



Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, aplicable al centro de acopio “Santa Lucia” del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola

Chuquiana Tonato, Edison Patricio

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

20 de febrero de 2024

Latacunga



Plagiarism and AI Content Detection Report

TESIS_CHUQUIANA_EDISON.docx

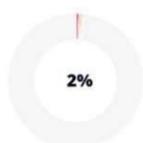
Scan details

Scan time: February 20th, 2024 at 16:15 UTC

Total Pages: 89

Total Words: 22204

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.9%	197
Minor Changes	0.6%	133
Paraphrased	0.5%	118
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	1.6%	359
Human text	98.4%	21845

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (22)

PFC-Manuel.pdf 0.5%

<https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1833/trabajo.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Manu

Universidad de Almería Escuela Superior de Ingeniería Ingeniería Técnica Industrial, Industria Mecánica Proyecto Fin de Carrera Diseñ...

Rodamientos Shigley - Engenharia Mecânica | Studenta 0.4%

<https://es.studenta.com/content/124480385/rodamientos-shigley>

Logo Studenta Iniciar sesión Volver Compartir Ver el material completo Rodamientos Shigley Engenharia Mecânica •Vicente Riva Pa...

D-CD33435 ZAMBRANO.pdf 0.4%

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14653/6/d-cd33435%20zambrano.pdf>

Luis

Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. "DISEÑO DE UNA MAQUINA PICADORA DE ...



WASHINGTON RODRIGO
FREIRE LLERENA

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo
C.C.: 1801910884

Certified by
Copleaks

About this report
help.copleaks.com

copleaks.com
in f o t



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, aplicable al centro de acopio “Santa Lucia” del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola”** fue realizado por el señor **Chuquiana Tonato, Edison Patricio**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de febrero de 2024



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON RODRIGO
FREIRE LLERENA**

.....
Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

C.C.: 1801910884

DIRECTOR DEL PROYECTO



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Responsabilidad de autoría

Yo, **Chuquiana Tonato, Edison Patricio**, con cédula de ciudadanía n° 0504589565, declaro que el contenido, ideas y criterios de trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, aplicable al centro de acopio “Santa Lucia” del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 20 de febrero de 2024



.....
Chuquiana Tonato, Edison Patricio

C.C.: 0504589565



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Autorización de publicación

Yo, **Chuquiana Tonato, Edison Patricio**, con cédula de ciudadanía n° 0504589565, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, aplicable al centro de acopio “Santa Lucia” del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola”** en el Repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 20 de febrero de 2024



.....
Chuquiana Tonato, Edison Patricio

C.C.: 0504589565

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación va dedicado en primer lugar a Dios, por la salud y vida, por las bendiciones recibidas, por la ayuda en los momentos más difíciles de la vida y por la sabiduría brindada para lograr alcanzar las diferentes metas en el transcurso de mi vida.

A mis padres Luis y Martha, por ser un pilar fundamental en mi desarrollo personal y profesional, por inculcarme los valores como el respeto y la humildad hacia la sociedad, por guiarme por el buen camino, por brindarme el apoyo económico y moral para culminar una de mis metas.

A mis hermanas Isabel, María y Diana, por el apoyo incondicional en los momentos de dificultad, por la comprensión y la paciencia recibida.

A mi sobrino David, por los momentos compartidos, por la compañía brindada y su apoyo incondicional, espero le sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, a mis padres, a mis hermanas y mi sobrino, por culminar una de mis metas, por contribuir en mi desarrollo personal, por los buenos y malos momentos compartidos, que nos ayudaron a fortalecer la unidad como familia.

A los docentes profesionales de la universidad, que impartieron sus clases, permitiendo adquirir nuevos conocimientos, experiencias, ideas, razonamientos, contribuyendo a mi desarrollo como profesional.

Al Ingeniero Washington Freire, por compartir sus conocimientos y experiencias como profesional, durante las clases impartidas y el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A los representantes del centro de acopio "Santa Lucia", por la apertura brindada para la elaboración del trabajo de titulación, permitiendo plasmar el conocimiento adquirido durante el proceso de formación, brindando la solución ante una necesidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras	15
Índice de ecuaciones	19
Resumen.....	21
Abstract	22
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	23
Planteamiento del problema.....	23
Antecedentes.....	24
Justificación e importancia	25
Objetivos.....	26
<i>Objetivo General</i>	26
<i>Objetivos Específicos</i>	26
Capítulo II: Marco Teórico	27
Antecedentes investigativos	27
Fundamentación teórica	29
Ingeniería concurrente.....	29

Despliegue de la función de calidad (QFD)	29
Productividad	31
Mejoras en la productividad agrícola.....	31
La planta de papa y sus partes.....	32
Variedades de la papa.....	33
<i>Variedades nativas</i>	34
<i>Variedades mejoradas</i>	34
La producción de papa en el Ecuador	36
Zonas de producción de la papa	37
Clasificación de las papas	38
Procesos de clasificación de las papas.....	39
<i>Clasificación manual</i>	40
<i>Clasificación mecanizada</i>	40
<i>Clasificación automatizada</i>	41
Tipos de máquinas clasificadoras	42
<i>Cilindro giratorio</i>	42
<i>Tambor giratorio</i>	42
<i>Rodillos</i>	43
Componentes y características de una máquina clasificadora de papas	44
<i>Estructuras de acero</i>	44
<i>Técnicas de unión de metales</i>	44

	10
<i>Ejes</i>	46
<i>Rodamientos</i>	47
<i>Chumaceras</i>	48
<i>Sistemas de transmisión de potencia</i>	49
<i>Motorreductor</i>	51
Capítulo III: Diseño y construcción del prototipo de máquina clasificadora de papas.....	53
Análisis del entorno y la producción	53
<i>Formato de la encuesta</i>	53
<i>Recolección de datos</i>	55
Análisis de factibilidad de implementación.....	56
<i>Recursos económicos</i>	56
<i>Producción</i>	56
<i>Mercado</i>	59
<i>Empleo</i>	59
<i>Análisis de factibilidad</i>	59
Despliegue de la función de calidad (QFD)	60
<i>Voz del usuario</i>	60
<i>Voz del ingeniero</i>	63
<i>Competencia</i>	64
<i>Casa de la calidad</i>	65
<i>Resultados de la casa de la calidad</i>	67
<i>Especificaciones técnicas</i>	70

<i>Análisis funcional</i>	71
<i>Matriz morfológica</i>	72
Planteamiento de las alternativas de solución.....	75
<i>Alternativa 1</i>	75
<i>Alternativa 2</i>	75
<i>Alternativa 3</i>	75
Selección de la alternativa adecuada.....	75
Análisis del entorno de cargas.....	81
<i>Capacidad del prototipo de máquina clasificadora</i>	81
<i>Flujo másico de las papas</i>	81
<i>Masa de los cilindros giratorios</i>	81
<i>Cargas radiales sobre el eje</i>	82
Diseño del prototipo de máquina clasificadora de papas	86
<i>Diseño de los cilindros clasificadores</i>	86
<i>Momento de inercia de las masas</i>	88
<i>Momento de torsión</i>	93
<i>Potencia mínima del motor</i>	93
<i>Par aplicado real</i>	94
<i>Diseño del eje</i>	94
<i>Selección de rodamientos</i>	107
<i>Diseño de la transmisión por cadena</i>	110

<i>Diseño de la bandeja de alimentación</i>	120
Selección de componentes eléctricos	122
<i>Motorreductor</i>	122
<i>Interruptor termomagnético</i>	123
<i>Relé térmico</i>	123
<i>Contactador</i>	124
<i>Conductor eléctrico</i>	125
<i>Pulsadores de arranque y paro</i>	126
<i>Luces piloto</i>	126
<i>Diagrama eléctrico</i>	127
Diseño 3D del prototipo de máquina clasificadora	129
Construcción del prototipo de máquina clasificadora	132
Capítulo IV: Resultados de la investigación	139
Pruebas de funcionamiento mediante software especializado	139
<i>Validación del prototipo de máquina clasificadora de papas</i>	143
<i>Protocolo de pruebas del prototipo de máquina clasificadora</i>	146
<i>Formato del protocolo de pruebas</i>	147
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	148
Conclusiones	148
Recomendaciones	150
Bibliografía	151
Anexos	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Condiciones agroecológicas</i>	36
Tabla 2 <i>Zonas de producción de papa en el Ecuador</i>	38
Tabla 3 <i>Parámetros de clasificación de las papas</i>	39
Tabla 4 <i>Tipos de uniones</i>	45
Tabla 5 <i>Sistemas de transmisión de potencia</i>	50
Tabla 6 <i>Superficie y producción de la papa</i>	57
Tabla 7 <i>Voz del ingeniero</i>	64
Tabla 8 <i>Especificaciones de las diferentes máquinas clasificadoras por tamaño</i>	65
Tabla 9 <i>Requerimientos del usuario</i>	67
Tabla 10 <i>Requerimientos funcionales</i>	68
Tabla 11 <i>Especificaciones técnicas para el diseño del prototipo de máquina</i>	70
Tabla 12 <i>Subfunciones y elementos que conforman una máquina clasificadora</i>	73
Tabla 13 <i>Matriz morfológica del prototipo de máquina clasificadora</i>	74
Tabla 14 <i>Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados</i>	76
Tabla 15 <i>Evaluación de las soluciones con respecto al tipo de clasificador</i>	77
Tabla 16 <i>Evaluación de las soluciones con respecto a la geometría de la máquina</i>	77
Tabla 17 <i>Evaluación de las soluciones con respecto al panel de control</i>	77
Tabla 18 <i>Evaluación de las soluciones con respecto a la capacidad de la máquina</i>	77
Tabla 19 <i>Evaluación de las soluciones con respecto al tipo de material</i>	78
Tabla 20 <i>Evaluación de las soluciones con respecto a la velocidad del proceso</i>	78
Tabla 21 <i>Evaluación de las soluciones con respecto a los ajustes y tolerancias</i>	78
Tabla 22 <i>Evaluación de las soluciones con respecto al diseño de una máquina móvil</i>	78
Tabla 23 <i>Evaluación de las soluciones con respecto a la complejidad del mecanismo</i>	79
Tabla 24 <i>Evaluación total y selección de la solución</i>	79
Tabla 25 <i>Dimensiones de los cilindros clasificadores</i>	87

Tabla 26 <i>Duración recomendada para rodamientos</i>	108
Tabla 27 <i>Tipo de carga y Factor de servicio</i>	111
Tabla 28 <i>Características del motorreductor</i>	122
Tabla 29 <i>Características del interruptor termomagnético</i>	123
Tabla 30 <i>Características del relé térmico</i>	124
Tabla 31 <i>Características del contactor</i>	124
Tabla 32 <i>Amperaje que soportan los cables de cobre</i>	125
Tabla 33 <i>Características de los pulsadores</i>	126
Tabla 34 <i>Características de las luces piloto</i>	126
Tabla 35 <i>Parámetros del protocolo de pruebas</i>	145
Tabla 36 <i>Protocolo de pruebas</i>	146
Tabla 37 <i>Formato del protocolo de pruebas</i>	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ingeniería concurrente</i>	29
Figura 2 <i>Despliegue de la función de calidad (QFD)</i>	30
Figura 3 <i>Innovación tecnológica en los procesos de producción agrícola</i>	32
Figura 4 <i>Morfología de la planta de papa</i>	33
Figura 5 <i>Variedades nativas</i>	34
Figura 6 <i>Variedades mejoradas</i>	35
Figura 7 <i>Producción de papa en el Ecuador</i>	37
Figura 8 <i>Clasificación manual de las papas</i>	40
Figura 9 <i>Clasificación mecanizada de las papas</i>	41
Figura 10 <i>Clasificación automatizada de las papas</i>	41
Figura 11 <i>Máquina automática de clasificación de papas</i>	42
Figura 12 <i>Tambor giratorio para clasificación de acuerdo al tamaño</i>	43
Figura 13 <i>Clasificador por rodillos</i>	43
Figura 14 <i>Tubos estructurales</i>	44
Figura 15 <i>Eje de transmisión</i>	46
Figura 16 <i>Esquema de un eje de transmisión de potencia</i>	47
Figura 17 <i>Componentes de un rodamiento</i>	48
Figura 18 <i>Chumaceras</i>	49
Figura 19 <i>Motorreductor</i>	52
Figura 20 <i>Participación en la superficie total sembrada</i>	57
Figura 21 <i>Producción de la papa en Cotopaxi</i>	58
Figura 22 <i>Formas de clasificación de las papas</i>	61
Figura 23 <i>Requerimientos del usuario</i>	62
Figura 24 <i>Casa de la calidad</i>	66
Figura 25 <i>Diagrama funcional del prototipo de máquina clasificadora</i>	71

Figura 26 Diagrama de subfunciones del prototipo de máquina clasificadora	72
Figura 27 Flujograma general del procedo de la alternativa seleccionada.....	80
Figura 28 Subsistemas del proceso	80
Figura 29 Diagrama de cuerpo libre de la carga en el eje	83
Figura 30 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector	85
Figura 31 Dimensiones de la lámina de acero galvanizado.....	87
Figura 32 Geometría de los cilindros clasificadores	88
Figura 33 Momento de inercia de un arco hueco.....	88
Figura 34 Momento de inercia de un eje	89
Figura 35 Momento de inercia de una esfera	90
Figura 36 Diagrama del sistema de transmisión por ruedas de fricción.....	95
Figura 37 Sistema de transmisión de potencia.....	96
Figura 38 Diagrama de cuerpo libre en el eje.....	97
Figura 39 Factores de superficie para el acero.....	98
Figura 40 Factor de tamaño de piezas de acero	99
Figura 41 Variación del factor de tamaño con respecto al diámetro equivalente	100
Figura 42 Factor de confiabilidad	100
Figura 43 Factor de temperatura.....	101
Figura 44 Factor de carga	102
Figura 45 Factor de concentración de esfuerzos de una barra circular con entalle <i>circunferencial sometida a flexión</i>	104
Figura 46 Barra circular con entalle circunferencial sometido a torsión	106
Figura 47 Gráfico para la selección de cadenas Norma DIN 8187	112
Figura 48 Parámetros de una cadena de rodillos simple	113
Figura 49 Dimensiones de una cadena de rodillos simple DIN 8187.....	113
Figura 50 Tabla de capacidad de una cadena estándar sencilla de rodillos con paso 3/8 in ..	114

Figura 51 <i>Transmisión de movimiento por cadena</i>	116
Figura 52 <i>Dimensiones del piñón y corona</i>	117
Figura 53 <i>Longitud de la cadena</i>	118
Figura 54 <i>Bandeja de ingreso del producto</i>	121
Figura 55 <i>Diagrama de potencia y control</i>	127
Figura 56 <i>Funcionamiento de los circuitos de potencia y control</i>	128
Figura 57 <i>Modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora</i>	129
Figura 58 <i>Vista frontal del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora</i>	130
Figura 59 <i>Vista lateral del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora</i>	131
Figura 60 <i>Vista isométrica del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora</i>	131
Figura 61 <i>Perfiles cuadrados de acero galvanizado</i>	133
Figura 62 <i>Unión y pulido de los perfiles estructurales</i>	133
Figura 63 <i>Sistema estructural terminado</i>	134
Figura 64 <i>Corte CNC por plasma de los agujeros según el nivel de clasificación</i>	134
Figura 65 <i>Formación de los cilindros clasificadores</i>	135
Figura 66 <i>Ensamblaje de los componentes principales</i>	136
Figura 67 <i>Acabado superficial de los cilindros clasificadores</i>	136
Figura 68 <i>Ensamble de los cilindros clasificadores</i>	137
Figura 69 <i>Sistema de transmisión</i>	138
Figura 70 <i>Presentación final del prototipo de máquina clasificadora</i>	138
Figura 71 <i>Creación de la partícula de estudio</i>	139
Figura 72 <i>Modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora en Altair EDEM</i>	140
Figura 73 <i>Estudio de movimiento de los cilindros clasificadores</i>	140
Figura 74 <i>Parámetros técnicos de clasificación</i>	141
Figura 75 <i>Simulación de la clasificación de las papas de acuerdo al tamaño</i>	141
Figura 76 <i>Diagrama del número de partículas clasificado vs tiempo</i>	142

Figura 77 *Pruebas de funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora de papas*.....144

Figura 78 *Validación del prototipo de máquina clasificadora de papas*.....144

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Longitud de una circunferencia</i>	86
Ecuación 2 <i>Momento de inercia de un arco hueco</i>	89
Ecuación 3 <i>Momento de inercia de un eje</i>	90
Ecuación 4 <i>Momento de inercia de una esfera</i>	91
Ecuación 5 <i>Aceleración angular</i>	92
Ecuación 6 <i>Torque</i>	93
Ecuación 7 <i>Potencia de un motor</i>	93
Ecuación 8 <i>Relación ente torque y diámetro</i>	96
Ecuación 9 <i>Límite Real de Fatiga</i>	98
Ecuación 10 <i>Factor de tamaño</i>	99
Ecuación 11 <i>Límite de fatiga en aceros</i>	102
Ecuación 12 <i>Esfuerzo máximo en una barra circular con entalle circunferencial sometida a flexión</i>	103
Ecuación 13 <i>Momento de inercia de una barra circular con entalle</i>	104
Ecuación 14 <i>Esfuerzo máximo de una barra circular con entalle circunferencial sometido a torsión</i>	105
Ecuación 15 <i>Momento de inercia de una barra circular con entalle</i>	106
Ecuación 16 <i>Coficiente de seguridad, criterio de Goodman modificado</i>	107
Ecuación 17 <i>Capacidad de carga dinámica</i>	108
Ecuación 18 <i>Duración del rodamiento en revoluciones</i>	108
Ecuación 19 <i>Potencia de diseño</i>	110
Ecuación 20 <i>Relación de transmisión piñón – corona</i>	115
Ecuación 21 <i>Número de eslabones</i>	117
Ecuación 22 <i>Longitud de la cadena</i>	119
Ecuación 23 <i>Corrección de la distancia entre centros</i>	119

Ecuación 24 <i>Volumen</i>	120
Ecuación 25 <i>Peso</i>	121
Ecuación 26 <i>Corriente máxima admisible</i>	123
Ecuación 27 <i>Corriente de trabajo</i>	125

Resumen

En el sector agrícola, se presenta la necesidad de implementar máquinas industriales que faciliten la producción de los diferentes productos alimenticios, por tal motivo, en el centro de acopio “Santa Lucía” se presenta la necesidad de implementar un prototipo de máquina clasificadora de papas de acuerdo a su tamaño, con la finalidad de aumentar la cantidad de unidades clasificadas en un menor tiempo, para ello primero se realizará una investigación de los diferentes modelos de máquinas existentes en el mercado, que permitan la clasificación de acuerdo al tamaño del producto, para seleccionar un modelo que cumpla los requerimientos establecidos por el productor. Se realizará el diseño mecánico del prototipo de máquina clasificadora a través del diseño asistido por computadora (CAD), que permite la elaboración, la modificación, el análisis y la optimización del modelo 3D, con la finalidad de que el prototipo de máquina clasificadora presente una alta resistencia y durabilidad. Se realizará el diseño eléctrico, que permita la puesta en marcha del motorreductor, mediante la implementación de diagramas de control y de fuerza, permitiendo ejercer el movimiento de los diferentes mecanismos del prototipo de máquina clasificadora, controlando el inicio y parada del mismo. Se realizará la construcción del prototipo de máquina clasificadora de papas de acuerdo con su tamaño para su validación respectiva, una vez haya sido sometido a las diferentes pruebas de funcionamiento y de esfuerzo mecánico.

Palabras clave: ingeniería concurrente. diseño mecánico, máquina clasificadora, estructura metálica.

Abstract

In the agricultural sector, there is a need to implement industrial machines that facilitate the production of different food products, for this reason, in the "Santa Lucía" collection center there is a need to implement a prototype of a potato sorting machine. according to their size, with the purpose of increasing the number of units classified in a shorter time, to do this, first an investigation will be carried out of the different models of machines existing on the market, which allow classification according to the size of the product, to select a model that meets the requirements established by the producer. The mechanical design of the sorting machine prototype will be carried out through computer-aided design (CAD), which allows the elaboration, modification, analysis and optimization of the 3D model, with the aim that the sorting machine prototype presents a high resistance and durability. The electrical design will be carried out, allowing the start-up of the geared motor, through the implementation of control and force diagrams, allowing the movement of the different mechanisms of the sorting machine prototype, controlling its start and stop. The construction of the prototype potato sorting machine will be carried out according to its size for its respective validation, once it has been subjected to the different performance and mechanical stress tests.

Keywords: concurrent engineering. mechanical design, sorting machine, metal structure.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Planteamiento del problema

En el mundo, el adelanto tecnológico y la innovación en lo concerniente a la agricultura debe aumentar de forma rigurosa, incluyendo en los diferentes países en vías de desarrollo, pues esto permitirá una reducción de la pobreza, además de satisfacer la demanda de alimentos y aumentar la productividad en el sector agrícola, debido a que se generan más y mejores empleos, permitiendo disminuir el tiempo en las diferentes etapas de producción agrícola (Chand, 2019).

En los mercados europeos existe una gran demanda de los diferentes productos agrícolas, en base a ello, se deben incorporar nuevos cambios tecnológicos, esto con la finalidad de que la oferta este acorde con la demanda para las exportaciones, a la vez que permitirá incrementar los niveles de producción (Jeres, 2018).

En el Ecuador, el uso de máquinas industriales en la producción agrícola, es muy bajo en comparación con otros países, esto se debe a que la exportación de maquinaria industrial implica un costo muy elevado para los productores, por tal motivo, dentro de las diferentes etapas de producción, los trabajos se realizan de forma manual, lo que implica la necesidad de contar con mayor personal y un aumento en los costos de producción (Alcalde & Bone, 2013).

En el centro de acopio “Santa Lucia”, existe la necesidad de mejorar la etapa de postcosecha, debido a que la clasificación de las papas se realiza de forma manual, por tal motivo se plantea el diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas de acuerdo a su tamaño, esto permitirá aumentar la cantidad de unidades clasificadas (papas) en un menor tiempo, para su posterior comercialización, por lo que la implementación del prototipo de máquina clasificadora resulta ser beneficiosa.

De la misma manera, con el diseño y construcción del prototipo de máquina clasificadora de papas de acuerdo a su tamaño, en un futuro se plantea promover la inserción de nueva tecnología que permita la industrialización del sector agrícola.

Antecedentes

Estas investigaciones implican el mejoramiento de las diferentes etapas de producción en el sector agrícola, centrándose específicamente en la etapa de postcosecha, que se encarga de clasificar el producto de acuerdo a su tamaño, color o peso para su posterior comercialización, pues se conoce que la clasificación de varios productos se lo realiza de forma manual, invirtiendo mucho tiempo y personal, los cuales pueden estar destinados a otras áreas, por tal motivo se procede al desarrollo de un prototipo de máquina clasificadora de papas en base a su tamaño, logrado así disminuir el tiempo de clasificación, reduciendo recursos económicos y personales que esto implica.

En la investigación realiza por Angos & Calvopiña (2013), manifiestan que el mejoramiento en la etapa de postcosecha es de gran importancia, esto se debe a que, si la clasificación se lo realiza de forma manual, este resulta ser muy ineficiente y laborioso, es por ello que se realiza el diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora en base al tamaño del producto (la papa).

De acuerdo con Jeres (2018), en su trabajo de investigación menciona que la labor en la etapa de postcosecha se lo realiza de forma manual, tendiendo a gastar demasiado tiempo en la clasificación, incluso menciona que los trabajadores pueden adquirir dolores musculares debido a esta actividad, de la misma manera menciona que la importación de maquinaria agrícola implica un gasto excesivo para los productores.

En el trabajo de investigación presentado por Tene & Villagrán (2017), indican que la clasificación de productos agrícolas de acuerdo al tamaño se lo puede realizar de diferentes

maneras: de forma manual, mecánica y automatizada, esta última presenta grandes ventajas con respecto a las anteriores, a su vez menciona que de acuerdo a la forma en la que se presente el producto agrícola, se logra una mayor o menor efectividad en la clasificación, en el caso de clasificar tamaños pequeños, presenta un 98% de efectividad y un 90% en los tamaños grandes.

Además, Alcalde & Bone (2013) establecen que, se deben tomar en cuenta diferentes características para el diseño de una máquina que permita la clasificación de productos en base al tamaño de forma correcta, siendo estos: la resistencia, la durabilidad, la facilidad de construcción, la ergonomía, el mantenimiento, el montaje y la simplicidad del mecanismo para satisfacer los requerimientos del productor.

Justificación e importancia

La automatización de los procesos productivos en el sector agrícola es de mucha importancia, debido a la demanda diaria existente en los consumidores nacionales y extranjeros, por lo que es necesario mejorar las diferentes etapas de producción en el sector agrícola, de tal manera que con la inserción de nueva tecnología e innovación, permitirá que los productores logren disminuir los costos y personal, pudiendo estos últimos estar destinados a otras etapas de la producción, de la misma manera, se evitaría que los trabajadores puedan tener problemas musculares, al realizar este procedimiento de forma automatizada.

Para el sector agrícola, es muy importante que todas las etapas que constituyen la producción de la papas sean eficientes, pues de no ser así, existe pérdida de recursos económicos, en base a ello se realiza el diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas de acuerdo a su tamaño, con la finalidad de aumentar la cantidad de unidades clasificadas (papas) en un menor tiempo, teniendo como objetivo seguir implementado máquinas industriales en la mayoría del sector agrícola, mejorando la producción y el ahorro de recursos económicos y personales.

El diseño y construcción del prototipo de máquina clasificadora, servirá como una base para futuros rediseños, según lo requerimientos de los productores, de la misma manera, será el inicio de la implementación de nuevas tecnologías en un futuro para el desarrollo agrícola del país.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, aplicable al centro de acopio “Santa Lucia” del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola.

Objetivos Específicos

- Realizar una investigación de las diferentes máquinas existentes en el mercado que permitan la clasificación de las papas en base a su tamaño, para seleccionar un modelo que cumpla con los requerimientos del productor.
- Realizar el diseño mecánico del prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, a través del diseño asistido por computadora (CAD).
- Realizar el diseño eléctrico para la operación del motor, mediante la implementación de diagramas de control y de fuerza.
- Construir el prototipo de maquina clasificadora de papas en base a su tamaño, para su validación respectiva, una vez haya sido sometido a las pruebas de funcionamiento y de esfuerzo mecánico.

Capítulo II

Marco teórico

Antecedentes investigativos

El trabajo de titulación denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ZARANDA CLASIFICADORA DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM)” (Jaramillo & Herrera, 2015) refiere al diseño y construcción de una zaranda que es capaz de clasificar las papas de acuerdo al tamaño, que cuenta con un sistema de transmisión por medio de poleas, transmitiendo su movimiento del motor a la zaranda a través de las mismas, de la misma manera se determina la potencia necesaria del motor para lograr la clasificación del producto, además se realizó el diseño estructural de un bastidor de soporte para la máquina clasificadora de papa en función de la resistencia a la cual está sometida.

En el trabajo de titulación denominado “DISEÑO DE MÁQUINA CLASIFICADORA DE PAPAS EN EL VALLE DE TAMBO” (Oporto, 2021) se presentan los diferentes procedimientos realizados en la elaboración de la máquina clasificadora de papas, logrando seleccionar a través de tres tamaños diferentes: grande, mediana y pequeña, la capacidad de la máquina es de 30 TN/h, además cuenta con una tolva de alimentación de las papas, el accionamiento se lo realiza por medio de un motor eléctrico con una transmisión por medio de poleas, finalmente, con la implementación de la máquina clasificadora se logró una disminución notable en el tiempo requerido de selección de acuerdo al tamaño y reducción de los costos de producción.

El trabajo de titulación denominado “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE PATATAS PARA LA SEMILLERA MIRANDA DE LA CIUDAD DE SAN PEDRO DE PELILEO” (Chicaiza, 2021) se enfocó en la evaluación de un modelo de máquina clasificadora de papas a través de software especializado mediante la utilización del método de elementos finitos (MEF), el sistema de transmisión se lo realizó por medio de bandas transportadoras, además se realizó pruebas de esfuerzo mecánico mediante la utilización de

software CAE, obteniendo análisis de deformaciones, esfuerzos, momentos en los miembros estructurales, teniendo como finalidad presentar una solución al problema de la clasificación de productos.

El trabajo de titulación denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CLASIFICADORA DE PAPAS (SOLANUM TUBEROSUM L)” (Martinez, 2021) pretende clasificar las papas en cuatro grupos diferentes: primera, segunda, tercera y cuarta de acuerdo con su tamaño, para ello, primero se realiza la determinación de las propiedades físicas del producto (papas), posteriormente se realiza el diseño mediante un análisis estructural de los diferentes elementos que conforman el sistema, este modelo cuenta con dos sistemas, uno de limpieza y otro de clasificación de la papas de acuerdo a su tamaño.

Fundamentación teórica

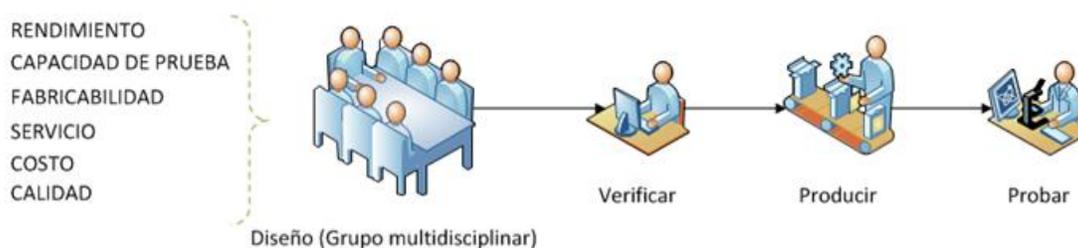
Ingeniería concurrente

Refiere a la integración de un grupo multidisciplinar que trabajan de forma conjunta para fabricar un producto de calidad, teniendo en cuenta el ciclo de vida del mismo, además de considerar el diseño conceptual hasta su disponibilidad en el mercado, incluyendo la calidad, el costo y la necesidad del usuario (Salazar, 2019).

La ingeniería concurrente se basa en cuatro fundamentos esenciales, el primero se basa en las diferentes etapas que recorre un producto, es decir a su ciclo de vida, el segundo se refiere a los diferentes modelos de diseño del producto, los cuales pueden ser el modelo del ciclo básico del diseño y el modelo de etapas, el tercero hace referencia a la arquitectura del producto y finalmente se considera el flujo de información en el proceso de diseño.

Figura 1

Ingeniería concurrente



Nota. La figura representa un esquema de la integración de un grupo multidisciplinar dedicados a la fabricación de un producto. Tomado de (Salazar, 2019).

Despliegue de la función de calidad (QFD)

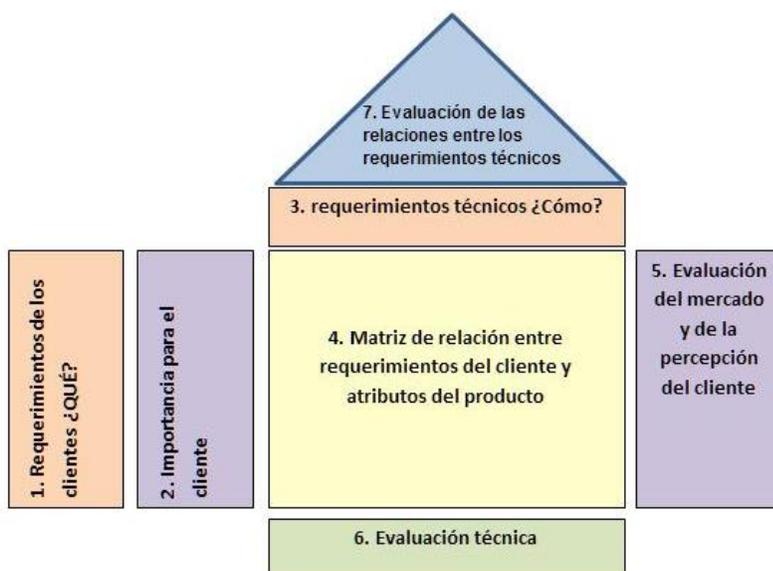
También denominado la casa de la calidad, es una metodología utilizada en la ingeniería para transformar las necesidades y deseos del cliente en requisitos de diseño del producto o servicio (Jimeno, 2012).

Mediante la aplicación de esta metodología, se puede conocer los verdaderos requerimientos y necesidades de los usuarios, permitiendo calcular de forma numérica las características que debe tener el producto, además que nos permite conocer las características innecesarias, que implicaría un costo elevado del mismo, permitiendo obtener grandes ventajas frente a la competencia.

De acuerdo con la figura 2, se puede visualizar el despliegue de la función de la calidad, donde se conocen las necesidades del usuario, así como la voz del ingeniero para la fabricación de un producto que cumpla con todos los requerimientos del usuario.

Figura 2

Despliegue de la función de calidad (QFD)



Nota. La figura representa la casa de la calidad, detallando las diferentes características que se toman en cuenta para fabricar un producto. Tomado de (Gómez, 2018).

Productividad

El término hace referencia al mejoramiento de los diferentes procesos de producción mediante la innovación tecnológica, esto implica la realización de un análisis entre los recursos que se utilizan y reciben, para producir una cierta cantidad de bienes o servicios (Carro & Gonzáles, 2018).

Los diferentes procesos o etapas que contempla la producción agrícola deben ser eficientes, esto con la finalidad de que el consumidor reciba un producto de calidad, además de satisfacer la demanda que requiere, es por ello, que la implementación de nuevas tecnologías en la producción agrícola es favorable.

La innovación tecnológica permite satisfacer las necesidades humanas básicas, impulsando la capacidad de cada nación, fortaleciendo su competitividad mundial y permitiendo la transición hacia la sostenibilidad (Saín & Ardila, 2015).

Mejoras en la productividad agrícola

Las mejoras en la productividad agrícola implican lograr una alta capacidad productiva, de tal manera que esta actividad tiene que satisfacer la necesidad de los mercados y comercializar en gran cantidad a nivel interno y externo. Una de las principales problemáticas en el sector agrícola es el aumento de gastos en cuanto a recursos, tiempo y dinero del agricultor, pero gracias a la implementación de la tecnología, esto ha ido cambiando en los últimos años.

Solucionar un problema en los productores implica no interferir en tiempo y forma, las actividades realizadas en el campo, lo que se debe lograr es incrementar el rendimiento sin causar algún daño en el medio ambiente. El crecimiento de la productividad agrícola permite lograr una disminución de los niveles de pobreza, además de mejorar la seguridad alimentaria.

Figura 3

Innovación tecnológica en los procesos de producción agrícola



Nota. La figura representa la innovación tecnológica en lo concerniente a la producción agrícola. Tomado de (Geosort, 2021).

La planta de papa y sus partes

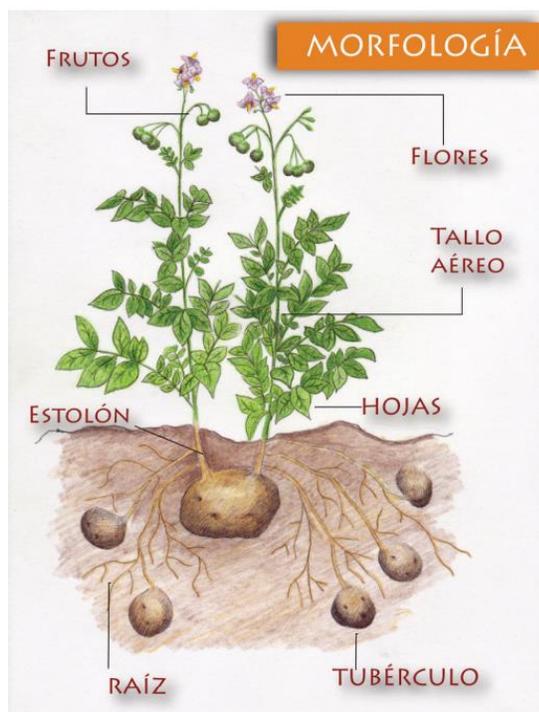
La papa o patata (*Solanum tuberosum*) es un producto agrícola comestible de origen andino, su función es almacenar nutrientes, siendo el tercer producto más consumido, después del arroz y trigo. Esta planta presenta una característica muy peculiar, ya que requiere de mucha humedad para su buen desarrollo, el ambiente de crecimiento que soporta la planta puede ser templado, pero cuando es excesivo y existe sequía, su desarrollo se detiene drásticamente (SIAP, 2006).

De acuerdo con el INIAP (2023) indica que existe una gran variedad de papas alrededor del mundo, dependiendo de su genética, de la forma en la que es cultivada y cuando su crecimiento se da de forma silvestre.

La planta de papa presenta tallos aéreos, donde se sostienen las hojas y las flores, y tallos subterráneos que sostienen los tubérculos. En la figura 4, se puede visualizar la morfología de la planta de papa, en el cual se puede distinguir las raíces, los tallos, las hojas, las flores, los frutos, los estolones y los tubérculos (INIAP, 2021).

Figura 4

Morfología de la planta de papa



Nota. La figura representa la morfología de la planta de papa y sus partes. Tomado de (INIAP, 2021).

Variedades de la papa

A lo largo del tiempo se ha ido mejorando el cultivo de la papa, por tal motivo existen dos variedades: las nativas y las mejoradas. Las de origen nativo resultan de la domesticación, la selectividad y la conservación ancestral, mientras que la variedad mejorada resulta de un mejoramiento en la genética de la misma (Torres et al., 2011).

La producción de la papa se da mayoritariamente en la Sierra, teniendo una mayor producción en la zona centro, seguidas de la zona norte y la zona sur, las variedades de las papas dependerán del lugar donde se realice la siembra, pues las condiciones climáticas varían de un lugar a otro.

Variedades nativas

Este tipo de variedad presenta formas exóticas y colores llamativos, además de poseer un buen sabor y textura, dependiendo de la zona de crecimiento soportan variaciones de temperatura y condiciones drásticas del clima, debido a su poca comercialización presentan un mejor valor en el mercado, además en el Ecuador se estima que existe alrededor de 350 variedades de este tipo (Torres et al., 2011).

Figura 5

Variedades nativas



Nota. La figura representa las variedades nativas de la papa. Tomado de (Cipotato, 2011).

Variedades mejoradas

Las variedades mejoradas, debido a su mejoramiento genético, presentan mejores características con respecto a las variedades nativas, pudiendo resistir a enfermedades, además de tener un alto rendimiento en la producción y buena calidad culinaria (Torres et al., 2011).

Figura 6*Variedades mejoradas*

Nota. El gráfico representa las diferentes variedades mejoradas de la papa. Tomado de (Cipotato, 2011).

Las condiciones agroecológicas como la altitud, la temperatura, los niveles de precipitación necesarios, el tipo de suelo y el pH que requieren la producción de la papa se detallan a continuación en la tabla 1:

Tabla 1*Condiciones agroecológicas*

Requerimientos climáticos y edáficos	
Altitud	2600 – 3600 msnm
Temperatura	Desarrollo: 15 – 20 °C Inicio tuberización: < 15 °C Tuberización: 14 – 20 °C
Precipitación	600 a 1500 mm por ciclo
Suelo	Francos, bien drenados, profundos (30 - 35 cm), con buen contenido de materia orgánica
pH	5 - 6

Nota. Se muestra las diferentes características climáticas en la producción de la papa. Tomado de (INIAP, 2014).

La producción de papa en el Ecuador

El cultivo de la papa en el Ecuador es una actividad de gran importancia, siendo uno de los principales productos agrícolas de mayor consumo, pues se estima que cada persona consume un promedio de 30 kilogramos de papas al año, además, existen cerca de 82 000 productores dedicados a esta actividad, distribuidos en 90 cantones, el total de la superficie que abarca los sembríos es de alrededor de 50 000 hectáreas, obteniendo una producción de 300 000 toneladas (Bayer, 2022).

De acuerdo con Bayer (2022) menciona que la mitad de los productores de papa son considerados pequeños, ya que las áreas de cultivo no superan las 2 hectáreas en promedio, esto representa apenas un 20% de la producción total, además, el consumo de este producto está dedicado en un 74% al consumo doméstico, el 9% al consumo industrial y el 17% es dedicado a la semilla.

Figura 7

Producción de papa en el Ecuador



Nota. Se muestra la cosecha de papas en el Ecuador. Tomado de (Sandra, 2023).

Zonas de producción de la papa

Existen tres zonas que mayor influencia tienen en el cultivo de la papa que corresponden a la sierra ecuatoriana, la zona norte, la zona centro y la zona sur, sin embargo, existen otros lugares que también se dedica al cultivo de la papa, pero en menor cantidad, esto debido a las condiciones climáticas y la localización geográfica que presentan estos lugares, correspondiendo a las provincias de Napo, Pastaza, el Oro y las regiones frías de Galápagos (Torres et al., 2011).

A continuación, en la tabla 2 se muestran las variedades de papas sembradas por zonas de cultivo:

Tabla 2*Zonas de producción de papa en el Ecuador*

Norte: provincias de Carchi e Imbabura
<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: entre 2800 y 3200 m.s.n.m. • Superficie Cultivada: 7 323 ha. • Producción: 217 522 t. • Rotación de cultivos: papa, papa – otros cultivos (trigo, maíz, cebada) • Riesgo: heladas.
Centro: provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar
<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: entre 2600 y 3600 m.s.n.m. • Superficie Cultivada: 13 079 ha. • Producción: 258 254 t. • Rotación de cultivos: papa – papa – cereales (cebada, trigo, maíz). • Riesgo: granizadas, sequía.
Sur: provincias de Azuay, Cañar y Loja
<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: entre 2700 y 3400 m.s.n.m. • Superficie Cultivada: 1 703 ha. • Producción: 41 878 t. • Rotación de cultivos: papa, papa – maíz (arveja, fréjol y pasto nativo). • Riesgo: sequía.

Nota. Se muestra las diferentes variedades de papas sembradas de acuerdo a la zona de cultivo. Tomado de (Cipotato, 2011).

Clasificación de las papas

Las papas se pueden clasificar de diversas maneras, ya sea de acuerdo a su peso o su tamaño, en la tabla 3, se presenta las denominaciones de las papas de acuerdo a su tamaño y peso (Torres et al., 2011):

Tabla 3*Parámetros de clasificación de las papas*

Denominación común	Denominación INIAP	Peso del tubérculo (g)	Diámetro mayor del tubérculo (cm)
Toda gruesa	Gruesa	Mayor a 90	Mayor a 8
Gruesa	Primera	60 a 90	7 a 8
Redroja	Segunda	40 a 60	6 a 7
Redrojilla	Tercera	20 a 40	5 a 6
Fina	Desecho	Menor a 20	Menor a 5

Nota. La tabla representa las características de clasificación de las papas de acuerdo al tamaño y peso. Tomado de (Torres et al., 2011).

La selección y clasificación de las papas, son parámetros muy importantes que se deben tomar en cuenta, para que las mismas puedan ser comercializadas, las mismas deben separarse en base a su tamaño, forma o uniformidad, ya que de esto depende el tipo de proceso que se utilice para su clasificación. La clasificación se puede realizar mediante procesos manuales, de forma mecánica y automatizada.

Procesos de clasificación de las papas

La clasificación de las papas se realiza por su tamaño y peso, en la gran mayoría se clasifica de forma manual, en donde los trabajadores van seleccionando visualmente el producto por su tamaño, otro método que utilizan algunos productores son máquinas manuales, en donde una persona es la encargada de generar el movimiento circular o vibratorio de la máquina, finalmente en grandes sectores se suele usar máquinas automáticas, el método de selección del producto depende de la cantidad de materia prima que se produce.

Clasificación manual

En este caso los productores realizan el proceso de clasificación de forma manual, en donde los trabajadores llevan el producto a almacenar en el centro de acopio, posteriormente proceden a la selección de forma manual, seleccionando visualmente por el tamaño y en algunos se seleccionan por su forma. En la figura 8, se visualiza este método de clasificación de papas por su tamaño de forma manual.

Figura 8

Clasificación manual de las papas



Nota. La figura representa la forma tradicional de la clasificación de las papas de acuerdo a su tamaño. Tomado de (INIA, 2022).

Clasificación mecanizada

En este caso los productores seleccionan las papas por medio de máquinas, las cuales pueden ser automáticas o semiautomáticas, en el caso de las máquinas semiautomáticas, operan sólo cuando una persona se encarga de generar el movimiento a la máquina, este movimiento puede ser rotatorio o vibratorio, clasificando el producto por medio de mallas que tienen un diámetro de acuerdo a la medida que se requiera, como se observa en la figura 9.

Figura 9*Clasificación mecanizada de las papas*

Nota. La figura representa la clasificación de forma mecanizada de las papas de acuerdo a su tamaño. Tomada de (Cifema, 2020).

Clasificación automatizada

En el caso de las máquinas automatizadas, sólo es necesario que los trabajadores coloquen el producto en la tolva de alimentación, posteriormente la máquina va clasificando de acuerdo a su tamaño, dirigiendo las papas a diferentes secciones para ser almacenadas en lonas, para su posterior comercialización.

Figura 10*Clasificación automatizada de las papas*

Nota. La figura representa la clasificación de forma automatizada de las papas de acuerdo a su tamaño. Tomado de (Fruitprocess, 2019).

Tipos de máquinas clasificadoras

Cilindro giratorio

Este tipo de máquina clasifica el producto por medio de cilindros giratorios como se observa en la figura 11, cada cilindro tiene en su alrededor agujeros de un diámetro específico de acuerdo al tamaño requerido, la cantidad de cilindros puede variar de acuerdo a cuantas clases del producto se requiera clasificar. La alimentación se hace a través de rodillos giratorios que dirigen el producto hacia los cilindros en donde el producto se almacena en un depósito de acuerdo a su tamaño.

Figura 11

Máquina automática de clasificación de papas



Nota. La figura representa un modelo de máquina clasificadora de papas por medio de cilindros giratorios en base a su tamaño. Tomado de (Henan, 2021).

Tambor giratorio

Este tipo de máquina selecciona el producto de acuerdo a su tamaño por medio de un tambor giratorio con forma de anillo, en su alrededor tiene una separación que permite que el producto se clasifique de acuerdo a su diámetro, como se observa en la figura 12, los productos se almacenan en cajones para su posterior recolección dependiendo el tamaño de los mismos.

Figura 12

Tambor giratorio para clasificación de acuerdo al tamaño



Nota. La figura representa un modelo de máquina clasificadora de papas por medio de un tambor giratorio en base a su tamaño. Tomado de (Fruitprocessing, 2021).

Rodillos

Este tipo de máquina clasifica el producto por medio de rodillos giratorios, de tal manera que el producto cae a los depósitos según la distancia existente entre los rodillos, luego se recolectan de acuerdo al depósito, la cantidad de depósitos puede variar de acuerdo a las clases del producto que se desee clasificar.

Figura 13

Clasificador por rodillos



Nota. La figura representa un modelo de máquina clasificadora de papas por medio de rodillos en base a su tamaño. Tomado de (Cnpukka, 2022).

Componentes y características de una máquina clasificadora de papas

Estructuras de acero

Para la construcción de máquinas industriales se utiliza tubos estructurales, los cuales pueden ser cuadrados, rectangulares o redondos, estos presentan una sección hueca a lo largo de la misma, su uso dependerá del tipo de aplicación a ser utilizado (Herramat, 2019).

Existen una gran variedad de tubos dependiendo de la función que vaya a cumplir, los cuales pueden ser utilizados para el mecanizado, para partes de máquinas , para la industria automotriz, etc., algunos de estos perfiles estructurales se visualizan en la siguiente figura.

Figura 14

Tubos estructurales



Nota. La figura representa diferentes tubos estructurales utilizados en la construcción de máquinas industriales. Tomado de (Herramat, 2019).

Técnicas de unión de metales

Estos procesos son utilizados para unir dos o más componentes metálicos, permitiendo construir diferentes formas geométricas, según la aplicación lo requiera, además, dependiendo del tipo de sujeción que se realice, la máquina o componente se podrá desmontar, esto debido a que las formas de sujeción pueden ser rígidas o desmontables (Some, 2019).

En la tabla 4, se puede visualizar las diferentes formas de unión de los metales y la clasificación dependiendo de su aplicación y la función que cumplan cada uno de los miembros estructurales de una máquina o soporte.

Tabla 4

Tipos de uniones

Tipos de uniones			
Rígidas	Fijas	Fijas	Pueden ser remachadas o roblonadas.
		Soldadas	Soldadura eléctrica manual Soldadura eléctrica automática Soldadura eléctrica por resistencia (fusión, presión, arco).
		Clavadas	Usado específicamente en madera.
	Desmontables	Atornilladas	Consiste en un vástago provisto de un paso de cuerda.
		Nacha vetadas	Usado en movimiento rotativo (ajuste, deslizante y perfilados)
		Con pasadores	De fijación, de seguridad
Móviles	Flexibles		Cintas transportadoras
	Giratorias		Correas de transmisión y poleas.
	Deslizantes		Ballestas o muelles.

Nota. La tabla representa las diferentes formas de unión de materiales. Tomado de (Capote, 2009).

Ejes

Son elementos giratorios que permiten transmitir potencia de un elemento a otro, esta potencia se la puede determinar cuándo se le aplica un determinado par que gira a una cierta velocidad. En su mayoría son de sección circular, se utilizan como soporte y eje de rotación de elementos como engranes, poleas, volantes. (Abasol et al., 2017).

Figura 15

Eje de transmisión



Nota. La figura representa ejes de transmisión que tienen un bajo contenido de carbono.

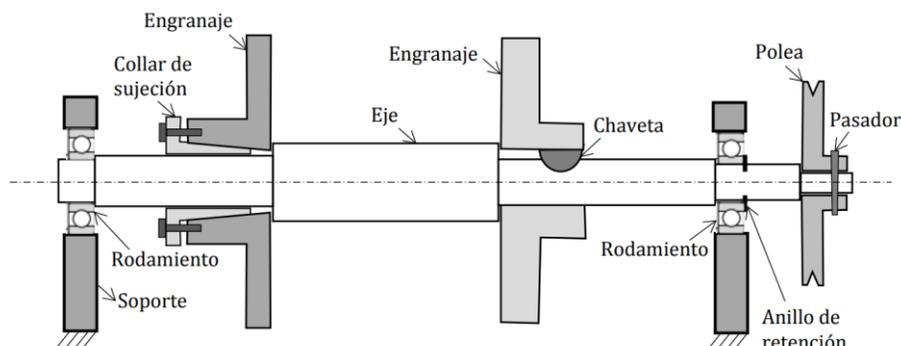
Tomado de (CGA, 2022).

Los ejes pueden estar formados por varios diámetros de forma escalonada como se visualiza en la figura 16, a su vez el eje está formado por chaveteros, ranuras para anillos de retención o agujeros para pasadores, esto con la finalidad de posicionar y fijar los diferentes elementos para la transmisión de potencia.

Hay que tener en cuenta que las diferentes perforaciones o ranuras que se realicen a lo largo del eje, son irregularidades que crean zonas de concentración de tensiones, para ello se deben minimizar en la medida de lo posible (Abasolo et al., 2017).

Figura 16

Esquema de un eje de transmisión de potencia



Nota. La figura representa un esquema simplificado de un montaje típico de un eje de transmisión de potencia. Tomado de (Abasolo et al., 2017).

Rodamientos

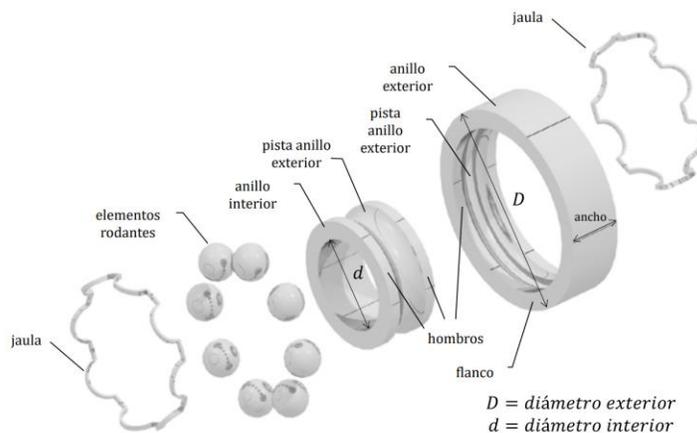
Son elementos que sirven de apoyo para la transmisión de potencia, además de guiar a componentes que giran entre sí. Existen diferentes tipos de rodamientos, los cuales pueden ser rodamientos de bolas o rodillos, estos a su vez pueden ser utilizados como rodamientos radiales o axiales en la transmisión de movimiento (NSK, 2023).

Los rodamientos de bolas son utilizados en aplicaciones que implican grandes velocidades en el giro del eje, mientras que los rodamientos de rodillos se utilizan en aplicaciones donde el rodamiento está sometido a cargas altas (Abasolo et al., 2017).

Para la selección de un rodamiento se utilizan catálogos de fabricantes, los cuales presentan diferentes características dependiendo de su aplicación. Los componentes de los cuales está formado un rodamiento se visualizan en la figura 15, entre los cuales se pueden destacar el anillo interior, el anillo exterior, los elementos rodantes y el separador.

Figura 17

Componentes de un rodamiento



Nota. La figura representa los diferentes componentes de un rodamiento. Tomado de (Abasolo et al., 2017).

Chumaceras

Estos componentes son rodamientos montados que brindan de apoyo o guía a los ejes para la transmisión de potencia, son fabricados en una estructura rígida de pieza única y de fácil fijación. Estos elementos permiten el manejo de cargas ligeras y pesadas (Serintu, 2022).

Existen diferentes tipos de chumaceras que dependerán de su aplicación, la chumacera tensora es utilizada en cintas de transporte, la chumacera de pared se caracteriza por estar instaladas fijas a las máquinas y las chumaceras de brida permiten la alineación de los ejes de manera vertical.

Figura 18

Chumaceras



Nota. La figura representa las diferentes chumaceras (rodamientos montados). Tomado de (BRR, 2022).

Sistemas de transmisión de potencia

Son utilizados para la transferencia de potencia de un punto a otro, teniendo como función principal mantener, aumentar o disminuir la velocidad dependiendo de la aplicación (Cpacific, 2021).

En la tabla que se muestra a continuación se presentan los diferentes tipos de transmisión de potencia, especificando sus ventajas y desventajas.

Tabla 5

Sistemas de transmisión de potencia

Sistema de Transmisión	Función	Ventajas	Desventajas
Por ruedas de fricción	Está compuesto por dos ruedas (cónicas, esféricas o cilíndricas) que se rozan tangencialmente entre sí, transmitiendo la potencia.	Se pueden instalar en ejes paralelos o que se cruzan.	Disminución de la velocidad. Mayor desgaste por el roce continuo. Pérdida de contacto entre las ruedas.
Por correa	Consta de una correa unida a dos poleas que transmite el movimiento a través del eje, pudiendo ser correas abiertas, cruzadas, semicruzada, correa con velocidad variable.	Mecanismo silencioso. Absorbe choques debido a la elasticidad. Acoplar y desacoplar con facilidad.	No soporta altas temperaturas. Se debe tener en cuenta la humedad, el polvo, la luz.
Por cadena	En su uso emplea el conjunto cadena –	No existe resbalamiento.	El sistema es más ruidoso. Más costoso.

Sistema de Transmisión	Función	Ventajas	Desventajas
	catarina que está unido al eje de transmisión.	Su peso es menor en distancias entre ejes medianas a altas.	Mantenimiento y montaje complicado.
Por engranaje	Transmite el movimiento por medio de dos ruedas dentadas	El movimiento se realiza sin deslizamiento. Mejor rendimiento. Permite transmitir potencias elevadas.	La fabricación es compleja. Costo elevado. Movimiento ruidoso.

Nota. La tabla representa las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de transmisión.

Tomado de (Cpacific, 2021).

Motorreductor

Es un mecanismo que permite la reducción de la velocidad de un motor, a la vez que su par de salida aumenta, es decir, este mecanismo está conformado por un reductor de velocidad y un motor (Roydisa, 2018).

En la figura 19, se puede visualizar un modelo de motorreductor, denominado como motorreductor angular, debido a que transmite en movimiento del motor en un ángulo de 90 grados.

Figura 19

Motorreductor



Nota. La figura representa un motorreductor angular. Tomado de (Serintu, 2022).

Dependiendo de la aplicación, se elegirá uno u otro tipo de motorreductor, ya que estos pueden realizar diferentes movimientos, como lineales, rotatorios, alternativos y oscilantes. Los de movimiento lineal son utilizados en cremalleras dentadas o levas, los de movimiento rotatorio se basan en el movimiento circular, los de movimiento alternativo se basan en sistemas de electrónica de control y los oscilantes funcionan con encoder o motores de paso a paso (CLR, 2020).

Para la selección de un motorreductor, se debe tener en cuenta diferentes requisitos técnicos que se detallan a continuación:

- Torque o par máximo a la salida (N.m)
- Velocidad (r.p.m.)
- Potencia (HP)
- Relación de reducción
- Rendimiento mecánico

Capítulo III

Diseño y construcción del prototipo de máquina clasificadora de papas

Análisis del entorno y la producción

Para el análisis del entorno y la producción de la papa, se realizó una encuesta dirigida hacia los representantes del centro de acopio “Santa Lucía” y a productores de la parroquia Antonio José Holguín, perteneciente al cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, el modelo de la encuesta realizada se detalla a continuación:

Formato de la encuesta

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CLASIFICADORA DE PAPAS POR SU TAMAÑO, APLICABLE AL CENTRO DE ACOPIO “SANTA LUCIA” DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, PARA IMPULSAR EL SECTOR AGRÍCOLA

Nombre:

Fecha:

Teléfono:

Encuesta

Por favor, siga las instrucciones detalladas a continuación:

- Esta encuesta es elaborada para fines educativos.
- Lea detenidamente antes de contestar las preguntas.

1) ¿Considera necesario realizar la clasificación de las papas?

Si

No

2) ¿Las papas se deberían clasificar de acuerdo al?

Tamaño

Color

Peso

3) ¿De qué forma usted realiza la clasificación de las papas?

Manual

Automatizada

Mecánica

4) ¿Al realizar la clasificación de papas de forma manual origina?

Cansancio

Pérdida de recursos económicos

Dolores musculares

Enfermedades

5) ¿Hasta qué tamaño usted clasifica las papas?

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Primera | <input type="checkbox"/> Cuarta |
| <input type="checkbox"/> Segunda | <input type="checkbox"/> Quinta |
| <input type="checkbox"/> Tercera | |

6) ¿Qué variedad de papa usted produce?

- | | |
|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Superchola | <input type="checkbox"/> Cecilia |
| <input type="checkbox"/> Suprema | <input type="checkbox"/> Esperanza |
| <input type="checkbox"/> Chaucha Colorada | |

7) ¿Con que frecuencia usted realiza la clasificación de las papas?

- | | |
|---------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Semanalmente | <input type="checkbox"/> Trimestralmente |
| <input type="checkbox"/> Mensualmente | <input type="checkbox"/> Semestralmente |

8) ¿Cuánto personal requiere para la clasificación de las papas?

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 persona | <input type="checkbox"/> 4 personas |
| <input type="checkbox"/> 2 personas | <input type="checkbox"/> 5 personas |
| <input type="checkbox"/> 3 personas | |

9) ¿Qué cantidad de dinero estaría dispuesto a invertir en caso de automatizar el proceso de clasificación de las papas?

- | |
|---|
| <input type="checkbox"/> \$ 500 - 1000 |
| <input type="checkbox"/> \$ 1000 - 1500 |
| <input type="checkbox"/> \$ 1500 - 2000 |

10) ¿Qué características considera que debe tener el prototipo de máquina clasificadora de papas?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Económico | <input type="checkbox"/> Clasificación rápida |
| <input type="checkbox"/> Bajo ruido | <input type="checkbox"/> Clasificación precisa |
| <input type="checkbox"/> Tamaño compacto | <input type="checkbox"/> No dañe el producto |
| <input type="checkbox"/> Bajo peso | <input type="checkbox"/> Fácil operación |
| <input type="checkbox"/> Fácil mantenimiento | <input type="checkbox"/> Transportable |

Recolección de datos

Los resultados obtenidos una vez realizada la encuesta a los representantes del centro de acopio “Santa Lucia” y a productores de la parroquia Antonio José Holguín, perteneciente al cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, indican que es indispensable la selección de las papas de acuerdo a su tamaño, ya que eso permite una mejor comercialización del producto, llegando a obtener un costo adecuado, además mencionan que la forma en la que se clasifica el producto se lo realiza de forma manual, esto implica que es necesario contar con diferente personal.

Los productores mencionan que debido a que la clasificación del producto se realiza de forma manual, origina que los trabajadores presenten cansancio y dolores musculares, esto a causa de que la cantidad de producto a clasificar es grande, lo que conlleva a la necesidad de contar con más personal, implicando una pérdida de recursos económicos, de la misma manera se considera que el producto debe ser clasificado en cuatro tamaños diferentes (primera, segunda, tercera y cuarta) dependiendo del tamaño de la misma.

Los productores indican que las variedades de papas que se produce en gran cantidad en la provincia de Cotopaxi es la superchola y la suprema, también se menciona que la clasificación de este producto se realiza en la gran mayoría semanalmente, requiriendo para esta actividad cerca de 5 personas o en algunos casos hasta más personal del planificado.

Finalmente, los resultados indican que las personas están dispuestas a invertir una cantidad de mil a mil quinientos dólares para la automatización de la etapa de clasificación de las papas en base a su tamaño, para el cual consideran necesario que se tomen en cuenta algunas características esenciales que debe presentar el prototipo de máquina clasificadora de papas en base a su tamaño, entre ellos se considera que debe ser económico, de bajo ruido, de un tamaño compacto, de bajo peso, de fácil mantenimiento, que realice una clasificación de forma rápida y que no dañe el producto.

Por la información brindada de los representantes del centro de acopio “Santa Lucia” y los productores de la parroquia Antonio José Holguín, se logró obtener información cualitativa y cuantitativa que permitió conocer las diferentes necesidades o requerimientos de los productores en la etapa de clasificación de las papas, permitiendo obtener un diseño óptimo y de calidad.

Análisis de factibilidad de implementación

Para el análisis de factibilidad de implementación del prototipo de máquina clasificadora de papas es necesario analizar diferentes aspectos que influyen directamente en el diseño y construcción de la misma.

Recursos económicos

De acuerdo a la información obtenida por medio de la encuesta dirigida a los representantes del centro de acopio “Santa Lucia” se logró determinar que el valor que estarían dispuestos a invertir en la construcción del prototipo de máquina clasificadora de papas está entre \$1000 y \$1500 dólares, de tal manera que tanto para el diseño como para la construcción se deben tener en cuenta varias consideraciones, como el tipo de material a utilizar, la complejidad del mecanismo, las dimensiones, etc.

Producción

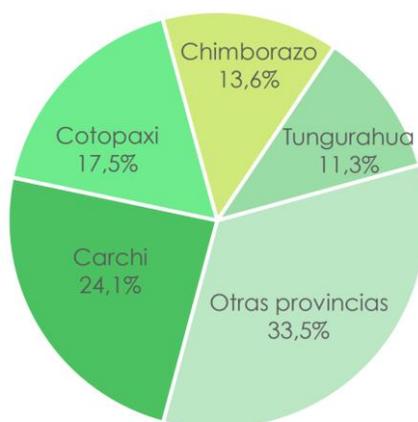
De acuerdo con el INEC (2023) y la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC 2022, nos presenta datos estadísticos referente a la superficie y producción de la papa en el Ecuador en los últimos tres años, esto se puede visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 6*Superficie y producción de la papa*

Año	Superficie (ha)		Producción (Tm)	Ventas (Tm)
	Plantada	Cosechada		
2020	25.926	24.884	408.341	374.030
2021	20.950	19.088	244.749	219.551
2022	19.390	17.926	251.433	232.513

Nota. La tabla representa la cantidad de superficie y producción anual de la papa a nivel nacional. Tomado de (INEC, 2023).

Mientras que en la figura 20, se puede visualizar la participación en la superficie total sembrada de la provincia de Cotopaxi, ocupando el segundo lugar, por encima de la provincia de Carchi, con un 17,5% y un 24,1% respectivamente.

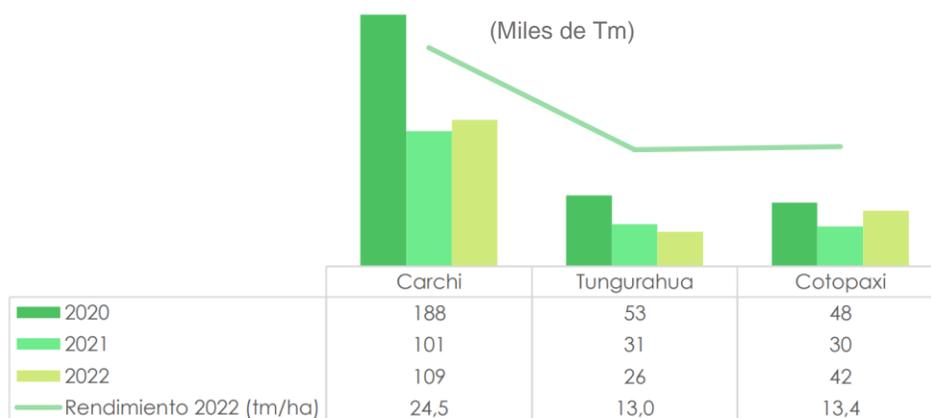
Figura 20*Participación en la superficie total sembrada*

Nota. La figura representa la cantidad de representación que tiene la provincia de Cotopaxi en torno a la superficie de producción de la papa. Tomado de (INEC, 2023).

En la figura 21, se visualiza la producción de la papa en las provincias de Carchi, Tungurahua y Cotopaxi, en los últimos tres años, además de visualizar el rendimiento de la producción que presenta cada una de estas zonas.

Figura 21

Producción de la papa en Cotopaxi



Nota. La figura representa las toneladas métricas de papas que se han producido en las tres provincias con mayor aportación. Tomado de (INEC, 2023).

De acuerdo a los datos estadísticos presentados anteriormente, se puede mencionar que la provincia de Cotopaxi tiene una gran representación en cuanto a la producción de la papa, misma que en años anteriores tuvo un decrecimiento, pero en la actualidad se nota un incremento de la misma, por lo que la implementación de nuevas tecnologías de industrialización permitirá a los agricultores mejorar los niveles de producción de la papa.

Mientras que en el centro de acopio “Santa Lucia” y los productores aledaños a la parroquia Antonio José Holguín presentan una superficie de sembrío de la papa de alrededor de 13 hectáreas, obteniendo una producción de alrededor de 169 toneladas, teniendo un rendimiento de 13 t/h, las mismas que son distribuidas en el mercado local.

Mercado

La papa es el tercer cultivo más importante en la Sierra ecuatoriana, después del arroz y el trigo, de acuerdo a datos estadísticos, se puede mencionar que la papa en años anteriores no ha logrado mantener su valor en el mercado, llegando a obtener costos elevados como bajos, en la variedad superchola el precio mayor ha llegado a ser de \$30 y su precio menor ha llegado a los \$6, sin embargo en lo que va del año 2023 el precio ha logrado estabilizarse en esta variedad, llegando a tener un valor de \$20 por un quintal de 45,5 kg en la clasificación primera, esto de acuerdo con los precios emitidos por los mercados mayoristas (EP-EMA, 2023).

Empleo

La cadena de producción de la papa concentra cerca de 80 mil pequeños agricultores distribuidos en 90 cantones, obteniendo una superficie sembrada de 25 mil hectáreas, produciendo cerca de 300 mil toneladas, además se considera que aproximadamente 250 mil familias dependen del cultivo de papa, esto debido a que el 50% de los agricultores han sido considerados pequeños, teniendo un promedio de 2 hectáreas de áreas cultivadas por productor, representando el 20% del área total de la siembra (Bayer, 2022).

Análisis de factibilidad

En base a la información presentada anteriormente, se considera que la implementación de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño es factible, esto debido a las grandes ventajas que proporcionaría a los diferentes productores, en especial al centro de acopio "Santa Lucía", promoviendo el desarrollo industrial dentro de la agricultura.

Teniendo en cuenta que la provincia de Cotopaxi representa el segundo lugar en la producción de la papa a nivel nacional, se considera necesario mejorar las distintas etapas que tiene la producción de la papa, una de las primeras etapas en mejorar es la etapa de poscosecha, esto debido a la necesidad de clasificar el producto de acuerdo a las exigencias

del mercado para su mejor comercialización, además se considera que con la implementación, la selección de la papa en base a su tamaño se realizará de forma precisa y en un menor tiempo, incluyendo el ahorro de recursos económicos.

Por otra parte, se considera que los trabajadores pueden estar destinados a otras áreas de producción de la papa, evitando que estén sometidos al desgaste muscular o cansancio excesivo, ya que al realizar esta actividad en grandes volúmenes de producto no resulta beneficioso, debido a que se requiere de más personal.

Despliegue de la función de calidad (QFD)

En este apartado se analizan los diferentes requerimientos del cliente (voz del usuario) y del diseñador (voz del ingeniero), para establecer las diferentes características o especificaciones que presente el prototipo de máquina clasificadora de papas, obteniendo de tal manera un diseño óptimo basado en las necesidades de usuario.

Con lo antes mencionado, se puede establecer los diferentes materiales, las dimensiones, la complejidad del mecanismo, la capacidad de clasificación requerida, etc., pues son la base para el desarrollo del diseño y posterior implementación.

Voz del usuario

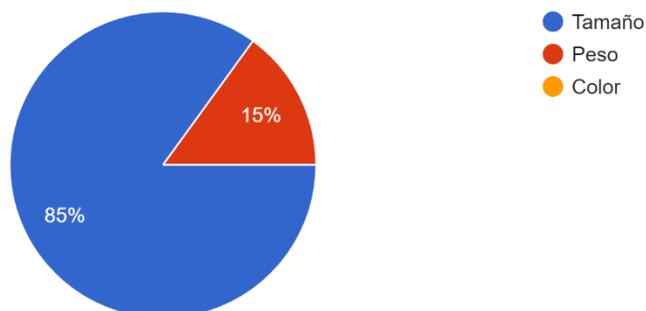
Son las necesidades y expectativas que el cliente espera que presente la implementación del prototipo de máquina clasificadora de papas. En base a la encuesta, destacando las preguntas dos y diez, en las cuales se enfoca el proyecto, se obtienen los siguientes resultados:

En la figura 22, se puede visualizar los resultados obtenidos en base a la pregunta dos de la encuesta realizada a 20 productores de la zona de estudio, siendo el enunciado el siguiente: ¿Las papas se deberían clasificar de acuerdo al?

Figura 22

Formas de clasificación de las papas

2. ¿Las papas se deberían clasificar de acuerdo al?
20 respuestas



Nota. La figura representa los resultados obtenidos referente a la forma de clasificación de las papas.

De acuerdo con los datos estadísticos, un 85% de las 20 personas encuestadas, correspondiente a 17 personas, consideran que la clasificación de las papas se debe realizar en base a su tamaño, mientras que el 15%, correspondiente a 3 personas, consideran que la clasificación se debe realizar en base a su peso.

De esta manera se considera necesario optar por un prototipo de máquina que facilite la clasificación de las papas en base al tamaño, ya que la mayoría de las personas encuestadas así lo consideran.

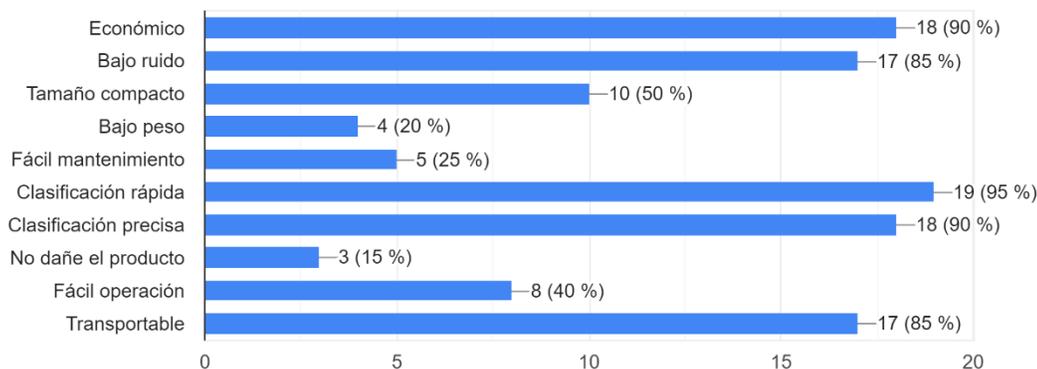
En la figura 23, se puede visualizar los resultados obtenidos en base a la pregunta diez de la encuesta realizada a 20 productores de la zona de estudio, siendo el enunciado el siguiente: ¿Qué características considera que debe tener el prototipo de máquina clasificadora de papas?

Figura 23

Requerimientos del usuario

10. ¿Qué características considera que debe tener el prototipo de máquina clasificadora de papas?

20 respuestas



Nota. La figura representa los resultados obtenidos referente a los requerimientos del usuario para el diseño del prototipo de máquina clasificadora de papas en base a su tamaño.

De acuerdo con los datos estadísticos, en primer lugar, un 95% del total de personas encuestadas, correspondiente a 19 personas, consideran que el prototipo debe clasificar el producto de forma rápida, en segundo lugar, un 90% del total de personas encuestadas, correspondiente a 18 personas, consideran que el prototipo debe ser económico y de clasificación precisa, en tercer lugar, un 85% del total de personas encuestadas, correspondiente a 17 personas, consideran que el prototipo debe ser de bajo ruido y transportable, en cuarto lugar, un 50% del total de personas encuestadas, correspondiente a 10 personas, consideran que el prototipo debe presentar un tamaño compacto, en quinto lugar, un 40% del total de personas encuestadas, correspondiente a 8 personas, consideran que el prototipo debe ser de fácil operación, en sexto lugar, un 25% del total de personas encuestadas, correspondiente a 5 personas, consideran que el prototipo debe ser de fácil mantenimiento, en séptimo lugar, un 20% del total de personas encuestadas, correspondiente a 4 personas, consideran que el prototipo debe ser de bajo peso, y finalmente, un 15% del total

de personas encuestadas, correspondiente a 3 personas, consideran que el prototipo no debe dañar el producto.

En base a los resultados anteriores, se describen los requerimientos que el usuario considera que debe presentar el prototipo de máquina clasificadora de papas, los cuales están descritos en orden de mayor importancia.

- Clasificación rápida
- Clasificación precisa
- Económico
- No dañe el producto
- Transportable
- Tamaño compacto
- Fácil operación
- Fácil mantenimiento
- Bajo peso
- Bajo ruido

Voz del ingeniero

En este apartado se presentan las diferentes características que considera el diseñador a tomar en cuenta, en base a los requerimientos presentados por el usuario, los cuales se detallan en la tabla 7.

Tabla 7*Voz del ingeniero*

Requerimientos del usuario	Voz del ingeniero
Clasificación rápida	Capacidad de la máquina
Clasificación precisa	Tipo de clasificador
Económico	Tipo de material
Bajo ruido	Ajustes y tolerancias
Transportable	Diseño de una máquina móvil
Tamaño compacto	Geometría de la máquina
Fácil operación	Panel de control
Fácil mantenimiento	Complejidad del mecanismo
Bajo peso	Densidad del material
No dañe el producto	Velocidad del proceso

Nota. La tabla representa las diferentes características que propone el diseñador en base a los requerimientos del usuario.

Competencia

En este apartado se analizan las diferentes características que presentan las máquinas clasificadoras de productos agrícolas en base al tamaño, disponibles en el mercado, de tal manera que permita realizar la selección de competencias, que son evaluados en un rango del 1 al 5, mismos que permitirán desarrollar el despliegue de la función de la calidad.

Tabla 8

Especificaciones de las diferentes máquinas clasificadoras por tamaño

Especificaciones	Modelo 1	Modelo 2
Esquema		
Tipo de clasificador	Por rodillos	Por cilindros giratorios
Modelo	FIPG-5000	TPP-GT5
Capacidad (t/h)	5	3
Niveles de clasificación	3-6	4-6
Dimensiones (mm)	7000*1600*1200	3900*1010*930
Potencia (kW)	2.2	1.1
Voltaje (V)	220 / 380 - 60 Hz	220 - 60 Hz
Material	acero inoxidable 304	acero inoxidable 304
Peso (kg)	560	500

Nota. La tabla representa las diferentes características técnicas que presentan dos modelos comerciales utilizados para la clasificación de productos agrícolas en base al tamaño. Tomado de (FstSort, 2019).

Casa de la calidad

Mediante el desarrollo de la casa de la calidad, se obtiene las especificaciones del prototipo de máquina clasificadora de papas en base al tamaño.

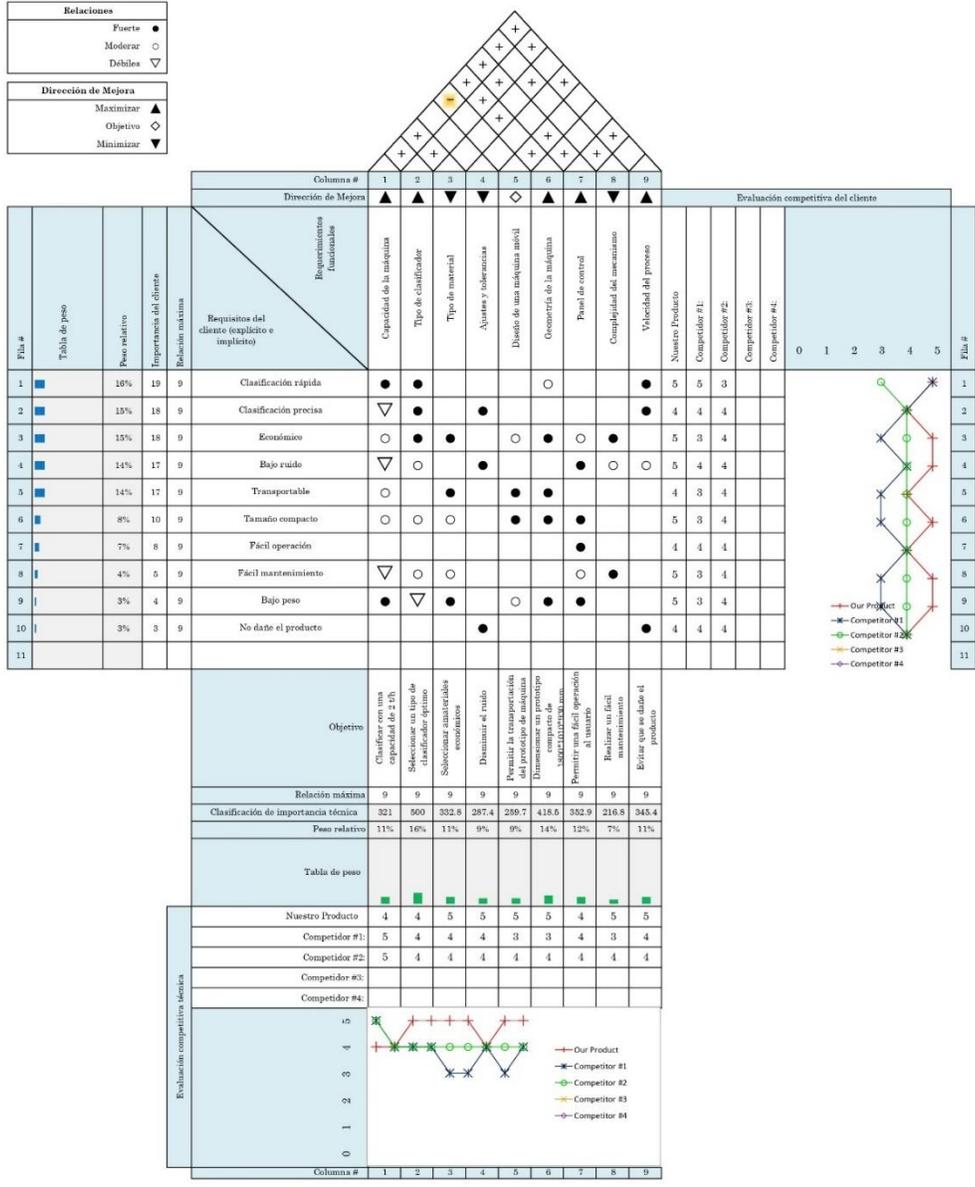
Figura 24

Casa de la calidad

QFD: Casa de la calidad

Proyecto: Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, aplicable al centro de acopio "Santa Lucía" del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, para impulsar el sector agrícola
 Revisión: Ing. Washington Rodrigo Fevra Llerena
 Fecha: 6/7/2023

Correlaciones	
Positivo	+
Negativo	-
Sin correlación	
Relaciones	
Fuerte	●
Moderar	○
Débiles	▽
Dirección de Mejora	
Maximizar	▲
Objetivo	◇
Minimizar	▼



Nota. La figura representa el desarrollo de la casa de la calidad, para obtener las especificaciones que debe cumplir el prototipo de máquina clasificadora.

Resultados de la casa de la calidad

Mediante el desarrollo de la casa de la calidad se pueden obtener valores cuantitativos, que representan el nivel de importancia de las características que el usuario requiere que presente el prototipo de máquina, según sus necesidades. Estos valores se pueden visualizar en la tabla 9.

Tabla 9

Requerimientos del usuario

Requerimientos del usuario	Peso relativo (%)
Clasificación rápida	16
Clasificación precisa	15
Económico	15
No dañe el producto	14
Transportable	14
Tamaño compacto	8
Fácil operación	7
Fácil mantenimiento	4
Bajo peso	3
Bajo ruido	3

Nota. La tabla representa los pesos relativos que presentan cada una de las características según el nivel de importancia de las personas encuestadas.

De la misma manera, el desarrollo de la casa de la calidad, permitió establecer los niveles de importancia en cuanto a los requerimientos funcionales, los cuales se pueden visualizar en la tabla 10.

Tabla 10*Requerimientos funcionales*

Requerimientos funcionales	Peso relativo (%)
Tipo de clasificador	16
Geometría de la máquina	14
Panel de control	12
Capacidad de la máquina	11
Tipo de material	11
Velocidad del proceso	11
Ajustes y tolerancias	9
Diseño de una máquina móvil	9
Complejidad del mecanismo	7

Nota. La tabla representa los pesos relativos referente a los requerimientos funcionales a tomar en cuenta, según el nivel de importancia.

Mediante los resultados del desarrollo de la casa de la calidad, se establecen las características de mayor relevancia a tomar en cuenta en el diseño del prototipo de máquina clasificadora de papas en base al tamaño, las cuales se detallan a continuación:

Tipo de clasificador. El mecanismo clasificador debe permitir realizar la clasificación del producto de forma óptima, rápida y precisa, debiendo considerar características como tener un tamaño compacto y permitir un mantenimiento fácil.

Geometría de la máquina. Dimensionar un prototipo compacto de 2500*800*830 mm, en base a esto, el diseño permitirá, que el prototipo de máquina presente un tamaño compacto, lo que conlleva una disminución en el peso, y por ende permitirá que sea transportable, finalmente, permitirá una reducción de los costos de los diferentes componentes.

Panel de control. Debe permitir una fácil operación de los usuarios, teniendo en cuenta que la selección debe ser en base a características como su precio, su bajo ruido, ser compacto y de bajo peso.

Capacidad de la máquina. Se establece una capacidad de clasificación de 3 t/h, debiendo tener en cuenta que, de acuerdo con la capacidad, permitirá una clasificación mucho más rápida del producto, de esto dependerá los costos de los diferentes componentes, además de influir en el peso del prototipo de máquina.

Tipo de material. Seleccionar adecuadamente los diferentes materiales a ocupar en el prototipo de máquina (baja densidad), debido a que permitirá disminuir costos, disminuir el peso en general, lo que conllevaría que el prototipo sea transportable.

Velocidad del proceso. Es necesario tener en cuenta esta característica, debido a que permitirá que la clasificación se realice de forma precisa, además de permitir que emita el menor ruido posible y no debe dañar el producto.

Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas del prototipo de máquina clasificadora de papas en base al tamaño, establecen si los requerimientos propuestos por el cliente (C) o Ingeniero (I), son deseos (D) o requerimientos (R). De esta manera se obtienen las especificaciones técnicas, que son utilizadas para el posterior diseño del prototipo.

Tabla 11

Especificaciones técnicas para el diseño del prototipo de máquina

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L		Producto: Diseño y construcción de un prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño		
Especificaciones del producto				
Concepto	Propone	R/D	Descripción	
Función	C+I	R	Realizar la clasificación del producto en base a 4 tamaños diferentes.	
	C	D	El mecanismo clasificador debe ser tener el ruido mínimo posible.	
	I	R	Dirigir el producto clasificado por diferentes salidas, para su posterior empaque.	
	C+I	R	La clasificación del producto debe ser cuidadosa, para evitar daños	
Tamaño	I	D	El prototipo de máquina clasificadora debe presentar un tamaño compacto de 2000*900*830 mm.	
Capacidad	C	R	La capacidad del prototipo de máquina clasificadora debe ser de 2 t/h.	
Materiales	I	R	Fabricación en acero inoxidable y componentes disponibles en el mercado local.	
Potencia	I	R	El prototipo de máquina clasificadora debe tener una potencia de 1 kW.	
Mantenimiento	I	R	El prototipo de máquina clasificadora debe contener componentes de fácil accesibilidad.	
Seguridad	C+I	R	El accionamiento y el mecanismo deben estar protegidos por cubiertas para evitar el contacto con el usuario.	
Costos	I	D	Ahorro energético.	
	C+I	R	Costo de fabricación de \$1200.	

Análisis funcional

El análisis funcional permite establecer la funcionalidad del prototipo de maquina clasificadora de papas, para ello se requiere considerar las siguientes variables:

- Materia: papas
- Energía: eléctrica
- Señal: Puesta en marcha por el operario

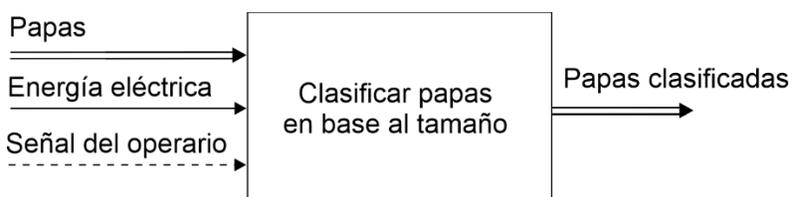
Obteniendo como resultado lo siguiente:

- Materia: papas clasificadas en base al tamaño

En la figura 25, se puede visualizar las variables de entrada y salida, que han sido consideradas anteriormente, esta representación es conocida como una caja negra de nivel cero.

Figura 25

Diagrama funcional del prototipo de máquina clasificadora



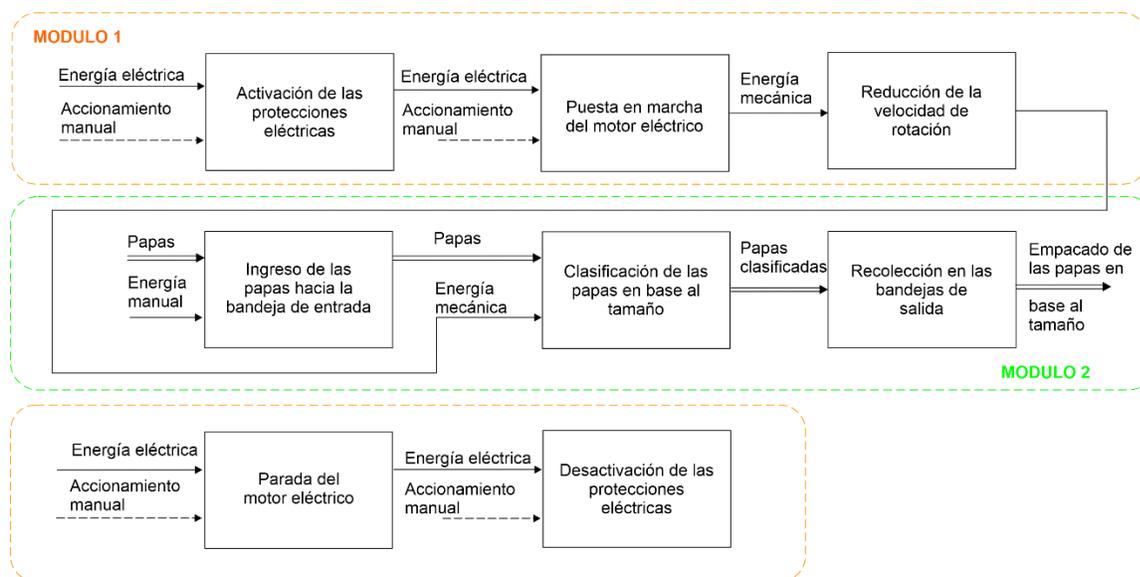
Nota. La figura representa el diagrama funcional (materia, energía y señal) del prototipo de máquina clasificadora.

La función principal del prototipo de máquina clasificadora está compuesta por dos subfunciones, que a su vez contienen diferentes bloques que especifican los diferentes procedimientos o tareas a realizar, se establecen una subfunción en un módulo 1 que hace referencia a la parte eléctrica y otra subfunción en un módulo 2 que hace referencia a la parte

mecánica. En la figura 26 se puede visualizar el diagrama de las subfunciones del prototipo de máquina clasificadora de papas en base al tamaño.

Figura 26

Diagrama de subfunciones del prototipo de máquina clasificadora



Nota. La figura representa las subfunciones y los diferentes procesos que se ejecutan en base al requerimiento de clasificación de las papas en base al tamaño.

Matriz morfológica

Permite realizar una selección adecuada de los diferentes componentes o elementos que conformarían el prototipo de máquina clasificadora de papas, para ello, en base a las subfunciones del prototipo de la máquina clasificadora de papas, que fueron descritas con anterioridad, primero se realiza un análisis de los diferentes componentes que cumplen con dichas funciones para posteriormente seleccionar los elementos adecuados, los cuales se detallan en la tabla que se visualiza a continuación:

Tabla 12

Subfunciones y elementos que conforman una máquina clasificadora

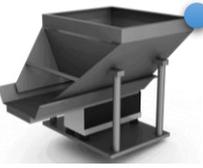
Subfunciones	Elementos
Protecciones eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Fusibles • Interruptor termomagnético • Guardamotor eléctrico
Puesta en marcha/parada del motor eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Interruptores • Pulsadores • Selectores
Transformación de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Motor eléctrico
Reducción de la velocidad de rotación	<ul style="list-style-type: none"> • Caja reductora • Mecanismo cadena – catalina • Mecanismo polea – banda
Ingreso de las papas hacia un receptáculo	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja • Tolva • Transportador de rodillos
Clasificación de las papas en base al tamaño	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificador por rodillos • Clasificador por tambor giratorio • Clasificador por cilindros giratorios
Recolección de las papas en un receptáculo	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja inclinada

Nota. La tabla representa las subfunciones y los diferentes elementos que conformarían el prototipo de máquina clasificadora de papas en base al tamaño.

Construcción de la matriz morfológica

En la tabla 13, se realiza la construcción de la matriz morfológica.

Tabla 13*Matriz morfológica del prototipo de máquina clasificadora*

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Puesta en marcha del motor eléctrico			
Transformación de energía			
Transmisión de movimiento			
Ingreso de las papas hacia un receptáculo			
Clasificación de las papas en base al tamaño			
Recolección de las papas en un receptáculo			
Parada del motor eléctrico			
Solución	1	2	3

Planteamiento de las alternativas de solución

De acuerdo con la matriz morfológica descrita anteriormente, se procede a describir las características que presentan cada una de las soluciones.

Alternativa 1

Está compuesto por un interruptor de encendido, un motorreductor, una transmisión por medio de engranajes, una bandeja de ingreso del producto por medio de rodillos transportadores, la clasificación se realiza por medio de varios rodillos, dirigiendo el producto clasificado hacia bandejas de recolección y el apagado se realiza por medio de un interruptor.

Alternativa 2

Está compuesto por un pulsador de encendido, un motorreductor, un mecanismo de banda-polea para la transmisión, una tolva de ingreso del producto, además, la clasificación se realiza por medio de diferentes cilindros giratorios, recolectando el producto en bandejas de salida, el apagado se realiza por medio de un pulsador.

Alternativa 3

Está compuesto por un selector de dos posiciones para el encendido o apagado un motorreductor, un mecanismo de piñón-cadena para la transmisión de potencia, una bandeja de ingreso del producto, la clasificación se realiza por medio de un tambor giratorio y la recolección se realiza por medio de bandejas de salida.

Selección de la alternativa adecuada

Para la selección de la alternativa adecuada, se realiza una evaluación de cada una de las soluciones, considerando las especificaciones obtenidas en el desarrollo de la casa de la calidad. Un método utilizado para evaluar los aspectos más importantes en el diseño de productos es denominado el "Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados", permitiendo la selección de un modelo existente que presente mejores características.

Tabla 14

Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados

	Tipo de clasificador	Geometría de la máquina	Panel de control	Capacidad de la máquina	Tipo de material	Velocidad del proceso	Ajustes y tolerancias	Diseño de una máquina móvil	Complejidad del mecanismo	$\sum +1$	Ponderación
Tipo de clasificador		1	1	1	1	0.5	1	0	0	6.5	0.1529
Geometría de la máquina	0		1	1	1	1	1	0.5	1	7.5	0.1765
Panel de control	0	0		1	1	1	0.5	0	0	4.5	0.1059
Capacidad de la máquina	0	0	0		0.5	1	1	0	0.5	4	0.0941
Tipo de material	0	0	0	0.5		1	1	0.5	1	5	0.1176
Velocidad del proceso	0.5	0	0	0	0		1	0	1	3	0.0706
Ajustes y tolerancias	0	0	0.5	0	0	0		0	1	2.5	0.0588
Diseño de una máquina móvil	1	0.5	1	1	0.5	1	1		1	7	0.1647
Complejidad del mecanismo	1	0	1	0.5	0	0	0	0		2.5	0.0588
									Suma	42.5	1

Tabla 15*Evaluación de las soluciones con respecto al tipo de clasificador*

Tipo de clasificador	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	1	0	2	0.333333333
Solución 2	0	--	1	2	0.333333333
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 16*Evaluación de las soluciones con respecto a la geometría de la máquina*

Geometría de la máquina	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	1	0	2	0.333333333
Solución 2	0	--	1	2	0.333333333
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 17*Evaluación de las soluciones con respecto al panel de control*

Panel de control	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	0.5	0	1.5	0.25
Solución 2	0.5	--	1	2.5	0.416666667
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 18*Evaluación de las soluciones con respecto a la capacidad de la máquina*

Capacidad de la máquina	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	0.5	1	2.5	0.416666667
Solución 2	0.5	--	1	2.5	0.416666667
Solución 3	0	0	--	1	0.166666667
			Suma	6	1

Tabla 19*Evaluación de las soluciones con respecto al tipo de material*

Tipo de material	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	0.5	0	1.5	0.25
Solución 2	0.5	--	1	2.5	0.416666667
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 20*Evaluación de las soluciones con respecto a la velocidad del proceso*

Velocidad del proceso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	0.5	0	1.5	0.25
Solución 2	0.5	--	1	2.5	0.416666667
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 21*Evaluación de las soluciones con respecto a los ajustes y tolerancias*

Ajustes y tolerancias	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	1	0	2	0.333333333
Solución 2	0	--	1	2	0.333333333
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 22*Evaluación de las soluciones con respecto al diseño de una máquina móvil*

Diseño de una máquina móvil	Solución 1	Solución 2	Solución 3	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	1	0	2	0.333333333
Solución 2	0	--	1	2	0.333333333
Solución 3	1	0	--	2	0.333333333
			Suma	6	1

Tabla 23

Evaluación de las soluciones con respecto a la complejidad del mecanismo

Complejidad del mecanismo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Σ_{+1}	Ponderación
Solución 1	--	1	1	3	0.5
Solución 2	0	--	1	2	0.3333333333
Solución 3	0	0	--	1	0.166666667
			Suma	6	1

Tabla 24

Evaluación total y selección de la solución

Selección de la alternativa	Tipo de clasificador	Geometría de la máquina	Panel de control	Capacidad de la máquina	Tipo de material	Velocidad del proceso	Ajustes y tolerancias	Diseño de una máquina móvil	Complejidad del mecanismo	Σ	Prioridad
Solución 1	0.051	0.059	0.026	0.039	0.029	0.018	0.020	0.055	0.029	1.275	2
Solución 2	0.051	0.059	0.044	0.039	0.049	0.029	0.020	0.055	0.020	1.315	1
Solución 3	0.051	0.059	0.035	0.016	0.039	0.024	0.020	0.055	0.010	1.257	3

En base a la utilización del “Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados” y los resultados presentados en la tabla 24, la solución que mejor prioridad presenta es la Solución 2, que comprende los siguiente: El encendido y apagado se realiza por medio de pulsadores, se utiliza un motorreductor, la transmisión de potencia se realiza por medio del mecanismo piñon-cadena, se utiliza bandejas de ingreso y salida, la clasificación se realiza por medio de cilindros giratorios.

Figura 27

Flujograma general del proceso de la alternativa seleccionada



Figura 28

Subsistemas del proceso



Análisis del entorno de cargas

Capacidad del prototipo de máquina clasificadora

Se realiza el dimensionamiento del prototipo de máquina clasificadora de papas en base al tamaño, para ello se ha especificado una capacidad de clasificación de las papas de 3000 kg/h, esto debido a los requerimientos de los usuarios.

Flujo másico de las papas

Para ello, es necesario el valor de la capacidad de clasificación que se detalló en el apartado anterior.

$$\dot{C}_{requerida} = 3000 \frac{kg}{h}$$

Además, se realiza una transformación de unidades de $\frac{kg}{h}$ a $\frac{kg}{min}$ y $\frac{lb}{min}$:

$$\dot{C}_{requerida} = 3000 \frac{kg}{h} * \frac{1 h}{60 min} = 50 \frac{kg}{min}$$

$$\dot{C}_{requerida} = 50 \frac{kg}{min} * \frac{2.2 lb}{1 kg} = 110 \frac{lb}{min}$$

En base al cálculo anterior, la capacidad de clasificación del prototipo de máquina es de 50 kg de papas por minuto, este valor equivale aproximadamente a 1.1 quintales de papas que se comercializa en el mercado, pues el peso por cada quintal de papas es de 45.5 kg.

Masa de los cilindros giratorios

Para lograr la clasificación de las papas en cuatro tamaños diferentes, es necesario contar con 3 cilindros giratorios, para ello, se ha considerado que cada cilindro presente una medida de 600 mm de altura, un diámetro de 350 mm y un espesor de la lámina de acero galvanizado de 1.4 mm, considerando que únicamente los cilindros difieren en las medidas de los agujeros, los cuales son realizados en base a las medidas de las papas a clasificar y se detallaron con anterioridad, en base a esto, mediante la utilización del software SolidWorks versión estudiantil, se ha obtenido las masas que presentaría cada cilindro, considerando que

el material a utilizar es acero galvanizado, además, los cilindros llevan soportes internos en forma de anillos en sus extremos, los cuales permiten reforzar su geometría, en este caso, los anillos son de acero ASTM A36 con un espesor de 4 mm.

$$m_{c1} = 8,013 \text{ kg}$$

$$m_{c2} = 7,376 \text{ kg}$$

$$m_{c3} = 7,406 \text{ kg}$$

La masa total de los cilindros (m_{tc}) es:

$$\begin{aligned} m_{tc} &= m_{c1} + m_{c2} + m_{c3} \\ m_{tc} &= 8,013 \text{ kg} + 7,376 \text{ kg} + 7,406 \text{ kg} \\ \mathbf{m_{tc} &= 22,795 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Para establecer las cargas que soportan los ejes, se debe considerar el peso total que van a soportar, para ello, además, se debe adicionar la masa de las papas que se van a clasificar, considerando un 30% más de la masa total ($m_{\text{max_papas}}$), teniendo una masa total (m_T) de:

$$m_{\text{max_papas}} = 50 \text{ kg} + (0.3 * 50 \text{ kg}) = 65 \text{ kg}$$

$$m_T = m_{tc} + m_{\text{max_papas}}$$

$$m_T = 22,795 \text{ kg} + 65 \text{ kg}$$

$$\mathbf{m_T = 87,795 \text{ kg}}$$

Cargas radiales sobre el eje

Una vez establecido las masas de los cilindros y del producto (papas), se procede a determinar el peso que soportaría el eje (W_{eje}), para ello, es necesario multiplicar el valor de la masa por la aceleración de la gravedad ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), como se muestra a continuación:

$$W_{eje} = m_T * g$$

$$W_{eje} = 87,795 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{eje} = 860,391 \text{ N}$$

Es necesario considerar un valor adicional del peso calculado anteriormente, esto por motivos de seguridad, para ello, se establece un valor de dos tercios del peso en el eje (W_{eje}),

$$W_{eje_seguro} = W_{eje} + \left(\frac{2}{3}\right) \cdot W_{eje}$$

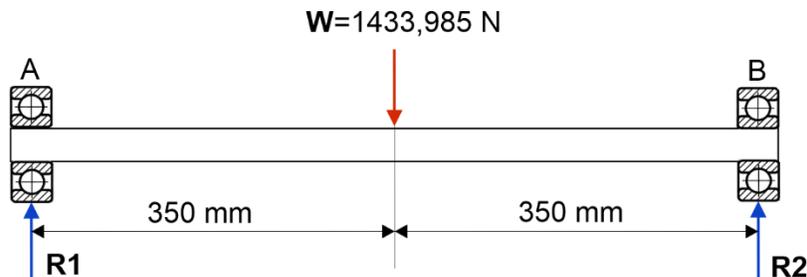
$$W_{eje_seguro} = 860,391 \text{ N} + \left(\frac{2}{3}\right) * 860,391 \text{ N}$$

$$W_{eje_seguro} = 1433,985 \text{ N}$$

En la figura 29, se puede visualizar el diagrama de cuerpo libre de la carga a la cual está sometido el eje, el sistema consta de una carga radial W , distribuida uniformemente, y dos reacciones $R1$ y $R2$ que ejercen los rodamientos.

Figura 29

Diagrama de cuerpo libre de la carga en el eje



Nota. La figura representa el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas y reacciones al cual está sometido el eje de transmisión de potencia,

De acuerdo con el D.C.L., se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje "y", asumiendo valores positivos a las fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0 \quad \uparrow +$$

$$R_1 + R_2 - W = 0$$

$$R_1 + R_2 = W$$

$$R_1 + R_2 = 1433,985 \text{ N} \quad (1)$$

Para establecer el valor de las reacciones R1 y R2, es necesario determinar uno de ellos, para ello, se debe realizar una sumatoria de momentos en un punto, en este caso se realiza en el punto A, considerando valores positivos a los momentos que tengan sentido horario:

$$\sum M_A = \text{Fuerza} * \text{distancia} = 0$$

$$\sum M_A = (W * d_1) - (R_2 * d_2) = 0$$

$$(1433,985 \text{ N} * 0,35 \text{ m}) - (R_2 * 0,7 \text{ m}) = 0$$

$$501,894 \text{ N.m} = R_2 * 0,7 \text{ m}$$

$$\frac{501,894 \text{ N.m}}{0,7 \text{ m}} = R_2$$

$$\mathbf{R_2 = 716,991 \text{ N}}$$

Reemplazando el valor de la reacción R2, en la ecuación (1) se obtiene lo siguiente:

$$R_1 + R_2 = 1433,985 \text{ N}$$

$$R_1 = 1433,985 \text{ N} - R_2$$

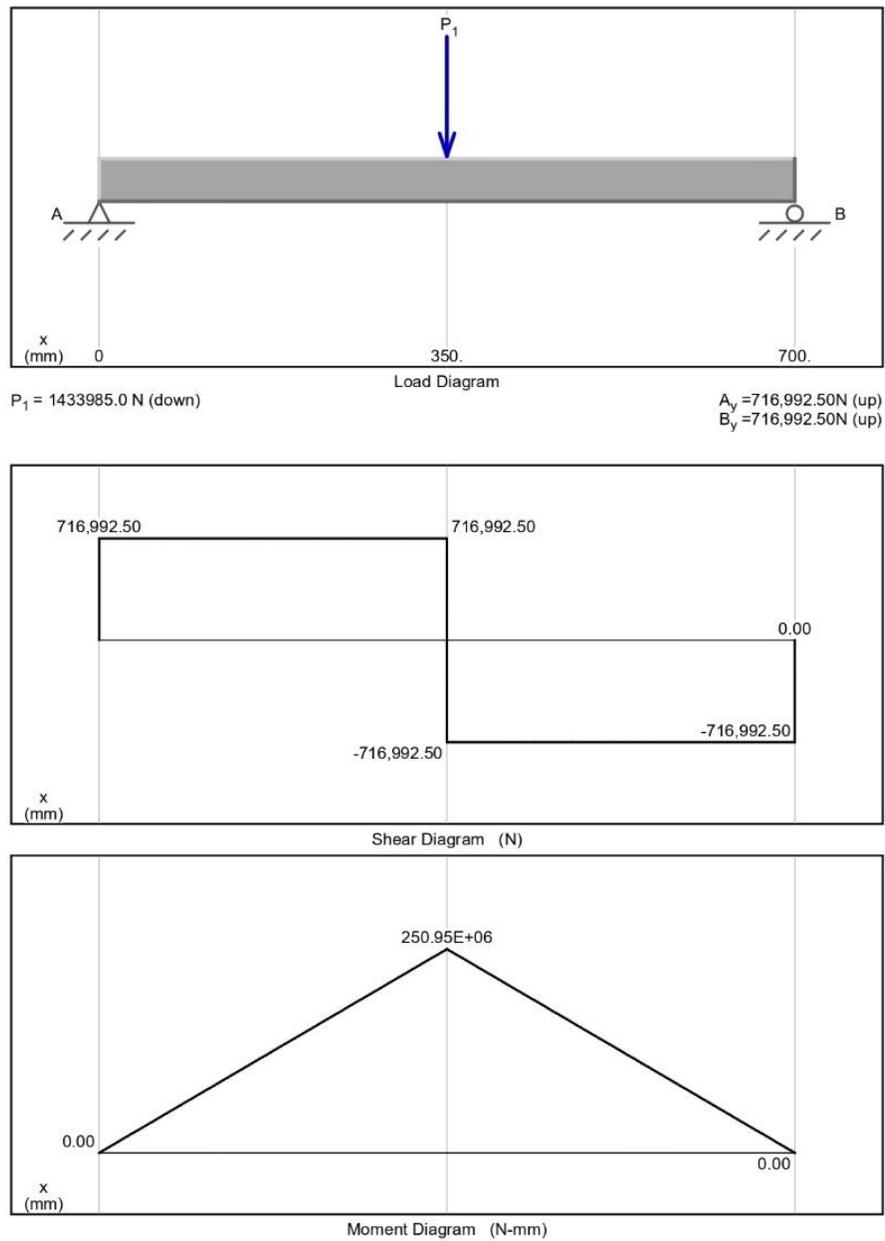
$$R_1 = 1433,985 \text{ N} - 716,991 \text{ N}$$

$$\mathbf{R_1 = 716,991 \text{ N}}$$

Para la validación de los resultados de las reacciones obtenidas, se procede a realizar una simulación en el software MDSolids del diagrama de la figura 30, además que permitirá establecer los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector en el eje.

Figura 30

Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector



Nota. La figura representa los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector para el eje, sometido a las cargas de diseño.

Diseño del prototipo de máquina clasificadora de papas

Diseño de los cilindros clasificadores

En base al requerimiento de clasificar las papas en cuatro tamaños diferentes, es necesario contar con 3 cilindros clasificadores, para ello, se ha considerado que cada cilindro presente una medida de 600 mm de altura, un diámetro de 350 mm.

Para la fabricación de los cilindros clasificadores, se utiliza láminas de acero galvanizado de 1.4 mm, una vez sean cortadas de acuerdo a las dimensiones que se detallan en la figura 31, se procede a formar el cilindro, teniendo en cuenta que cada cilindro clasificador únicamente difiere en las perforaciones de sus agujeros, los cuales son realizados en base a los tamaños de clasificación de las papas.

Al requerir un diámetro de $d = 350 \text{ mm}$ en cada uno de los cilindros clasificadores, se procede a reemplazar en la ecuación 1, para determinar la longitud de la circunferencia:

$$L = 2\pi * r = \pi * d \quad [m]$$

Ecuación 1

Longitud de una circunferencia

Nota. (Alcalde et al., 2019)

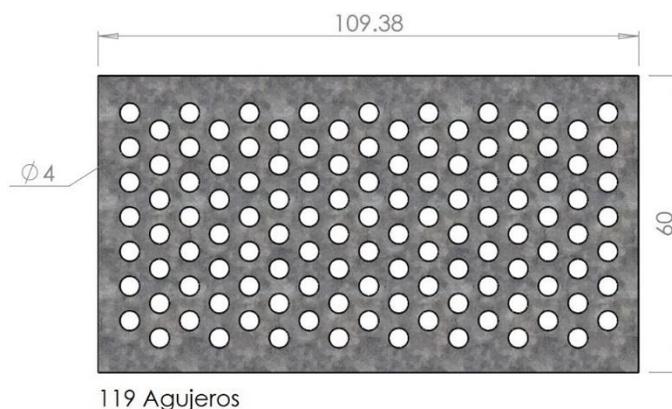
$$L = \pi * d$$

$$L = \pi * (0,35m)$$

$$L = 1,09 m$$

Figura 31

Dimensiones de la lámina de acero galvanizado



Nota. La figura representa las medidas de la lámina de acero galvanizado en cm, que son utilizadas para la fabricación de los cilindros clasificadores.

Tabla 25

Dimensiones de los cilindros clasificadores

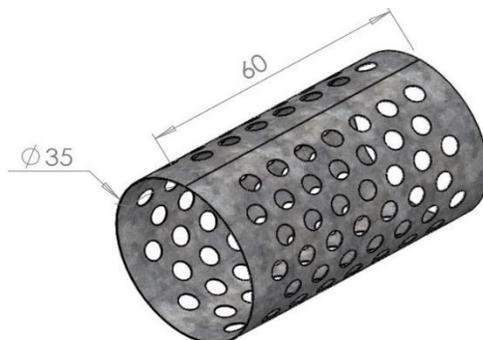
	Diámetro (d) (mm)	Altura (h) (mm)	Longitud de la lámina (L) (mm)	Diámetro del agujero (a) (mm)
Cilindro 1	350	600	1093,8	40
Cilindro 2	350	600	1093,8	60
Cilindro 3	350	600	1093,8	80

Nota. La tabla representa las medidas de los cilindros clasificadores y los valores de las perforaciones que se deben realizar a cada cilindro de acuerdo al tamaño de clasificación de los papas establecidos anteriormente.

En la figura 32, se puede visualizar la geometría en 3D, de uno de los cilindros clasificadores.

Figura 32

Geometría de los cilindros clasificadores



Nota. La figura representa la geometría que tienen los cilindros clasificadores, difiriendo únicamente en la medida de sus perforaciones (a). Unidades en cm.

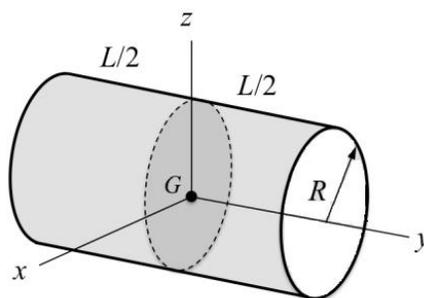
Momento de inercia de las masas

El momento de inercia permite determinar la resistencia del cuerpo a la aceleración angular.

Momento de inercia de cilindro clasificador. Para la determinación de la inercia del cilindro clasificador, el mismo se considera como un arco hueco, por lo tanto, para calcular su valor se utiliza la fórmula representada en la ecuación 2.

Figura 33

Momento de inercia de un arco hueco



Nota. La figura representa la geometría de un cilindro hueco y las variables para la determinación del momento de inercia. Tomado de (Beléndez, 2017).

$$I_c = m * R \quad [kg.m^2]$$

Ecuación 2

Momento de inercia de un arco hueco

Nota. (Hibbeler, 2010)

La inercia se determinaría para cada cilindro clasificador, pero debido a que los cilindros clasificadores presentan el mismo diámetro, se utiliza la sumatoria de las masas individuales que presenta los mismos, obteniendo lo siguiente:

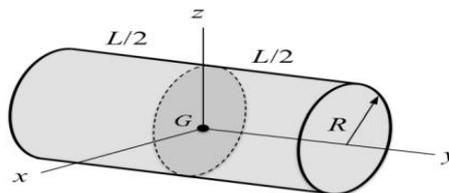
$$I_c = (22,795 \text{ kg}) * (0,175 \text{ m})^2$$

$$I_c = 0,698 \text{ kg.m}^2$$

Momento de inercia del eje. Se considera un eje de acero AISI 1018 con un diámetro de 1 in o $d = 25,4 \text{ mm}$ y una longitud de 800 mm, en este caso el número de ejes que se utilizan son siete, los cuales permiten la rotación de los cilindros clasificadores, por lo tanto, la masa que presenta el eje es de $m = 3,202 \text{ kg}$, este valor se determina mediante el diseño del eje en el software SolidWorks, con esto se obtiene una masa total de $m_T = 22,414 \text{ kg}$.

Figura 34

Momento de inercia de un eje



Nota. La figura representa la geometría de un eje y los variables para la determinación del momento de inercia. Tomado de (Beléndez, 2017).

$$I_{eje} = \frac{1}{2} * m * R^2 \quad [kg.m^2]$$

Ecuación 3

Momento de inercia de un eje

Nota. (Hibbeler, 2010)

$$I_{eje} = \frac{1}{2} * (22,414 \text{ kg}) * (0,0127 \text{ m})^2$$

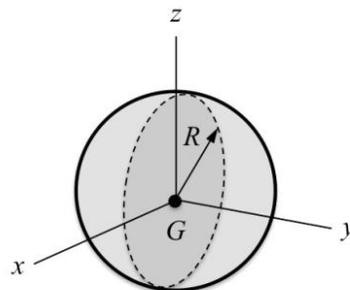
$$I_{eje} = 0,0018075 \text{ kg.m}^2$$

Momento de inercia de las papas. Se considera que las papas tienen una representación geométrica similar a una esfera, esto debido a que la variedad seleccionada para la clasificación es la superchola, la misma que presenta una masa de 20 a 150 g, dependiendo de su tamaño, para el caso se considera la masa que presenta el valor máximo, estos valores fueron detallados con anterioridad.

Para la determinación de la inercia de las papas, se considera la clase denominada gruesa, presenta una masa de $m = 150 \text{ g}$ y un diámetro mayor de $d = 80 \text{ mm}$, se utiliza la fórmula representada en la ecuación 4.

Figura 35

Momento de inercia de una esfera



Nota. La figura representa la geometría de una esfera y los variables para la determinación del momento de inercia. Tomado de (Beléndez, 2017).

$$I_p = \frac{2}{5} * m * R^2 \quad [kg.m^2]$$

Ecuación 4

Momento de inercia de una esfera

Nota. (Hibbeler, 2010)

$$I_p = \frac{2}{5} * (0,150 \text{ kg}) * (0,04 \text{ m})^2$$

$$I_p = 0,000096 \text{ kg.m}^2$$

Este valor representa el momento de inercia para una papa, por ende, es necesario determinar el número de papas que se clasifican de acuerdo a la capacidad requerida de clasificación $m_{\text{máx_papas}} = 50 \text{ kg}$.

$$\# \text{ papas} = \frac{m_{\text{máx_papas}}}{m}$$

$$\# \text{ papas} = \frac{50 \text{ kg}}{0,150 \text{ kg}}$$

$$\# \text{ papas} = 333,3$$

Por lo tanto, el valor de la inercia total de las papas (I_{Tp}), se determina multiplicando la cantidad de papas a clasificar ($\# \text{ papas}$), por la inercia de cada una (I_p), obteniendo lo siguiente:

$$I_{Tp} = I_p * \# \text{ papas}$$

$$I_{Tp} = (0,000096 \text{ kg.m}^2) * (333,3)$$

$$I_{Tp} = 0,03199 \text{ kg.m}^2$$

Momento de inercia total. Se realiza la suma de la inercia de los cilindros clasificadores (I_c), la inercia del eje (I_{eje}) y la inercia de las papas (I_{Tp}), obteniendo lo siguiente:

$$I_T = I_c + I_{eje} + I_{Tp}$$

$$I_T = 0,698 \text{ kg.m}^2 + 0,0018075 \text{ kg.m}^2 + 0,03199 \text{ kg.m}^2$$

$$I_T = \mathbf{0,7317 \text{ kg/m}^2}$$

Aceleración angular

La aceleración angular se determina para establecer el momento de torsión necesario que permitirá vencer la inercia total calculada anteriormente, para ello, se utiliza la fórmula representada en la ecuación 5, donde la aceleración angular (α) se determina dividiendo la velocidad angular (w [rad/s]) entre el tiempo (t [s]).

$$\alpha = \frac{w}{t} \quad [rad/s^2]$$

Ecuación 5

Aceleración angular

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Se considera una velocidad angular de $w = 50 \text{ rpm}$, para reemplazar este valor en la ecuación 5, es necesario transformar las unidades a rad/s .

$$w = 50 \frac{\text{rev.}}{\text{min.}} * \frac{2 * \pi \text{ rad.}}{1 \text{ rev.}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$w = 5,23 \text{ rad/s}$$

Además, se considera un tiempo $t = 0,5 \text{ s}$, que es el tiempo que tarda el motor en alcanzar la velocidad de trabajo desde su reposo, por lo tanto:

$$\alpha = \frac{5,23 \text{ rad/s}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha = \mathbf{10,46 \text{ rad/s}^2}$$

Momento de torsión

Permite determinar el torque necesario para vencer la inercia tanto de los cilindros giratorios, de los ejes y del producto (papas), se utiliza la fórmula representada en la ecuación 6, donde se multiplica el momento de inercia (I [$kg \cdot m^2$]) por la aceleración angular (α [rad/s^2]).

$$T = I * \alpha \quad [N \cdot m]$$

Ecuación 6

Torque

Nota. (Valcarce, 2014)

$$T = (0,7317 \text{ kg/m}^2) * (10,46 \text{ rad/s}^2)$$

$$T = 7,65 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Potencia mínima del motor

Permite establecer la potencia mínima que requiere el motor para vencer el par o momento de torsión, para ello, se utiliza la fórmula representada en la ecuación 7, donde se multiplica el torque (T [$N \cdot m$]) por la velocidad angular (w [rad/s]).

$$P = T * w \quad [W]$$

Ecuación 7

Potencia de un motor

Nota. (Guevara et al., 2009)

$$P = (7,65 \text{ N} \cdot \text{m}) * \left(5,23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

$$P = 40,01 \text{ W}$$

Realizando la transformación de unidades de vatios [W] a caballos fuerza mecánico (HP), tenemos lo siguiente:

$$P = 40,01 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ W}} = 0,054 \text{ HP}$$

Par aplicado real

Es el par de salida que entrega el motorreductor seleccionado, de acuerdo con la ecuación 7, el par aplicado real (T_r), se obtendrá mediante el cociente entre la potencia del motorreductor (P_m) y su velocidad de giro (w), para ello se selecciona el modelo HOULE que tiene una capacidad de 120 W y una velocidad angular de 50 rpm, cuyos parámetros técnicos se presentan en los anexos.

$$T_r = \frac{P_m \text{ [W]}}{w \text{ [rad/s]}} \quad [\text{N.m}]$$

$$T_r = \frac{120 \text{ W}}{50 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \quad [\text{N.m}]$$

$$T_r = 22,92 \text{ N.m}$$

\therefore Par aplicado real > Momento de torsión requerido

$$22,92 \text{ N.m} > 7,65 \text{ N.m}$$

El motorreductor seleccionado puede vencer el momento de torsión requerido, estableciendo de esta manera una velocidad en los cilindros clasificadores de 17 rpm, obteniendo una relación de reducción de 2.94, la cual fue establecida mediante las pruebas de funcionamiento.

Diseño del eje

Se considera un acero al carbono AISI 1018, el cual presenta las siguientes propiedades mecánicas:

- ✓ Resistencia Mecánica: $S_u = 410 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 59,465 \text{ ksi}$
- ✓ Punto de fluencia: $S_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 235 \text{ MPa}$

De acuerdo, con lo establecido por el código ASME para el diseño de ejes, el máximo esfuerzo al cual debe estar sometido, es el 30% del valor del punto de fluencia (límite elástico), sin sobrepasar el 18% del valor de la resistencia mecánica (esfuerzo último).

$$\sigma_{adm1} = 0,3 * S_y$$

$$\sigma_{adm2} = 0,18 * S_u$$

$$\sigma_{adm1} = 0,3 * 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm2} = 0,18 * 410 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm1} = 70,5 \text{ MPa}$$

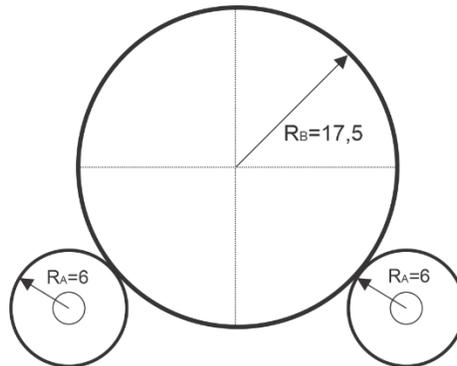
$$\sigma_{adm2} = 73,8 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el esfuerzo permisible es de $\sigma_{adm} = 70,5 \text{ MPa}$, en base a lo establecido en el código ASME.

Se establece el diagrama del sistema de transmisión por medio de ruedas de fricción, para conocer la relación entre el torque de la rueda de fricción A que transmite el movimiento, con los cilindros giratorios que reciben el movimiento.

Figura 36

Diagrama del sistema de transmisión por ruedas de fricción



De acuerdo con la figura 36, la rueda de fricción A recibe el torque que transmite el motorreductor, siendo este valor de $T_A = 22,92 \text{ N.m}$, además, la relación de transmisión de potencia entre las ruedas de fricción y el cilindro clasificador es de 2.94, considerando un diámetro de la rueda de fricción A de $D_A = 120 \text{ mm}$, el cilindro clasificador B tendrá un diámetro

de $D_B = 350\text{mm}$, con estos valores conocidos se procede a determinar el torque que posee el cilindro clasificador (B), utilizando la siguiente ecuación.

$$T_B = T_A \left(\frac{D_B}{D_A} \right)$$

Ecuación 8

Relación ente torque y diámetro

Nota. (Abasolo et al., 2020)

$$T_B = 22,92 \text{ N.m} * \left(\frac{350 \text{ mm}}{120 \text{ mm}} \right) = 66,85 \text{ N.m}$$

Para el diseño del eje, se considera el criterio de fallas de Goodman modificado, esto debido a que, en el eje se presentan esfuerzos de flexión y esfuerzos de torsión, considerando un punto específico en el eje, en el cual el esfuerzo se presente de forma crítica, para el cual se establecerá un factor de seguridad adecuado.

En la figura 37, se visualiza un esquema general del sistema de transmisión de potencia por medio de ruedas de fricción, distinguiendo los diferentes componentes que lo conforman, como las chumaceras que permiten la fijación y movimiento del eje, junto con una catalina que permite recibir el movimiento que ejerce el motor.

Figura 37

Sistema de transmisión de potencia

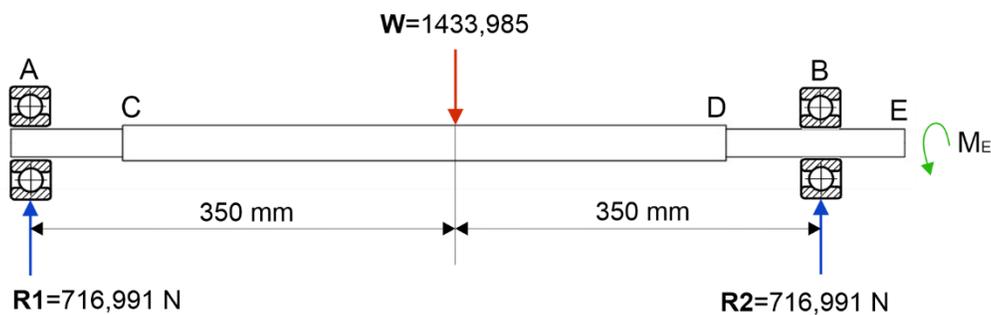


Nota. La figura representa un esquema general del sistema de transmisión de potencia por medio de ruedas de fricción acopladas en el eje.

En la figura 38, se visualizan las fuerzas y momentos que se presentan a lo largo del eje, el punto crítico de análisis es el D, el cual es considerado por tener un cambio de sección, a la vez que está sometido a los esfuerzos de flexión y torsión, para ello se obtendrá el valor del momento en ese punto, debido a que se conocen las reacciones R_1 y R_2 , que tienen un valor de $716,991 \text{ N}$, de la misma manera, el momento de torsión generado en el punto E es de $M_E = 44,5 \text{ N.m} = 393,8582 \text{ lb/in}$, que representa el torque transmitido por el motor, teniendo en cuenta la siguiente distancia $D_{BD} = 80 \text{ mm}$.

Figura 38

Diagrama de cuerpo libre en el eje



$$M_D = R_2 * D_{BD}$$

$$M_D = (716,991 \text{ N}) * (0,080 \text{ m}) = 57,35 \text{ N.m}$$

En el punto específico de estudio, el eje debe soportar infinitos ciclos de carga sin fracturarse, para ello se establece un límite real de fatiga, que representaría la máxima tensión alternante uniaxial, esto debido a que el límite ideal de fatiga que presenta un material, varía de acuerdo a su geometría, estado superficial, variabilidad en los procesos de manufactura, ambiente, etc.

Límite real de fatiga

Para la determinación del límite real de fatiga (S_e) en el punto específico del eje, se utiliza la ecuación 9, en la cual se presentan diferentes factores que afectan la resistencia a la fatiga.

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

Ecuación 9

Límite Real de Fatiga

Nota. (Vanegas, 2018)

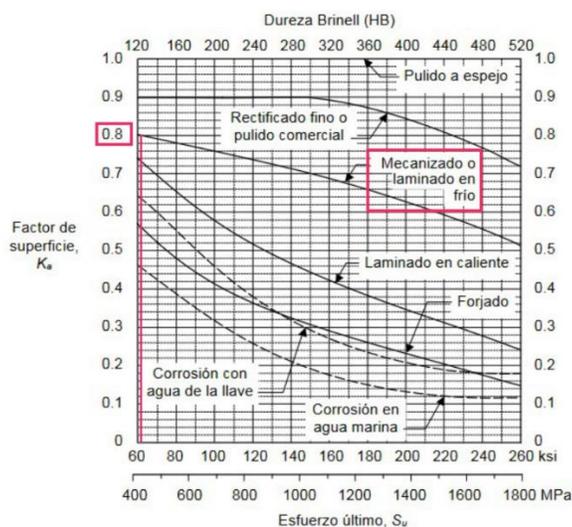
Los coeficientes K_i , representan las condiciones reales en la pieza a diseñar.

K_a : Factor de superficie

Influye en la resistencia a la fatiga de la pieza, pues si la superficie es rugosa, menor es su resistencia, en la figura 39, se visualiza diferentes ensayos experimentales aplicados a probetas de acero con diferentes acabados superficiales.

Figura 39

Factores de superficie para el acero



Nota. La figura representa los valores del factor de superficie en función del acabado superficial y la resistencia mecánica. Tomado de (Vanegas, 2018).

El esfuerzo último o también conocido como la resistencia mecánica para el acero seleccionado es de $S_u = 410 \text{ MPa}$, además el acabado superficial seleccionado es el mecanizado o laminado en frío, obteniendo el siguiente factor de superficie:

$$K_a = 0,8$$

K_b : Factor de tamaño

La dimensión del eje en el punto específico crítico también influye en la resistencia a la fatiga, pues a un mayor tamaño del eje menor es su resistencia, en la figura 40 se presenta diferentes ecuaciones que permiten determinar el factor de tamaño en función del diámetro del eje.

Figura 40

Factor de tamaño de piezas de acero

$K_b = 1, \text{ si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)}$	} Flexión o torsión
$K_b = 1.24d_e^{-0.107}, \text{ si } 8 \leq d_e \leq 51 \text{ mm}$	
$K_b = 1.51d_e^{-0.157}, \text{ si } 51 < d_e \leq 254 \text{ mm}$	
$(K_b = 0.879d_e^{-0.107}, \text{ si } 0.3 \leq d_e \leq 2 \text{ in})$	
$(K_b = 0.91d_e^{-0.157}, \text{ si } 2 < d_e \leq 10 \text{ in})$	
$K_b \approx 0.6, \text{ si } d_e > 254 \text{ mm (10 in)}^{[1]}$	

Nota. La figura representa diferentes ecuaciones utilizadas para determinar el factor de tamaño de las piezas de acero sometidas a flexión o torsión, donde d_e es el diámetro del eje. Tomado de (Vanegas, 2018).

Para un diámetro de 30 mm, se obtiene el siguiente factor de tamaño:

$$K_b = 1,24 * (d_e)^{-0.107}$$

Ecuación 10

Factor de tamaño

Nota. (Vanegas, 2018)

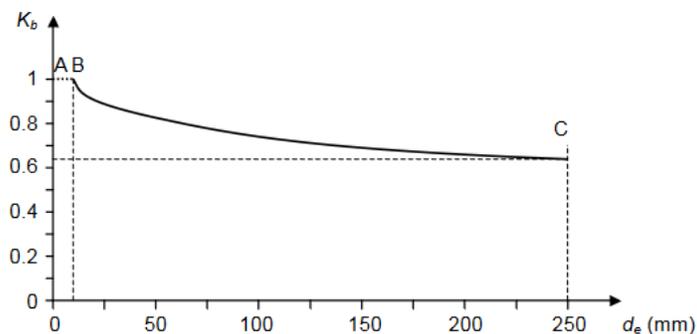
$$K_b = 1,24 * (30 \text{ mm})^{-0.107}$$

$$K_b = 0,86$$

En la figura 41, se visualiza los diferentes factores de tamaño en base al diámetro que presente el eje.

Figura 41

Variación del factor de tamaño con respecto al diámetro equivalente



Nota. La figura muestra la forma en la cual varía el factor tamaño, en función a las ecuaciones presentadas en la figura 40. Tomado de (Vanegas, 2018).

K_c : Factor de confiabilidad

La teoría de fatiga se basa en datos experimentales, esto quiere decir que las curvas y datos recolectados corresponden a la “media” de esos valores, por ende, la confiabilidad de estos valores es del 50%.

Figura 42

Factor de confiabilidad

Confiabilidad (%)	50	90	99	99.9	99.99	99.999
K_c	1	0.897	0.814	0.753	0.702	0.659

Nota. La figura representa los diversos valores del factor de confiabilidad en base al porcentaje de confiabilidad. Tomado de (Vanegas, 2018).

Considerando un 50% de confiabilidad, se obtiene un factor de confiabilidad de:

$$K_c = 1$$

K_d : Factor de temperatura

La temperatura influye en las diferentes propiedades de los materiales, en este caso, un acero es más frágil al ser expuesto a temperaturas bajas o la resistencia de tracción y fatiga se reduce al ser expuesto a temperaturas altas. En la figura 42 se visualiza las condiciones para determinar el factor de temperatura.

Figura 43

Factor de temperatura

$$K_d = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad 20 \leq T_{emp} \leq 250 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{De lo contrario, tener en cuenta los diversos efectos de altas temperaturas} \end{array} \right\} \text{ SÓLO PARA ACEROS}$$

Nota. La figura muestra las condiciones de temperatura, para la determinación del factor.

Tomado de (Vanegas, 2018).

Las condiciones de trabajo del eje se realizan a temperatura ambiente de 25 °C, por lo tanto, el factor de temperatura se muestra a continuación:

$$K_d = 1$$

K_e : Factor de efectos varios (corrosión, esfuerzos residuales)

Los efectos que no se han tomado en cuenta hasta el momento, se cuantifican en este factor, sin embargo, los valores cuantitativos de los efectos como la corrosión o esfuerzos residuales es escasa. En general, si se tiene ausencia de los efectos mencionados con anterioridad se toma en cuenta un factor de 1.

$$K_e = 1$$

K_f : Factor de carga

El tipo de carga a la cual está cometido el eje también influye en la resistencia a la fatiga, en la figura 44 se visualiza los valores del factor de carga, dependiendo de tipo de carga aplicada.

Figura 44

Factor de carga

$$K_{car} = \begin{cases} 1, & \text{flexión (o torsión si se calculan los esfuerzos equivalentes de von Mises)} \\ 0.577, & \text{torsión} \\ 0.7, & \text{carga axial} \end{cases}$$

Nota. La figura representa la relación entre la resistencia a la fatiga dependiendo del tipo de carga y el límite de fatiga. Tomado de (Vanegas, 2018).

Debido a que el eje, está sometido tanto a flexión como a torsión, se considera un factor de carga de 1.

$$K_f = K_{car} = 1$$

Mediante la ecuación 11, se determina el límite de resistencia a la fatiga, que tiene una resistencia mecánica o límite de rotura de $S_u = 410 \text{ MPa}$.

$$S'_e = 0,5 * S_u$$

Ecuación 11

Límite de fatiga en aceros

Nota. (Vanegas, 2018)

$$S'_e = 0,5 * (410 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 205 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 9, se obtiene lo siguiente:

$$S_e = 0,8 * 0,86 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 205 \text{ MPa}$$

$$S_e = 141,04 \text{ MPa} = 20,456 \text{ ksi}$$

Concentradores de esfuerzos

Son originados debido a los cambios de sección, discontinuidades, perforaciones o ranuras a lo largo del eje, estos concentradores de esfuerzos afectan a elementos dúctiles y frágiles sometidos a cargas variables. Debido a un cambio de sección en la pieza se determinan los esfuerzos de flexión y torsión en ese punto.

Esfuerzo de flexión. Se determina mediante la ecuación 12, donde K_t representa el factor de concentración de esfuerzo sometido a flexión, M el momento flector originado en el punto de estudio, I representa el momento de inercia y $C = d/2$, donde d es el diámetro menor del cambio de sección.

$$\sigma_{max} = K_t * \frac{M * C}{I} \quad [psi]$$

Ecuación 12

Esfuerzo máximo en una barra circular con entalle circunferencial sometida a flexión

Nota. (Rodríguez, 2020)

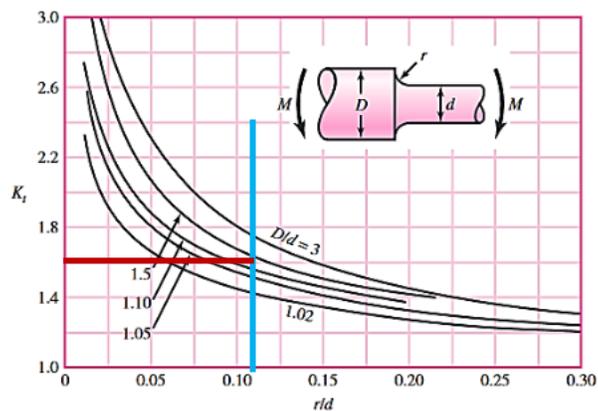
Para determinar el factor de concentración de esfuerzos, se utiliza la figura 45, teniendo en cuenta las siguientes relaciones r/d y D/d , donde r representa el radio de entalle ($r = 3mm$), D el diámetro mayor ($D = 31,75 mm$) y d el diámetro menor del eje ($d = 25,4 mm$).

$$\frac{r}{d} = \frac{3 mm}{25,4 mm} = 0.118$$

$$\frac{D}{d} = \frac{31,75 mm}{25,4 mm} = 1,25$$

Figura 45

Factor de concentración de esfuerzos de una barra circular con entalle circunferencial sometida a flexión



Nota. La figura representa los valores del factor de concentración de esfuerzos de un eje con entalle sometido a flexión. Tomado de (Rodríguez, 2020).

De acuerdo con la figura 44, el factor de concentración de esfuerzos es:

$$K_t = 1,6$$

Para determinar el momento de inercia I , se utiliza la siguiente fórmula.

$$I = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{64} \quad [kg.m^2]$$

Ecuación 13

Momento de inercia de una barra circular con entalle

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 12, obtenemos lo siguiente:

$$M = M_D = 57,35 \text{ N.m} = 507,590 \text{ lb.in}$$

$$C = \frac{d}{2} = \frac{25.4 \text{ mm}}{2} = 12,7 \text{ mm} = 0,5 \text{ in}$$

$$\sigma_{max} = 1,6 * \frac{(507,590 \text{ lb. in}) * (0,5 \text{ in})}{\frac{\pi * ((1,25 \text{ in})^4 - (1 \text{ in})^4)}{64}}$$

$$\sigma_{max} = 5739,139 \text{ psi}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{min}$$

$$\sigma_{amplitud} = \frac{\sigma_{max} - (-\sigma_{min})}{2} = \sigma_{max}$$

$$\sigma_{medio} = \frac{\sigma_{max} + (-\sigma_{min})}{2} = 0$$

Esfuerzo de torsión. Se determina mediante la ecuación 14, donde K_{ts} representa el factor de concentración de esfuerzo sometido a torsión, T es el momento de torsión originado en el punto de estudio, I representa el momento de inercia y $C = d/2$, donde d es el diámetro menor del cambio de sección.

$$\tau_{max} = K_{ts} * \frac{T * C}{I} \quad [\text{psi}]$$

Ecuación 14

Esfuerzo máximo de una barra circular con entalle circunferencial sometido a torsión

Nota. (Rodríguez, 2020)

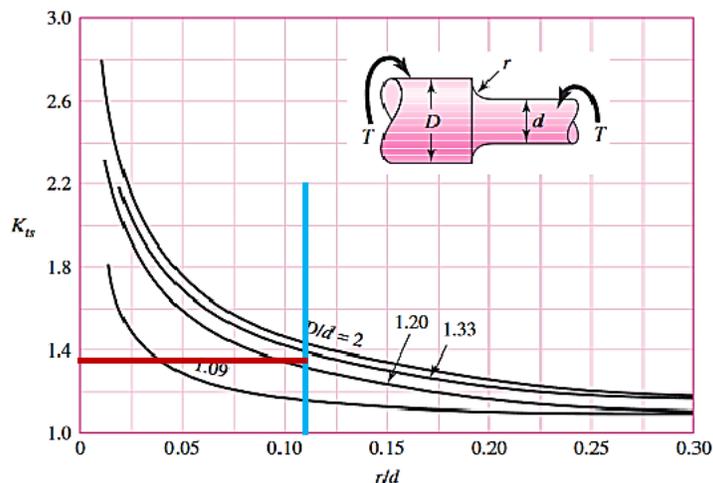
Para determinar el factor de concentración de esfuerzos, se utiliza la figura 45, teniendo en cuenta las siguientes relaciones r/d y D/d , donde r representa el radio de entalle ($r = 3 \text{ mm}$), D el diámetro mayor ($D = 31,75 \text{ mm}$) y d el diámetro menor del eje ($d = 25,4 \text{ mm}$).

$$\frac{r}{d} = \frac{3 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 0,118$$

$$\frac{D}{d} = \frac{31,75 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 1,25$$

Figura 46

Barra circular con entalle circunferencial sometido a torsión



Nota. La figura representa los valores del factor de concentración de esfuerzos de un eje con entalle sometido a torsión. Tomado de (Rodríguez, 2020).

De acuerdo con la figura 45, el factor de concentración de esfuerzos es:

$$K_{ts} = 1,38$$

Para determinar el momento de inercia I , se utiliza la siguiente fórmula.

$$I = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{32} \quad [kg.m^2]$$

Ecuación 15

Momento de inercia de una barra circular con entalle

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 12, obtenemos lo siguiente:

$$\tau_{max} = 1,38 * \frac{(393,8582 \text{ lb. in}) * (0,5 \text{ in})}{\frac{\pi * ((1,25 \text{ in})^4 - (1 \text{ in})^4)}{64}}$$

$$\tau_{max} = 3840,897 \text{ psi}$$

$$\tau_{amplitud} = 0 \quad \rightarrow \quad \tau_{medio} = \tau_{max}$$

El factor de seguridad, en el punto de análisis se obtiene, de acuerdo con el criterio de Goodman modificado, mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u}$$

Ecuación 16

Coefficiente de seguridad, criterio de Goodman modificado

Nota. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\frac{1}{n} = \left[\frac{\sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2}}{S_u} \right]$$

Despejando el coeficiente de seguridad (n) y reemplazando los valores calculados con anterioridad se obtiene el siguiente resultado.

$$n = \frac{1}{\left[\frac{\sqrt{(5739,139 \text{ psi})^2 + 3(0)^2}}{20456 \text{ psi}} + \frac{\sqrt{(0)^2 + 3(3840,897 \text{ psi})^2}}{59465 \text{ psi}} \right]}$$

$$n = 2,54$$

El valor del coeficiente de seguridad (n) en el punto crítico de estudio es de 2,54, por lo tanto, el eje soportará infinitos ciclos de carga sin llegar a la falla por fatiga, al ser sometido a esfuerzos de flexión y torsión.

Selección de rodamientos

Se debe tener en cuenta la vida nominal de los rodamientos, pues dependerá de las condiciones reales de trabajo, además de considerar su rendimiento. Para ello, es necesario determinar la capacidad de carga dinámica (C), debido a que dependerá de la carga a la cual está sometido el rodamiento (P), un factor que identifica el tipo de rodamiento (k), la duración del rodamiento en revoluciones (L_d), utilizando la siguiente ecuación.

$$C = P \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Ecuación 17*Capacidad de carga dinámica*

Nota. (Baeza, 2015)

La carga a la cual está sometido el rodamiento, tiene un valor de $P = 1433,985 N$ además, para un rodamiento de bolas se considera un factor de $k = 3$. Para determinar la duración del rodamiento en revoluciones (L_d) se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_d = (L)(n)(60 \text{ min/h})$$

Ecuación 18*Duración del rodamiento en revoluciones*

Nota. (Baeza, 2015)

Donde n representa el número de revoluciones por minuto al cual gira el rodamiento, L representa las horas de duración recomendada para rodamientos.

Tabla 26*Duración recomendada para rodamientos*

Tipo de Aplicación	Vida L (kh)
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0,5
Motores de avión	0,5 - 2
Máquinas para operación breve o intermitente, donde la interrupción del servicio es de poca importancia	4 - 8
Máquinas para servicio intermitente, donde la operación confiable es de gran importancia	8 - 14
Máquinas para servicio de 8h que no siempre se utilizan plenamente	14 - 20
Máquinas para servicio de 8h que se utilizan plenamente	20 - 30
Máquinas para servicio continuo las 24h	50 - 60
Máquinas para servicio continuo las 24h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100 - 200

Nota. La tabla contiene los valores considerados de la duración del trabajo de los rodamientos dependiendo de la aplicación. Tomado de (Ramirez, 2016).

De acuerdo con la tabla 26, el prototipo de máquina clasificadora trabajará mediante una operación de máquina para servicio de 8h que no siempre se utilizan plenamente, por lo que la duración recomendada tiene un valor de $L = 14000 h$.

Reemplazando los valores en la ecuación 18, obtenemos lo siguiente:

$$L_d = (14000 h) \left(35 \frac{rev}{min} \right) (60 min/h)$$

$$L_d = 29,4 * 10^6 \text{ revoluciones}$$

Finalmente, para determinar la capacidad de carga dinámica, se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación 17.

$$C = (1433,985 N) \left(\frac{29,4 * 10^6 rev}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 4,425 kN$$

Para la selección del rodamiento, se debe considerar una carga dinámica superior a $4,425 kN$, este valor se obtiene de la hoja de datos del rodamiento, para este caso se considera un rodamiento UCP 205-16, que corresponde a una unidad de rodamiento de bolas con soporte de pie con aro interior prolongado y fijación con tornillos de $25,4 mm$ de diámetro, que tiene una capacidad de carga dinámica de $C = 14 kN$, cuyas características se detallan los anexos.

Diseño de la transmisión por cadena

Para el diseño de la transmisión por cadena se tiene en cuenta varias características de diseño, que se detallan a continuación.

Potencia de diseño

Para la determinación de la potencia de diseño (P_d) se debe tener en cuenta la potencia que suministra el motor eléctrico (P_e) y un factor de servicio (F_s), el cual depende del tipo de carga y su aplicación, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_d = 1,5 * P_e * F_s$$

Ecuación 19

Potencia de diseño

Nota. (Joresa, 2019)

La potencia que suministra el motor eléctrico es de 120 W, a continuación, se procede a determinar el factor de servicio.

Factor de servicio

Para la determinación del factor de servicio se debe tener en cuenta el tipo de carga al cual va a estar sometido la transmisión, dependiendo de su aplicación, de la misma manera se tiene en cuenta el tipo de máquina que va a ejercer el movimiento, cuyas características se detallan en la tabla 27.

De acuerdo con la tabla 27, considerando un tipo de carga uniforme y el suministro de potencia mediante un motor eléctrico, el factor de servicio es de $F_s = 1$.

Tabla 27

Tipo de carga y Factor de servicio

Tipo de carga	Ejemplo de máquinas	Motor eléctrico o Turbina	Motor de combustión interna	
			Trans, hidráulica	Trans, mecánica
Uniforme	Agitadores de líquidos. Bombas centrífugas y de engranajes. Compresores centrífugos. Elevadores y transportadores con carga regular. Generadores y alternadores. Hiladoras. Maquinaria de imprenta. Maquinaria para la fabricación de papel. Montacargas y ascensores. Teleféricos. Máquinas herramientas (tornos, taladradoras, fresadoras, rectificadoras). Ventiladores y máquinas soplantes.	1	1	1.2
Pulsante	Agitadores de sustancias poco fluidas. Bombas de émbolo de más de 2 cilindros. Compresores alternativos de más de 2 cilindros. Hélices (aplicaciones marinas). Elevadores y transportadores con carga irregular. Laminadoras. Mezcladores. Maquinaria para carpintería. Maquinaria para formar tubos. Trefiladoras. Molinos para materias homogéneas y blandas. Telares.	1.3	1.2	1.4
De Impacto	Laminadora para la industria del caucho. Bombas de 1 y 2 cilindros. Dragas. Excavadoras. Elevadores y transportadores con carga muy irregular y pesada. Grúas. Maquinaria para perforación. Maquinaria para fabricar ladrillos. Máquinas herramientas (prensas, cizallas, limadoras, cepilladoras). Molinos para materias duras e irregulares. Rotocultivadores. Trituradoras. Aparejos de elevación.	1.5	1.4	1.7

Nota. La tabla representa los valores del factor de servicio de acuerdo con el tipo de carga y tipo de máquina que transmite el movimiento. Tomado de (Joresa, 2019).

Reemplazando los valores en la ecuación 19, se obtiene la siguiente potencia de diseño:

$$P_d = 1.5 * P_e * F_s$$

$$P_d = 1,5 * (120W) * (1)$$

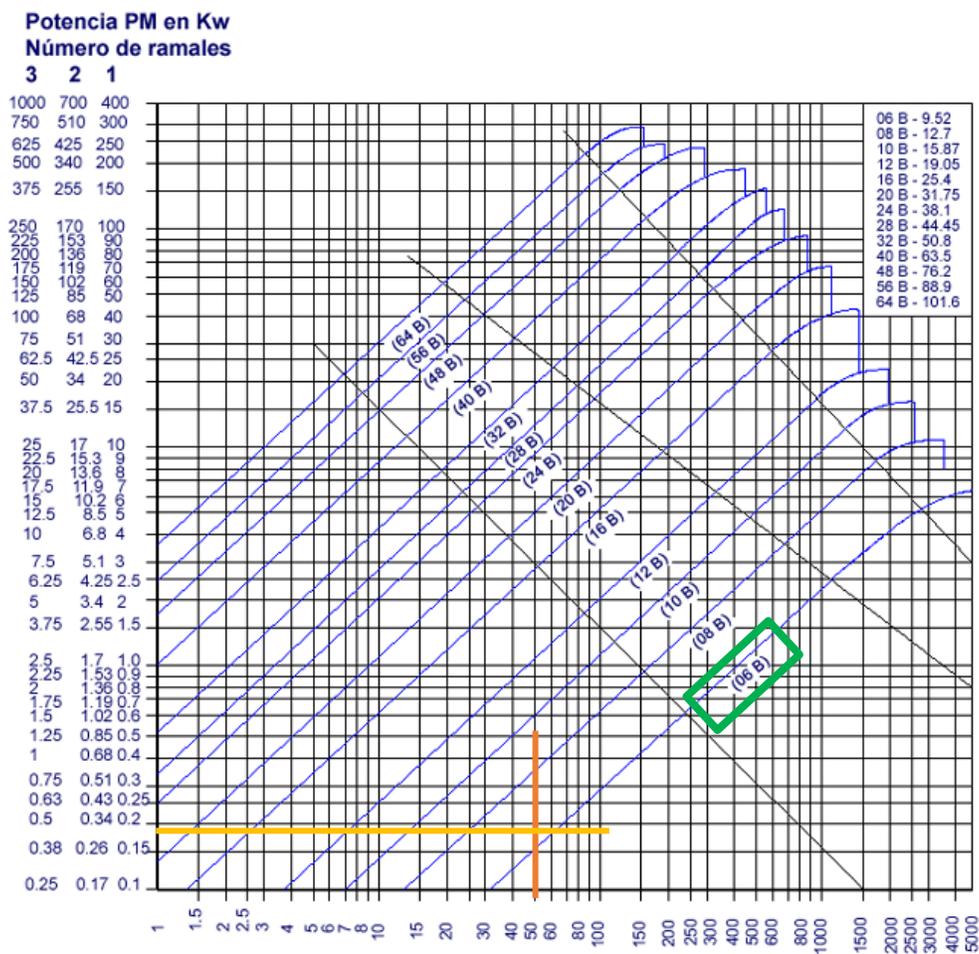
$$P_d = 0,180 kW$$

Paso de la cadena

Para la determinación del paso de la cadena se utiliza las revoluciones por minuto a las cuales gira el piñón y la potencia de diseño en kW. Para este caso se considera una potencia de diseño de $P_d = 0,180 \text{ kW}$ y una velocidad de $w = 50 \text{ rpm}$.

Figura 47

Gráfico para la selección de cadenas Norma DIN 8187



Nota. La figura representa la selección de la cadena de acuerdo con la velocidad de transmisión de potencia y la potencia de diseño. Tomado de (Cadersa, 2015).

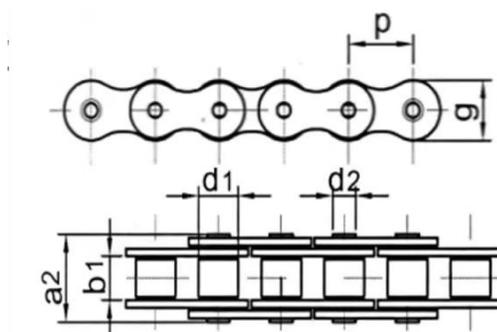
De acuerdo con la figura 47, para un número de ramales de 1 y estableciendo los valores de la potencia de diseño y la velocidad, se tiene un paso de cadena 06B que corresponde a un valor de $3/8 \text{ in} = 9,525 \text{ mm}$.

Dimensión del eslabón

La dimensión del eslabón representa el ancho interior del mismo (b_1), de acuerdo con la figura 48, que se toma en cuenta para seleccionar el ancho del piñón.

Figura 48

Parámetros de una cadena de rodillos simple



Nota. La figura representa Los parámetros de una cadena de rodillos simple. Tomado de (Joresa, 2019).

Figura 49

Dimensiones de una cadena de rodillos simple DIN 8187

ISO Nr.	Paso (P)		b_1 [mm] min.	d_2 [mm]	d_1 [mm] max.	a_2 [mm] max.	g [mm] max.	F_B [N] min.	q [kg/m] \approx
	[mm]	[inch]							
04-1	6	-	2,8	1,85	4	7,4	5	3.000	0,12
05B-1	8	-	3	2,31	5	8,6	7,11	4.600	0,18
06B-1	9,525	3/8"	5,72	3,28	6,35	13,5	8,26	9.100	0,41
081-1	12,7	1/2"	3,3	3,66	7,75	10,2	9,91	8.200	0,28
083-1	12,7	1/2"	4,88	4,09	7,75	12,9	10,3	12.000	0,44
084-1	12,7	1/2"	4,88	4,09	7,75	14,8	11,15	16.000	0,49
08B-1	12,7	1/2"	7,75	4,45	8,51	17	11,81	18.200	0,7
10B-1	15,875	5/8"	9,65	5,08	10,16	19,6	14,73	22.700	0,95
12B-1	19,05	3/4"	11,68	5,72	12,07	22,7	16,13	29.500	1,25

Nota. La figura representa las dimensiones de una cadena de rodillos simple DIN 8187.

Tomado de (Joresa, 2019).

De acuerdo con la figura 49, para el tipo de cadena 06B tiene un paso de $P = 9,525 \text{ mm}$, la dimensión del eslabón es de $b_1 = 5,72 \text{ mm}$.

Número de dientes del piñón

La determinación del número de dientes del piñón se realiza mediante la figura 50, para el cual se considera las revoluciones por minuto del piñón conductor y la potencia de diseño establecida anteriormente.

Figura 50

Tabla de capacidad de una cadena estándar sencilla de rodillos con paso 3/8 in

No. de dientes piñón conductor	R.P.M DEL PIÑÓN CONDUCTOR																
	50	100	300	500	700	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
9	0.08	0.15	0.39	0.62	0.84	1.06	1.37	1.68	1.98	2.27	2.65	2.17	1.73	1.41	1.18	1.01	0.88
10	0.09	0.16	0.44	0.70	0.95	1.19	1.54	1.88	2.21	2.54	2.97	2.55	2.02	1.65	1.39	1.18	1.03
11	0.10	0.18	0.49	0.77	1.05	1.31	1.70	2.08	2.45	2.82	3.30	2.94	2.33	1.91	1.60	1.37	1.18
12	0.11	0.20	0.54	0.85	1.15	1.44	1.87	2.29	2.70	3.10	3.62	3.35	2.66	2.17	1.82	1.56	1.35
13	0.12	0.22	0.59	0.93	1.26	1.57	2.04	2.49	2.94	3.38	3.95	3.77	3.00	2.45	2.05	1.75	1.52
14	0.13	0.24	0.63	1.01	1.36	1.71	2.21	2.70	3.18	3.66	4.28	4.22	3.35	2.74	2.30	1.96	1.70
15	0.14	0.25	0.68	1.08	1.47	1.84	2.38	2.91	3.43	3.94	4.61	4.68	3.71	2.94	2.55	2.17	1.88
16	0.15	0.27	0.73	1.16	1.57	1.97	2.55	3.12	3.68	4.22	4.94	5.15	4.09	3.35	2.81	2.40	2.08
17	0.16	0.29	0.78	1.24	1.68	2.10	2.73	3.33	3.93	4.51	5.28	5.64	4.48	3.67	3.07	2.62	2.27
18	0.17	0.31	0.83	1.32	1.78	2.24	2.90	3.54	4.18	4.80	5.61	6.15	4.88	3.99	3.35	2.86	2.48
19	0.18	0.33	0.88	1.40	1.89	2.37	3.07	3.76	4.43	5.09	5.95	6.67	5.29	4.33	3.63	3.10	2.69
20	0.19	0.35	0.93	1.48	2.00	2.51	3.25	3.97	4.68	5.38	6.29	7.20	5.72	4.68	3.92	3.35	2.90
40	0.39	0.73	1.97	3.12	4.23	5.30	6.87	8.40	9.89	11.4	13.3	15.7	16.2	13.2	11.1	9.47	
45	0.45	0.83	2.24	3.55	4.80	6.02	7.80	9.53	11.2	12.9	15.1	17.8	19.3	15.8	13.2	11.3	
	Lubricación Tipo A	Lubricación Tipo B															Lu
LUBRICACIÓN TIPO A: A mano, con aceitera o brocha. LUBRICACIÓN TIPO B: En baño de aceite o por salpique. LUBRICACIÓN TIPO C: Al chorro bajo presión.																	Cuando se multiplique l

Nota. La figura representa la tabla de capacidad de una cadena estándar sencilla de rodillos No. 35 y paso 3/8 in. Tomado de (Intermec, 2019).

De acuerdo con la figura 50, para una velocidad de 50 *rpm*, una potencia de diseño de 0,180 *kW*, se tiene como resultado un número de dientes del piñón de $Z_p = 19$ *dientes*. Además, le corresponde una lubricación Tipo A: A mano, con aceitera o brocha.

Número de dientes de la corona

Para la determinación del número de dientes de la corona se utiliza la relación de transmisión (i), que hace referencia a las revoluciones por minuto del eje motriz (n_p), donde se encuentra ubicado el piñón y el eje conducido (n_c), donde se encuentra ubicado la corona, considerando que el eje motriz tiene las mismas revoluciones que ejerce el motorreductor.

$$i = \frac{n_p}{n_c}$$

Ecuación 20

Relación de transmisión piñón – corona

Nota. (Joresa, 2019)

Para este caso, la transmisión por medio de cadena se utiliza únicamente para transmitir el movimiento de un eje a otro, sin reducir o aumentar la velocidad, por ende, la corona tendrá las mismas revoluciones por minuto que tiene el piñón.

$$i = \frac{50 \text{ rpm}}{50 \text{ rpm}} = 1$$

La relación de transmisión también hace referencia al número de dientes del piñón (Z_p) y el número de dientes de la corona (Z_c), por ende, se tiene como resultado un mismo número de dientes para los dos.

$$i = \frac{Z_p}{Z_c} \quad \rightarrow \quad 1 = \frac{19 \text{ dientes}}{Z_c} \quad \rightarrow \quad Z_c = 19 \text{ dientes}$$

En la figura 51, se puede visualizar el sistema de transmisión de movimiento por cadena, que permitirá transferir el movimiento que ejerce el motorreductor hacia los diferentes ejes y por ende a los cilindros giratorios. El material de las ruedas dentadas es un acero SAE 1045.

Figura 51

Transmisión de movimiento por cadena



Nota. La figura representa un sistema de transmisión por cadena, utilizada para transferir energía mecánica entre dos piñones. Tomado de (Meléndez, 2020).

En la figura 52, se puede visualizar las diferentes dimensiones para el piñón y la corona, dependiendo del número de dientes, para este caso, se determinó que el piñón y la corona tienen un mismo número de dientes, siendo este valor de $Z_p = 19$ *dientes*.

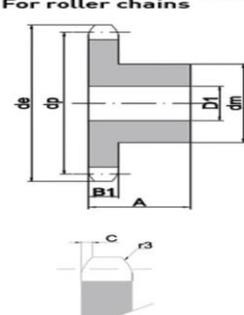
Con este valor anterior y de acuerdo con la figura 52, se obtiene el diámetro primitivo del piñón (D_p) y el diámetro de masa o cubo (d_m), cuyos valores se detallan a continuación:

$$D_p = 96,45 \text{ mm}$$

$$d_m = 70 \text{ mm}$$

Figura 52

Dimensiones del piñón y corona



PIÑONES SPROCKETS		5/8"x3/8" 10B-1		Z	d _e	d _p	Simple			
Para cadena de rodillos For roller chains		s/ DIN 8187 ISO/R 606					d _m	D _i	A	Kg.
				8	47	41,48	25	10	25	0,12
				9	52,6	46,42	30	10	25	0,16
				10	57,5	51,37	35	10	25	0,22
				11	63	56,34	37	12	30	0,29
				12	68	61,34	42	12	30	0,37
				13	73	66,32	47	12	30	0,46
				14	78	71,34	52	12	30	0,56
				15	83	76,36	57	12	30	0,67
				16	88	81,37	60	12	30	0,76
				17	93	86,39	60	12	30	0,88
				18	98,3	91,42	60	14	30	1,01
				19	103,3	96,45	70	14	30	1,15
				20	108,4	101,49	75	14	30	1,21
				21	113,4	106,52	75	16	30	1,35
				22	118	111,55	80	16	30	1,41
				23	123,4	116,58	80	16	30	1,47
				24	128,3	121,62	80	16	30	1,54
				25	134	126,66	80	16	30	1,6
				26	139	131,70	85	20	35	1,96
				27	144	136,75	85	20	35	2,04
				28	148,7	141,78	90	20	35	2,25
				29	153,8	146,83	90	20	35	2,33
				30	158,8	151,87	90	20	35	2,41
				31	163,9	156,92	95	20	35	2,64
				32	168,9	161,95	95	20	35	2,73
				33	174,5	167,00	95	20	35	2,82
				34	179	172,05	95	20	35	2,92
				35	184,1	177,10	95	20	35	3,01
				36	189,1	182,15	100	20	35	3,27
				37	194,2	187,20	100	20	35	3,37
				38	199,2	192,24	100	20	35	3,47
				39	204,2	197,29	100	20	35	3,58
				40	209,3	202,34	100	20	35	3,69

PIÑÓN		SPROCKET		mm	
Radio diente	Tooth radius	r3	16		
Ancho curva	curve width	C	1,6		
Ancho diente	Tooth width	B1	9,1		

CADENA		CHAIN		mm	
Paso	Pitch		15,875		
Ancho interior	Inner width		9,65		
Diámetro rodillo	Roller diámetro		10,16		

Nota. La figura representa las diferentes dimensiones que presenta un piñón dependiendo del número de dientes. Tomado de (Joresa, 2019).

Número de eslabones

La determinación del número de eslabones (N_e), se realiza mediante la ecuación 21, en el cual C representa la distancia entre centros expresado en pasos, para este caso se tiene un número de dientes de $Z_c = Z_p = 19$ dientes.

$$N_e = 2 * C + \frac{Z_c + Z_p}{2} + \frac{(Z_c - Z_p)^2}{4 * C * \pi^2}$$

Ecuación 21

Número de eslabones

Nota. (Joresa, 2019)

La distancia entre centros no debe ser muy pequeña, pues genera un desgaste prematuro de la cadena, de la misma manera una distancia muy grande no es muy

conveniente, debido a que presentan problemas de flexión y la cadena se torna muy pesada, la recomendación de algunos fabricantes es que la distancia entre centros este dentro de este intervalo:

$$50 \geq C \geq 30$$

Considerando una distancia entre centros de $C = 40$ y reemplazando los valores en la ecuación 21, se obtiene lo siguiente:

$$N_e = 2 * (40) + \frac{19 + 19}{2} + \frac{(19 - 19)^2}{4 * C * \pi^2}$$

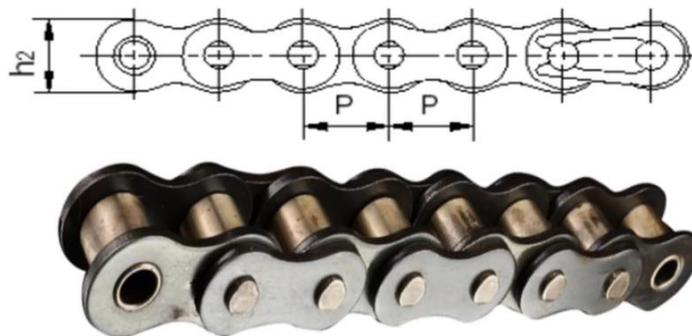
$$N_e = 99$$

Longitud de la cadena

Es necesario determinar la longitud que tendrá la cadena, de acuerdo con paso de la misma y el número de eslabones que presenta, pues es necesario al momento de adquirir la cadena para su implementación. En la figura 53, se visualiza una representación de los diferentes componentes de una cadena.

Figura 53

Longitud de la cadena



Nota. La figura representa la geometría de una cadena de rodillos simple. Tomado de (Benar, 2020).

Para determinar la longitud de la cadena (L_c), se debe conocer el paso (P) y el número de eslabones (N_e), utilizando la ecuación 22.

$$L_c = N_e * P$$

Ecuación 22

Longitud de la cadena

Nota. (Joresa, 2019)

$$L_c = (99) * (9,525 \text{ mm})$$

$$L_c = 942,975 \text{ mm}$$

Corrección de la distancia entre centros

Es necesario determinar la distancia entre centros expresada en unidades lineales, este criterio se utiliza cuando se asume un aproximado de la distancia entre centros expresado en pasos y es necesario recalcular para obtener un valor preciso, para el cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$C_c = \frac{P}{8} \left(2 * N_e - Z_c - Z_p + \sqrt{(2 * N_e - Z_c - Z_p)^2 - \frac{\pi}{3,88} * (Z_c - Z_p)^2} \right)$$

Ecuación 23

Corrección de la distancia entre centros

Nota. (Joresa, 2019)

$$C_c = \frac{9,525 \text{ mm}}{8} \left((2 * 99) - 19 - 19 + \sqrt{(2 * 99 - 19 - 19)^2 - \frac{\pi}{3,88} * (19 - 19)^2} \right)$$

$$C_c = 381 \text{ mm}$$

Diseño de la bandeja de alimentación

En base a la capacidad de clasificación del producto (papas) de 3000 kg/h, es necesario que la bandeja de alimentación tenga una capacidad mínima de ingreso de producto de 50 kg por minuto, de esta manera se determina el volumen (V) que ocuparía las papas mediante la fórmula representada en la ecuación 24, donde (m) representa la masa y (ρ) la densidad.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [m^3]$$

Ecuación 24

Volumen

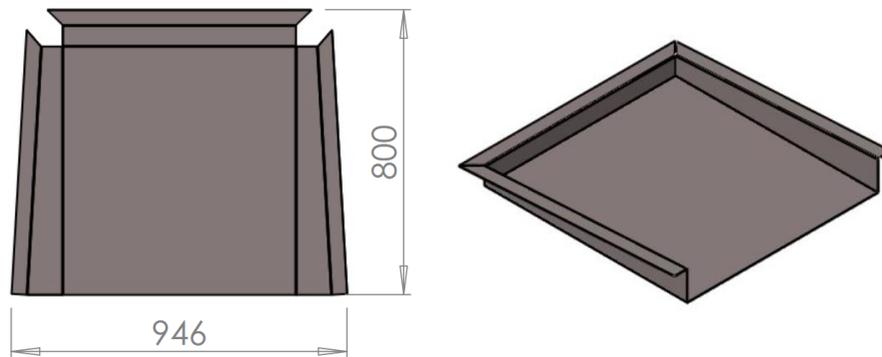
La densidad aparente promedio para la variedad de papa superchola es de 530 kg/m^3 , por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

$$V = \frac{50 \text{ kg}}{530 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 0,094 \text{ m}^3$$

La bandeja de alimentación del producto (papas) debe contener un volumen de $0,094 \text{ m}^3$, además, se debe considerar que la bandeja debe presentar una inclinación de 12 grados, para que el producto se dirija hacia los cilindros clasificadores por la acción de su propio peso, por la gravedad.

Mediante la utilización del software SolidWorks versión estudiantil, se realiza el diseño de la geometría de la bandeja de alimentación mediante la utilización de la herramienta de chapa metálica, a la vez que el programa permite verificar que la bandeja cumple con el volumen de almacenamiento requerido. Para la fabricación de la bandeja de ingreso del producto, se utiliza una lámina de acero galvanizado, la cual debe ser recortada de acuerdo a las medidas detalladas en el plano adjunto, en la figura 54 se puede visualizar un esquema simplificado de la geometría que presenta.

Figura 54*Bandeja de ingreso del producto*

Nota. La figura representa la geometría y dimensiones (mm) que presenta la bandeja de ingreso del producto (papas).

El peso (W) que ejerce la cantidad de producto (papas) sobre la bandeja de alimentación se determina mediante la fórmula representada en la ecuación 9, donde se multiplica la masa (m) por la aceleración de la gravedad (g).

$$W = m * g \quad [N]$$

Ecuación 25

Peso

$$W = (50 \text{ kg}) * (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$W = 490,5 \text{ N}$$

Selección de componentes eléctricos

Para ejercer el movimiento angular de los cilindros clasificadores, se utiliza un motorreductor, que permite la reducción de velocidad del motor eléctrico, este es accionado por medio de un contactor, que permite realizar el arranque directo del motorreductor, las protecciones eléctricas a utilizar son un interruptor termomagnético y un relé térmico, de la misma manera, el calibre del conductor se seleccionará de acuerdo a la corriente de trabajo del motorreductor, finalmente, se implementará pulsadores de arranque y parada, así como también luces piloto.

Motorreductor

En base al requerimiento de tener una velocidad de giro de $v = 17 \text{ rpm}$ en los cilindros clasificadores, se utiliza un motorreductor, cuyas características que se detallan en la tabla 28.

Tabla 28

Características del motorreductor

Características del motorreductor	
Marca	HOULE
Modelo	5IK120W-C1F-GU-XG
Alimentación eléctrica	AC
Número de fases	1
Potencia	120 W
Voltaje	110 V
Corriente Nominal	1.53 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad de salida	50 RPM



Nota. La tabla representa los datos técnicos del motorreductor.

Interruptor termomagnético

En este apartado se toma en cuenta la corriente nominal del motorreductor, cuyo valor es $I_{nom} = 1,53 A$, posteriormente se determina la corriente máxima admisible que se podría presentar ($I_{m\acute{a}x}$) mediante la ecuación 26, que permitirá establecer el valor de corriente del interruptor termomagnético.

$$I_{m\acute{a}x} = 1,5 * I_n$$

Ecuación 26

Corriente máxima admisible

$$I_{m\acute{a}x} = 1,5 * (1,53 A) = 2,29 A$$

Por lo tanto, el interruptor termomagnético, debe tener un valor cercano a la corriente máxima ($I_{m\acute{a}x}$), las características del mismo se presentan en la tabla 29.

Tabla 29

Características del interruptor termomagnético

Características del interruptor termomagnético	
Marca	Schneider
Alimentación eléctrica	AC
Voltaje	120 V
Corriente Nominal	4 A
Número de polos	1



Relé térmico

Para la selección del relé térmico, se considera la corriente nominal del motorreductor (I_n) y la corriente máxima admisible ($I_{m\acute{a}x}$), además, se selecciona un relé térmico comercial que presente características similares a la corriente máxima admisible. En la tabla 30 se visualiza las características del relé térmico.

Tabla 30*Características del relé térmico*

Características del relé térmico	
Marca	EasyPact
Alimentación eléctrica	Corriente Alterna
Voltaje	110 – 240 V
Clase	10
Rango de corriente	1,6 – 2,5 A
Número de polos	3

**Contactor**

Para la selección del contactor se debe tomar en cuenta el voltaje y la corriente del motorreductor, cuyos valores deben ser iguales o superiores, de preferencia se considera un valor de corriente superior a los datos técnicos de placa del motorreductor.

Tabla 31*Características del contactor*

Características del contactor	
Marca	CHINT
Alimentación eléctrica	Corriente Alterna
Voltaje	110 – 240 V
Corriente Nominal	10 A
Número de polos	3
Clase	AC3



Nota. La tabla representa los datos técnicos del contactor.

Conductor eléctrico

El dimensionamiento de la sección del conductor eléctrico está en función del amperaje de consumo del motorreductor, es decir de la corriente nominal de trabajo, además, es necesario considerar un 30% adicional a la corriente nominal. Para ello se utiliza la ecuación 27, que permite determinar la corriente de trabajo.

$$I_{tr} = I_n + 0,3 * I_n$$

Ecuación 27

Corriente de trabajo

$$I_{tr} = (1,53) + 0,3 * (1,53)$$

$$I_{tr} = 1,98 A$$

Em base a la corriente de trabajo calculada, el cable debe soportan un amperaje mínimo de 1,98 A, por lo cual, de acuerdo con la tabla 32, se determina el calibre necesario para las conexiones eléctricas.

Tabla 32

Amperaje que soportan los cables de cobre

Amperaje que soportan los cables de cobre			
Temperatura:	60°C	75°C	90°C
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XNNW-2, THWN-2
Calibre AWG	Amperaje		
14	15 A	15 A	15 A
12	20 A	20 A	20 A
10	30 A	30 A	30 A
8	40 A	50 A	55 A
6	55 A	65 A	75 A
4	70 A	85 A	95 A
3	85 A	100 A	115 A

Se selecciona un conductor de cobre con calibre 14 AWG, con un tipo de aislante THW, que soporta una temperatura de 75 °C, y permite un flujo de corriente de 15 amperios, la cual es superior a la determinada anteriormente.

Pulsadores de arranque y paro

Para el arranque y parada del motorreductor se seleccionan pulsadores con características similares de voltaje y corriente del motorreductor, en la tabla 33, se visualizan las características de los componentes.

Tabla 33

Características de los pulsadores

Características de los pulsadores		
Modelo	ZB2-BE101C	
Alimentación eléctrica	Corriente Alterna	
Voltaje	120 V	
Corriente Nominal	3 A	

Luces piloto

Permiten visualizar de forma lumínica el estado de funcionamiento del motorreductor, en el arranque y parada, en la tabla 34, se visualizan las características de las luces piloto.

Tabla 34

Características de las luces piloto

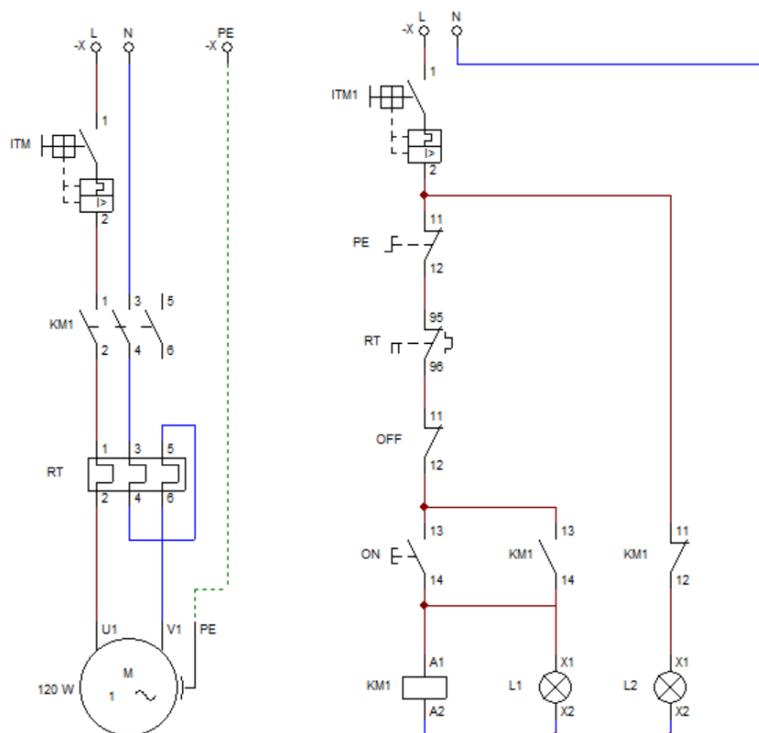
Características de las luces piloto		
Modelo	SM 120VAC 2	
Alimentación eléctrica	Corriente Alterna	
Voltaje	120 V	
Corriente Nominal	200 mA	

Diagrama eléctrico

El diagrama eléctrico para el funcionamiento del motorreductor consta de un circuito de potencia y uno de control. El circuito de potencia consta de un interruptor termomagnético para la protección de los cables de conexión, un contactor para accionar el motorreductor, un relé térmico para la protección del motor y el motorreductor para el accionamiento del sistema de transmisión. El circuito de control consta de un interruptor termomagnético para la protección de los cables de conexión, pulsadores para en inicio y parada del motorreductor, luces piloto para visualizar el estado de funcionamiento del motorreductor y contactos del contactor.

Figura 55

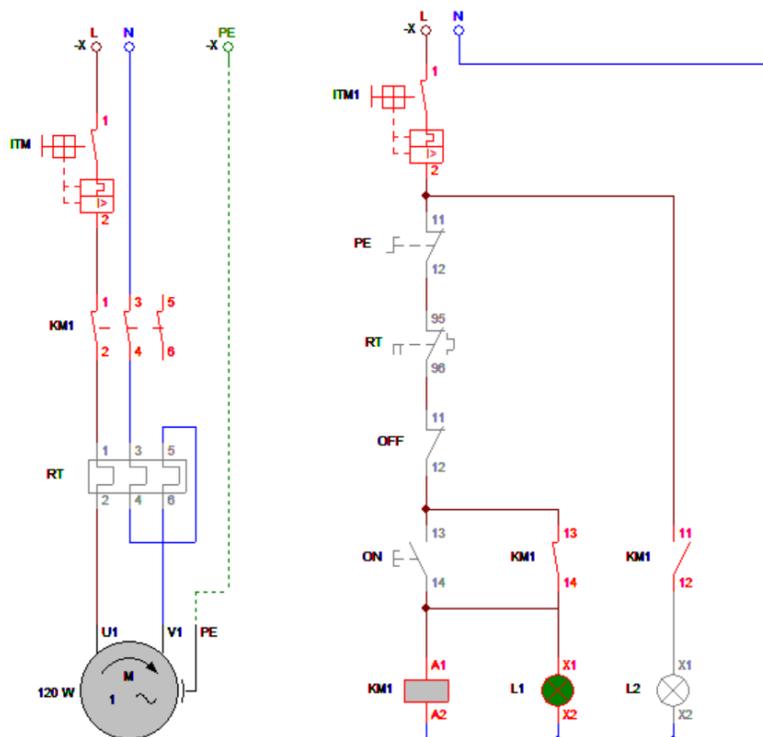
Diagrama de potencia y control



Nota. La figura representa los circuitos de potencia y control para el funcionamiento del motorreductor, elaborado mediante el software CADe-SIMU.

Figura 56

Funcionamiento de los circuitos de potencia y control



Nota. La figura representa el funcionamiento de los circuitos de potencia y control, elaborado mediante el software CADe-SIMU.

Diseño 3D del prototipo de máquina clasificadora

En base al análisis realizado anteriormente, referente a la capacidad de clasificación, determinación de esfuerzos y factores de seguridad, se establecen las dimensiones y el material de cada componente del prototipo de máquina clasificadora. Para ello se utiliza un software de diseño asistido por computadora (CAD), que permite realizar el modelado 3D y el ensamblaje de los diferentes componentes, con la finalidad de comprobar que los elementos que conforman el prototipo de máquina presenten la geometría y las dimensiones adecuadas para su posterior construcción.

De la misma manera, el software de modelado 3D permite determinar variables físicas como la masa, el peso, la densidad, el área, la determinación de esfuerzos y deformaciones que se presentan en los diferentes elementos del prototipo de máquina clasificadora. En la figura 57, se visualiza el modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora, ensamblada con todos los elementos y partes que lo conforman.

Figura 57

Modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora



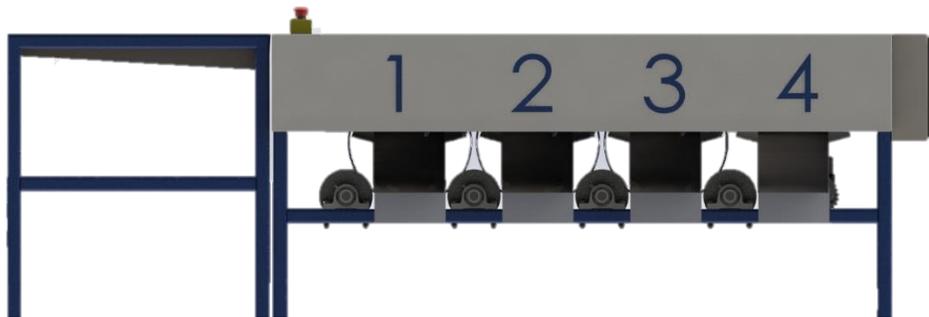
Nota. La figura representa el ensamblaje de los diferentes componentes del prototipo de máquina clasificadora.

De acuerdo con la figura 57, el prototipo de máquina clasificadora cuenta con tres cilindros giratorios, que presentan perforaciones de acuerdo a los niveles de clasificación establecidos con anterioridad, logrando clasificar el producto en cuatro clases diferentes, el producto clasificado de acuerdo a su tamaño es dirigido por medio de bandejas de salida para su posterior recolección y empaclado.

En la figura 58, se puede visualizar la vista frontal del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora, logrando distinguir la ubicación de los elementos como los cilindros giratorios, las bandejas de salida del producto, ruedas de transmisión, ejes, chumaceras.

Figura 58

Vista frontal del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora

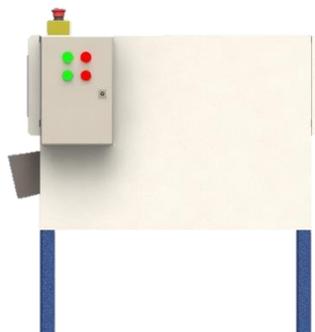


Nota. La figura representa la vista frontal del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora, distinguiendo sus componentes.

En la figura 59, se puede visualizar la vista lateral del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora, en el cual se puede apreciar la ubicación del cilindro giratorio junto al eje y la rueda de transmisión, el mecanismo de transmisión, la inclinación de la bandeja de salida entre otros elementos.

Figura 59

Vista lateral del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora

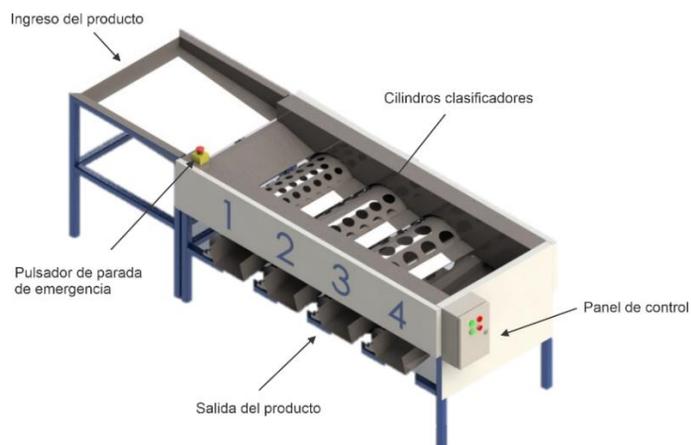


Nota. La figura representa la vista lateral del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora.

En la figura 60, se visualiza el modelo 3D de forma general del prototipo de máquina clasificadora. En base al modelo diseñado, se realiza una simulación de estudio de movimiento para comprobar el correcto funcionamiento de los mecanismos.

Figura 60

Vista isométrica del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora



Nota. La figura representa la vista isométrica del modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora.

Construcción del prototipo de máquina clasificadora

En base al diseño 3D del prototipo de máquina clasificadora, se realizan los planos mecánicos, que tienen la finalidad de conocer la geometría y dimensiones de los componentes para su construcción, de la misma manera se realizan los planos eléctricos de los circuitos de control y potencia para la implementación en el prototipo de máquina clasificadora.

De la misma manera, en base al modelo diseñado, se efectúa una simulación del funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora mediante el estudio de movimiento que presenta el software SolidWorks, con la finalidad de validar la adecuada clasificación del producto, además que permite visualizar los errores en la geometría, la interferencia entre elementos, entre otros aspectos.

En primer lugar, se realiza la construcción de la parte mecánica, empezando por el sistema estructural, para posteriormente ensamblar los diferentes componentes que lo conforman. Seguidamente se procede a la implementación de los diagramas eléctricos de potencia y control para dar el funcionamiento al motorreductor y por ende ejercer el movimiento en el sistema de transmisión.

En la figura 61, se puede visualizar parte del sistema estructural, realizado en base a perfiles de tubos cuadrados de acero galvanizado, cuyas dimensiones se especifican en los planos mecánicos realizados, los cortes se realizaron en base a la geometría que presentan los diferentes elementos que conforman el prototipo de máquina clasificadora y la unión de los tubos cuadrados se realizó mediante la aplicación de soldadura SMAW.

Figura 61

Perfiles cuadrados de acero galvanizado



En la figura 62, se visualiza la unión de los perfiles de acero galvanizado, formado la estructura del prototipo de máquina clasificadora, además se realiza el pulido de las juntas de unión de la soldadura para obtener un buen acabado.

Figura 62

Unión y pulido de los perfiles estructurales



En la figura 63, se visualiza el sistema estructural terminado, distinguiendo una estructura diseñada específicamente para la bandeja de ingreso del producto.

Figura 63

Sistema estructural terminado



Una vez finalizado la construcción del sistema estructural, se procede a la construcción de los tres cilindros que permiten la clasificación de acuerdo al tamaño, para ello se utiliza una lámina de acero galvanizado, para cada cilindro se considera una matriz de agujeros con un diámetro de acuerdo con el tamaño de clasificación requerido, el corte de los agujeros se realiza mediante una máquina de corte CNC por medio de plasma como se puede observar en la figura 64.

Figura 64

Corte CNC por plasma de los agujeros según el nivel de clasificación



En la figura 65, se visualiza el proceso de formación de los cilindros clasificadores mediante una roladora, para ello, primero se realiza el pulido de cada uno de los agujeros, debido a que el proceso de corte CNC por plasma deja pequeños residuos de material alrededor de los agujeros.

Figura 65

Formación de los cilindros clasificadores



Para evitar deformaciones de los cilindros clasificadores, se utilizan anillos internos colocados en sus extremos, elaborados con platina de acero de un espesor de 4mm, estos proporcionan al cilindro una mayor rigidez y mantienen su forma cilíndrica.

En la figura 66, se visualiza un ensamblaje de los componentes principales en la estructura, comprendido por el eje, las chumaceras, las ruedas de fricción, los piñones, y los cilindros clasificadores, esto se realiza con la finalidad de comprobar el funcionamiento adecuado de los mismos, en caso de ser necesario se efectúan modificaciones según lo requiera.

La fabricación de las bandejas de entrada y salida del producto, cubiertas internas y externas, se realizó en láminas de acero galvanizado, cortadas por medio de una máquina de corte CNC por plasma.

Figura 66

Ensamblaje de los componentes principales



En la figura 67, se visualiza, el procedimiento realizado para efectuar los acabados superficiales de la estructura, los cilindros clasificadores, las cubiertas internas y externas, así como también las bandejas de entrada y salida del producto.

Figura 67

Acabado superficial de los cilindros clasificadores



Para ello, en primer lugar, se aplica un fondo anticorrosivo o primer, como capa primaria para aplicar un acabado de alta resistencia, además de inhibir la aparición de óxido, en segundo lugar, una vez secas las superficies, se procede a efectuar el acabado final con esmalte anticorrosivo en cada uno de los componentes de acuerdo con el color establecido.

En la figura 68, se visualiza el ensamblaje de cada uno de los componentes, empezando por fijar el sistema de transmisión, comprendido por cuatro ejes, que contiene a las ruedas de fricción, piñones y soportado por las chumaceras.

Figura 68

Ensamble de los cilindros clasificadores



Posteriormente, se procede a ensamblar las cubiertas laterales internas, que permiten que el producto siga la trayectoria de clasificación, de la misma manera se instalan las bandejas de entrada y salida del producto.

Figura 69

Sistema de transmisión



Finalmente, en la figura 70, se visualiza la construcción total del prototipo de máquina clasificadora, para su posterior validación, mediante la implementación de pruebas de funcionamiento y de esfuerzo mecánico.

Figura 70

Presentación final del prototipo de máquina clasificadora



Capítulo IV

Resultados de la investigación

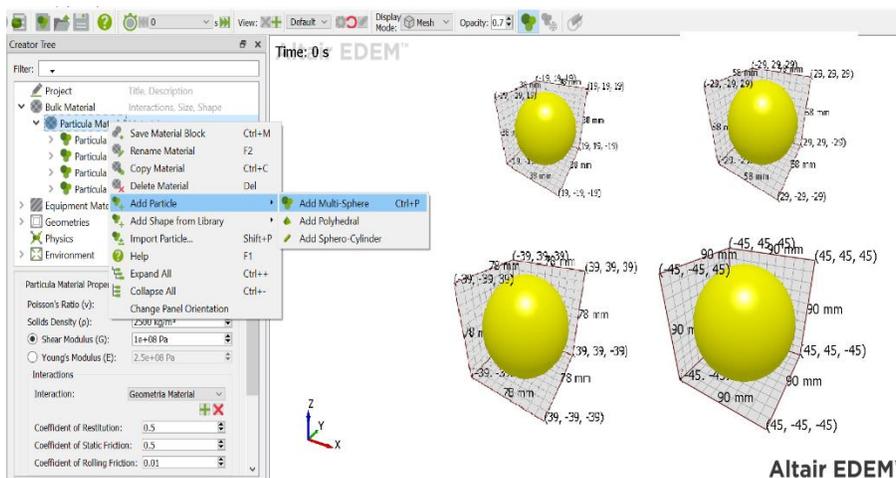
Pruebas de funcionamiento mediante software especializado

Mediante la utilización del software Altair EDEM versión estudiantil, se realizan las pruebas de funcionamiento, con la finalidad de comprobar el comportamiento del prototipo de máquina clasificadora de papas, efectuando una simulación apegada a la realidad, en el cual se consideran diferentes parámetros como la dimensión del producto, las variables físicas, el flujo de papas a clasificar, entre otros, permitiendo verificar la capacidad de clasificación.

En primer lugar, dentro del entorno del Altair EDEM, se crea un nuevo proyecto, seguidamente, es necesario añadir la partícula de estudio, en este caso, las papas a clasificar, creando cuatro partículas que representarían cada clase, estableciendo los diámetros, la geometría y su masa.

Figura 71

Creación de la partícula de estudio

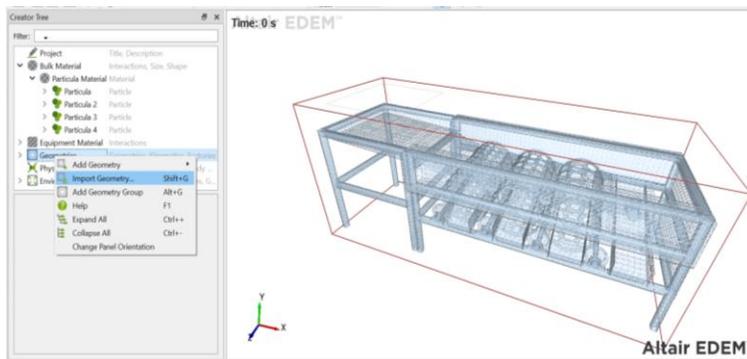


Nota. La figura representa la creación de las partículas para la realización de las pruebas de funcionamiento.

En segundo lugar, en el apartado de geometría, se procede a importar el modelo 3D creado en el software SolidWorks con la extensión STEP.

Figura 72

Modelo 3D del prototipo de máquina clasificadora en Altair EDEM

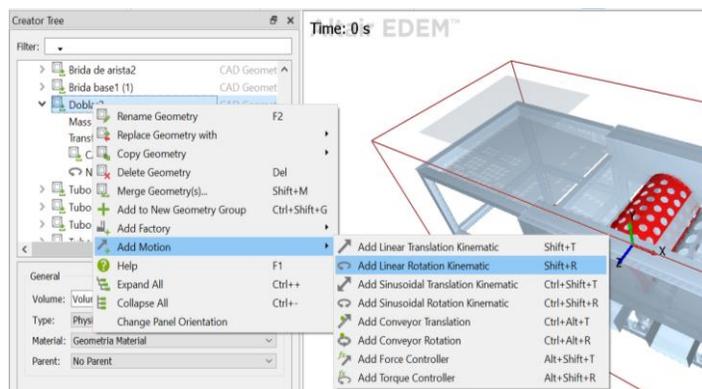


Nota. La figura representa la importación del modelo 3D hacia el entorno de Altair EDEM para realizar las pruebas de funcionamiento.

En tercer lugar, se seleccionan las geometrías que deben generar el movimiento para la clasificación, en este caso, los tres cilindros giratorios, estableciendo un movimiento rotacional lineal.

Figura 73

Estudio de movimiento de los cilindros clasificadores

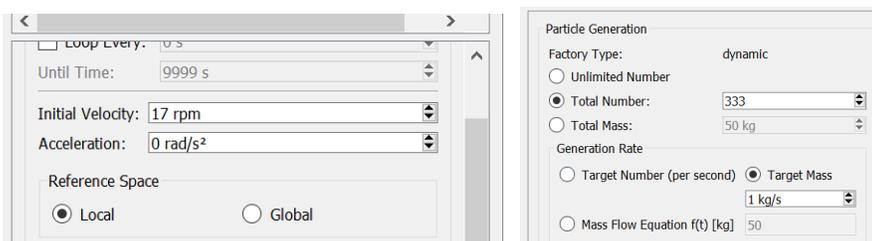


Nota. La figura representa la configuración del movimiento de los cilindros clasificadores.

Finalmente, se establecen diferentes parámetros como la cantidad de producto a ingresar, la velocidad de giro y la gravedad, de tal manera que los resultados sean los más cercanos posibles a la realidad.

Figura 74

Parámetros técnicos de clasificación

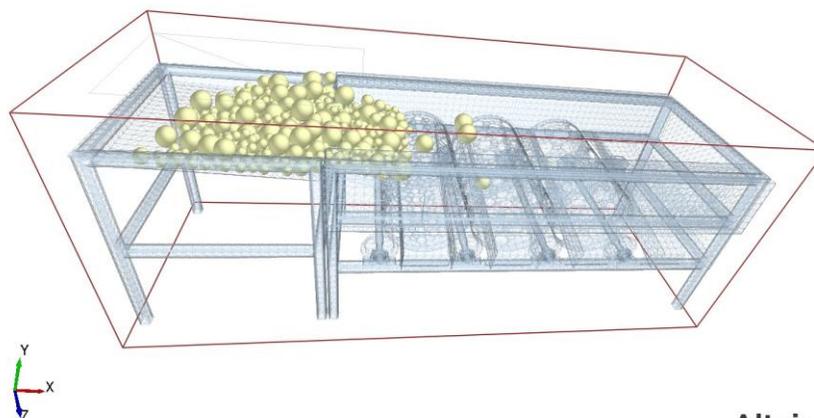


Nota. La figura representa en ingreso de datos técnicos, necesarios para la simulación.

En la figura 75, se visualiza la simulación de la clasificación de las papas de acuerdo al tamaño, que son dirigidas por medio de la bandeja de ingreso hacia los cilindros clasificadores y posteriormente dirigidos hacia las bandejas de salida de acuerdo con la clase a la que pertenece, para su posterior recolección.

Figura 75

Simulación de la clasificación de las papas de acuerdo al tamaño

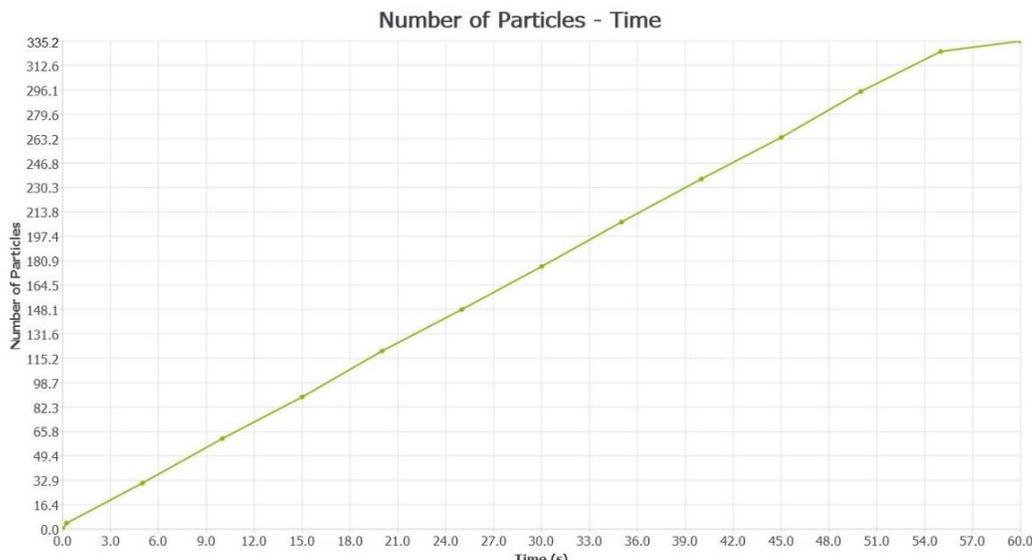


Altair EDEM™

En la figura 76, se visualiza una gráfica que representa el número de partículas ingresadas para la clasificación, permitiendo con estos valores establecer la capacidad de clasificación del prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño.

Figura 76

Diagrama del número de partículas clasificado vs tiempo



De acuerdo con la figura 76, el número de partículas ingresado para la clasificación es de 335, en un tiempo de 60 segundos, de esta manera, se procede a determinar la capacidad de clasificación, para ello se requiere el valor de la masa promedio de una de las clases, se considera la clase denominada gruesa con un valor de 0,150 kg.

$$\text{Capacidad clasificación} = 335 \frac{\text{papas}}{\text{minuto}} * \frac{0,150 \text{ kg}}{1 \text{ papa}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}$$

$$\text{Capacidad clasificación} = 3015 \text{ kg/h}$$

Con el valor obtenido, se verifica que el prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, cumple con la capacidad requerida por el productor, que tiene un valor de 3000 kg/h.

Validación del prototipo de máquina clasificadora de papas

Para la validación del prototipo de máquina clasificadora de papas, se realizan las pruebas de funcionamiento y de esfuerzo mecánico, es decir, que la clasificación de las papas se realice de forma correcta de acuerdo al tamaño, tomando en cuenta los parámetros establecidos en los capítulos anteriores, de la misma manera se comprueba que los diferentes elementos que conforman el prototipo no presenten deformaciones al aplicar la carga que representan las papas durante su clasificación.

La validación del prototipo de máquina clasificadora se llevó a cabo por el siguiente personal:

- Centro de acopio “Santa Lucia”
- Edison Chuquiana

Para realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora de papas, se cuenta con los representantes del centro de acopio y el autor del proyecto, efectuando el procedimiento detallado a continuación:

Mediante el pulsador de encendido ubicado en el tablero de control, se realiza la puesta en marcha del motorreductor, dando inicio al movimiento de los cilindros clasificadores a través del sistema de transmisión, en este punto, se comprueba que los diferentes mecanismos trabajen de forma adecuada, además se verifica que la velocidad de giro de los cilindros clasificadores sea la adecuada para la clasificación. Posteriormente se realiza el ingreso de las papas de forma manual a través de la bandeja de alimentación, debido a la inclinación que presenta la misma, las papas son dirigidas hacia el primer cilindro giratorio, en el cual, únicamente pueden ingresar las papas que presentan un diámetro menor al agujero que tiene el cilindro, las papas que presenten un diámetro mayor, continúan recorriendo los siguientes

cilindros clasificadores hasta finalizar el recorrido, finalmente, las papas clasificadas de acuerdo al tamaño son dirigidas por cada una de las bandejas de salida para la recolección.

Figura 77

Pruebas de funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora de papas



Figura 78

Validación del prototipo de máquina clasificadora de papas



Una vez realizada las pruebas de funcionamiento y de esfuerzo mecánico del prototipo de maquina clasificadora de papas, se utiliza un listado de los parámetros más importantes para la validación respectiva.

Tabla 35*Parámetros del protocolo de pruebas*

Parámetros	Aprobación
Encendido / Apagado	Cumple
Ingreso del producto	Cumple
Velocidad de clasificación	Cumple
Capacidad de clasificación	Cumple
Clasificación en 4 tamaños	Cumple
Salida adecuada por las bandejas	Cumple
Funcionamiento adecuado de la instalación eléctrica	Cumple

Nota. La tabla representa los parámetros a tomar en cuenta para la validación del prototipo de máquina clasificadora de papas.

Con los parámetros del protocolo de pruebas establecidos, se obtiene como resultado que la clasificación de las papas de acuerdo al tamaño se realizan de forma adecuada en un 95%, el valor restante corresponde a que algunas papas no presentan una uniformidad esférica, por lo que terminan ingresando en otra clase, sin embargo, no presenta ningún inconveniente, debido a que se trata de una pequeña cantidad, de la misma manera se verificó la capacidad de clasificación del prototipo, mediante el ingreso de dos quintal de papas, obteniendo como resultado un flujo másico de 50 kg/min , verificando que la capacidad de clasificación es de 3 Tn/h .

Protocolo de pruebas del prototipo de máquina clasificadora

Mediante la implementación del protocolo de pruebas se pretende comprobar el adecuado funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora, dado el caso que se presente un problema en algunos de los elementos que lo conforman, se efectúan mejoras en el diseño, para finalmente obtener un modelo que proporcione todas las características establecidas y tenga un óptimo funcionamiento.

Tabla 36

Protocolo de pruebas

Protocolo de pruebas	
Característica	Funcionamiento
Función del prototipo de máquina clasificadora	El funcionamiento es adecuado si el prototipo clasifica el producto en cuatro tamaños diferentes. El funcionamiento es inadecuado si el prototipo no clasifica el producto.
Capacidad de clasificación por tamaño	Tiene un adecuado funcionamiento si la bandeja de entrada permite un flujo másico de 50 kg por minuto sin ningún problema. Tiene un inadecuado funcionamiento si la bandeja de entrada no permite un flujo másico de 50 kg por minuto.
Geometría y dimensiones	El prototipo de máquina clasificadora será adecuado si tiene un peso inferior a 300 kg para poder transportarlo de un lugar a otro. El prototipo de máquina clasificadora será inadecuado si tiene un peso inferior a 300 kg para poder transportarlo de un lugar a otro.
Tipo de material	El material y la terminación de la superficie es adecuado si permite realizar la clasificación sin dañar el producto. El material y la terminación de la superficie es inadecuado si se realiza la clasificación dañando el producto.
Instalación eléctrica	La instalación eléctrica es adecuada si cuenta con los elementos eléctricos de protección. La instalación eléctrica es inadecuada si no cuenta con los elementos eléctricos de protección.

Formato del protocolo de pruebas**Tabla 37***Formato del protocolo de pruebas*

PROTOCOLO DE PRUEBAS: PROTOTIPO DE MÁQUINA CLASIFICADORA DE PAPAS DE ACUERDO A SU TAMAÑO			No.
Realizado por:		Fecha:	
Nombre del equipo:		Lugar:	
Características	Correcto	Incorrecto	Observaciones
Función del prototipo de máquina clasificadora			
Clasificación en 4 tamaños diferentes			
Capacidad de clasificación			
3000 kg/h			
Geometría y dimensiones			
Peso menor a 300kg			
Tipo de material y acabado			
Clasificación sin dañar el producto			
Instalación eléctrica			
Cuenta con protecciones eléctricas			

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Mediante la investigación y el análisis de las diferentes máquinas existentes en el mercado que permiten la clasificación de un producto de acuerdo al tamaño, se estableció un modelo base, que presenta características de selección por medio de cilindros giratorios, el ingreso y salida del producto a través de bandejas, la transmisión de potencia por medio del mecanismo piñón y corona, además, incorpora un panel de control para una fácil operación.
- Mediante la aplicación de la metodología de la ingeniería concurrente se analizó los requerimientos del cliente (voz del usuario) y del diseñador (voz del ingeniero), que permite el desarrollo de la casa de la calidad, estableciendo valores cuantitativos de los pesos relativos de acuerdo al nivel de importancia de las características como la clasificación rápida y precisa, que no dañe el producto, que sea transportable, que presente un tamaño compacto, que sea de fácil operación, de fácil mantenimiento, de bajo peso y de bajo ruido, permitiendo establecer los materiales para la construcción, las dimensiones, la complejidad del mecanismo, los ajustes y tolerancias.
- Se diseñó el prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, mediante la utilización del software SolidWorks versión estudiantil, de acuerdo con la capacidad de clasificación establecida de 3000 kg/h, estableciendo las dimensiones y la geometría de cada componente, para su posterior ensamblaje, a la vez que se realizó un estudio de los esfuerzos, las deformaciones y la verificación de los factores de seguridad, de la misma manera, se realizó los planos mecánicos utilizados para la construcción.
- Se implementó los diagramas de control y potencia para la puesta en marcha del motorreductor, que a través del sistema de transmisión, ejerce el movimiento en los

cilindros clasificadores, el mismo presenta unos parámetros técnicos de potencia de 120 W, una velocidad de 50 rpm, un voltaje de 120 V y un consumo de corriente de 1,53 A, permitiendo establecer un conductor 14 AWG, un interruptor termomagnético de 4 A, un contactor de 120 V con una capacidad nominal de 10A, un relé térmico de 120 V con una regulación de corriente de 1.6-2.5 A, los pulsadores de arranque, parada y las luces piloto de 120V.

- Mediante la implementación del protocolo de pruebas, se validó el prototipo de máquina clasificadora de papas por su tamaño, a través de los parámetros establecidos por los representantes del centro de acopio “Santa Lucia”, como el correcto encendido y apagado, que permita el ingreso adecuado del producto, que presente una velocidad de clasificación óptima, que cumpla con la capacidad de clasificación de 3000kg/h, que permita la selección en cuatro tamaños diferentes, que presente una adecuada salida del producto por medio de las bandejas y tenga un correcto funcionamiento de la instalación eléctrica, verificando a través de las pruebas de funcionamiento y de esfuerzo mecánico.
- Se ha realizado una socialización a los diferentes productores del sector de Santa Lucia, con la finalidad de conocer el nivel de aceptación del prototipo de máquina clasificadora, obteniendo un resultado favorable del 95% de aprobación, ya que consideran que la implementación de la misma, permite reducir el tiempo de clasificación, la selección del producto de acuerdo al tamaño es más precisa, a la vez que no daña el producto.

Recomendaciones

- Para el análisis estructural y la realización de las pruebas de funcionamiento a través de software especializado, es necesario establecer un mallado de calidad, para determinar valores más cercanos a la realidad, en lo concerniente a concentración de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.
- Construir los cilindros clasificadores en un material diferente al acero galvanizado, considerando planchas de Nylon Industrial Poliamida 6 con un espesor adecuado, debido a que presenta excelentes propiedades mecánicas.
- Implementar una etapa de limpieza del producto, antes de la clasificación, debido a que las papas cosechadas, contienen una pequeña cantidad de tierra a su alrededor, esto con la finalidad de ofrecer un producto que tenga una buena presentación en el mercado para su comercialización.

Bibliografía

Abasolo, M., Corral, J., & Iriondo, E. (2017). Diseño de máquinas. *Universidad del País Vasco*, 18.

Abasolo, M., Navalpotro, S., Iriondo, E., & Corral, J. (2020). Transmisión por correas. En *Diseño de Máquinas*.

Alcalde, C., & Bone, E. (2013). Diseño de una máquina clasificadora de tomate de 700 [kg/h] de capacidad. *Escuela Politécnica Nacional*, 235.

Alcalde, J., Amelivia, A., González, J., & Thibaut, E. (2019). *Perímetros y Áreas*. McGrawHill.

Angos, M., & Calvopiña, H. (2013). Diseño, construcción y simulación de una máquina clasificadora de frutos por su tamaño. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 22.

Baeza, G. (2015). *Cojinetes y Rodamientos*. Obtenido de Capacidad de carga dinámica.

Bayer, A. (2022). *Solución para papa*. Obtenido de Agro Bayer Ecuador:

<https://www.agro.bayer.ec/es->

[ec/cultivos/papa.html#:~:text=La%20papa%20es%20uno%20de,la%20alimentaci%C3%B3n%20de%20cada%20familia.](https://www.agro.bayer.ec/es-ec/cultivos/papa.html#:~:text=La%20papa%20es%20uno%20de,la%20alimentaci%C3%B3n%20de%20cada%20familia.)

Beléndez, A. (2017). Geometría de masa. *Universidad de Alicante*, 24.

Benar. (2020). *Benar & Cia S.A.S*. Obtenido de Cadenas de transmisión:

<https://www.benar.com.co/cadena-transmision.html>

BRR. (2022). *Chumaceras (Rodamientos Montados)*. Obtenido de BRR Refacciones

Industriales: <https://brr.mx/chumaceras/>

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*.

- Cadersa. (2015). *Cadenas de transmisión*. Obtenido de Cadenas de transmisión según ISO 606-1982 E y DIN 8187: <https://www.cadersa.es/cadenas-de-transmision-segun-iso-606-1982-e-y-din-8187/>
- Capote, V. (2009). Tipos de uniones. *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, 13.
- Carro, R., & Gonzáles, D. (2018). Productividad y competitividad. *Universidad Nacional de Mar del Plata*.
- CGA. (2022). *Cía. General de aceros*. Obtenido de Aceros de ingeniería: <https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-1045/>
- Chand, I. (2019, Septiembre 19). *La innovación agrícola y la tecnología son la clave para reducir la pobreza en los países en desarrollo, según un informe del Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/09/16/agricultural-innovation-technology-hold-key-to-poverty-reduction-in-developing-countries-says-world-bank-report>
- Chicaiza, S. (2021). Diseño y simulación de una máquina clasificadora de patatas para la semillera Miranda de la ciudad de San Pedro de Pelileo. *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 77.
- Cifema. (2020). *Clasificadora de papa y chuño*. Obtenido de Cifema S.A.M.
- Cipotato. (2011). *Inventario de tecnologías e información para el cultivo de la papa en Ecuador*. Obtenido de Variedades de la papa: <https://cipotato.org/papaenecuador/variedades-de-papa/#1507782251469-e8d19e41-f501>
- CLR. (2020). Motorreductores: Como elegir el mejor para cada proyecto. *Compañía Levantina de Reductores*, 16.

Cnpukka. (2022). *Máquina clasificadora de caqui tipo tambor, 4 grados, 3 T/H*. Obtenido de Cnpukka Machinery.

Cpacific. (2021, Octubre 13). *Tipos de transmisiones de potencia*. Obtenido de Comercial Pacific: <https://www.cpacific.cl/blog/tipos-de-transmisiones-de-potencia>

EP-EMA. (2023). *Listado de precios del mercado mayorista Ambato*. Ambato.

Fruitprocess. (2019, Enero 21). *potato grader, potato grading machine, potato sorting equipment*. Obtenido de First Industry - Fruit processing.

Fruitprocessing. (2021). *Clasificador de melocotón, pequeño clasificador electrónico*. Obtenido de First Industry - Fruit Processing.

FstSort. (2019). *Potato Grading Machine*. Obtenido de Fruit Process: <https://fruitprocess.com/en-us/tag/potato-grading-machine>

Garcia, G. (2020, Octubre 28). *Agricultura: tendencias y mejores prácticas*. Obtenido de The food tech: <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/agricultura-tendencias-y-mejores-practicas/>

Geosort. (2021). *Máquina clasificadora para la industria agroalimentaria*. Obtenido de Greefa: <https://www.directindustry.es/prod/greefa/product-212925-2249892.html>

Getty, I. (2023, Junio 07). *Agua de papa: estos son sus beneficios para adelgazar y prevenir el envejecimiento*. Obtenido de Semana: <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/agua-de-papa-estos-son-sus-beneficios-para-adelgazar-y-prevenir-el-envejecimiento/202108/>

Gómez, A. (2018). *QFD LA CASA DE LA CALIDAD: herramienta de planificación del diseño*. Obtenido de Asesor de calidad: <http://asesordecualidad.blogspot.com/2017/03/qfd-la-casa-de-la-calidad-herramienta.html>

- Guevara, F., Buitron, P., & Lasso, C. (2009). *Física Básica*.
- Henan, T. M. (2021). *Manufacturer, Trading Company*.
- Herramat. (2019, Noviembre 25). *TUBOS ESTRUCTURALES: TIPOS Y USOS*. Obtenido de Herramant Aceros: <https://www.herramat.com/novedades/74/tubos-estructurales-tipos-y-usos/>
- Hibbeler, R. C. (2010). *Ingeniería Mecánica Estática*. México: Prentice Hall.
- INEC. (2023). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. *ESPAC 2022*, 55.
- INIA. (2022, Enero 25). *Agricultores de Ipna en Junín obtienen semillas de papa con alta calidad genética*. Obtenido de Plataforma digital única del estado peruano: <https://www.gob.pe/institucion/inia/noticias/579122-agricultores-de-ipna-en-junin-obtienen-semillas-de-papa-con-alta-calidad-genetica>
- INIAP. (2014). *Cultivos: papa (Solanun Tuberosum)*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
- INIAP. (2021). Manual del cultivo de papas para pequeños productores. (M. Racines, X. Cuesta, & C. Castillo, Edits.) *Programa Nacional de Raíces y Tubérculos - papa*, 3, 124.
- INIAP. (2023, Enero 17). *Producción de papa en el Ecuador y su importancia*. Obtenido de Del Monte AG: <https://delmonteag.com.ec/produccion-de-papa-en-ecuador-y-su-importancia/>
- Intermec. (2019). *La transmisión de potencia por cadena de rodillos*. Bogotá.
- Jaramillo, G., & Herrera, A. (2015). Diseño y construcción de una zaranda clasificadora de papa (*Solanum Tuberosum*). *Universidad Nacional de Loja*, 89.

Jeres, C. (2018). Máquina para clasificar y contabilizar la producción de tomates de arbol.

Universidad Técnica del Norte, 96.

Jimeno, J. (2012, Octubre 18). *Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué*

sirve el QFD y cómo realizarlo. Obtenido de PDCA Home:

<https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>

Joresa. (2019). *Cálculo de una transmisión por cadena*. Multiscreensite.

Martinez, G. (2021). Diseño y construcción de una clasificadora de papas (*Solanum tuberosum*

L.). *Universidad Autónoma Chapingo*, 88.

Meléndez. (2020). *Transmisión de movimiento por cadena*.

NSK. (2023). *¿Qué es un Rodamiento?* Obtenido de NSK Motion & Control:

<https://www.nskeurope.es/es/bearings/products/what-s-a-bearing.html>

Olaya, C. &. (2005).

Oporto, E. (2021). Diseño de máquina clasificadora de papas en el Valle de Tambo, 2019.

Universidad Continental, 187.

Ramirez, R. (2016). *Cojinetes de contacto rodante*. Obtenido de Rodamientos.

Redragon. (2020). *Tabla de amperajes*. Obtenido de Redragon USA:

<https://www.redragonusa.com/tabla-de-amperaje-en-cables-k.html>

Reiproacero. (2020). *Eje De Transmisión*. Obtenido de Reiproacero:

<https://reiproacero.ec/m/producto/eje-de-transmision/>

Riba. (2002).

Rodríguez, H. (2020). *Ingemecánica*. Obtenido de Resistencia Mecánica a Fatiga:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>

Roydisa. (2018). *¿Qué es un motorreductor?* Obtenido de Roydisa:

<https://www.roydisa.es/archivos/5419#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20motorreductor%3F,un%20equipo%20de%20forma%20autom%C3%A1tica.>

Saín, G., & Ardila, J. (2015). Una alianza para mejorar la productividad. *IICA*.

Salazar, B. (2019, Septiembre 11). *¿Qué es la Ingeniería Concurrente?* Obtenido de Ingeniería

Industrial: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/procesos-industriales/que-es-la-ingenieria-concurrente/>

Sandra. (2023, Enero 17). *Producción de papa en el Ecuador*. Obtenido de Del monte AG:

<https://delmonteag.com.ec/produccion-de-papa-en-ecuador-y-su-importancia/>

Serintu. (2022). *Chumaceras*. Obtenido de Serintu Servicio Agroindustriales:

<https://www.serintu.com/chumaceras/>

Serintu. (2022). *Motorreductores*. Obtenido de Servicios Agroindustriales:

<https://www.serintu.com/motorreductores/>

SIAP. (2006, Mayo 02). *La papa, es el alimento del mundo*. Obtenido de Servicio de

Información Agroalimentaria y Pesquera: [https://www.gob.mx/siap/articulos/la-papa-es-el-alimento-del-](https://www.gob.mx/siap/articulos/la-papa-es-el-alimento-del-mundo#:~:text=La%20papa%20es%20un%20tub%C3%A9rculo,sobre%20todo%20cuando%20hay%20sequ%C3%ADa.)

[mundo#:~:text=La%20papa%20es%20un%20tub%C3%A9rculo,sobre%20todo%20cuando%20hay%20sequ%C3%ADa.](https://www.gob.mx/siap/articulos/la-papa-es-el-alimento-del-mundo#:~:text=La%20papa%20es%20un%20tub%C3%A9rculo,sobre%20todo%20cuando%20hay%20sequ%C3%ADa.)

Some. (2019, Febrero 20). *Técnicas de unión de metales: Soldaduras y Remaches*. Obtenido

de Some Stamping Solutions: <https://www.some.es/es/union-metales-soldaduras-remaches>

Tene, D., & Villagrán, J. (2017). Diseño y construcción de una máquina clasificadora de

tomates de riñón - variedad Daniela de 80 cartones de 23 [kg/h] de capacidad. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 182.

Torres, L., Cuesta , X., Monteros, C., & Rivadeneira, J. (2011, Diciembre). *Variedades de papa*.

Obtenido de Cipotato: <https://cipotato.org/papaenecuador/variedades-de-papa/>

Torres, L., Montesdeoca, F., & Piedra, J. (2011, abril). *Cosecha y poscosecha*. Obtenido de

Inventario de tecnologías e Información para el cultivo de papa en el Ecuador:

<https://cipotato.org/papaenecuador/cosecha-y-poscosecha/#1508258510958-e819da7c-b519>

Valcarce, A. (2014). *Torque y Momento de torsión*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Vanegas, L. (2018). *Diseño de elementos de máquinas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

ANEXOS