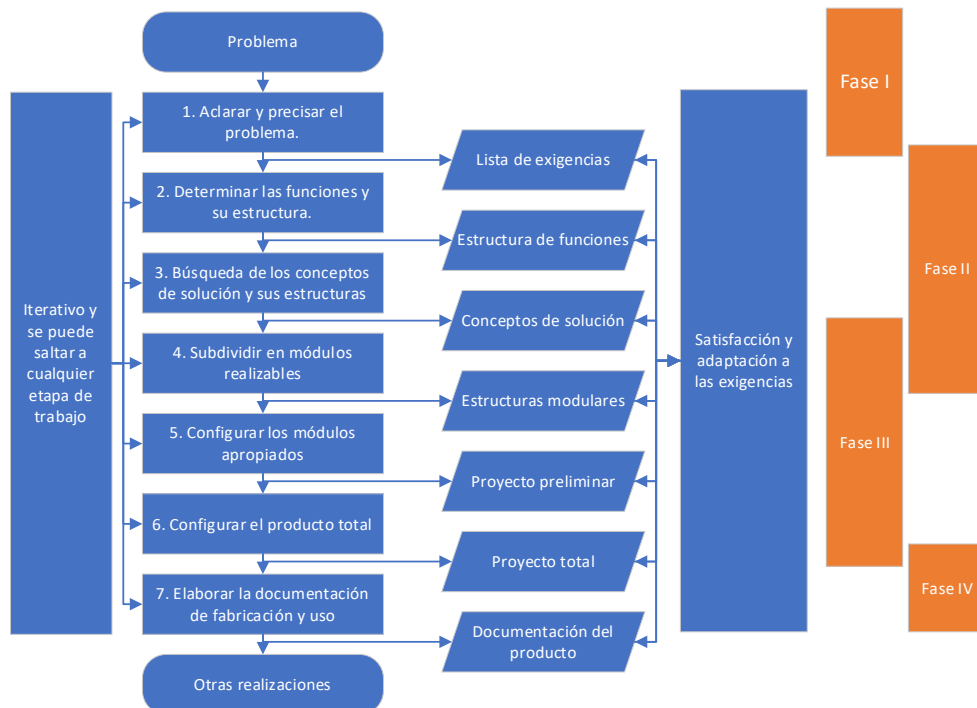
#### **3.2. Metodología aplicada para el diseño de la solución**

##### **3.2.1. Metodología VDI 2221**

En la presente investigación se utilizó la metodología de diseño VDI 2221 planteada por la Asociación Alemana de Ingeniería en 1987 que es mundialmente conocida por ser eficiente y tener una aplicación muy simple y eficaz que logra cumplir los requerimientos planteados. Por ello, se seguirá el proceso de esta metodología, teniendo especial consideración en adicionar un sistema de control al sistema mecánico.



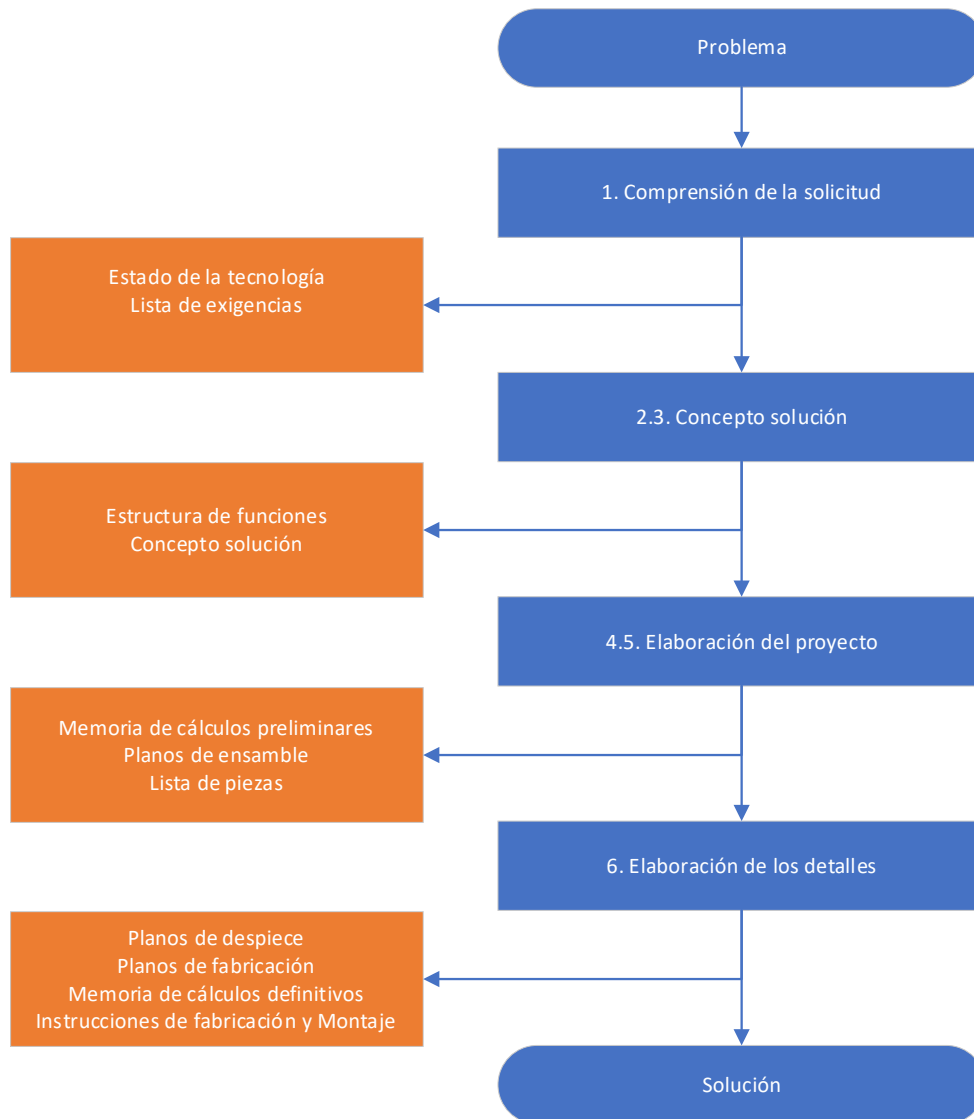
Se dividirá el diseño en 4 fases donde se involucrarán las actividades que comúnmente se siguen en los diseños para máquina, se puede observar a continuación la relación existente entre dichas actividades y las fases:



**Figura 24. Proceso general del sistema de desarrollo y diseño**

De ello se puede extraer que el resultado de la fase I es la lista de exigencias, de la fase II la estructura de funciones y los conceptos de solución, de la fase III las estructuras modulares y el proyecto preliminar y de la fase IV el proyecto total y la documentación del producto.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario esclarecer de forma detallada las fases y cada una de las actividades que involucran, lo cual puede observarse a continuación:



**Figura 25. Fases de diseño, metodología VDI 2221**

La comprensión de la solicitud se relaciona con establecer claramente hasta qué punto existe un avance tecnológico relacionado con la seleccionadora de ají, y a partir de ello definir qué parámetros son idóneos para la máquina que se va a realizar, todo ello teniendo siempre en cuenta los problemas que se quieren solucionar desde un punto de vista práctico, crítico y dándole mucha importancia a la factibilidad de realización de la solución al problema que se pretende plantear.

La fase del concepto solución tiene como producto una estructura de funciones que pueda satisfacer todas las acciones que se involucran en la máquina, que se va a dividir en funciones de la parte mecánica, eléctrica y de control, donde las funciones de cada fase interactúan y se tienen en cuenta las limitaciones de cada parte.

Otro producto de esta fase es la caja negra que sirve para establecer la energía, señales y materiales que entran a la máquina y las que salen.

Teniendo en cuenta estos productos se procedió a evaluar las posibles soluciones al problema planteado, asignando formas de cumplir cada una de las funciones establecidas, esto en una matriz morfológica que utiliza gráficos para ayudar con la comprensión de los conceptos de solución y su secuencia de funcionamiento.

Con ello ya establecido se deben evaluar los conceptos de solución asignando valores entre cero y cuatro, de acuerdo con el grado de satisfacción que cumple cada solución en cada parámetro establecido, estos parámetros son seleccionados y elegidos por los investigadores según el criterio adquirido en la realización de otros diseños de máquinas.

Los productos de la elaboración del proyecto, que se utilizaron en la presente investigación son la memoria de cálculo, los planos de ensamble y la lista de piezas de la máquina, que deben ser realizados teniendo en cuenta los datos obtenidos de cada una de las fases anteriormente mencionadas, de forma que el producto sea claro, simple y cumpla normas de seguridad. Además, debe disponerse y asumirse dimensiones aproximadas para, posteriormente, iterar dichas dimensiones con el propósito de encontrar las idóneas para la máquina, teniendo en cuenta la idoneidad de ciertos materiales para determinadas partes de los sistemas mecánicos y eléctricos.

Finalmente, en la elaboración de detalles se planea aprobar o rechazar los resultados de la fase anterior evaluando de forma detallada cada resultado, determinado los procesos de fabricación de las piezas necesarias y representando los despieces de los otros documentos, ello determinando el estado del montaje, evaluando y realizando optimizaciones en los cálculos y el diseño.

Los productos obtenidos utilizaron las formas detalladas en los capítulos de “Métodos de diseño en ingeniería mecánica” de Barriga (43).

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

#### 4.1. Identificación de requerimientos

##### 4.1.1. Lista de exigencias

Según el criterio de los diseñadores y las opiniones de personas que trabajan en el rubro de la siembra y selección de ají se plantearon exigencias (E) y deseos (D) cuya descripción puede observarse a continuación.

**Tabla 9. Lista de exigencias de la seleccionadora de ají**

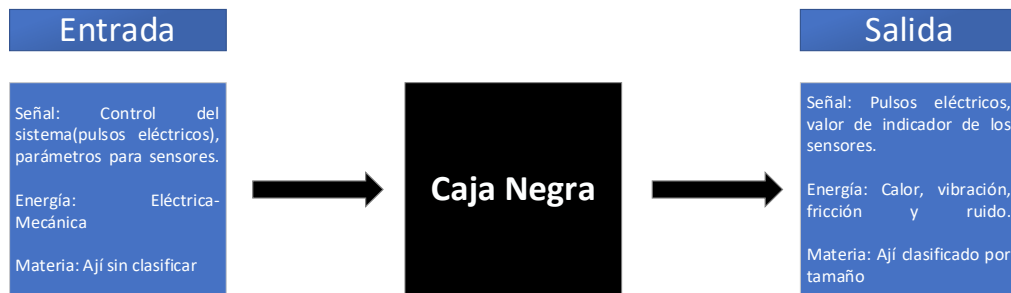
Lista de exigencias			Fecha: 22/10/20
<b>Proyecto: Máquina seleccionadora de ají</b>		Máquina de selección de ají	Elaborado Gerald Cárdenas
Fecha	Deseo o Exigencias	Descripción	Responsable
22/10/20	E	Función principal: separar el ají según su tamaño y calidad.	G. C.
22/10/20	E	Geometría: el tamaño de la máquina no debe superar los 2000 mm de largo, 1500 de ancho y 2000 mm de alto.	G. C.
22/10/20	E	Energía: la máquina deberá utilizar la menor energía posible siempre que se garantice la efectividad del proceso de selección.	G. C.
22/10/20	D	Energía: la máquina debe utilizar una energía de fácil acceso.	G. C.
22/10/20	E		G. C.

		Materia prima: la única materia prima que será transportada y seleccionada por la máquina será el ají y sus respectivas variedades.	
22/10/20	E	Seguridad: la máquina deberá ser completamente segura para evitar y asegurar la integridad de los trabajadores.	G. C.
22/10/20	E	Fabricación: la máquina debe poder ser fabricada con materiales que puedan ser adquiridos en la localidad y en talleres locales.	G. C.
22/10/20	E	Control de calidad: se deberán realizar pruebas a la máquina y seguir técnicas que aseguren los requisitos mínimos de calidad	G. C.
22/10/20	E	Montaje: el montaje de la máquina debe poder ser simple y rápido.	G. C.
22/10/20	D	Uso: la máquina no debe requerir un ambiente excepcional para poder funcionar	G. C.
22/10/20	E	Mantenimiento: la máquina deberá ser lo suficientemente resistente para necesitar mantenimiento lo menos posible	G. C.
22/10/20	D	Ergonomía: los operarios deben poder manipular la máquina de una forma simple y práctica.	G. C.

## 4.2. Análisis de la solución

### 4.2.1. Caja negra

A continuación, se puede observar la caja negra planteada en la presente investigación, donde deberán ingresar pulsos eléctricos que activen los sistemas, que también producirán pulsos de salida, para que funcione la máquina será necesario que ingrese energía eléctrica, que posteriormente saldrá en forma de calor, vibraciones y ruido. Evidentemente, ají de todos los tamaños deberá ingresar a la máquina, para ser expulsados divididos según su radio aproximado.



**Figura 26. Caja negra de la máquina seleccionadora de ají**

#### **4.2.2. Estructura de funciones**

##### **4.2.2.1. En el sistema mecánico se planea utilizar las siguientes funciones:**

- **Alimentar:** proveer de productos al sistema o mecanismo.
- **Dosificar:** graduar el paso de productos a través de un mecanismo.
- **Transportar:** llevar los productos de un lugar a otro.
- **Seleccionar:** elegir y separar ciertos productos según características comunes.
- **Expulsar:** hacer que los productos salgan de la máquina.
- **Almacenar:** hacer que se acumulen los productos salientes de la máquina.

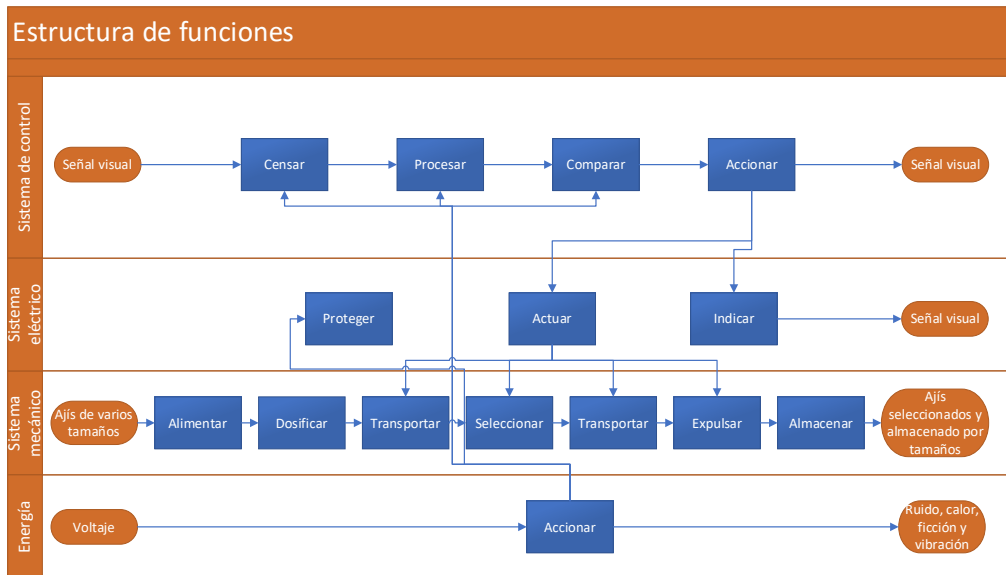
##### **4.2.2.2. Mientras que para el sistema eléctrico se utilizará:**

- **Proteger:** preservar el buen estado de los componentes eléctricos.
- **Actuar:** generar movimiento con el cual se accionarán los mecanismos de la máquina.
- **Indicar:** mostrar y señalar el estado de un proceso de la máquina.

##### **4.2.2.3. Finalmente, el sistema de control debe cumplir con las siguientes funciones:**

- **Censar:** registrar la existencia de productos en ciertas partes de la máquina.

- **Procesar:** ejecutar instrucciones sobre los datos obtenidos de los sensores.
- **Comparar:** establecer la existencia de semejanza entre los datos procesados.
- **Accionar:** poner en funcionamiento el sistema que hace funcionar al actuador.



**Figura 27. Estructura de funciones de la máquina seleccionadora de ají**

Con ello ya establecido, la forma en que interactuarán las funciones antes mencionadas, según lo establecido en la figura 27 para cada sistema será así:

### Sistema de control

Este sistema deberá censar y evaluar la existencia de ají, esta información debe ser procesada y comparada, de acuerdo con ello debe activarse o no el actuador.

### Sistema eléctrico

El sistema eléctrico debe tener un elemento que lo proteja de sobretensiones y cortocircuitos, que será conectado al actuador que producirá movimiento en el sistema mecánico, el buen funcionamiento del actuador debe ser indicado al operador mediante un dispositivo eléctrico.



### **Sistema mecánico**

Al que se alimentará cierta cantidad de ají, dicha cantidad debe ser dosificada para asegurar una buena selección y evitar una avalancha de ají, después será transportada hacia el mecanismo de selección de ají pequeños, luego otra vez se transportarán los ají restantes para su selección y posterior expulsión, finalmente deben ser almacenados.

### **Energía**

Como se mencionó con anterioridad a la máquina debe ingresar energía eléctrica en forma de voltaje, para que pueda accionar los actuadores, los cuales producirán ruido calor, fricción y vibración.

#### **4.2.3. Matriz morfológica del sistema mecánico**

En base a la estructura de funciones. Se plantea una secuencia para establecer soluciones con elementos determinados. Cuya finalidad es obtener un sistema que permita clasificar ají. De tal modo que sea factible la adquisición y producción, para finalmente proceder a evaluar cada una de las soluciones obtenidas.

### **Selección de elementos para el sistema mecánico**

Para la selección de los elementos, es necesario establecer criterios; los cuales están presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 10. Criterios para selección de elementos del sistema mecánico**

<b>N.º</b>	<b>Estructura de función</b>	<b>Descripción de requerimiento</b>
1	Alimentación	Medio para proveer ají
2	Dosificar	Medio por el cual se controla el flujo de ají
3	Transportar	Dispositivo por el cual se pueda trasladar el ají
4	Seleccionar	Sistema que permita separar el ají en base al tamaño
5	Expulsar	Canal de descarga para el ají clasificado
6	Almacenar	Recipiente para el almacenaje de ají expulsado

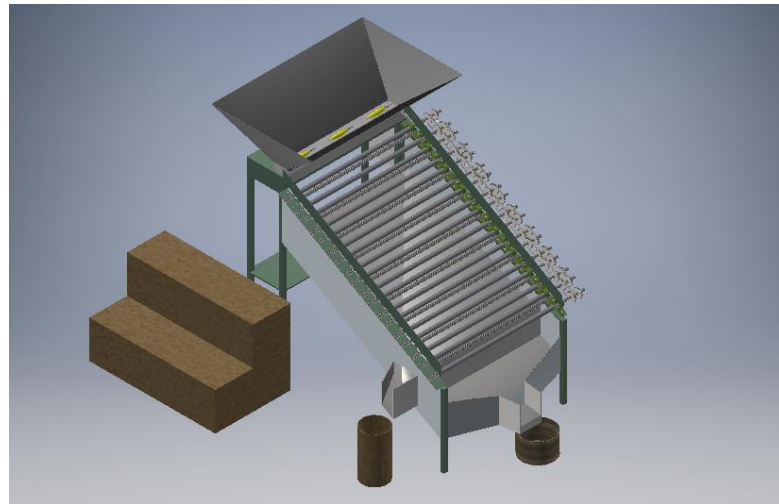
A continuación, se establece la matriz morfológica en base a los criterios de la estructura de función para la máquina.



**Figura 28. Matriz morfológica del sistema mecánico**

#### 4.2.4. Boceto de solución del sistema mecánico

De acuerdo con lo establecido en la matriz morfológica del sistema mecánico se realizó el boceto de la posible forma de realizar cada función establecida en la estructura de funciones.



**Figura 29. Solución 1 de la matriz morfológica**

#### 4.2.5. Matriz de evaluación de la solución mecánica

Según se menciona en el capítulo tres de esta investigación se procedieron a establecer los criterios técnicos y económicos según el criterio de los diseñadores, y se procedió a calificar las soluciones respecto al nivel de satisfacción que generan en relación a la lista de exigencias y deseos.

**Tabla 11. Puntajes de las soluciones de la etapa mecánica**

N.º	Criterios técnicos y económicos	Soluciones		
		1	2	3
1	Eficiencia	3	4	3
2	Rapidez	4	4	3
3	Seguridad	3	4	3
4	Fácil manejo	4	1	3
5	Mantenimiento	3	1	3
6	Fabricación	2	1	2
7	Montaje	3	4	3
8	Complejidad	3	0	1
9	Costo de la tecnología	3	0	1
10	Costo de mantenimiento	3	0	1
11	Facilidad de adquisición	3	0	1
12	Costo de operación	4	0	1
Suma total		38	19	25

**Puntaje de criterios:**  
0 = no satisface  
1 = aceptable a las justas  
2 = suficiente  
3 = bien  
4 = muy bien

#### 4.2.6. Matriz morfológica del sistema eléctrico

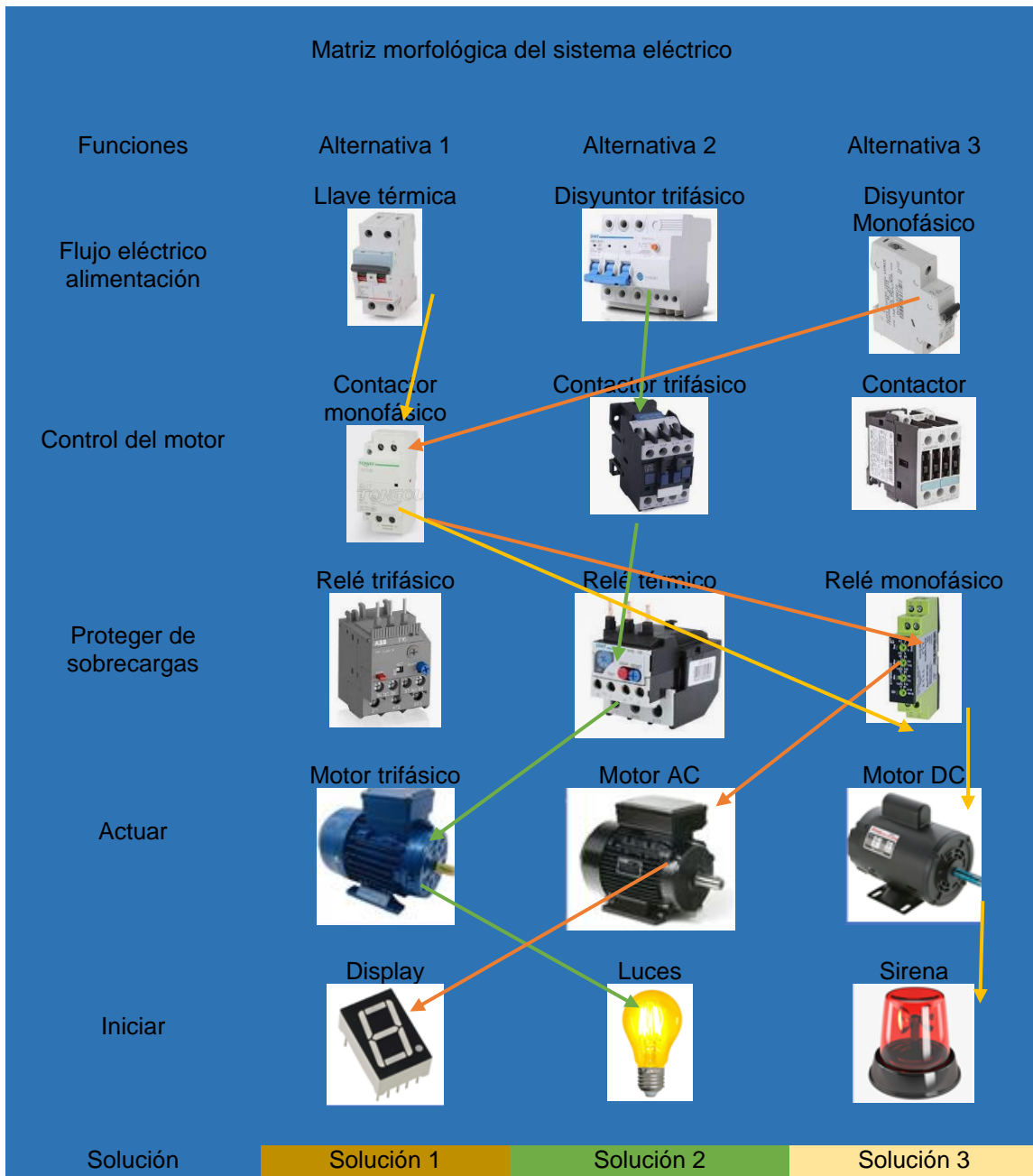
En el sistema eléctrico se plantea una secuencia para establecer soluciones con elementos determinados. Cuya finalidad es obtener un

sistema de potencia que sea óptimo. De tal modo que sea factible la adquisición y producción, para finalmente proceder a evaluar cada una de las soluciones obtenidas.

**Tabla 12. Criterio de selección de elementos del sistema eléctrico**

<b>N.º</b>	<b>Esquema de funciones</b>	<b>Descripción del requerimiento</b>
1	Alimentación	Medio para alimentar energéticamente en alterna.
2	Control del motor	Dispositivo que pueda controlar el motor. Habilitando o no, el flujo de corriente. Tendrá vínculo con el controlador para la automatización.
3	Protección	Dispositivo que permita tener al motor una larga vida útil y pueda protegerlo ante fallas.
4	Actuador	Elemento que permita ejercer el accionamiento de los procesos del sistema mecánico de forma controlada.
5	Señalización	Dispositivos que muestren la etapa del funcionamiento de la máquina.

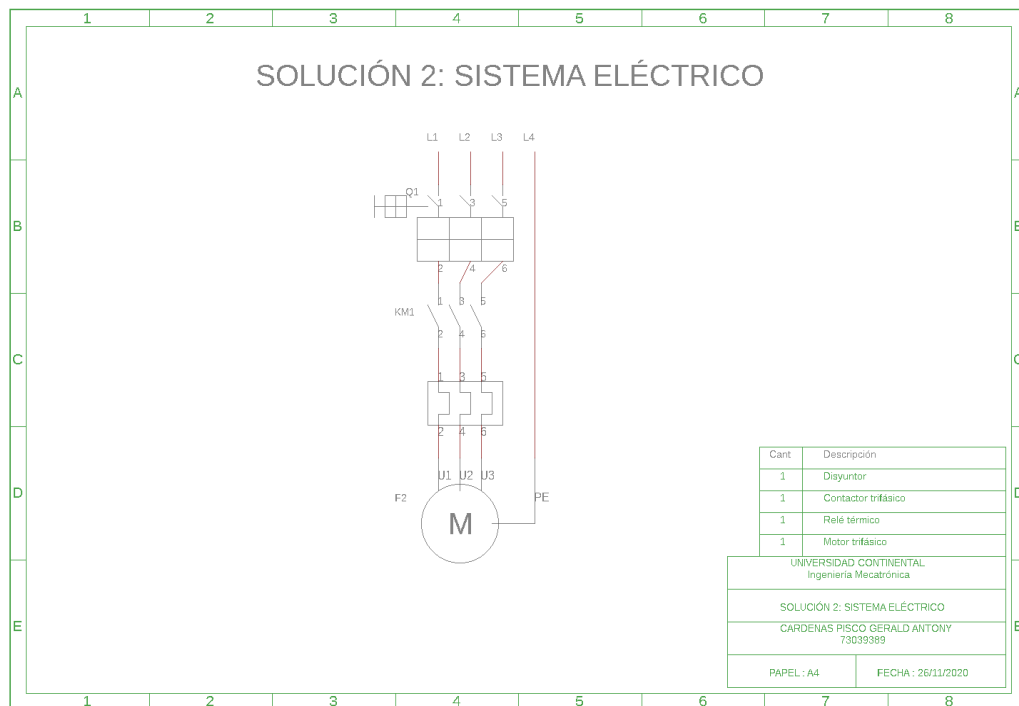
A continuación, se establece la matriz morfológica donde designan diversos elementos posibles, en base a los criterios de la estructura de funciones para la máquina.



**Figura 30. Matriz morfológica etapa eléctrica**

#### 4.2.7. Boceto de solución del sistema eléctrico

De acuerdo con lo establecido en la matriz morfológica del sistema eléctrico se realizó el boceto que presenta la viabilidad para la realización de cada función establecida en la estructura de funciones.



**Figura 31. Solución 2 de la matriz morfológica del sistema eléctrico**

#### 4.2.8. Matriz de evaluación de la solución eléctrica

Utilizando los criterios mencionados se procede a calificar las soluciones encontradas en base a la satisfacción de la lista de exigencias y deseos.

**Tabla 13. Puntajes de evaluación de las soluciones del sistema eléctrico**

Número	Criterios técnicos y económicos	Soluciones		
		1	2	3
1	Eficiencia	4	4	0
2	Rapidez	4	4	1
3	Seguridad	2	2	4
4	Fácil manejo	2	2	4
5	Mantenimiento	2	3	2
6	Fabricación	2	3	3
7	Montaje	2	2	3
8	Complejidad	2	3	3
9	Costo de la tecnología	1	3	3
10	Costo de mantenimiento	1	3	3
11	Facilidad de adquisición	1	3	3
12	Costo de operación	1	3	3
Suma total		24	35	32

Puntaje de criterios:

0 = no satisface

1 = aceptable a las justas

2 = suficiente

3 = bien

4 = muy bien

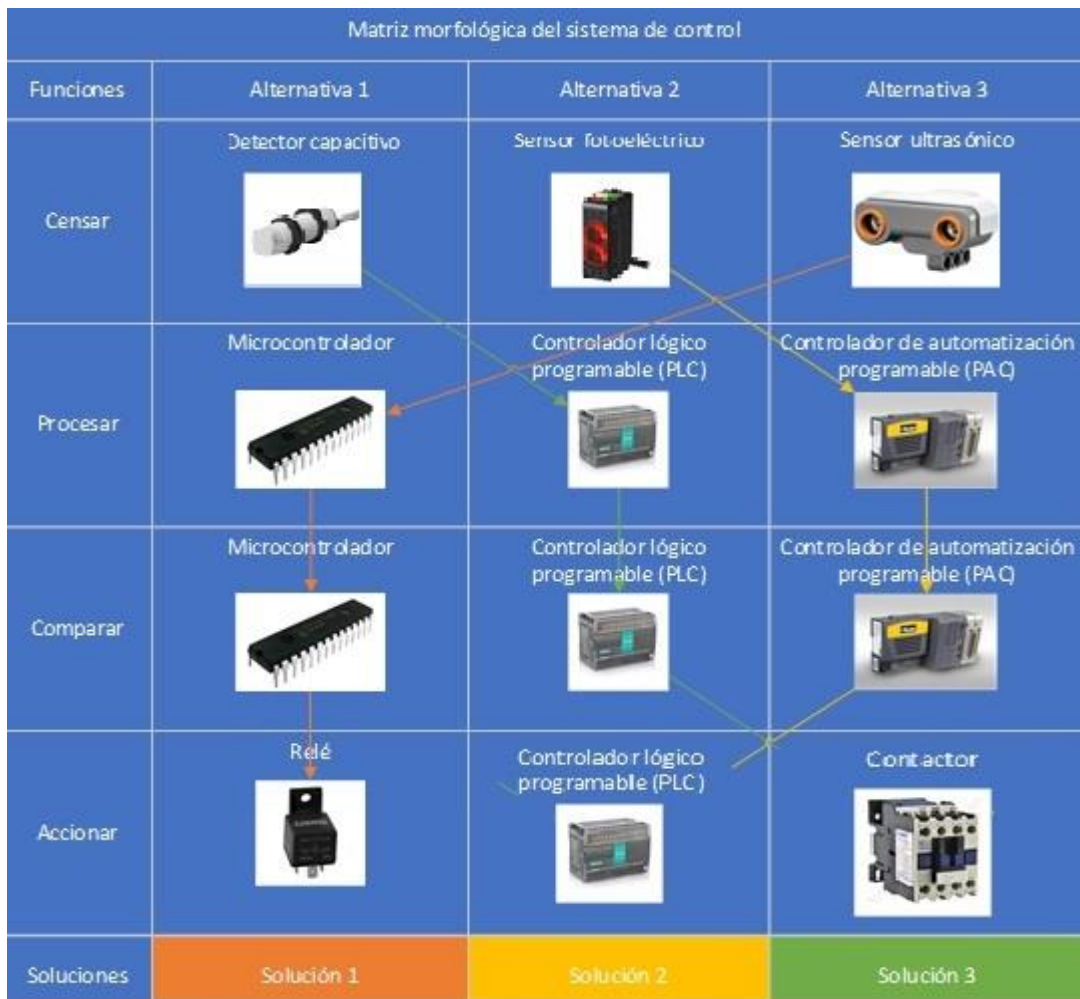
#### 4.2.9. Matriz morfológica del sistema de control

Teniendo en cuenta la estructura de funciones. Se establecen los criterios para la designación de los elementos que constituirán un marco de soluciones en el sistema de control.

**Tabla 14. Criterios para la selección de elementos del sistema de control**

N.º	Estructura de funciones	Descripción del requerimiento
1	Censar	Dispositivo que permita captar la presencia del ají.
2	Procesar	Dispositivo que permita procesar y controlar la gestión de información del sensado.
3	Comparar	Dispositivo que permita comparar variables en la programación para el respectivo accionado.
4	Accionar	Dispositivo que permita el manejo automático del motor.

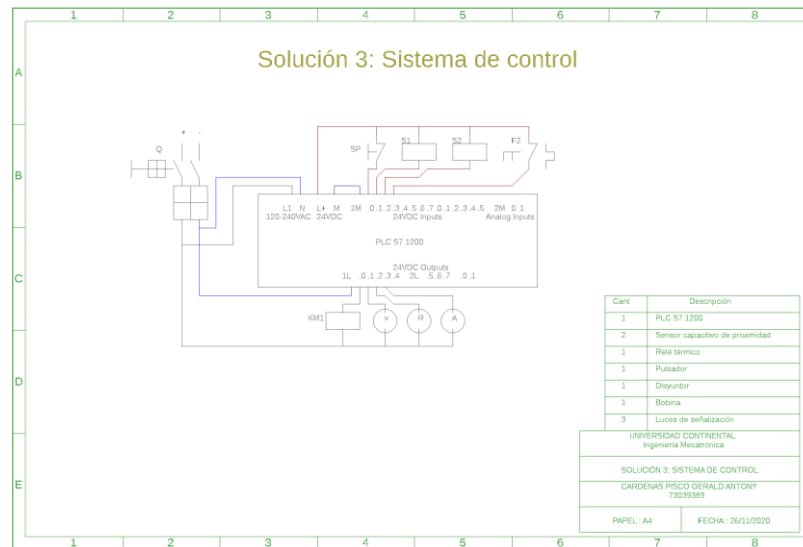
A continuación, se muestra la matriz morfológica del sistema de control. Donde se establecen diversas soluciones, con determinados elementos que están basados en los criterios de la tabla 14.



**Figura 32. Matriz morfológica del sistema de control**

#### 4.2.10. Boceto de solución del sistema de control

De acuerdo con lo establecido en la matriz morfológica del sistema de control que se utilizará en la seleccionadora de ají, se realizaron bocetos de las posibles formas de realizar cada función establecida en la estructura de funciones, dichos bocetos se muestran a continuación.



**Figura 33. Solución 3 de la matriz morfológica del sistema de control**

#### 4.2.11. Matriz de evaluación de la solución para el sistema de control

Los criterios de evaluación serán los mismos a excepción de la fabricación, la cual será reemplazada por la facilidad de programación que existe en los dispositivos controladores que posee cada solución. Esto se muestra en la siguiente tabla:



**Tabla 15. Puntajes de evaluación de las soluciones del sistema de control**

Número	Criterios técnicos y económicos	Soluciones		
		1	2	3
1	Eficiencia	1	4	4
2	Rapidez	1	4	4
3	Seguridad	1	3	4
4	Fácil manejo	3	3	4
5	Mantenimiento	3	1	4
6	Factibilidad de programación	3	1	4
7	Montaje	3	1	3
8	Complejidad	3	1	4
9	Costo de la tecnología	3	1	2
10	Costo de mantenimiento	3	1	2
11	Facilidad de adquisición	3	1	2
12	Costo de operación	3	1	2
Suma total		30	22	39

Puntaje de criterios:  
 0 = no satisface  
 1 = aceptable a las justas  
 2 = suficiente  
 3 = bien  
 4 = muy bien

### 4.3. Diseño de la solución

#### 4.3.1. Diseño mecánico

##### 4.3.1.1. Diseño de tolva

Para el volumen de la tolva, teniendo en cuenta que las dimensiones promedio de un ají es 13 cm de largo y 3 cm el volumen de este, suponiendo que tenga una forma de cilindro, su volumen será:

$$v_u = \pi \times 0,03^2 \times 0,13$$

$$v_u = 3,6757 \times 10^{-4} m^3$$

Dicho volumen es para un ají que pesa aproximadamente 30 g, por lo tanto, para 20 kg:

$$\frac{v_t}{20000 \text{ g}} = \frac{3,6757 \times 10^{-4}}{30 \text{ g}}$$

$$v_t = 0,245 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el largo del área mayor de la tolva debe tomar como máximo el valor de 120 cm, que el largo del rodillo que tiene contacto con el ají es de 100 cm, asignando una profundidad de 90 cm para el área mayor y 25 cm para la base menor (para que la cantidad de salida sea un cuarto de la cantidad de entrada); utilizando la fórmula (1.11):

$$= \frac{0,245 \left( \frac{0,5}{0,15} \times h \right)}{\frac{0,5}{0,15} - 1} \times (0,5 \times 1,2 - 0,15 \times 0,9) + h \times 0,15 \times 0,9$$

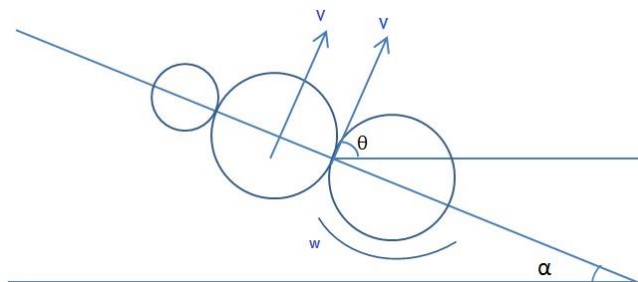
$$h = 0.3557 \text{ m}$$

**Conclusión:**

La altura que debe tener la tolva es de 0.3557 m o 35,57 cm.

**4.3.1.2. Diseño de rodillos**

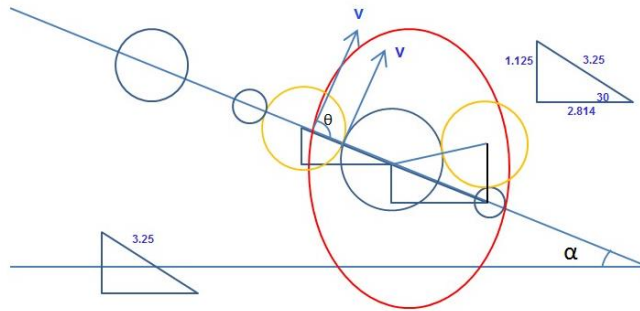
Para el cálculo de velocidad del rodillo:



**Figura 34. Diagrama de fuerzas del ají entre rodillos**

$$\alpha = 30^{\circ}$$

$$\theta = 60^{\circ}$$



**Figura 35. Fuerzas que actúan en el ají**

Utilizando la fórmula (4.1) y (4.2) para un tiempo de 1 segundo:

$$1 = \frac{2v_0 \text{Sen } 60}{9,81}$$

$$v_0 = 5.6638 \text{ m/s}$$

Reemplazando esto en la ecuación (3.1) y el diámetro máximo de un ají pequeño (3,5 cm):

$$5.6638 = 0.015 \times \omega$$

$$\omega = 377,5867 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 3605,6874 \text{ rpm}$$

### **Conclusión:**

La velocidad angular del rodillo debe ser de al menos 3600 rpm, este parámetro hará posible que el ají pueda ser movido a través de los rodillos.

#### **4.3.1.3. Cálculo de las fuerzas que soportan los ejes mecánicos**

Según los requerimientos y criterio previo de los diseñadores se considerarán las siguientes dimensiones, las cuales se tomarán como un punto de partida a falta de validación.

##### **Dimensiones previas del eje:**

$$\phi = 2,5cm$$

$$L = 125cm$$

Donde  $\phi$  es el diámetro del eje y  $L$  es la longitud del eje.

A partir de ello y teniendo en cuenta que el material elegido es el AISI 316 que tiene como peso específico el valor de  $7,95 \frac{gf}{cm^3}$  y que el eje tiene forma de cilindro, se utilizará la fórmula (2.6) para calcular su peso referencial.

$$w_e = \pi \times \left(\frac{2,5 cm}{2}\right)^2 \times 117 cm \times 7,95 \frac{gf}{cm^3}$$

$$w_e = 4565,863136 gf$$

$$w_e = 44,7762 N$$

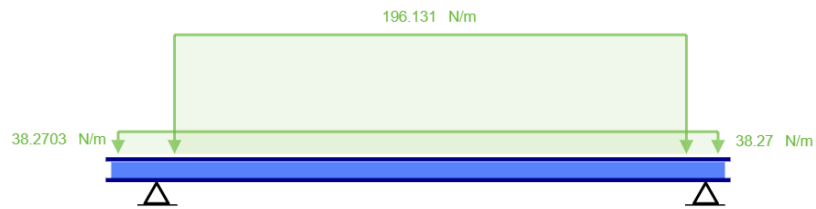
Para el peso de ají que deben soportar los rodillos se utilizará el peso de los requerimientos que es de  $20 kg$  ya que se supondrá que en el peor de los casos el eje debe soportar dicho peso.

$$w_A = 20Kgf$$

$$w_A = 196,133N$$

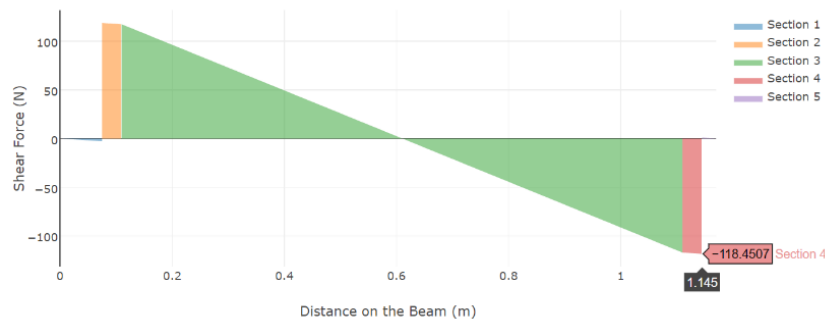
Como el peso del ají solo caerá sobre el rodillo, la fuerza  $w_A$  se distribuirá sobre el largo de dicho rodillo.

Con esos datos se obtiene el siguiente diagrama de fuerzas:

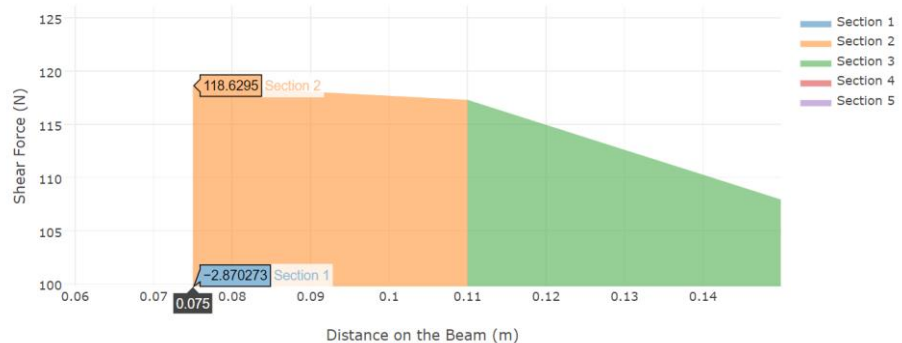


**Figura 36. Diagrama de fuerzas del eje**

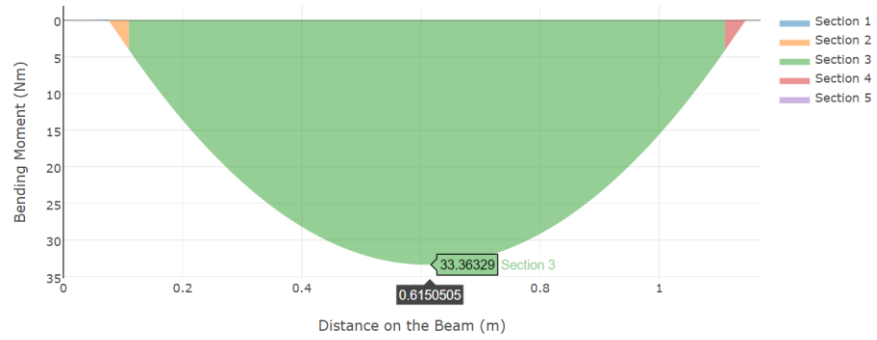
De donde se deben calcular los diagramas de momento flector y fuerza cortante máximos, con los siguientes diagramas:



**Figura 37. Diagrama de la fuerza cortante**



**Figura 38. Valores de la fuerza cortante**



**Figura 39. Diagrama del momento flector del eje**

Por lo tanto:

$$\tau = 118,6295N$$

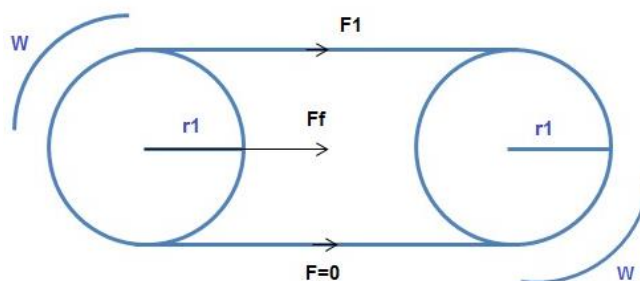
$$Mf = 33,3629Nm$$

**Conclusión:**

Los valores del momento flector y fuerza cortante máximos son 118,6295N y 33,3629Nm respectivamente, por lo cual con estos valores debe de calcularse el diámetro del eje a utilizar.

**4.3.1.4. Cálculo de los factores de la transmisión por cadena**

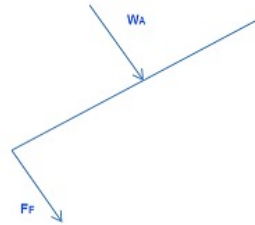
Analizando la transmisión por cadena donde la relación de transmisión debe ser de 1 porque todos los rodillos deben ir a la misma velocidad angular:



**Figura 40. Fuerza en una transmisión por cadena**

$$F_T = -F_F$$

Donde  $F_F$  será la suma de fuerzas que interactúan el eje en la dirección a la que están los engranajes, debido a que el peso del aji puede caer en forma diagonal al eje, se utilizará el peso de aji máximo:



**Figura 41. Fuerzas que interactúan en el eje**

Por lo tanto:

$$F_F = -196,133 \text{ N}$$

$$F_T = 196,133 \text{ N}$$

Esta fuerza de tensión será la fuerza tangencial del eje, debido al principio de transmisibilidad de las fuerzas.

Reemplazando este valor en la fórmula (3.2) y teniendo en cuenta el diámetro del rodillo de 3 cm se obtiene el torque del rodillo:

$$T_1 = 196.133 \times 0.015$$

$$T_1 = 2,942 \text{ Nm}$$

Para calcular el torque del eje se requiere reemplazar la misma fuerza y multiplicarla por el diámetro preliminar del eje:

$$T_2 = 196.133 \times 0.0125$$

$$T_2 = 2,4517 \text{ Nm}$$

Para el cálculo del diámetro tentativo utilizando la fórmula (5.1), reemplazando  $s_y$  del acero inoxidable AISI 316:

$$205 \times 10^6 = \frac{16 \times (2.4517)}{\pi \times d^3}$$

$$d = 3,9345 \text{ mm}$$

#### **Análisis estático del eje:**

Para lo que será necesario seleccionar  $k_t$  y  $k_{ts}$  de la tabla 1. Donde utilizará filete de hombro bien redondeado, para lo cual se debe reemplazar el valor del diámetro tentativo en:

$$\frac{r}{3,9345} = 0,1$$

$$r = 0,3934$$

Por ello, los valores de los factores son los siguientes:

$$k_t = 1,7$$

$$k_{ts} = 1,5$$

Con el valor del radio de muesca se procede a encontrar la sensibilidad de muesca en la figura 8 y 9 teniendo en cuenta que la dureza Brinell del AISI 316 es:

$$q = 0.6$$

$$q_{cortante} = 0,7$$



Reemplazando estos valores en las fórmulas (5.3) y (5.4):

$$k_f = 1 + 0,6(1,7 - 1)$$

$$k_{fs} = 1 + 0,7(1,5 - 1)$$

$$k_f = 1,42$$

$$k_{fs} = 1,35$$

Finalmente, para este análisis se utilizará la fórmula (5.2) donde se reemplazarán las variables anteriormente calculadas:

Se asignará un factor de seguridad de 2,5:

$$d = \left\{ \frac{16 \times 2,5}{\pi \times 205 \times 10^6} [4 \times (1,42 \times 33,3629)^2 + 3 \times (1,35 \times 2,4517)^2] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 18,065 \text{ mm}$$

Análisis de falla por fatiga con el criterio de ASME elíptica:

Para hallar los factores  $a$  y  $b$  de la tabla 2, se tendrá en cuenta que el acabado superficial será por maquinado en frío, por lo que estos valores serán:

$$a = 4,51$$

$$b = -0,265$$

Reemplazados en la fórmula (5.7):

$$K_a = 4,51 \times (505)^{-0,265}$$

$$K_a = 0,8666$$

Con la medida del diámetro de análisis por fatiga, se halla el factor  $K_b$  de la fórmula (5.8):

$$k_b = 1,24(18,065)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,9098$$

Según  $S_{ut}$  del acero inoxidable AISI 316 se halla el límite a la resistencia a la fatiga con la fórmula (5.9). A partir de que:

$$S_{ut} = 505 \text{ MPa} < 1400 \text{ MPa}$$

Por lo tanto:

$$S'_e = 0,5 \times (505 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 252,5 \text{ MPa}$$

Después de reemplazar la fórmula (5.10) los datos hallados en (5.6):

$$S_e = 0,8666 \times 0,9101 \times 252,5 \text{ MPa}$$

$$S_e = 199,1449 \text{ MPa}$$

Reemplazando  $S_e$  en la fórmula (5.5):

$$d = \left\{ \frac{16 \times 2,5}{\pi} \left[ 4 \times \left( \frac{1,42 \times 33,3629}{199,1449 \times 10^6} \right)^2 + 3 \times \left( \frac{1,35 \times 2,4517}{205 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 18,24 \text{ mm} \cong 20 \text{ mm}$$

### **Conclusión:**

El diámetro idóneo del eje es de 20 mm, siendo este calculado a partir de un análisis estático y por fatiga.

#### **4.3.1.5. Cálculo de las dimensiones de la cuña del eje**

Para la tabla 3 según el diámetro del eje:

$$20 \text{ mm} = 0,7874 \text{ in}$$

Al ubicarlo en la tabla 3:

$$\frac{9}{16} \text{ in} < 0,7874 \text{ in} < \frac{7}{8} \text{ in}$$

Por lo tanto, según la tabla 3:

$$w = \frac{3}{16} \text{ in} = 4,7625 \text{ mm} = 0,0047625 \text{ m}$$

$$h = \frac{1}{8} \text{ in} = 3,175 \text{ mm} = 0,003175 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = \frac{1}{16}$$

Para la fórmula (6.1):

$$S_{Sy} = 0,557(205 \text{ MPa})$$

$$S_{Sy} = 114,185 \text{ MPa}$$

Para hallar la longitud de la cuña según la fórmula (6.6), teniendo en cuenta un factor de seguridad menor al del eje ( $n = 1,5$ ), la fuerza tangencial hallada para el eje:

$$l = \frac{2 \times 196.133 \times 2}{0,0047625 \times 114,185 \times 10^6}$$

$$l = 1,4427 \text{ mm} \approx \frac{1}{17} \text{ in}$$

#### **Conclusión:**

Las dimensiones de la cuña a utilizar son de  $\frac{3}{16} \text{ in} \times \frac{1}{8} \text{ in} \times \frac{1}{17} \text{ in}$

#### **4.3.1.6. Selección de cojinetes de rodadura**

Las reacciones del eje son:

$$R_1 = 121,4998 \text{ N}$$

$$R_2 = 119,4075 \text{ N}$$

Utilizando un factor de seguridad de 2:

$$F_{D1} = 2 \times 121,4998 \text{ N} = 242,9996 \text{ N}$$

$$F_{D2} = 2 \times 119,4075 \text{ N} = 238,815 \text{ N}$$

La vida de diseño adimensional según la fórmula (7.3) reemplazada en (7.2) para utilizar los cojinetes de SKF, teniendo en cuenta una vida deseada de 10000 horas y una velocidad de 3605,6874 rpm.

$$x_D = \frac{10000 \times 3605,6874 \times 60}{10^6}$$

$$x_D = 2163,4124$$

Para analizar la carga-vida-confiabilidad del cojinete según la fórmula (7.4), con el ajuste Weibull, una confiabilidad de 95% y un cojinete de bolas:

$$C_{10(1)} = 242,9996 \times \left[ \frac{2163,4124}{0,02 + 4,439 \times (1 - 0,95)^{\frac{1}{1,483}}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10(2)} = 238,815 \times \left[ \frac{2163,4124}{0,02 + 4,439 \times (1 - 0,95)^{\frac{1}{1,483}}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10(1)} = 3708,1182N$$

$$C_{10(2)} = 3644,2622N$$

### **Conclusión:**

Con estos valores se pueden obtener los valores de los diámetros del cojinete según la tabla 4. Para este caso se utilizarán cojinetes SKF de designación 61804 del catálogo de dicha marca.

#### **4.3.1.7. Selección de cadenas de transmisión**

Debido a la considerable velocidad angular existente en los ejes, se deben utilizar piñones de 25 dientes que son considerados estándar.

Por lo tanto, para la fórmula (8.1) y como todos los ejes deben girar a la misma velocidad:

$$i = 1$$

Por lo cual los radios y números de dientes son iguales.

En la tabla 5 se encuentran los valores del factor de aplicación, debido a que el funcionamiento de la máquina es suave porque será impulsada por un motor eléctrico y la máquina a mover es medianamente impulsiva porque las cargas no son uniformes, el factor será:

$$f_1 = 1,4$$

Posteriormente, el cálculo del factor de dientes, visto en la fórmula (8.2), viene dado de la siguiente forma:

$$f_2 = \frac{19}{25} = 0,76$$

La potencia por transmitir se hallará con la siguiente fórmula:

$$P = F \times v$$

$$P = 196.133 \times 5.6638$$

$$P = 1110,858W$$

La potencia por seleccionar según la fórmula (8.3) será:

$$P_s = 1110,858 \times 1,4 \times 0,76$$

$$P_s = 1181,952912 \text{ W}$$

Con la potencia y la velocidad angular a transmitir se selecciona el tipo de cadena en la figura 12.

**Paso diametral:**

$$P = 8\text{mm}$$

**Tipo:**

*SIMPLEX*

**Tipo de lubricación:**

Baño de aceite tipo 3

Para calcular el largo de la cadena según la fórmula (8.5) con una distancia entre centros referencial de 95 mm:

$$L = \frac{25 + 25}{2} + \frac{2 \times 95}{8} + \frac{\left(\frac{25 - 25}{2\pi}\right)^2 \times 8}{95}$$

$$L = 48,75 \approx 50 \text{ pasos}$$

Valor exacto de la distancia entre centros en la fórmula (8.6):

$$C = \frac{8}{8} \left[ 2(50) - 25 - 25 + \sqrt{(2(50) - 25 - 25)^2 - \frac{\pi}{3,88} (25 - 25)^2} \right]$$

$$C = 100 \text{ mm}$$

Para calcular el diámetro de la rueda dentada con la fórmula (8.7) utilizando el *PCB* de la tabla 6:

$$N = 8 \times 7,979$$

$$N = 63,832 \text{ mm}$$

#### **Conclusión:**

Se utilizará un par de cadenas simplex, cuyo largo es de 50 pasos, cada paso debe medir 8 mm y las ruedas dentadas serán de 63,832 mm de diámetro y tendrán 25 dientes.

#### **4.3.1.8. Selección de motor**

En base a los cálculos realizados, la potencia a transmitir por cadenas da como resultado 1110,858 W, cuya equivalencia sería 1.4897 HP. Dicho valor será el responsable de dar movimiento al eje.

Por otra parte, la velocidad angular necesaria para trasladar el ají por los rodillos debe ser de al menos 3600 rpm. Valor, extraído de los cálculos realizados en la presente tesis.

Teniendo en cuenta ello, la selección del motor tiene que cubrir dichas características.

Por lo tanto, el motor a usar será un Siemens de 1,5 HP y una velocidad angular de 3600 rpm.



### 4.3.2. Diseño eléctrico

A partir del motor seleccionado (1,5 HP y 3600 rpm), se sabe que la potencia útil es de 1,5 HP (1,11855 kW) y tiene una eficiencia nominal del 84% por lo que con la fórmula (10.1) se obtiene:

$$0,84 = \frac{1,11855}{P_c}$$

$$P_c = 1,33161 \text{ kW}$$

Como se puede observar la potencia del motor supera los 1000 W y por lo que se puede despreciar las potencias que consumirán el PLC y las luces debido a que oscilan entre 10 y 20 W. Por ello, de acuerdo con los costos utilizados en la empresa de distribución de energía eléctrica “Electrocentro”, el costo de un kWh es de 24,34 cent.S/. en la provincia de Huancayo, suponiendo una tarifa de medición de potencia 1EP1:

$$C_{osto} = \frac{24,34}{10} \times 1,11855$$

$$C_{osto} = 2,7225$$

Con ello, se puede concluir que el costo en soles por cada hora que esté funcionando la máquina es de S/ 2,7225.

### Disyuntor trifásico

Para la selección del dispositivo de flujo de corriente, se tiene el siguiente marco.

**Tabla 16. Elección del dispositivo de flujo de corriente**

<b>Característica</b>	<b>Aislador</b>	<b>Disyuntor</b>
<i>Operación</i>	Manual	Automático
<i>Acción</i>	Si ocurre una falla. Corta la comunicación solo con la parte afectada	Si hay algún fallo. Corta todo el sistema.
<i>Capacidad</i>	Resistencia baja	Resistencia alta

Para la selección del disyuntor, se han necesitado los siguientes criterios, presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 17. Criterios de selección de disyuntor**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Resistencia	Alta resistencia a sobrecargas
2	Duración	Frente a un corto circuito. La duración del flujo de corriente debe ser máximo en tiempo corto.
3	Vida útil	Larga
4	Tensión de trabajo	Para voltajes acorde al sistema monofásico o trifásico

En base a la tabla anterior, se seleccionó el modelo de disyuntor trifásico, LE403548 acorde a los requerimientos que tiene el sistema potencial, en la máquina.

### **Contactor trifásico**

Para la selección del contactor se ha tenido los siguientes criterios en la máquina.

**Tabla 18. Criterios para el contactor**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Controlar	Control del motor trifásico
2	Conexión con el PLC	Para el control del motor, es necesario que el PLC controle el contactor.
3	Instalación	Fácil instalación

Por tal motivo, el contactor seleccionado será el SK109. Encargado de controlar el motor.

### **Relé térmico**

Para la selección del relé térmico, se establecieron los siguientes criterios.

**Tabla 19. Criterios para el relé térmico**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Optimizar	Mejorar la vida útil de los motores.
2	Seguridad	Volver a arrancar el motor con las mejores condiciones, en caso de sobrecarga.
3	Conexión al contactor	Fácil instalación al contactor.

En el caso del relé térmico, se ha escogido el SRT251, que tiene montaje directo a contactores SK109-SK132, que acorde a los criterios mencionados, ayudará a proteger el motor para dar mayor seguridad a las personas.

#### 4.3.3. Diseño del sistema de control

Se caracteriza por ser de lazo cerrado, debido a que se presenta la interacción de sensores. La cual proveerá información para el arranque automático de la máquina. Así, el aji podrá trasladarse, ser clasificado mediante el tamaño, por medio de los rodillos y posteriormente ser depositado en recipientes. En caso haya sobrecarga, la máquina se apagará automáticamente y, por otro lado, si se necesita un apagado de emergencia, habrá un pulsador que cumplirá dicha función.

##### 4.3.3.1 Criterios de selección

##### Sensor de proximidad

Para la selección del sensor de presencia se realizó la comparación y diferencia entre modelos similares.

**Tabla 20. Comparativa entre algunos sensores de proximidad**

<b>Característica</b>	<b>Capacitivo</b>	<b>Inductivo</b>	<b>Magnéticos</b>	<b>Ultrasónico</b>	<b>Fotoeléctrico</b>
<b>Rango de medición</b>	<80 mm	<60 mm	<100 mm	<15 m	<200 m
<b>Precisión</b>	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
<b>Entorno industrial</b>	Atmósfera contaminada	No es recomendable	No es recomendable	No es recomendable	No es recomendable
<b>Material por detectar</b>	Cualquier material	Piezas metálicas	Piezas imantadas	Cualquier material	Piezas reflectantes
<b>Vida útil</b>	Larga	Larga	Larga	Larga	Larga
<b>Compacto</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Así mismo, se realizó la tabla de criterios acorde la funcionalidad que tendrá en la máquina.

**Tabla 21. Criterios del sensor en la máquina**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Material	Debe detectar material alimenticio
2	Distancia	El rango de medición permite cortas distancias
3	Trabajo industrial	Debe tolerar entornos ligeramente contaminados
4	Sensibilidad	Debe ser de alta precisión
5	Compacto	Su estructura debe integrar los circuitos en espacios pequeños
6	Vida útil	De larga duración

A partir de las tablas mostradas, donde se hallan criterios para los sensores con la funcionalidad que tendrá en la máquina, se ha seleccionado el sensor capacitivo. Debido a que cumple con los requerimientos y así mismo tiene fácil integración y comunicación con los PLC siemens.

En el caso del modelo será de dos hilos CR30-15AO.

### **Controlador**

Para la selección del controlador se ha realizado la siguiente tabla comparativa entre diversos controladores.

**Tabla 22. Controladores**

<b>Característica</b>	<b>Raspberry PI</b>	<b>Arduino</b>	<b>PLC</b>
<b>Industria</b>	No es para industria	No es para industria	Aprobado para industria
<b>Placa</b>	Placa de prueba	Placa de prueba	Placa integrada para funciones industriales
<b>Precio</b>	Barato	Barato	Mediano – alto costo

En base a los controladores tipo PLC, es necesario establecer los criterios comparativos para marcas.

**Tabla 23. Tabla comparativa de tipos de PLC**

<b>Características</b>	<b>Allen Bradley</b>	<b>Siemens</b>	<b>Omron</b>
<i>Softwares</i>	Workbench, Rs Logix 5, Rs Logix 500, Studio 5000, Logix Designer	Step 7 Tia portal, Logosoft comfort, MicroWin, Step 7 simatic manager	CX-One Programador CX
<i>Lenguaje de programación</i>	Ladder, bloque de funciones, texto estructurado, esquema de funciones	Ladder, Diagrama de funciones, (Lenguaje de contactos), (Lista de instrucciones)	ST (Texto estructurado)
<i>Norma: IEC 61131-3</i>	LD, ST, FBD	LD, ST, IL	ST
<i>Precio</i>	Alto	Medio-Alto	Medio-Alto
<i>Tipo modular y compacto</i>	M: ControlLogix, SoftLogix, SLC 500 C: Micro800, Micrologix, CompactLogix, FlexLogix, SmartGuard 600	M: LOGO, S7-200, S7-1200 C: S7-1500, S7-300, S7-400	
<i>Protocolo de comunicación</i>	ControlNet, DH485, DH+	Profibus, Modbus, TCP/IP	TCP/IP
<i>Practicidad en fuente de alimentación</i>	Racks propios de la marca	Cualquier Fuente de alimentación	Propio de la marca
<i>Interfaz</i>	Intuitiva	Intuitiva con facilidad en personalización altamente compleja para un proceso	Intuitiva

En vista de la tabla anterior, se designa el PLC de la marca Siemens. Debido a su aceptación por la norma IEEE. Tiene una interfaz intuitiva que permite realizar diferentes actividades complejas para un solo proceso a comparación de las otras. Así mismo, cuenta con diversos lenguajes aprobados por la norma 61131-3. Con conectividad a cualquier tipo de fuente de alimentación, sin importar la marca. También presenta un precio menor al de Allen Bradley y equivalente a Omron. Sin embargo, también alberga el tipo compacto y modular, necesarios para trabajo de industria.

A continuación, se verán los criterios comparativos de los algunos modelos que hay.

**Tabla 24. Criterios comparativos de modelos PLC**

<b>Característica</b>	<b>S7 300</b>	<b>S7 1200</b>	<b>S7 1500</b>
<b>Librería</b>	Su librería es más pequeña	Presenta una librería completa	Presenta una librería completa
<b>Seguridad</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Evaluación</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Comunicación</b>	Profinet	Profinet	Profinet
<b>Vida útil</b>	Larga	Larga	Larga
<b>Sector Industrial</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Precio</b>	Mediano costo	Mediano costo	Elevado costo

A continuación, se muestran los criterios que debe tener el controlador en base a la funcionalidad que tendrá en la máquina

**Tabla 25. Criterios del controlador en la máquina**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Librería	Que tenga la más completa librería para la programación
2	Seguridad	Paro de emergencia
3	Evaluación y vigilancia	Supervisión de los sensores, actuadores y también que vigile el circuito de retroalimentación y la protección
4	Comunicación abierta	Conexión con el puerto Ethernet para comunicación entre otros fabricantes o la misma marca.
5	Velocidad	Rapidez operativa
6	Vida útil	Que tenga larga vida útil
7	Sector industrial	Realice funciones para el sector industrial

En base a los criterios mostrados se ha designado el PLC Siemens Simatic S7 1200 CPU 1214C AC/DC/RLY.

### **Pulsador**

Para la selección del pulsador se ha realizado en base a los siguientes criterios.

**Tabla 26. Criterios para seleccionar el pulsador**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Control	Que pueda conectarse al controlador lógico
2	Acción	Que accione una determinada actividad, basado en la lógica de programación
3	Vida útil	Larga vida útil
4	Instalación	Fácil instalación

En base a los criterios anteriores, se ha designado que los pulsadores, serán del modelo botón.

## Lámparas

Para la selección de las lámparas se ha establecido en base a los siguientes criterios.

**Tabla 27. Criterios para selección de lámparas**

<b>N.º</b>	<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
1	Colores	Diversidad de colores
2	Intensidad de luz	Energía lumínica nítida
3	Instalación	Fácil instalación
4	Vida útil	Vida útil larga

En base a los criterios de la tabla anterior se estableció que el modelo seleccionado será el de las bombillas led.

### **4.3.3.2. PLC Siemens SIMATIC S7 1200 CPU1214C AC/DC/RLY**

Considerando las características mencionadas. El PLC seleccionado es el S7 1200, modelo compacto, que es destinado para sistemas de automatización pequeñas y medianas a nivel industrial. Que, a su vez, presenta el lenguaje LD o FBD acorde a lo que se requiera, HMI y redes.

Dentro de los softwares posibles a utilizar se tiene: TIA Portal, Cade Simu y Codesys.

Así, el desarrollo puede ser realizado en Cade Simu o Codesys y la implementación integrada al PLC mediante TIA Portal.

El controlador del PLC es flexible y tiene la suficiente potencia para realizar el control automatizado de los requerimientos de la máquina, y también las necesidades futuras en base a la supervisión de esos momentos. Al ser compacto, tiene amplio juego de instrucciones.

El microprocesador presenta incorporado una fuente de alimentación, circuitos E/S, Profinet integrado, E/S digitales y analógicas con tiempo de respuesta rápida, haciendo un control

efectivo para los requerimientos. Así, cuando se descargue el programa el CPU tendrá lo necesario para la supervisión y control de las entradas y salidas en base a los procesos programados.

En el caso de la comunicación con un dispositivo (PC) se halla integrado el puerto Profinet. Así como la facilidad para conectarse con HMI o cualquier computadora ajena a la red.

Así también, S7 1200, presenta una protección que previene la configuración de las funciones, mediante una contraseña.

**Ventajas:**

PLC S7 1200 es flexible, rápido tiempo de respuesta y capacidad de control variado de dispositivos acorde a las necesidades presentes y futuras.

CPU tiene integrado un microprocesador, fuente integrada, admite 14 E y 10 S (digitales), cuyas entradas están sujetas a los 24 voltios y presenta 2 adicionales para alterna.

Tiene capacidad de ser ampliada en caso se requiera. Desde Signal Board, módulos de señal y módulos de comunicación.

En el caso de la configuración de redes. Tiene incluido el puerto Profinet.

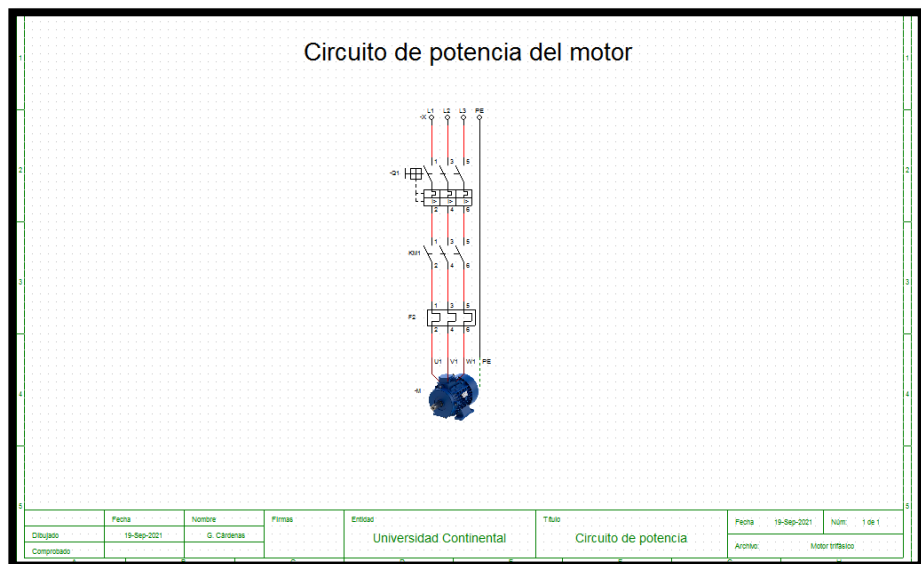
Las salidas del controlador son de alta velocidad. Para que así pueda configurarse como PTO, que es la secuencia de impulsos con factor del 50% y hasta 100 kHz para variar la velocidad acorde a un rango requerido. También salidas de variación de ancho de impulsos (PWM). Se establece una salida de ciclo fijo, con operaciones que puedan variarse para regular acorde a los requerimientos.



### 4.3.3.2. Automatización

#### A. Circuito de potencia

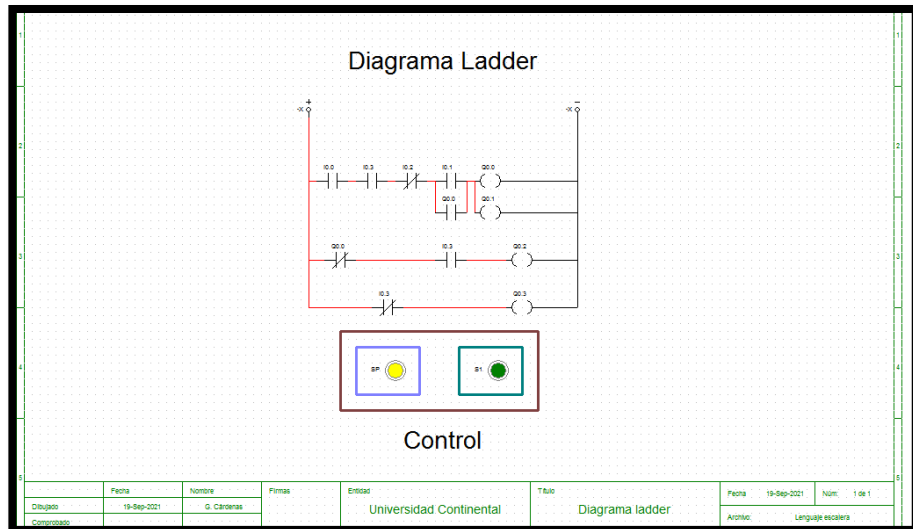
El circuito de potencia está constituido por la conexión entre la alimentación, disyuntor, contactor (encargado de controlar el motor), relé térmico y motor.



**Figura 42. Circuito de potencia**

#### B. Circuito de control, esquema Ladder

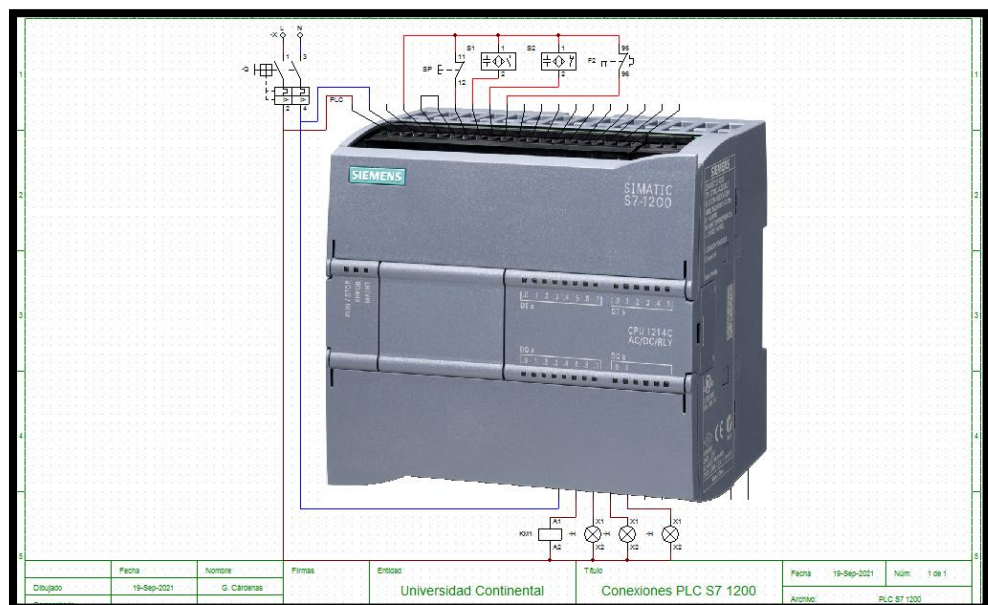
El esquema programado *Ladder* tendrá la lógica del programa de la detección de sensores que, al enviar señales, harán que el arranque lo haga de forma automática. Así también, se tiene un apagado de emergencia y un apagado automático por sobrecarga del motor.



**Figura 43. Diagrama Ladder**

### C. Cableado del PLC

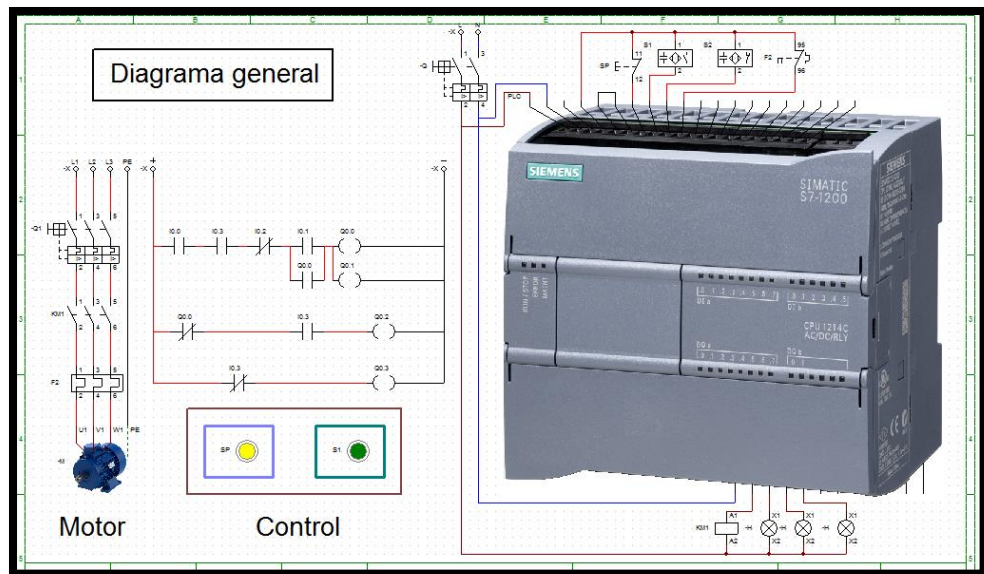
Constituido por la lógica cableada que tendrá el PLC con los sensores, pulsador, relé térmico y sus salidas a la bobina y señalizaciones.



**Figura 44. Cableado del PLC S7 1200**

### D. Diagrama general

Se puede apreciar el diagrama genérico, entre las cuales se vincula el diseño de potencia, de control y el cableado.



**Figura 45. Diagrama general**

Teniendo en cuenta la matriz morfológica del sistema de control, los elementos presentes en la automatización son:

**Tabla 28. Componentes del sistema de control**

Actuador	Motor 220 V AC
Sensor	Sensor capacitivo de proximidad
Controlador	PLC Siemens S7 1200
Señalizaciones	Luces led
Planta	Sistema mecánico

Estos elementos fueron seleccionados porque soporta el voltaje recibido por el motor, esto evitará realizar conexiones que disminuyan el voltaje recibido por el sistema, los sensores fotoeléctricos que se utilizarán deben ser los estandarizados para conectarse con los PLC.

Con lo cual se plantea la siguiente lógica de funcionamiento:

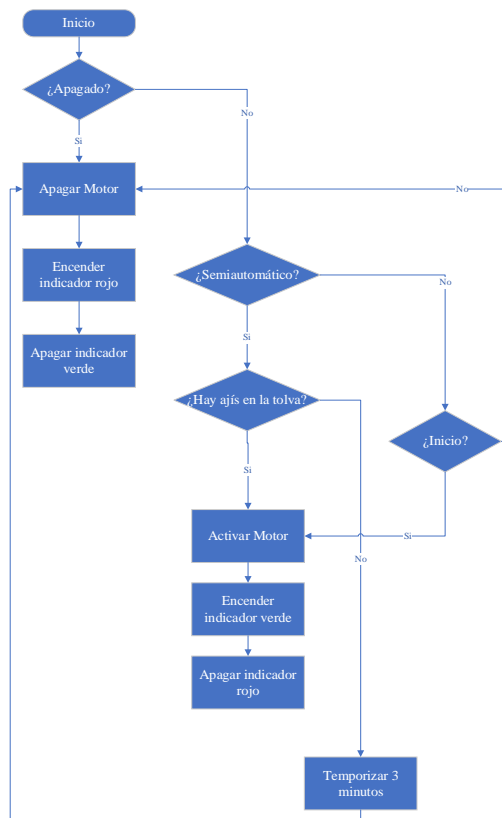


Figura 46. Diagrama de flujo para el control de la máquina

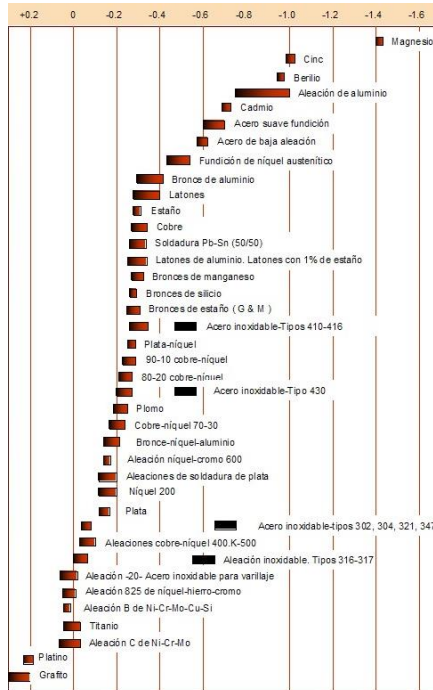
#### 4.4. Estándares de calidad y disponibilidad del mercado

##### 4.4.1 Características de materiales adecuados para el contacto con alimentos

Según la *Food and Drug Administration* (FDA) (44) los materiales deben ser resistentes a la corrosión, tensiones mecánicas, variaciones térmicas, que no modifiquen el producto (sabor u calidad), que tenga un bajo grado de adhesión bacteriológica y sea de fácil limpieza.

Así mismo, dentro de los materiales admitidos según la FDA para la construcción de maquinaria que tenga contacto con alimentos, acorde a las características mencionadas. Se encuentra el acero inoxidable AISI 304 y 316, que son resistentes a la oxidación y corrosión. El acero inoxidable AISI 316, presenta mejores propiedades que el acero 304, gracias al componente molibdeno, que incrementa la resistencia a la oxidación, corrosión y ácidos no oxidables.

A esto se le suma la serie galvánica o serie electro-potencial. Que muestra la nobleza de los metales. Mientras más noble sea el material, su resistencia es mejor.



**Figura 47 Serie galvánica. Tomada de UPV**

En la figura se puede ver diversos metales, entre ellos, al acero inoxidable AISI 316. Que se encuentra como uno de los metales más resistentes a la corrosión.

La serie electro-potencial, también presenta a los materiales en diversos ámbitos, como los térmicos, atmosféricos, salinos, etc.

Así también, se evidencia que el AISI 316 presenta mayor resistencia a la corrosión al ser expuestos a sustancias halógenas (45). Por tal motivo, la aleación del molibdeno incrementa las propiedades de dicho acero. Además, al presentar otro aditivo como el cromo en un 10.7%, facilita la formación de una capa pasiva protectora.

Según Mincetur el mercado del acero en el Perú sería el segundo más grande que tiene el país (46). Entendiendo que las importaciones son

de 1.54 millones de toneladas y de producción nacional unos 1.46 millones de toneladas. Básicamente, 3 millones de toneladas anuales, distribuidas a nivel nacional. En el caso del acero inoxidable, bordea las 20 mil toneladas anuales. Siendo factible de usar, gracias a su alta disponibilidad.

#### 4.5. Costos de la máquina

Tabla 29. Costo de la máquina

<b>Materiales mecánicos</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. unitario (Soles)</b>	<b>V. total (Soles)</b>
Plancha de acero inoxidable	2	70	140
Tubo cuadrado de acero	10	15	150
Cilindro de acero	9	16	144
Chumacera	36	10	360
Tornillos	50	0.80	60
Arandelas planas	50	0.20	20
Rodamientos	18	2.56	46
Tuercas hexagonales estrechas	50	0.50	25
Rodillo caucho silicón	9	15	135
<b>Total</b>			<b>1140</b>
<b>Materiales eléctricos</b>			
Motor	1	500	450
Contactador	1	150	120
Relé térmico	1	160	130
Disyuntor	1	120	120
Cable	50 metros		30
<b>Total</b>			<b>850</b>
<b>Materiales de control</b>			
PLC S7 1200 1214C	1	690	690
Luces led	10		1
Sensores capacitivos de proximidad	2	50	100
Pulsador	1	15	15
Cables	100	0.21	20
<b>Total</b>			<b>826</b>
<b>Mecanizado</b>			
<b>Procedimiento</b>	<b>Costo (Soles)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Costo total (Soles)</b>
Torno	6	20 horas	120
Rectificadora	7	15 horas	105
Fresadora	7	30 horas	210
Soldadura	5	30 horas	150
Taladrado	5	5 horas	25
Pintura	5	5 horas	25
<b>Total</b>			<b>635</b>
<b>Costos de ingeniería</b>			
Internet		75	
Uso de computadora		100	
Logística		50	
Varios		100	
<b>Total</b>			<b>350</b>
<b>Costo total de la máquina</b>			<b>3804 (Soles)</b>

En la presente tabla se tiene el costo total de la máquina. Teniendo en cuenta que su funcionalidad radica en dos formas. La primera automática y la segunda de forma manual. El precio está acorde al mercado.

Por ejemplo, en el caso de máquinas similares en clasificación los precios son los siguientes:

**Tabla 30. Precio de máquinas similares**

Máquina	Seleccionadora de tomate manual	Seleccionadora de cereza automática	Seleccionadora de frutas automática	Seleccionadora de naranja
<b>Precio de venta</b>	4.500 soles	7840 soles	8340 soles	12000 soles

Como se ha podido ver, los precios de las máquinas similares tanto en forma automática como manual tienen precios altos. Cabe mencionar que en la región Junín – Perú. No hay desarrollo en la parte de manufactura para el sector agrícola y menos para la clasificación de ají.

#### **4.5. Modelos matemáticos empleados**

Los modelos matemáticos son formulismos que restringen la correlación de variables que sirven para entender fenómenos reales, dependiendo siempre de lo que se requiera buscar. A continuación, se muestra en la siguiente tabla a los empleados.

**Tabla 31. Modelos matemáticos parte 1**

Modelos matemáticos			
Nro	Nombre	Fórmula	Elementos
1	Fórmula 1.1: Volumen del poliedro piramidal	$V_p = \frac{A_b \times h}{3}$	Vp: Volumen poliedro piramidal Ab: Área de la base h: Altura
2	Fórmula 1.2: Volumen total piramidal	$V_{TP} = V_T - V_{PP}$	VTP: Volumen total piramidal VT: Volumen total VPP: Volumen punta de piramide
3	Fórmula 1.3: Volumen total piramidal	$V_{TP} = \frac{A_1 \times H}{3} - \frac{A_2 \times (H - h)}{3}$	VTP: Volumen total piramidal A1: Área de la base menor A2: Área de la base mayor H: Altura completa piramidal h: Altura de la punta de piramide
4	Fórmula 1.4: Volumen total piramidal	$V_{TP} = \frac{(H(A_1 - A_2) + h \times A_2)}{3}$	VTP: Volumen total piramidal H: Altura completa piramidal A1: Área de la base menor A2: Área de la base mayor h: Altura de la punta de piramide
5	Fórmula 1.5: Relación entre arista mayor, altura total y base menor y altura del tronco	$\frac{H}{H - h} = \frac{A_{x1}}{A_{x2}}$	H: Altura total h: Altura del tronco de piramide Ax1: Arista de la base mayor Ax2: Arista de la base menor
6	Fórmula 1.6: Relación entre arista mayor, altura total y base menor y altura del tronco	$\frac{H}{H - h} = \frac{A_{y1}}{A_{y2}}$	H: Altura total h: Altura del tronco de piramide Ay1: Arista de la base mayor Ay2: Arista de la base menor
7	Fórmula 1.7: Relación entre arista mayor, altura total y base menor y altura del tronco	$\frac{H}{H - h} = \frac{A_{x1}}{A_{x2}} = \frac{A_{y1}}{A_{y2}}$	H: Altura total h: Altura del tronco de piramide Ax1, Ay1: Arista de la base mayor Ax2, Ay2: Arista de la base menor
8	Fórmula 1.8: Altura total	$H = \frac{\frac{A_{x1} \times h}{A_{x2}}}{\frac{A_{x1}}{A_{x2}} - 1} = \frac{\frac{A_{y1} \times h}{A_{y2}}}{\frac{A_{y1}}{A_{y2}} - 1}$	H: Altura total h: Altura del tronco de piramide Ax1, Ay1: Arista de la base mayor Ax2, Ay2: Arista de la base menor
9	Fórmula 1.9: Área de la base mayor	$A_1 = A_{x1} \times A_{y1}$	A1: Área base mayor Ax1, Ay1: Aristas de la base mayor
10	Fórmula 1.10: Área de la base menor	$A_2 = A_{x2} \times A_{y2}$	A2: Área base menor Ax2, Ay2: Aristas de la base menor
11	Fórmula 1.11: Volumen total piramidal	$V_{TP} = \frac{\left( \frac{A_{x1} \times h}{A_{x2}} \times (A_{x1} \times A_{y1} - A_{x2} \times A_{y2}) + h \times A_{x2} \times A_{y2} \right)}{3}$	VTP: Volumen total piramidal Ax1, Ay1: Arista de la base mayor Ax2, Ay2: Arista de la base menor h: altura
12	Fórmula 2.1: Peso	$w = m \times g$	W: Peso m: Masa g: Gravedad
13	Fórmula 2.2: Masa	$m = \rho \times v$	m: Masa p: Densidad v: Volumen
14	Fórmula 2.3: Peso específico	$\gamma = \rho \times g$	γ: Peso específico p: Densidad g: Gravedad
15	Fórmula 2.4: Peso	$w = v \times \gamma$	W: Peso v: Volumen γ: Peso específico
16	Fórmula 2.5: Volumen	$v = \pi \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times L$	v: Volumen φ: Diámetro del cilindro L: Longitud π: Pi



**Tabla 32. Modelos matemáticos parte 2**

17	Fórmula 2.6: Peso	$w = \pi \times \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \times L \times \gamma$	w: Peso L: Longitud Y: Peso específico $\pi$ : Pi $\phi$ : Diámetro del cilindro
18	Fórmula 3.1: Velocidad tangencial	$\vec{v} = r \times \omega$	v: Velocidad tangencial r: Radio de circunferencia w: Velocidad angular
19	Fórmula 3.2: Momento de torsión	$T = F \times r$	T: Momento de torsión F: Radio de la circunferencia r: Fuerza tangencial
20	Fórmula 4.1: Diferencial de la posición en el eje x	$\Delta x = \vec{v}_{0x} \times t$	$\Delta x$ : Diferencial de la posición en el eje x $V_{0x}$ : Vector Velocidad Inicial eje x t: Tiempo que tarda a su posición final
21	Fórmula 4.2: Diferencial de la posición en el eje y	$\Delta y = \vec{v}_{0y} \times t \pm \frac{g}{2} t^2$	$\Delta y$ : Diferencial de la posición en el eje y $V_{0y}$ : Vector velocidad inicial eje y t: Tiempo que tarda a su posición final g: Aceleración de la gravedad
22	Fórmula 4.3: Tiempo de vuelo	$t_v = \frac{2v_0 \text{ Sen } \theta}{g}$	$t_v$ : Tiempo de Vuelo $V_0$ : Velocidad inicial $\theta$ : Dirección de la velocidad g: Aceleración de la gravedad
23	Fórmula 5.1: Esfuerzo de fluencia	$s_y = \tau = \frac{16T}{\pi \times d^3}$	$S_y$ : Esfuerzo de fluencia t: Esfuerzo cortante máximo T: Momento torsión d: Diámetro del eje $\pi$ : Pi
24	Fórmula 5.2: Diámetro del eje (Von Mises)	$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi \times S_y} \left[ 4 \times (k_f \times M)^2 + 3 \times (k_{fs} \times T)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$	d: Diámetro del eje n: Factor de seguridad $K_f, K_{fs}$ : Factor de concentración por flexión, fatiga y torsión $S_y$ : Esfuerzo a la fluencia M: Momento flector máximo T: Momento de torsión que soporta el eje $\pi$ : Pi
25	Fórmula 5.3: Factor de concentración por flexión, torsión y fatiga	$k_f = 1 + q(k_t - 1)$	$K_f$ : Factor de concentración por flexión, torsión, fatiga q: Sensibilidad de la muestra $K_t$ : Factor teórico de concentración por flexión, torsión, fatiga
26	Fórmula 5.4: Factor de concentración por flexión, torsión y fatiga	$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1)$	$K_{fs}$ : Factor de concentración por flexión, torsión, fatiga $q_{cortante}$ : Sensibilidad de la muestra $K_{ts}$ : Factor teórico de concentración por flexión, torsión, fatiga
27	Fórmula 5.5: Diámetro del eje (Asme Elíptica)	$d = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left[ 4 \times \left( \frac{k_f \times M}{S_e} \right)^2 + 3 \times \left( \frac{k_{fs} \times T}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$	d: Diámetro del eje n: Factor de seguridad $K_f, K_{fs}$ : Factor de concentración por flexión, torsión, fatiga $S_y$ : Esfuerzo a la fluencia M: Momento máximo flector T: Momento torsión que soporta el eje $S_e$ : Límite de la resistencia de fatiga en el punto crítico
28	Fórmula 5.6: Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S'_e$	$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga $K_a$ : Factor modificación de condición superficial $K_b$ : Factor de modificación de tamaño $K_c$ : Factor de modificación de carga $K_d$ : Factor de modificación de temperatura $K_e$ : Factor de confiabilidad $K_f$ : Factor de modificación de efectos varios $S'_e$ : Límite a la resistencia de fatiga
29	Fórmula 5.7: Factor de modificación de condición superficial	$K_a = a S_u^b$	$K_a$ : Factor de modificación de condición superficial a, b: Factores extraídas de la tabla 3 $S_u$ : Resistencia mínima a la tensión

**Tabla 33. Modelos matemáticos parte 3**

30	Fórmula 5.8: Factor de modificación de tamaño	$k_b = 0.879d^{-0.107} \dots \dots \dots 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in}$ $k_b = 0.910d^{-0.157} \dots \dots \dots 2 \leq d \leq 10 \text{ in}$ $k_b = 1.240d^{-0.107} \dots \dots \dots 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$ $k_b = 1.510d^{-0.157} \dots \dots \dots 51 \leq d \leq 154 \text{ mm}$	Kb: Factor de modificación de tamaño
31	Fórmula 5.9: Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria	$S'_e = 0.55S_{ut} \dots \dots S_{ut} \leq 200 \text{Kpsi} (1400 \text{MPa})$ $S'_e = 100 \text{Kpsi} \dots \dots S_{ut} > 200 \text{Kpsi}$ $S'_e = 700 \text{MPa} \dots \dots S_{ut} > 1400 \text{MPa}$	S'e: Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria Sut: Resistencia a la tensión mínima
32	Fórmula 5.10: Producto de factores K	$K_c \times K_d \times K_e \times K_f \approx 1$	Kc: Factor de modificación de la carga Kd: Factor modificación de la temperatura Ke: Factor de confiabilidad Kf: Factor de modificación efectos varios
33	Fórmula 6.1: Resistencia a la fluencia cortante	$S_{Sy} = 0.557(S_y)$	Ssy: Resistencia a la fluencia cortante Sy: Resistencia a la fluencia
34	Fórmula 6.2: Esfuerzo cortante	$\tau = \frac{F}{w \times l}$	t: Esfuerzo cortante F: Fuerza w: Anchura l: Longitud de cuña
35	Fórmula 6.3: Esfuerzo cortante	$\tau = \frac{S_{Sy}}{n}$	t: Esfuerzo cortante Ssy: Resistencia a la fluencia cortante n: Factor de seguridad
36	Fórmula 6.4: Relación entre fórmulas de esfuerzos cortantes	$\frac{S_{Sy}}{n} = \frac{F}{w \times l}$	Ssy: Resistencia a la fluencia cortante n: Factor de seguridad F: Anchura w: Longitud de cuña
37	Fórmula 6.5: Longitud de cuña	$l = \frac{F \times n}{w \times S_{Sy}}$	l: Longitud de cuña F: Fuerza n: Factor de seguridad w: Anchura Ssy: Resistencia a la fluencia cortante
38	Fórmula 6.6: Longitud de cuña	$\frac{l}{2} = \frac{F \times n}{w \times S_{Sy}}$	l: Longitud de cuña F: Fuerza n: Factor de seguridad w: Anchura Ssy: Resistencia a la fluencia cortante
39	Fórmula 7.1: Factor para selección de cojinete	$C_{10} = F_D \times \left( \frac{L_D \times n_D \times 60}{L_R \times n_R \times 60} \right)^{\frac{1}{a}}$	C10: Factor para selección de cojinete FD: Fuerza de carga radial deseada LD: Vida deseada LR: Vida nominal en horas nD: Velocidad deseada nR: Velocidad nominal en horas a=3: cojinete bolas; a=10/3: cojinete rodillo
40	Fórmula 7.2: Vida de diseño adimensional	$x_D = \frac{L_D \times n_D \times 60}{L_R \times n_R \times 60}$	XD: Vida de diseño adimensional LD: Vida deseada LR: Vida nominal nD: velocidad deseada nR: Velocidad nominal
41	Fórmula 7.3: Vida nominal	$L_R \times n_R \times 60 = 10^6$	LR: Vida nominal nR: Velocidad deseada
42	Fórmula 7.4: Factor para selección de cojinete (Análisis de carga, vida, confiabilidad)	$C_{10} = F_D \times \left[ \frac{x_0}{x_0 + (\theta - x_0) \times (1 - R)^b} \right]^{\frac{1}{\theta}}$	C10: Factor para selección de cojinete FD: Fuerza de carga radial deseada XD: Vida diseño adimensional a=3: cojinete bolas; a=10/3: cojinete rodillo X0: Valor mínimo de variante adimensional R: Confiabilidad b: Parámetro que controla el sesgo θ: Parámetro característico = 63.21.21
43	Fórmula 7.5: Valor perteneciente al ajuste (Ajuste Weibull)	$x_0 = 0.02$	X0: Valor mínimo de variante adimensional
44	Fórmula 7.6: Valor perteneciente al ajuste (Ajuste Weibull)	$\theta - x_0 = 4.439$	X0: Valor mínimo de variante adimensional θ: Parámetro característico = 63.21.21

**Tabla 34. Modelos matemáticos parte 4**

45	Fórmula 7.7: Valor perteneciente al ajuste (Ajuste Weibull)	$b = 1,483$	b: Parámetro que controla el sesgo
46	Fórmula 8.1: Relación de transmisión por cadenas	$i = \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{w_2}{w_1}$	i: Relación de transmisión R1: Radio de piñón motriz R2: Radio de piñón conducido Z1: Número de dientes del piñón motriz Z2: Número de dientes del piñón conducido W1: velocidad angular de piñón motriz W2: Velocidad angular del piñón conducido
47	Fórmula 8.2: Factor del diente	$f_2 = \frac{19}{z_1}$	f2: Factor del diente Z1: Número de dientes del piñón motriz
48	Fórmula 8.3: Potencia a seleccionar	$P_s = P_T \times f_1 \times f_2$	Ps: Potencia a seleccionar PT: Potencia a transmitir f1: Factor de aplicación f2: Factor de diente
49	Fórmula 8.4: Factor del diente	$f_2 = \frac{19}{z_1}$	f2: Factor del diente Z1: Número de dientes del piñón motriz
50	Fórmula 8.5: Largo de cadena	$L = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2C}{P} + \frac{\left(\frac{z_2 - z_1}{2}\right)^2 \times P}{C}$	L: Largo de cadena Z1: Numero de dientes del piñón motriz Z2: Número de dientes del piñón conducido C: Distancia prevista entre centros P: Paso diametral $\pi$ : Pi
51	Fórmula 8.6: Distancia entre centros	$C = \frac{P}{8} \left[ 2L - Z_2 - Z_1 + \sqrt{(2L - Z_2 - Z_1)^2 - \frac{\pi}{3,888} (z_2 - z_1)^2} \right]$	C: Distancia prevista entre centros P: Paso diametral L: Largo de cadena $\pi$ : Pi Z1: Número de dientes del piñón motriz Z2: Número de dientes del piñón conducido
52	Fórmula 8.7: Número de dientes	$N = P \times PCB$	N: Número de dientes P: Paso diametral PCB: Factor obtenido de la tabla 7
53	Fórmula 9.1: Potencia nominal	$P = I^2 \times R$	P: Potencia nominal I: Intensidad nominal R: Resistencia nominal
54	Fórmula 10.1: Eficiencia	$\eta = \frac{P_u}{P_c}$	n: Eficiencia Pu: Potencia útil Pc: Potencia consumida
55	Fórmula 10.2: Energía consumida	$E = P_t \times t$	E: Energía consumida Pt: Potencia consumida t: Tiempo de consumo de la potencia en horas
56	Fórmula 10.3: Costo del circuito conectado en n horas	$C_T = E \times C_u$	CT: Costo de mantener conectado el circuito en un determinado número de horas E: Energía utilizada en un determinado número de horas Cu: Cargo unitario establecido por la empresa proveedora de electricidad

#### 4.6. Elaboración de detalles

Gracias al software Inventor Profesional, se simularon las piezas y partes de la máquina, con ello se comprobó la correcta asignación de medidas. A continuación, se presenta una vista explotada de la máquina planteada y sus correspondientes materiales:

Los materiales y elementos se listan en la siguiente tabla:

**Tabla 35. Materiales de la selección de ají**

Elemento	Cantidad	Pieza	Descripción
1	1	Armazón	Acero inoxidable
2	18	Chumacera	Acero
3	18	Eje principal	Acero inoxidable
4	18	Rodillo	Caucho silicón
6	27	Eje secundario	Acero inoxidable
10	1	Caja	
11	1	Escalón	Madera
12	1	Paleta	Acero inoxidable
13	1	Resbaladera	Acero inoxidable
14	1	Tolva	Acero inoxidable
16	1	Motor	

Para la parte eléctrica y de control, teniendo en cuenta que se utilizará un guardamotor, motor y un plc, se ha de utilizar un determinado circuito y con ello y el código (ambos visualizables en los anexos), se operará y con el switch el operador podrá elegir entre las formas manual y automática que tiene la máquina.

Al elegir el manual, se utilizará el pulsador S4 para encender la máquina y el pulsador S5 para apagarla, evidentemente la parada es prioritaria para evitar posibles accidentes que puedan dañar la máquina o a los operarios.

Al elegir automático, gracias al sensor, la máquina se encenderá sola cuando haya ají en la resbaladera, después de 3 minutos de que el sensor no registre ají, la máquina procederá a apagarse.

Cuando la máquina esté funcionando el LED1 indicará su estado, y cuando no esté operando se encenderá el LED2, esto en su forma manual y automática.

## RESULTADOS

Se realizó el diseño de un sistema electromecánico semiautomático de selección de ají *Capsicum annuum* para agricultores de la provincia de Huancayo, cuyos planos están disponibles en los anexos del presente trabajo de investigación.

Dentro del diseño mecánico tras realizar la validación matemática se calcularon las siguientes dimensiones de los elementos mecánicos según parámetros establecidos:

**Tabla 36. Resultados del sistema mecánico**

Elemento	Estudio	Dimensiones
Tolva	Análisis geométrico	Altura 35,57 cm
Rodillos	Von Misses y Asme elíptica	Diámetro 20 mm
Ejes	Von Misses y Asme elíptica	Diámetro 20 mm
Transmisión por cadena	Según Renold	Largo 50 pasos, paso 8 mm y las ruedas dentadas serán de 63,832 mm de diámetro y tendrán 25 dientes.
Cuña mecánica	Según Shigley	$\frac{3}{16} in \times \frac{1}{8} in \times \frac{1}{17} in$
Cojinete de rodadura	Según Shigley	Diámetro interno de 20 mm Factor $C_{10(1)} = 3708,1182N$

Para el sistema eléctrico, según los requerimientos de potencia y velocidad angular del sistema mecánico, teniendo en cuenta la calidad que la cantidad de voltaje requerida debe ser la misma para todos los elementos:

**Tabla 37. Resultados del sistema eléctrico**

Elemento	Debido	Características
Motor	Requerimientos de voltaje y velocidad angular	220V-1.5 HP-3600 rpm
Relé térmico	Voltaje de motor seleccionado	220V-10 A
Disyuntor	Voltaje de motor seleccionado	220V-100 W
Contactador	Voltaje de motor seleccionado	220V-10 A

En lo investigado para el sistema de control se obtuvieron que los dispositivos idóneos son los siguientes:

**Tabla 38. Resultados del sistema de control**

Elemento	Debido	Características
PLC	Gran capacidad de operación Cumple con más de una función	Siemens s7 1200
Sensor capacitivo de proximidad	Capacidad e idoneidad de conexión con PLC	CR30-15AO

Se logró seleccionar el material más adecuado para el proyecto; como es el caso del acero inoxidable 316. La base está sustentada por la correlación que hay entre la validación de cálculos y la tabla galvánica; donde dicha tabla establece una clasificación de metales que, al ser aleados con otros, reaccionan de forma inalterable ante la corrosión. En caso se omita la clasificación corrosiva en la selección del material, sus efectos podrían comprometer la salubridad no solo del proyecto sino también de los que adquieran en un futuro la presente maquinaria.

## CONCLUSIONES

1. Se logró analizar los requerimientos del proceso agrícola en la producción y venta de ají. Donde el cuello de botella a menguar se situó en la fase de clasificación. Cuyo tiempo en el sector de Huancayo es de 10 horas y las bases de calidad dependen del tipo de sembrío. Comúnmente, se utiliza el sembrío directo, cuyos frutos tienen diferentes tamaños (calidad). Siendo indispensables para agilizar la venta a diferentes sectores como el despulpado, pulverizado, deshidratado y venta directa.
2. Se evaluaron y asociaron los requerimientos del proceso agrícola de producción y venta de ají para definir las soluciones en la máquina. Obteniendo los siguientes resultados en el sistema mecánico: una tolva que mediante el estudio de análisis geométrico da como resultado una altura de 37 cm. En base al análisis de Von Mises y Asme elíptica los rodillos tienen un diámetro de 20 mm y los ejes de 20 mm. En la transmisión por cadenas en el análisis de Renold da como resultado un largo de 50 pasos, paso 8 mm y las ruedas dentadas serán de 63,832 mm de diámetro y tendrán 25 dientes. En el cojinete su diámetro interno de 20 mm y su factor  $C(10(1)) = 3708,1182$  N

En el caso del sistema eléctrico: un motor de 1.5 HP con 3600 rpm 220 V, un contactor trifásico de 220 V 10 A, un relé térmico 220 V 10 A y disyuntor trifásico de 220 V LE403548.

Para el sistema de control: en la parte de controlador lógico se obtuvo un PLC modelo Simatic Siemens S7-1200 CPU1214, sensores capacitivos modelo CR30-15AO, señalizaciones y pulsadores de botón.

3. Se logró establecer en los elementos de máquina del sistema mecánico, el contraste debido para el tipo de acero que se requiere a nivel industrial y diversos materiales no tóxicos aprobados por la FDA. Organización encargada de los estándares de máquinas industriales. Obteniendo así un

acero 316 AISI cuya utilidad será empleada en sectores donde hay susceptibilidad a oxidación y corrosión. Así mismo, el caucho silicón para los rodillos que trasladarán el ají con el menor riesgo posible. Y por otra parte, se verificó la disponibilidad de mercado para futuras adquisiciones.

4. Se logró evaluar la funcionalidad de las soluciones mediante la simulación en softwares especializados. Para el sistema mecánico se empleó dos softwares: Inventor y SolidWorks cuyo análisis de Von Mises a los elementos de máquina del sistema comprobaron su utilidad. Para el sistema eléctrico se utilizó Cade Simu para la parte simulada, verificándose que el circuito de potencia es funcional. Y para el sistema de control: el software Codesys, cuya ventaja recae sobre su lenguaje, aprobado por la norma IEC 61131-3, que permite el diagrama *Ladder* para el sistema de control. Comprobándose la funcionalidad del diagrama. Por otro lado, para la parte de instalación se tiene TIA Portal, software encargado de la conexión al PLC.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, en caso de adaptación futura de otros productos a ser clasificados, utilizar una evaluación de criterios y parámetros del producto, como las distancias, alturas, pesos, etc. a seleccionar, para la correspondiente modificación. Así, dichas adaptaciones, tendrían un mejor resultado.
2. Se recomienda usar el software Autodesk Eagle para las placas circuitales.
3. Se recomienda utilizar la metodología VDI2221 en el desarrollo de proyectos de diseño, debido a su contraste efectivo de la máquina a desarrollar, con los requerimientos reales. Así mismo, corresponder a las demandas del mercado.
4. Se recomienda el uso de Codesys y Cade Simu para programar la lógica de control, debido a que no consumen muchos recursos de la computadora. Y el uso de TIA Portal solo para integrar la programación en el PLC y vincular las redes a otros dispositivos, eso, debido a que consume muchos recursos.

## PROYECCIÓN DE TRABAJOS FUTUROS

El diseño de maquinaria para el procesamiento de alimentos tiene una gran demanda y es un mercado amplio, por lo que se puede expandir este trabajo a las siguientes máquinas:

- Máquina de despulpado de ají
- Máquina de deshidratado de ají
- Máquina de molido de ají
- Máquina de recolección de ají

El conjunto de todas estas máquinas lograría implementar un sistema de procesamiento de ají para condimentos, dicho procesamiento podría establecerse de forma automática, logrando de esta manera optimizar e industrializar la producción de condimentos de ají. Además de ello, también es posible la realización de trabajos futuros, donde se pueda optimizar aún más el procesamiento de ají, aumentando la cantidad de selección de la máquina, disminuyendo el tiempo de producción, mejorando la resistencia de los materiales utilizados, etc.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **GESTIÓN, Diario.** Tendencias - premios. 2017.
2. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Bioseguridad.* 2016.
3. **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA.** *Publicaciones digitales.* 2015.
4. **BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ.** *Memoria BCRP.* 2017.
5. **MORENO CASAS, Sharon Leslye.** *Extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de ají escabeche (Capsicum baccatum var. pendulum) bajo condiciones de Cañete.* 2017.
6. **ORDAYA, Nieto.** *Diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas.* Pontificia Universidad Católica del Perú,. Lima : s.n., 2016. pág. 104, Tesis para obtener el grado de Magíster en Ingeniería Mecatrónica.
7. **JO LAURENT, R.** *Diseño mecánico-eléctrico de una máquina mecatrónica para seleccionar uvas de mesa .* Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : s.n., 2016. pág. 110, Tesis para obtener el grado de Magíster en Ingeniería Mecatrónica.
8. **HERMOZA, E.** *Diseño de una máquina seleccionadora de semillas de sachá inchi peladas, por color con capacidad de 200 kg/h.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : s.n., 2018. pág. 110, Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico.
9. **HURTADO, T.** *Máquina para clasificar aguacates por su peso.* Universidad Técnica del Norte. Ibarra : s.n., 2015. pág. 180, Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico.
10. **BONIFAZ, C. y PALLASCO, M.** *Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/h.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba : s.n., 2017. pág. 145, Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico.
11. **ROMERO, J.** *Sistema clasificador de tomate de árbol de acuerdo a su madurez por medio de visión artificial.* Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito : s.n., 2016. pág. 150, Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico.
12. **GALÁN LUNA, Joan Sebastián y OJEDA PIÑEREZ, Orlando.** *Diseño de una planta piloto para la producción de filamentos, integrado en la reutilización de PET (polietileno tereftalato), útil para la impresora 3D.* 2020.
13. **ACERO, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ESTRUCTURA DEL.** *Sistemas estructurales: obras estructurales.*
14. **KOEBERLEIN, A.** *Geometría.* 5.º ed. México D.F. : Cengage Learning, 2013. ISBN: 978-607-481-889-5.

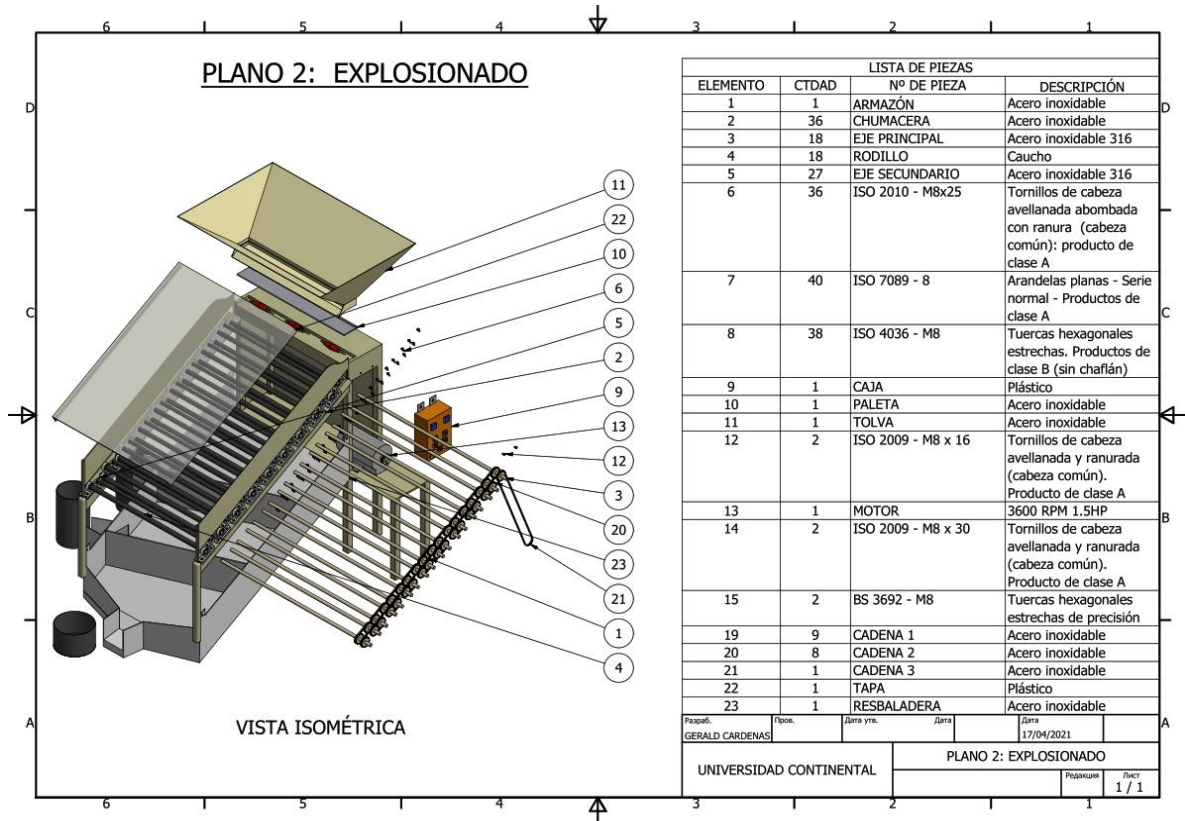
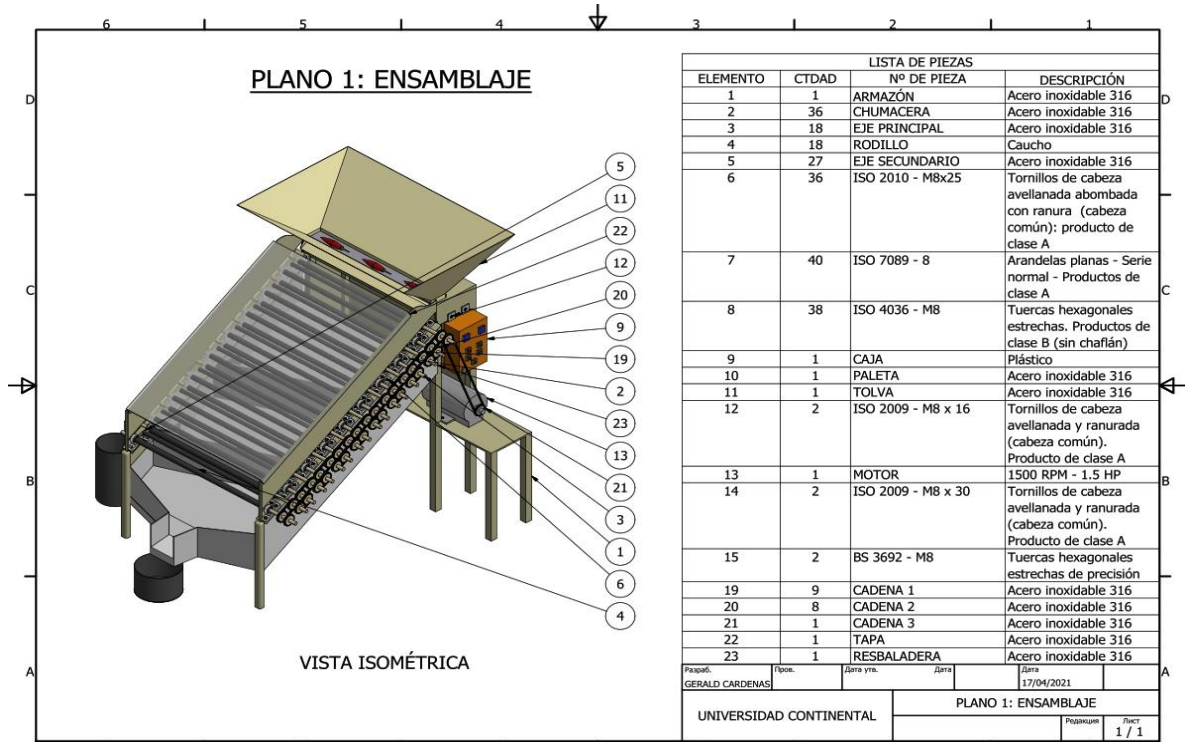
15. **SERWAY, R. y JEWETT, J.** *Física para ciencias e ingeniería*. 8.º ed. México D.F. : Cengage Learning editors, 2008. pág. 723. ISBN-13: 978-607-481-357-9.
16. **BURBANO, S., BURBANO, E. y GRACIA, C.** *Física general*. 32.º ed. . Madrid : Editorial Tébar, 2003. pág. 800. ISBN: 978-84-95447-82-1.
17. **BUDYNAS, R. y KEITH, J.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8.º ed. . México D. F. : McGraw-Hill, 2008. pág. 1092. ISBN-13: 978-970-10-6404-7.
18. **CHAPMAN, S.** *Máquinas Eléctricas*. 5.º ed. . México D. F. : McGraw-Hill, 2012. pág. 521. ISBN: 978-607-15-0724-2.
19. **ALEXANDER, C. y M., SADIKU.** *Fundamentos de circuitos eléctricos*. 3.º ed. México D.F. : McGraw-Hill, 2006. pág. 1051. ISBN: 970-10-5606-X..
20. **OGATA, K.** *Ingeniería de control moderna*. 5.º ed. Madrid : Pearson Educación, 2010. pág. 904. ISBN: 978-84-8322-660-5.
21. **INSTITUTO NACIONAL de Seguridad e Higiene en el Trabajo.** *Equipo eléctrico de máquinas: colores y marcados de los órganos de accionamiento*. 2017.
22. *Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo*. **GOYKOVIC CORTÉS, Vitelio y SAAVEDRA DEL REAL, Gabriel**. 3, Arica : Idesia , 2007, Vol. 25, págs. 47-58.
23. **INSTITUTO Nacional de Innovación Agraria.** *Ajíes Capsicum*. Perú : Bioversity International, 2021.
24. **TAGLE VERGARA, Yennifer Lizeth.** *Propuesta de modelo para la exportación del ají pimiento rojo orgánico de los valles de Chao y Virú al mercado Alemán-2016*. 2015.
25. **UNIVERSIDAD NACIONAL Mayor de San Marcos.** *Agronegocios 2020. Perspectivas de Mercado*. Lima : s.n., 2020.
26. **ZAMBRANO FALCONES, Lourdes y ZAMBRANO PAZMIÑO, Ángel Alberto.** *Efecto del riego deficitario en la etapa de inicio y desarrollo del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)*. 2019. Tesis Doctoral.
27. **QUIROZ BARBOZA, Michael Donovan y TENORIO TARRILLO, Eduardo Jorge.** *Efecto del estado de madurez sobre la concentración de carotenoides totales en cinco grados de madurez en ají jalapeño (Capsicum annuum) utilizando imágenes hiperespectrales*. 2020.
28. **Ministerio del Ambiente.** *Servicio de consultoría para la determinación de la distribución de la diversidad genética y estudio socioeconómico del ají*. 2016.
29. **GOCIOL, J.** *Libros para todos: Colección de Eudeba bajo la gestión de Boris Spivacow 1958-1966*. Buenos Aires : Eudeba, 2018. pág. 701. ISBN: 978-950-23-2082-3..

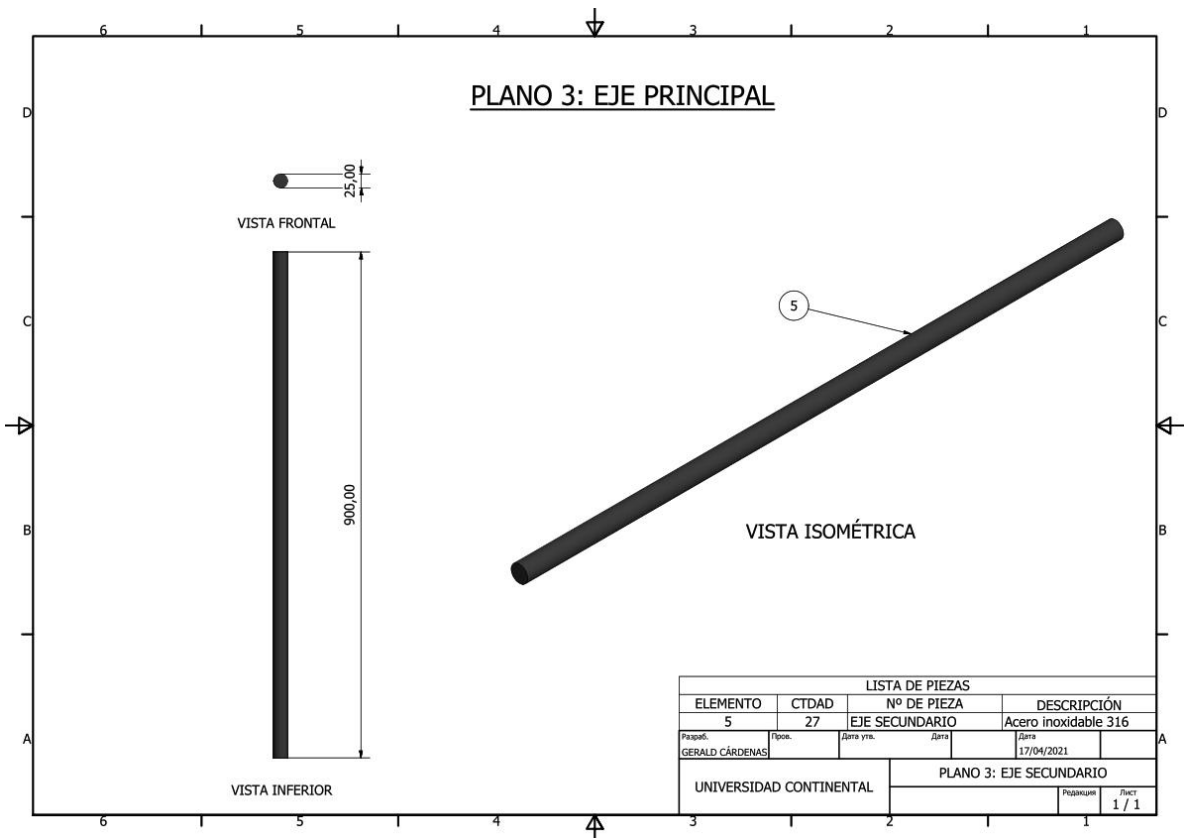
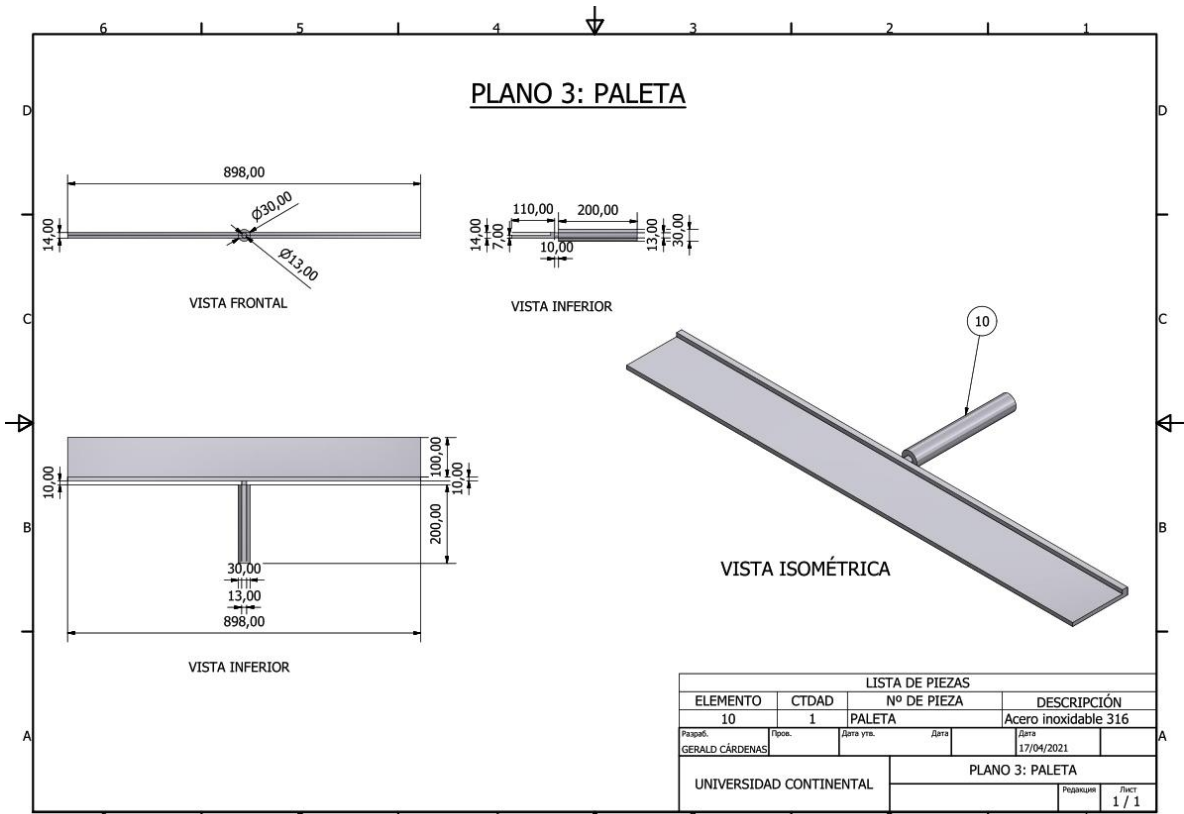
30. **ÁGUEDA, E.** *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. 2.º ed. Madrid : Paraninfo, 2018. pág. 636. ISBN: 978-84-283-3926-1..
31. **CASTRILLÓN, A. y MANRIQUE, M.** *Ensayos y propiedades de los materiales*. Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana, 2017. ISBN: 978-958-781-127-8..
32. **CALLISTER, W.** *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona : Reverté, 2019. ISBN: 978-84-291-7251-5.
33. **GONZÁLES, A.** *Diseño de los centros de control*. Madrid : Ediciones Días de los Santos, 2019. ISBN: 978-84-9052-282-0.
34. **SÁNCHEZ, W.** *Teoría del control: Control, SCI & Auditoría*. Bogotá : Ediciones de la U, 2017. ISBN: 978-958-762-630-8.
35. **SOLÓRZANO, M.** *Optimización de la cadena logística. COML0210*. Málaga : IC editorial, 2018. ISBN: 978-84-9198-233-3.
36. **RUIZ-ARRANZ, et al.** *Creciendo con productividad: una agenda para la región andina. Banco interamericano de desarrollo*. 2018. IDB-MG-628.
37. **RAVINDRAN, P.** *The encyclopedia of herbs and spices*. Oxfordshire : Ecoo, 2017. pág. 1176. ISBN: 978-1-78064-315-1.
38. **BRAGA, N.** *Manual de mecatrónica*. Sao Pablo : Newton C. Braga, 2017. pág. 502. ISBN: 8565050602.
39. **EIRANOVA, E.** *Mercado financiero del intermediado y ciclo regulatorio*. Barcelona : JMB, 2019. pág. 430. ISBN: 978-64-120243-6-4.
40. **MONTESINOS, M. y JOSÉ, F.** *Figura del coordinador de seguridad y salud durante la ejecución*. Barcelona : JMB, 2017. pág. 366. ISBN: 978- 64- 947639-6-0.
41. **DIAZ, J. et al.** *Ordenación del territorio y urbanístico*. Madrid : Reus, 2018. pág. 622. ISBN:978-84-290-1507-2.
42. **CEGARRA, J.** *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid. España : Ediciones Díaz de Santos, 2004. ISBN: 84-7978-624-8.
43. **BARRIGA, B.** *Métodos de diseño en ingeniería mecánica*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.
44. **ADMINISTRATION, Food and Drug.** *Materiales adecuados para el contacto con alimentos*. 2021.
45. **SIFUENTES, María.** *AISI 316*. 2017.
46. **MINCETUR.** *El mercado del acero en el Perú*. 2018.

## **ANEXOS**

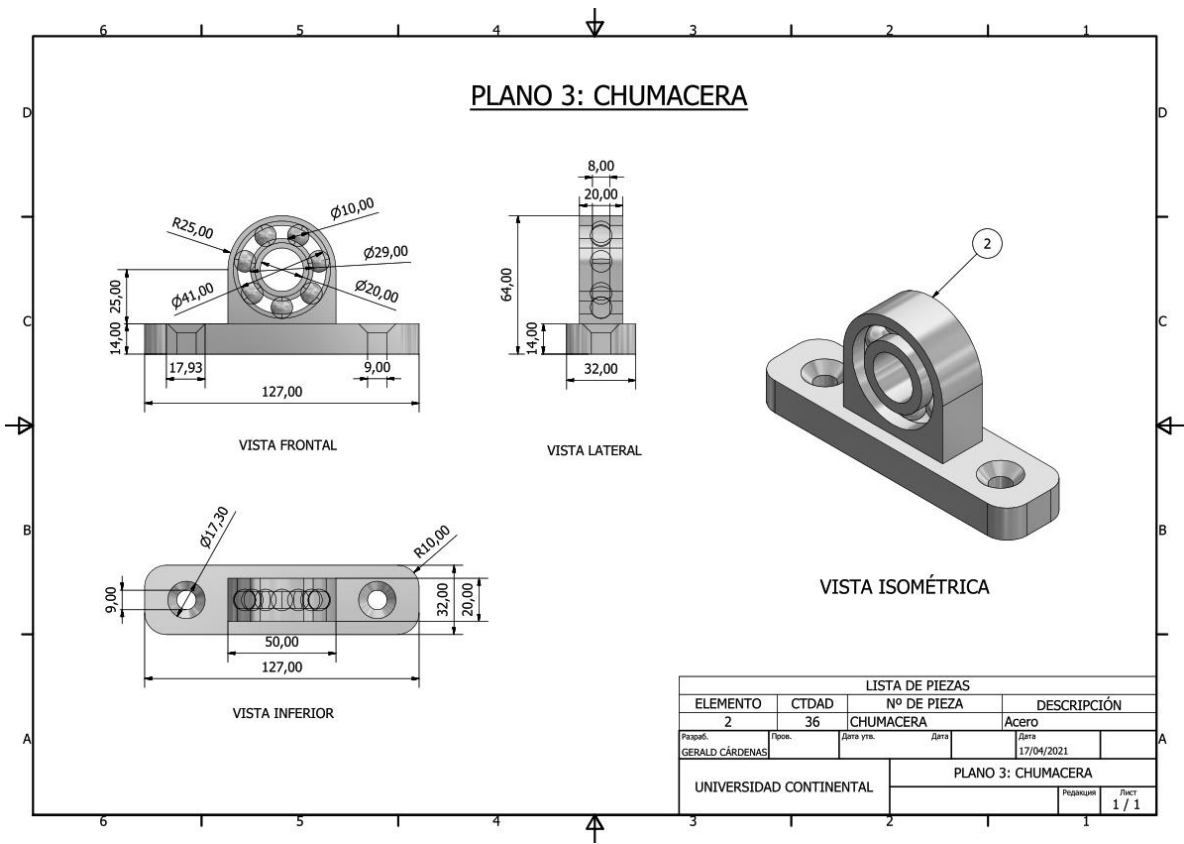
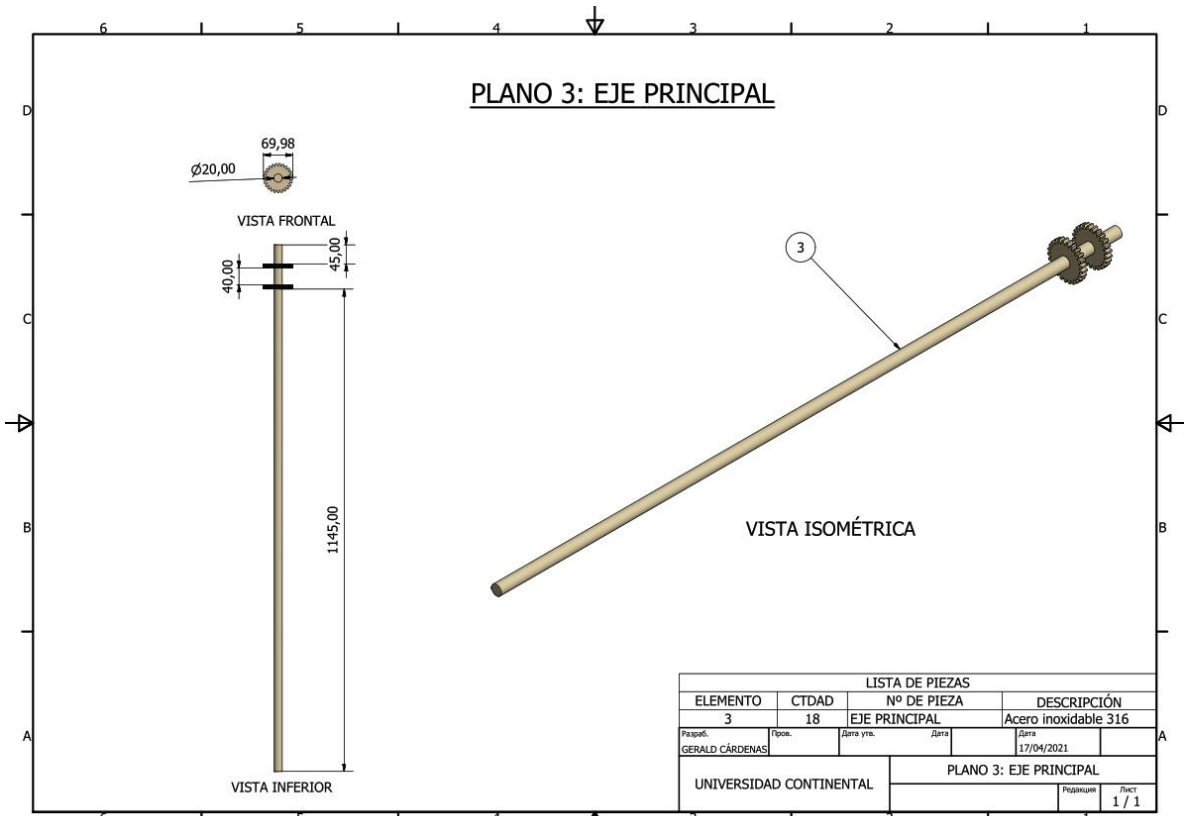
## Anexo A

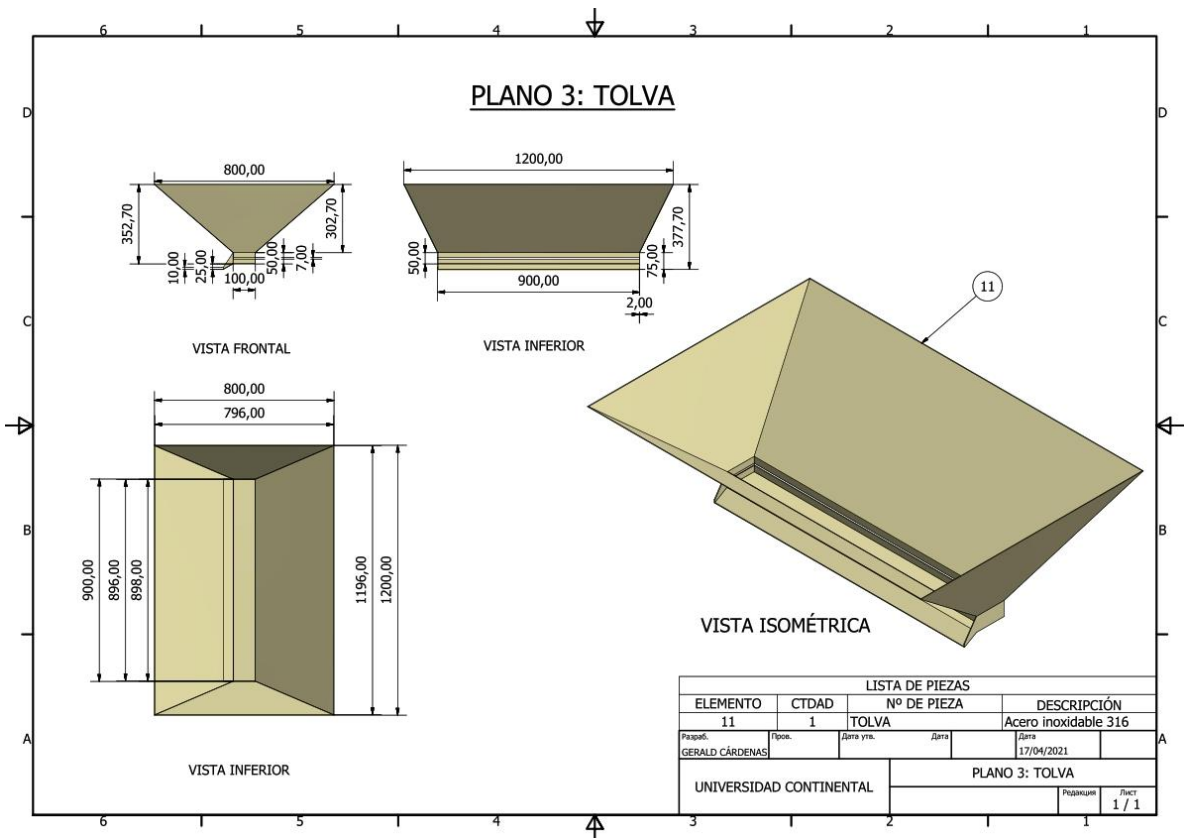
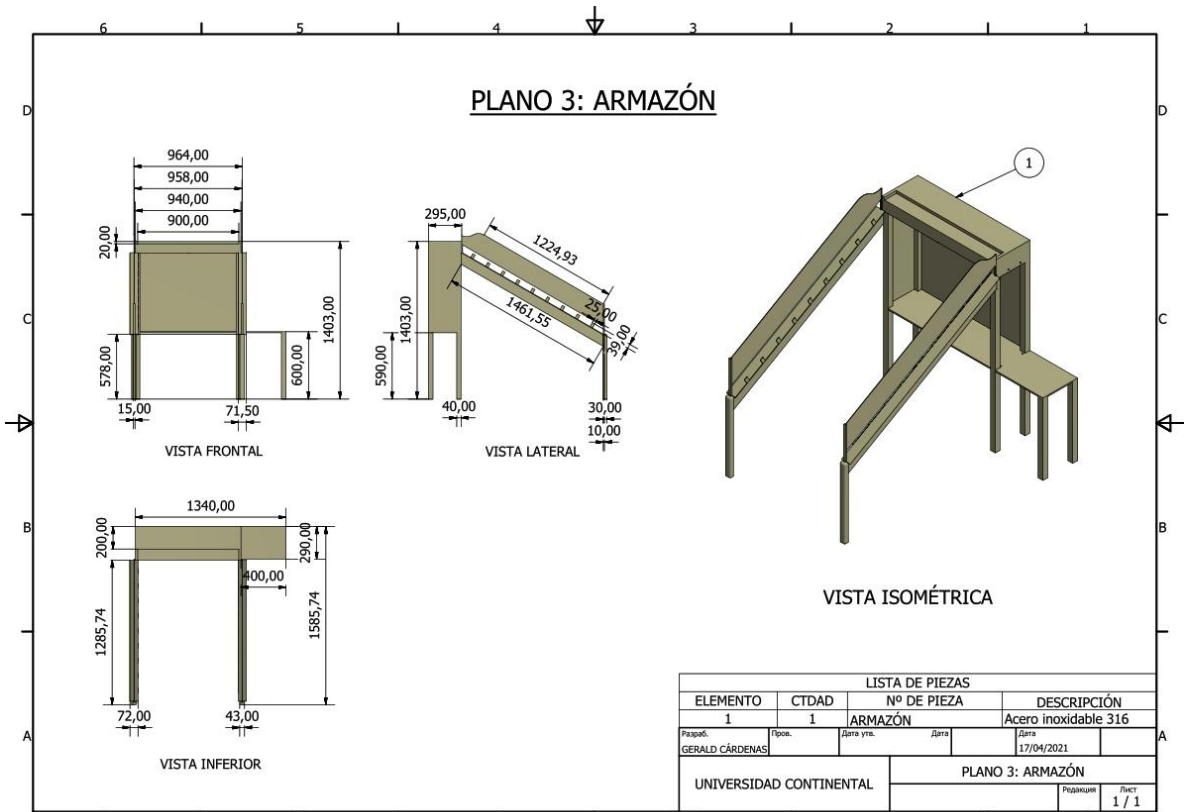
### Planos mecánicos y eléctricos

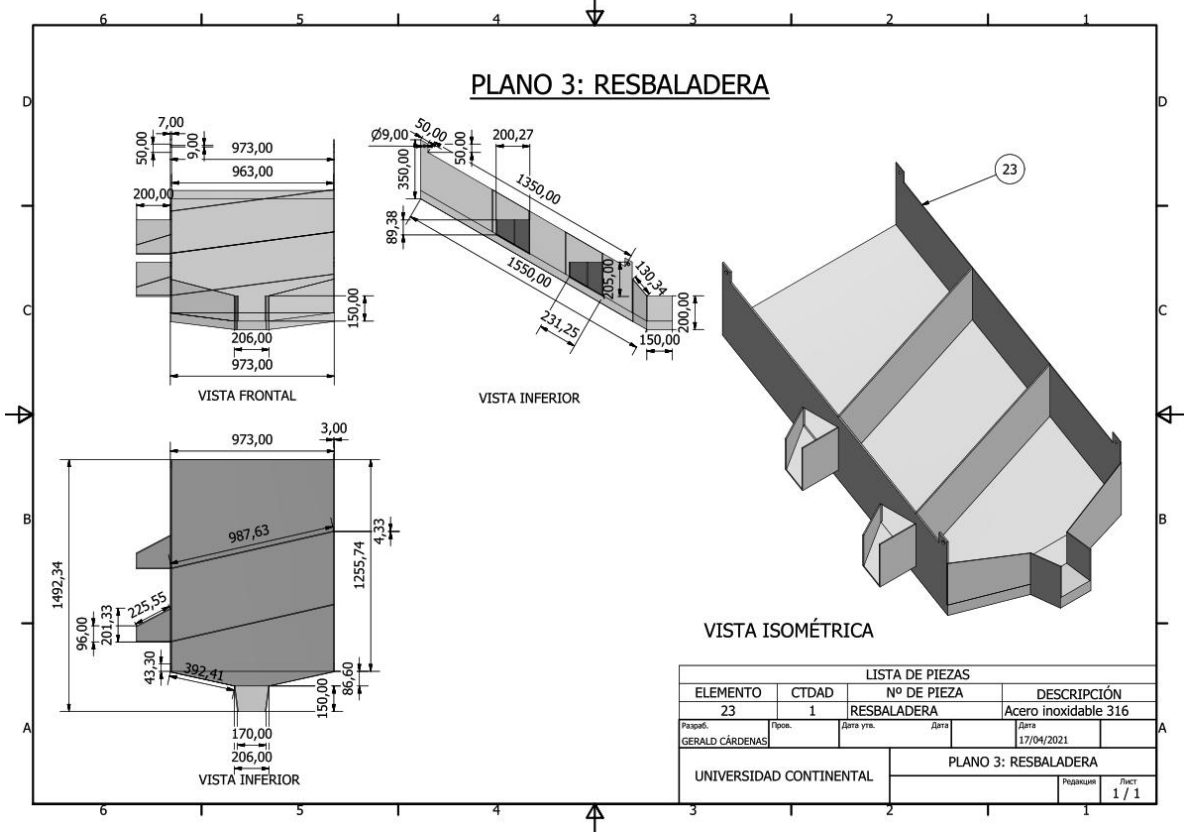
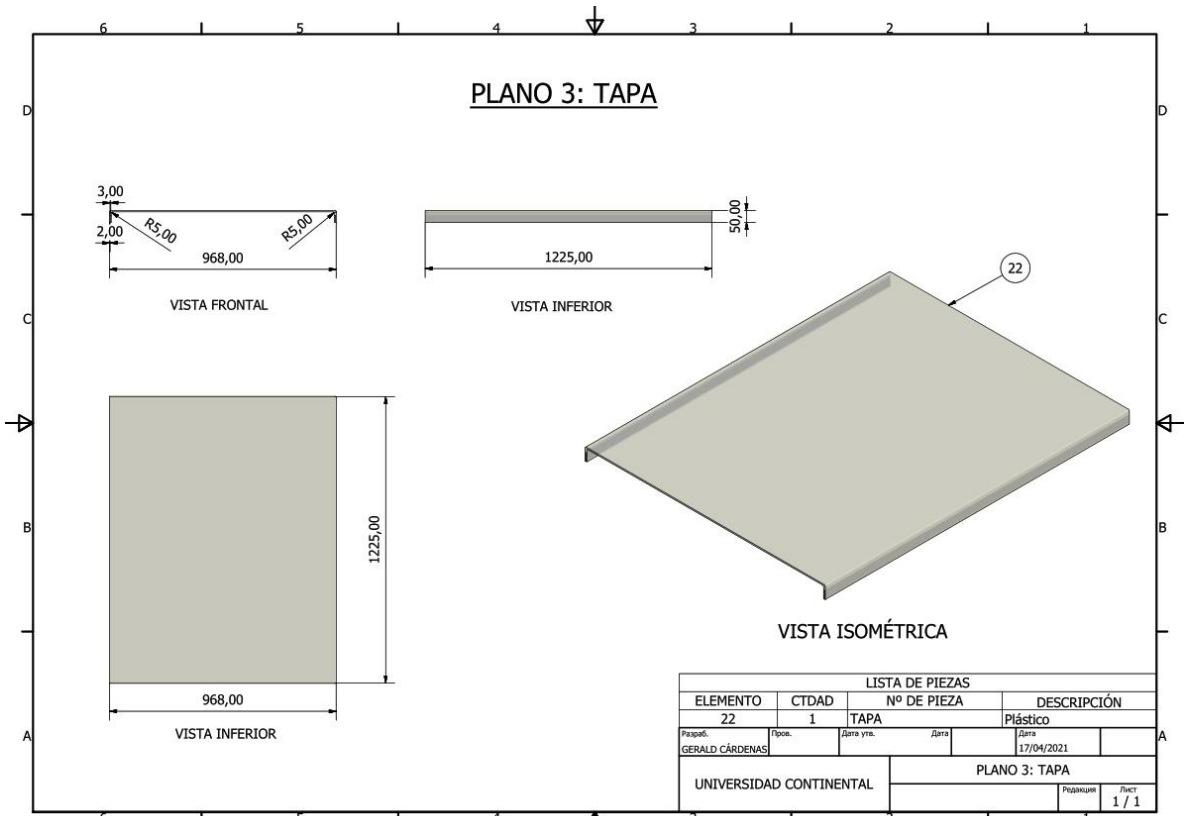


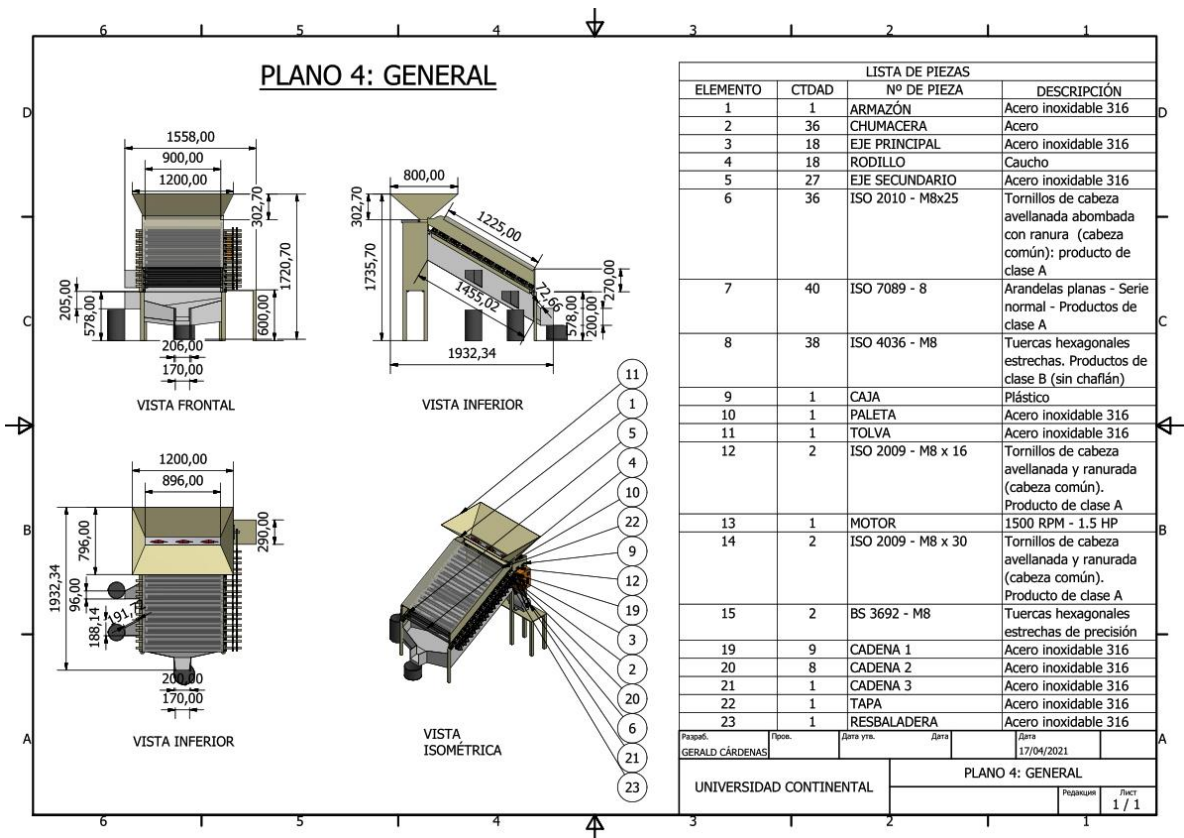
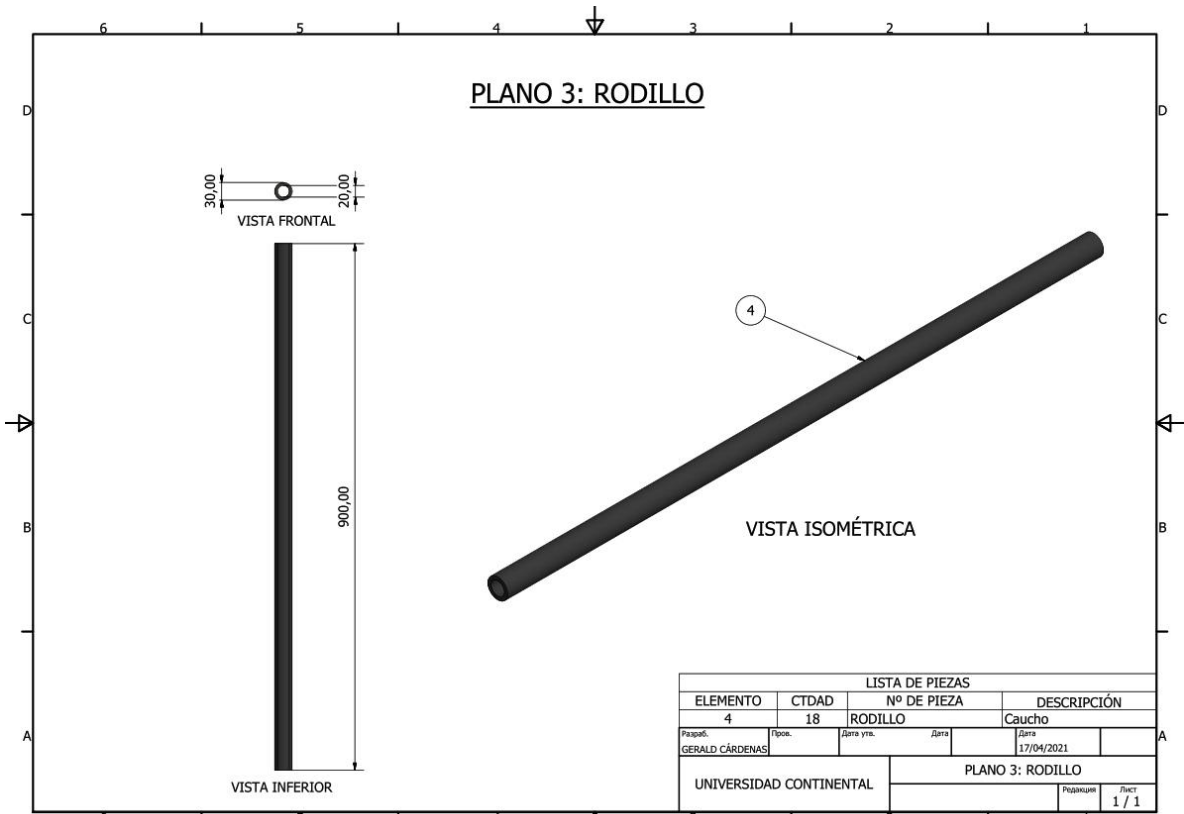












## Anexo B Simulación

### Simulación de Von Mises del armazón

#### Configuración de malla:

Tabla 39. Configuración de la malla del armazón en Inventor

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

#### Materiales

Tabla 40. Material de la parte mecánica armazón

Nombre	Acero inoxidable 316	
General	Densidad de masa	7.8 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	689 MPa
	Resistencia máxima a tracción	861.25 MPa
Tensión	Módulo de Young	206.7 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.27 su
	Módulo cortante	81.378 GPa
Nombre de pieza	Armazón	

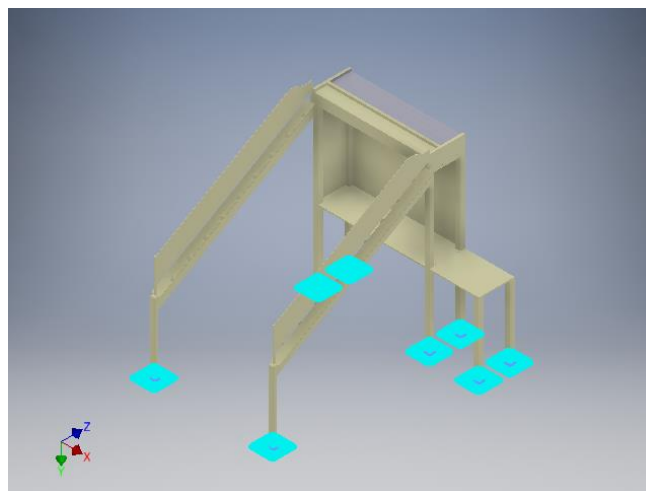


Figura 48. Armazón

## Fuerzas

Tabla 41. Fuerzas sometidas al armazón

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	258099 N	0 N	61885.7 N m	28245.7 N m
		-257990 N		-1710.1 N m
		-7500 N		55037.2 N m

## Tensión de Von Mises

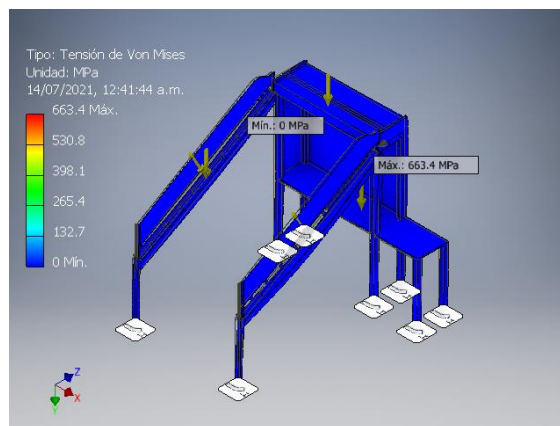


Figura 49. Tensión de Von Mises del armazón

## Coefficiente de seguridad

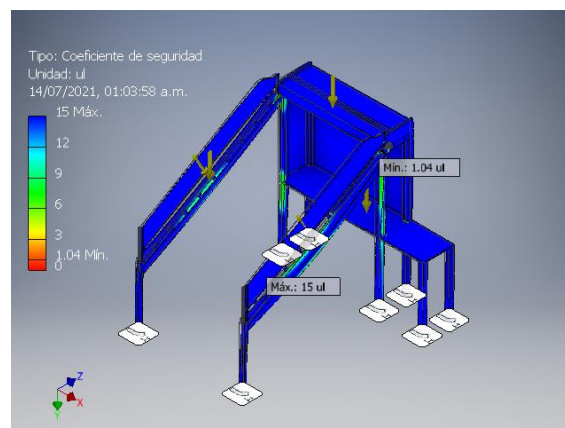


Figura 50. Coeficiente de seguridad del armazón

### Tensión XX

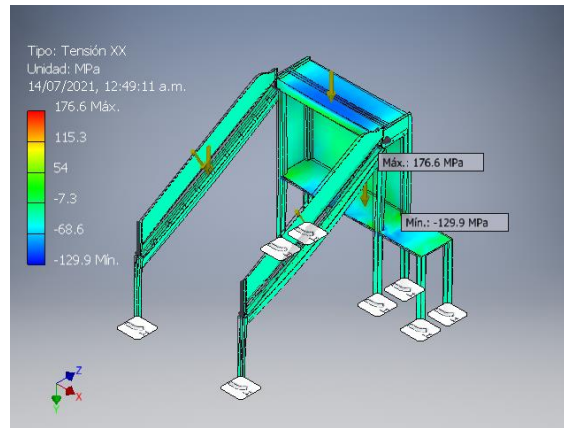


Figura 51. Tensión en XX del armazón

### Tensión XY

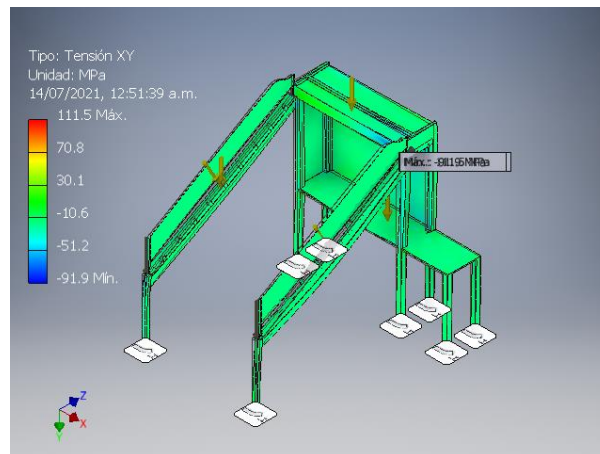


Figura 52. Tensión XY del armazón

### Tensión XZ

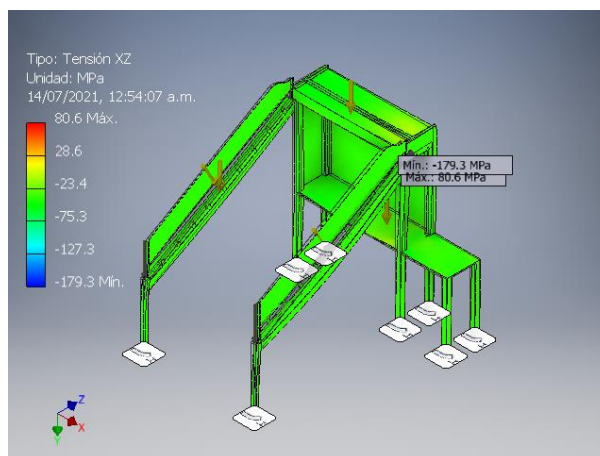


Figura 53. Tensión XZ del armazón



## Resumen de resultados

Tabla 42. Resumen de resultados del análisis de Von Mises de la parte mecánica del armazón

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	53308200 mm <sup>3</sup>	
Masa	415.804 kg	
Tensión de Von Mises	0.0430597 MPa	663.436 MPa
Primera tensión principal	-64.8355 MPa	590.439 MPa
Tercera tensión principal	-775.951 MPa	77.585 MPa
Desplazamiento	0 mm	3.22497 mm
Tensión XX	-129.893 MPa	176.616 MPa
Tensión XY	-91.9258 MPa	111.486 MPa
Tensión XZ	-179.283 MPa	80.5692 MPa
Tensión YY	-458.444 MPa	561.315 MPa
Tensión YZ	-269.366 MPa	153.449 MPa
Tensión ZZ	-742.014 MPa	285.31 MPa
Desplazamiento X	-0.40832 mm	1.03913 mm
Desplazamiento Y	-0.0550754 mm	1.98346 mm
Desplazamiento Z	-0.145375 mm	2.44618 mm
Deformación equivalente	0.000000176763 su	0.00293546 su
Primera deformación principal	-0.0000130325 su	0.00286641 su
Tercera deformación principal	-0.00338551 su	0.0000394148 su
Deformación XX	-0.000706788 su	0.00120357 su
Deformación XY	-0.000564808 su	0.000684988 su
Deformación XZ	-0.00110154 su	0.000495031 su
Deformación YY	-0.00203981 su	0.00263556 su
Deformación YZ	-0.00165503 su	0.000942817 su
Deformación ZZ	-0.003177 su	0.00118443 su

En el respectivo análisis se asume mediante los resultados que tanto el material y las fuerzas sometidas son las necesarias para la funcionalidad de la máquina automatizada mediante un sistema mecánico-eléctrico para la clasificación de ají *Capsicum annum*.



## Simulación de Von Mises de la resbaladera

### Configuración de malla:

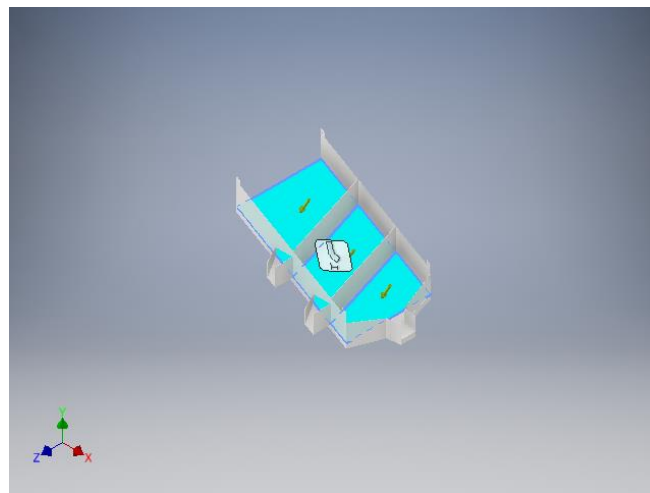
**Tabla 43. Configuración de la malla de la parte mecánica resbaladera**

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

### Materiales

**Tabla 44. Material de la parte mecánica resbaladera**

Nombre	Acero inoxidable 316	
General	Densidad de masa	7.8 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	689 MPa
	Resistencia máxima a tracción	861.25 MPa
Tensión	Módulo de Young	206.7 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.27 su
	Módulo cortante	81.378 GPa
Nombre(s) de pieza	Resbaladera F.ipt	



**Figura 54. Parte mecánica resbaladera**

### Fuerza:1

**Tabla 45. Fuerzas aplicadas en la parte mecánica resbaladera**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	190000.000 N
Vector X	-94996.143 N
Vector Y	-164547.053 N
Vector Z	0.000 N

## Tensión de Von Mises

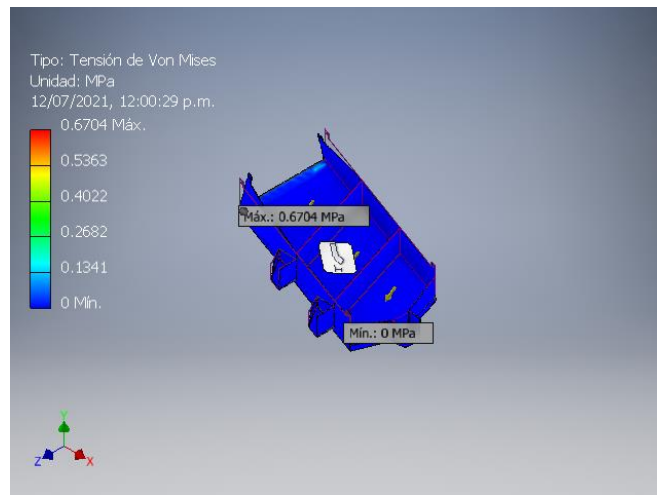


Figura 55. Tensión de Von Mises de la parte mecánica de la resbaladera

## Coefficiente de seguridad

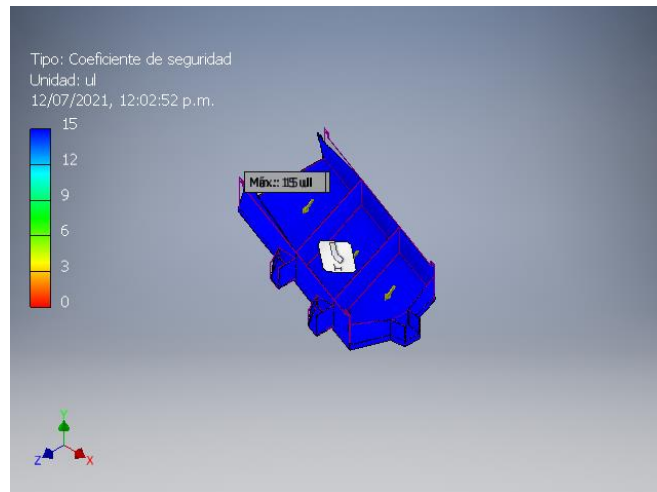


Figura 56. Coeficiente de seguridad de la parte mecánica resbaladera

## Tensión XX

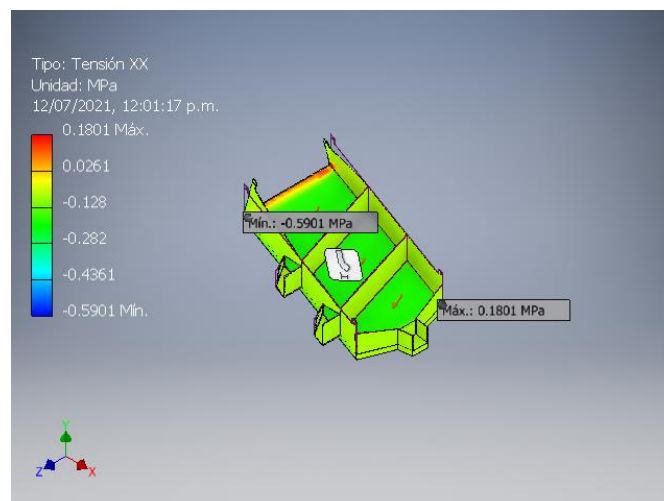


Figura 57. Tensión XX de la parte mecánica de la resbaladera

## Tensión XY

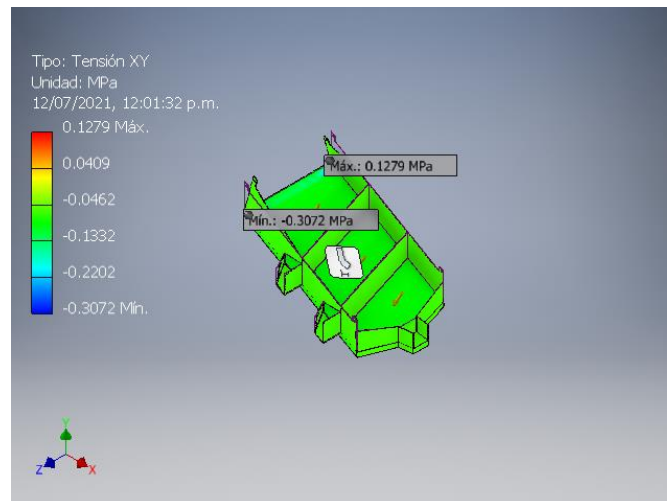


Figura 58. Tensión XY de la parte mecánica resbaladera

## Tensión XZ

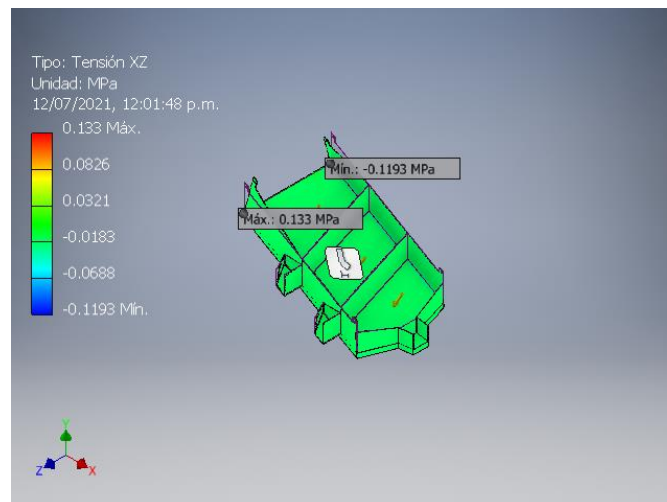


Figura 59. Tensión XZ de la parte mecánica resbaladera

## Resumen de resultados

Tabla 46. Resumen de los resultados del análisis de tensión de la parte mecánica resbaladera

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	71310000 mm <sup>3</sup>	
Masa	556.218 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000114164 MPa	0.6704 MPa
Primera tensión principal	-0.387677 MPa	0.313082 MPa
Tercera tensión principal	-1.05962 MPa	0.0297292 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.000519398 mm
Tensión XX	-0.590137 MPa	0.180124 MPa
Tensión XY	-0.307247 MPa	0.127885 MPa
Tensión XZ	-0.119252 MPa	0.133015 MPa

Tensión YY	-0.857144 MPa	0.174756 MPa
Tensión YZ	-0.223189 MPa	0.125944 MPa
Tensión ZZ	-0.390778 MPa	0.092906 MPa
Desplazamiento X	-0.000137258 mm	0.0000883552 mm
Desplazamiento Y	-0.0000817672 mm	0.0000792765 mm
Desplazamiento Z	-0.000518344 mm	0.000359572 mm
Deformación equivalente	0.000000000527507 su	0.00000335544 su
Primera deformación principal	-0.0000000392851 su	0.00000151033 su
Tercera deformación principal	-0.00000410952 su	0.000000027294 su
Deformación XX	-0.00000122495 su	0.000000725448 su
Deformación XY	-0.00000188778 su	0.000000785746 su
Deformación XZ	-0.000000732704 su	0.000000817269 su
Deformación YY	-0.00000286549 su	0.000000692229 su
Deformación YZ	-0.00000137131 su	0.000000773822 su
Deformación ZZ	-0.000000561979 su	0.000000598134 su

En el respectivo análisis se asume mediante los resultados que tanto el material y las fuerzas sometidas son las necesarias para la funcionalidad de la máquina automatizada mediante un sistema mecánico-eléctrico para la clasificación de ají *Capsicum annum*.

## Simulación de Von Mises de la paleta

### Configuración de malla:

**Tabla 47. Configuración de la malla de la parte mecánica de la paleta**

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

## Materiales

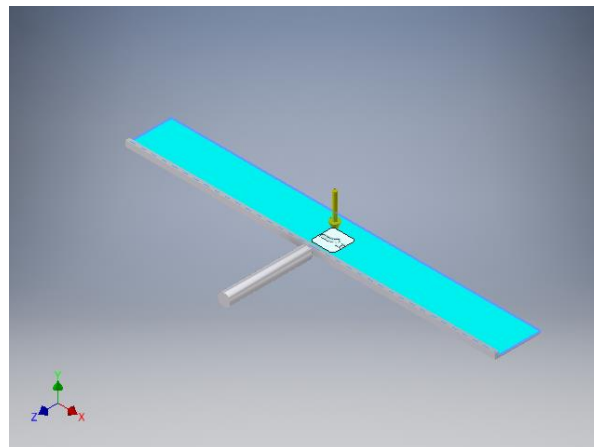
**Tabla 48. Material de la parte mecánica paleta**

Nombre	Acero inoxidable 316	
General	Densidad de masa	7.8 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	689 MPa
	Resistencia máxima a tracción	861.25 MPa
Tensión	Módulo de Young	206.7 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.27 su
	Módulo cortante	81.378 GPa
Nombre de pieza	paleta.ipt	

## Fuerza:1

Tabla 49. Fuerza aplicada en la parte mecánica paleta

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	190000.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-190000.000 N
Vector Z	0.000 N



Tensión de Von Mises

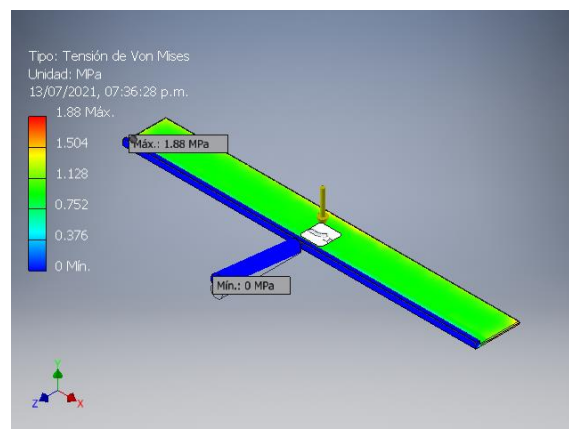


Figura 60. Tensión de Von Mises de la parte mecánica paleta

## Coeficiente de seguridad

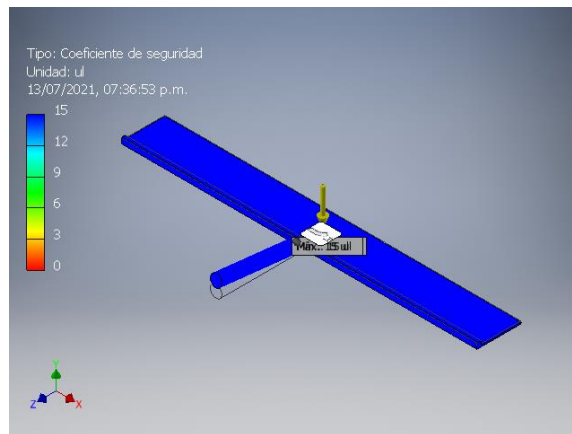


Figura 61. Coeficiente de seguridad de la parte mecánica paleta

## Tensión XX

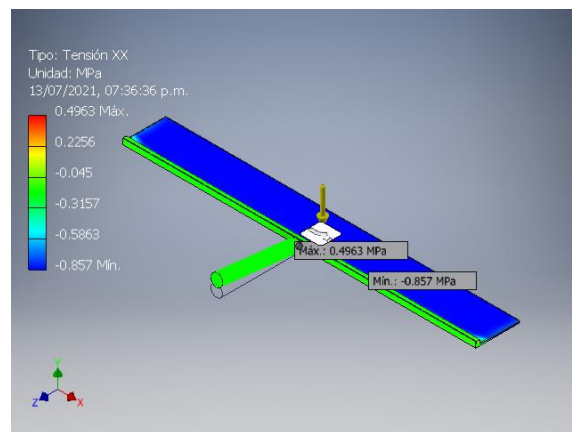


Figura 62. Tensión XX de la parte mecánica paleta

## Tensión XY

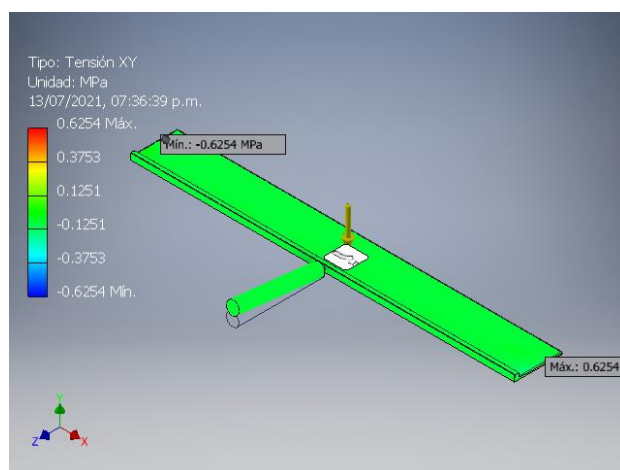


Figura 63. Tensión XY de la parte mecánica paleta

## Tensión XZ

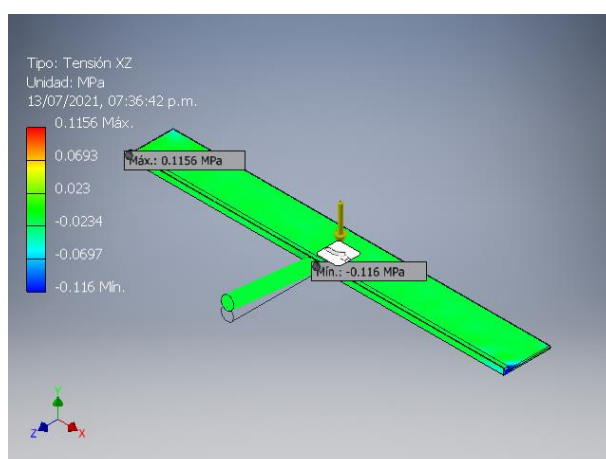


Figura 64. Tensión XZ de la parte mecánica paleta

## Resumen de resultados

Tabla 50. Resumen de resultados del análisis de Von Mises de la parte mecánica paleta

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	897019 mm <sup>3</sup>	
Masa	6.99675 kg	
Tensión de Von Mises	0.00000565341 MPa	1.8801 MPa
Primera tensión principal	-0.856305 MPa	1.79653 MPa
Tercera tensión principal	-2.57484 MPa	0.307275 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.00050591 mm
Tensión XX	-0.85696 MPa	0.496299 MPa
Tensión XY	-0.625429 MPa	0.625433 MPa
Tensión XZ	-0.115989 MPa	0.115609 MPa
Tensión YY	-2.38485 MPa	0.936769 MPa
Tensión YZ	-0.68025 MPa	0.848457 MPa
Tensión ZZ	-0.855738 MPa	0.959212 MPa
Desplazamiento X	-0.0000245446 mm	0.0000245373 mm
Desplazamiento Y	-0.0000643097 mm	0.000504442 mm
Desplazamiento Z	-0.000041251 mm	0.0000301168 mm
Deformación equivalente	0.00000000023632 su	0.00000876785 su
Primera deformación principal	-0.00000035538 su	0.00000791331 su
Tercera deformación principal	-0.000106014 su	0.000000158788 su
Deformación XX	-0.000000246007 su	0.0000024867 su
Deformación XY	-0.00000384275 su	0.00000384277 su
Deformación XZ	-0.000000712658 su	0.00000071032 su
Deformación YY	-0.00000943404 su	0.00000263077 su
Deformación YZ	-0.00000417957 su	0.00000521306 su
Deformación ZZ	-0.000000950525 su	0.00000276867 su

En el respectivo análisis se asume mediante los resultados que tanto el material y las fuerzas sometidas son las necesarias para la funcionalidad de la máquina automatizada mediante un sistema mecánico-eléctrico para la clasificación de ají *Capsicum annum*.