



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**AUTORES: ANGOS MEDIAVILLA MARIO FERNANDO - CALVOPIÑA
ENRIQUEZ HÉCTOR ALEJANDRO**

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA
CLASIFICADORA DE FRUTOS POR SU TAMAÑO**

DIRECTOR: ING. NARANJO CARLOS

CODIRECTOR: ING. SALAZAR ANGELITA

SANGOLQUÍ, OCTUBRE 2013

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certificamos que el proyecto de grado titulado “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE FRUTOS POR SU TAMAÑO” fue realizado en su totalidad por los señores Mario Fernando Angos Mediavilla y Héctor Alejandro Calvopiña Enríquez, como requerimiento parcial para la obtención de título de Ingeniero Mecánico.

.....

Ing. Carlos Naranjo

DIRECTOR

.....

Ing. Angelita Salazar

CODIRECTOR

Sangolquí, Octubre del 2013

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS, MARIO FERNANDO ANGOS MEDIAVILLA Y HÉCTOR ALEJANDRO CALVOPIÑA ENRÍQUEZ.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado, **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA CLASIFICADORA DE FRUTOS POR SU TAMAÑO”**

.....
Mario Fernando Angos Mediavilla

C.I: 1718327883

.....
Héctor Alejandro Calvopiña Enríquez

C.I: 1718823303

Sangolquí, Octubre del 2013

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Mario Fernando Angos Mediavilla y Héctor Alejandro Calvopiña Enriquez, declaramos bajo juramento que el contenido de la presente tesis, es de nuestra autoría; no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional.

.....
Mario Fernando Angos Mediavilla

C.I: 1718327883

.....
Héctor Alejandro Calvopiña Enríquez

C.I: 1718823303

Sangolquí, Octubre del 2013

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios.

A mi madre Dolorosa del Colegio San Gabriel por llenarme de bendiciones, y darme unos padres tan buenos y sabios.

También a mi madre, Graciela, que sin su apoyo no habría sido nada posible en mi vida. Por la paciencia y el apoyo incondicional que me ha sabido brindar.

A mi padre Mario, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado. Y que con sus consejos y con su ejemplo ha sabido guiarme diariamente.

A mis dos hermanos que han sido las personas que más fuerza y ejemplo me han brindado. Gracias por su apoyo, este trabajo es por ustedes y para ustedes.

A toda mi familia y a todas las personas que me han apoyado en este trabajo, en especial a Paola por su constante apoyo.

MARIO

DEDICATORIA

A mis padres, Gloria y Manuel, que fueron quienes me dieron la fuerza para realizar este proyecto, por todas las malas noches que soportaron, las iras y los corajes que tuvieron que soportar. Este proyecto es para ustedes.

A mi hermana Karen, que ha sido mi compañera de juego y travesura.

A Tatiana, por ser la luz que alumbra mi vida.

A Dios y a la virgen Dolorosa que me han llevado por el camino del bien y han iluminado cada uno de los pasos que doy.

HÉCTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios sobre todo, a mi familia, y también a mi compañero de tesis, Héctor. Que a demás de ser mi amigo durante muchos años, ha sido prácticamente un hermano el cual me apoyado en todo.

Agradezco a nuestro director de tesis el Ing. Carlos Naranjo y nuestra codirectora Ing. Angelita Salazar, por su apoyo y tiempo prestado a nuestro proyecto.

A todas las personas que directa e indirectamente nos han apoyado en el desarrollo de esta tesis.

MARIO

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por todo el apoyo que me brindaron.

A mi compañero de tesis Mario, a quien lo considero como mi hermano y con quien pasamos tantas malas noches, el esfuerzo valió la pena.

A toda la gente que de una u otra manera aportó para la realización de este proyecto, gracias por todo.

HÉCTOR

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	i
AUTORIZACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	xxv

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.5 ALCANCE.....	4
1.6 HISTORIA DE LA HACIENDA TURUCO.....	5
1.6.1 MISIÓN	7
1.6.2 VISIÓN.....	7
1.6.3 VALORES ÉTICOS.....	7
1.6.4 VALORES PROFESIONALES.....	7
1.6.5 POLÍTICA DE CALIDAD	8
1.6.6 POLÍTICAS DE MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS.	9
2.2 NORMATIVA APLICABLE	18
2.4 TIPOS DE MÁQUINAS CLASIFICADORAS.....	28
2.4.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	28
2.4.2 DATOS TÉCNICOS	35

2.5 INSTRUMENTACIÓN	38
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA MÁQUINA CLASIFICADORA	40
3.1 PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LA MÁQUINA	40
3.2 DISEÑO MECÁNICO	42
3.2.1 SISTEMA MOTRIZ	43
3.2.2 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO	63
3.2.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	72
3.2.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTANTE	75
3.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA MULTICUERPO	79
CAPITULO 4: FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA CLASIFICADORA	82
4.1 FABRICACIÓN	82
4.1.1 FABRICACIÓN DE LAS PARTES	83
4.1.2 MONTAJE	84
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	85
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	92
5.1. COSTOS DIRECTOS	93
5.2. COSTOS INDIRECTOS	95
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterio de comparación y códigos de equivalencia.	34
Tabla 2.2 Cuadro de la selección de las máquinas clasificadoras.	35
Tabla 3.1 Velocidad del los ejes.	47
Tabla 3.2 Piñones a utilizar (Para cadena ANSI No. 25 Paso ¼”).	61
Tabla 3.3 Tamaños de los frutos.	73
Tabla 3.4 Tabla de propiedades del acero A36.	75
Tabla 3.5 Tabla de propiedades del acero galvanizado.	76
Tabla 4.1 Simbología usada en diagramas de procesos.	85
Tabla 4.2 Tabla para el control de las dimensiones principales.	86
Tabla 4.3 Tabla de verificación del funcionamiento en vacío.	87
Tabla 4.4 Tabla de verificación del funcionamiento con carga.	88
Tabla 4.5 Tabla de la calidad de clasificación.	90
Tabla 4.6 Criterio de evaluación de maltrato al fruto.	90
Tabla 4.7 Tabla del porcentaje de fruto maltratado.	91
Tabla 5.1 Costo de la mano de obra.	93
Tabla 5.2 Costo del diseño.	93
Tabla 5.3 Costo de los materiales.	94
Tabla 5.4 Costos directos totales.	94
Tabla 5.5 Costos de adquisición de insumos.	95

Tabla 5.6 Varios.....	95
Tabla 5.7 Costos indirectos totales.....	96
Tabla 5.8 Costo total del proyecto.....	96
TABLA 5.9 Consumo de energía.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Operaciones a realizarse con los frutos.....	10
Figura 2.2 Anillos clasificadores.	13
Figura 2.3 Máquina clasificadora de cilindros rotatorios.	14
Figura 2.4 Mesa clasificadora de Frutos por tamaño.	15
Figura 2.5 Clasificador de conducto inclinado o cascada.	16
Figura 2.6 Separadores de diferentes formas geométricas.	17
Figura 2.7 Tomate riñón.....	21
Figura 2.8 Limón Meyer	23
Figura 2.9 Cebolla paiteña.....	25
Figura 2.10 Máquina clasificadora mediante bandas transportadoras.....	31
Figura 2.11 Motor de ¼ HP.....	38
Figura 2.12 Pulsador.....	39
Figura 3.1 Esquema de la máquina clasificadora.	40
Figura 3.2 Esquema del sistema motriz.....	43
Figura 3.3 Distancia entre los ejes motrices.	44
Figura 3.4 Esquema del eje motriz y el cilindro.	45
Figura 3.5 Diagrama de fuerzas actuantes en el eje 1 y 2.....	64
Figura 3.6: Diagrama de fuerzas actuantes en el eje motriz.....	68
Figura 3.7 Esquema del clasificador.	72

Figura 3.8 Geometría de la estructura de clasificación.....	74
Figura 3.9 Cargas aplicadas en cada una de las mesas.	76
Figura 3.10 Restricciones en cada una de los apoyos de la estructura.....	77
Figura 3.11 Esfuerzo de Von Misses.	78
Figura 3.12 Desplazamiento máximo.....	78
Figura 3.13 Factor de seguridad.....	79
Figura 3.14 Simulación.....	80
Figura 3.15 Simulación.....	80
Figura 3.16 Simulación.....	81
Figura 3.17 Simulación.....	81

RESUMEN

La clasificación de frutos por tamaño, es una actividad de mucha importancia en el sector agrícola. Este proceso se lo realiza de manera manual, razón por la cual es muy laborioso e ineficiente. Por esta razón se decidió mejorar este proceso, construyendo una máquina que clasifique frutos redondos en 5 tamaños, con una capacidad de 200 kg por hora.

En el capítulo se habla de la definición del problema, justificación y objetivos del proyecto. Además contiene un breve resumen sobre la historia de la hacienda para la cual se construyó la máquina. La descripción del procedimiento para la clasificación de los productos, el análisis y selección de alternativas, así como la normativa aplicable para la construcción de este tipo de máquinas se encuentra en el capítulo 2. El diseño de los elementos mecánicos y partes que conforman la máquina, junto con la simulación del sistema multicuerpo y el cálculo de la estructura soportante en un software CAD se encuentran en el capítulo 3. En el capítulo 3 se detalla la fabricación de las partes, el montaje y las pruebas de funcionamiento que se realizaron en la hacienda. En el capítulo 5 se habla del costo total del proyecto, analizando los costos directos e indirectos. Finalmente, en el capítulo 6, se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se extraen de las principales observaciones del diseño y construcción de la máquina clasificadora.

Palabras Clave: Diseño de máquinas, máquina clasificadora, clasificación de frutos redondos

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

Para este capítulo se tomará como referencia a la hacienda Turuco ubicada en la localidad.

1.1 ANTECEDENTES

La hacienda Turuco siempre se ha caracterizado, por ser productora y comercializadora de excelencia, a nivel nacional e internacional, siendo altamente valorada por sus clientes, inversionistas, empleados y colegas de la industria.

Principalmente la empresa produce:

- Limones
- Tomates
- Cebolla Paiteña

Para la clasificación de los anteriores frutos se tienen las siguientes categorías o rangos. Las categorías se dan de acuerdo al diámetro de las frutas.

Tabla 1 Tamaños de los frutos.

Tamaño	1	2	3	4	5
Diámetro (cm)	< 5 – 6	> 6 – 6.5	> 6.5 - 7	> 7 – 7.5	> 7.5

Fuente: Hacienda Turuco

Elaboración: Propia

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La realización de este proyecto, obedece a la necesidad de clasificar los frutos que produce de una manera más eficiente, el proceso de clasificación es una actividad que se realiza en todas las haciendas del cantón Pedro Moncayo.

Se decidió mejorar este proceso, mediante la implementación de una máquina, la cual realizará el trabajo de 8 trabajadores. Se debe tener en cuenta que se necesita un operario que ponga en marcha la máquina, y esté presente en el proceso de clasificación.

La tabla a continuación muestra la producción mensual promedio de una hacienda del cantón Pedro Moncayo.

Tabla 2 Producción promedio del mes de abril 2013.

PRODUCTOS	PRODUCCIÓN (kg)	TIPO DE PRODUCCIÓN.
Tomate	5400	Todo el año
Limón	650	Todo el año
Cebolla Paiteña	40	Todo el año

Fuente: Hacienda Turuco

Elaboración: Propia

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con la realización del presente proyecto se mejorará el proceso de clasificación de frutos redondos, que actualmente se realiza de manera manual en todas las haciendas del cantón Pedro Moncayo.

Al implementar una máquina para el proceso de clasificación se disminuirá la mano de obra utilizada para esta tarea, permitiendo de esta manera, que los productores ocupen en otras tareas a sus empleados, con lo cual se ahorrará tiempo y recursos, aumentando de esta manera la productividad de las haciendas.

Como futuros Ingenieros Mecánicos, queremos producir una máquina con tecnología y mano de obra local, que se adapte a nuestras necesidades y con un presupuesto reducido, evitando así la importación.

Finalmente la ejecución de este proyecto nos permitirá cumplir el requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico y de esta manera demostrar que nuestra preparación es adecuada.

1.4 OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar, simular, construir y probar una máquina que se encargue de la clasificación de frutos redondos para las haciendas ubicadas en el cantón Pedro Moncayo.

ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización de los productos a clasificar.
- Realizar un estudio de mercado de las máquinas clasificadoras de frutos, para la selección de la mejor alternativa.
- Diseñar la máquina antes de su construcción.
- Construir, ensamblar e instalar la nueva máquina en la hacienda.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la máquina.

1.5 ALCANCE

El presente proyecto incluye el diseño, construcción instalación y pruebas de funcionamiento de una máquina clasificadora de frutos redondos para las haciendas del cantón Pedro Moncayo.

1.6 HISTORIA DE LA HACIENDA TURUCO

La hacienda Turuco tiene alrededor de 11 años en el mercado de Ecuador, está ubicada en el sector de Malchinguí, cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha. Su principal actividad es la producción de varios frutos endémicos de la zona.

El señor Elías Zoldan y la señora, Martha Torres Mateus de Zoldan, en los últimos 25 años, han participado en proyectos agrícolas de siembra y comercialización tanto para el mercado local como internacional, como por ejemplo la siembra de frutillas y espárragos para exportación a EE.UU., Alemania y Holanda, cuyos cultivos se realizaban en la hacienda "San Jorge" ubicada en el sector de Jerusalén.

El matrimonio Zoldan impulsa la constitución de la compañía Hortifrutos Cía. Ltda., la cual se dedica al cultivo en invernadero de:

- Tomates Cherry, amarillo, rojo y tomate
- Tomate Riñón
- Pimiento
- Babaco

En 1987 inicia, mediante acuerdo verbal, el abastecimiento de los productos agrícolas mencionados anteriormente a Supermercados La Favorita S.A., cuya relación comercial se mantiene hasta la fecha, pero con la entrega de diferentes productos como:

- Limones Tahití, Meyer
- Cebolla Puerro
- Pimiento Rojo, Amarillo, Verde
- Aguacate

En junio del 2002, el terreno de la hacienda San Jorge es vendido íntegramente con la producción en invernaderos, galpones y ganado, exceptuando el desmembramiento de 41 hectáreas del terreno de Turuco, en la que actualmente se realiza la producción de ciertos productos agrícolas. En adición a los productos indicados, se practica el injerto para la producción de plantas de aguacate, limón y naranja con un inventario disponible de 50,000 plantas.

En el 2005 inicia el abastecimiento de productos agrícolas como persona natural a Supermaxi, “Servicios Zebik” – Swiss Corner, Aleproca, Hortana, así como a personas naturales para la comercialización en locales de venta de verduras y frutas.

Actualmente el negocio de producción y comercialización se lo realiza como persona natural a nombre de la señora de Zoldan con una gama de clientes de la industria de comida y hotelería.

1.6.1 MISIÓN

Entregar de manera oportuna productos de calidad, llegando a ser el proveedor más valorado y apreciado por nuestros clientes, inversionistas, empleados y colegas de la industria.

1.6.2 VISIÓN

Al 2015, lograr el reconocimiento y respeto como productor y comercializador de alimentos agrícolas a nivel nacional, resaltando la excelencia en la calidad de los productos, proveyendo al país con los mejores alimentos nutritivos.

1.6.3 VALORES ÉTICOS

- Honestidad en la hacienda.
- Respeto y libertad de pensamiento.
- Orden, puntualidad y disciplina.
- Búsqueda permanente de la calidad y excelencia.
- Igualdad de oportunidades.

1.6.4 VALORES PROFESIONALES

- Vocación al servicio.
- Honestidad.
- Puntualidad.

- Responsabilidad.
- Prudencia

1.6.5 POLÍTICA DE CALIDAD

- Recibir de una manera abierta sus opiniones sobre cada uno de los productos, para determinar claramente el nivel de satisfacción del cliente.
- Dar la seguridad al cliente de que los productos son de calidad, a más de cumplir con los requisitos y reglamentación que el cliente demanda.
- Confiar en el personal, en sus capacidades y profesionalismo.
- Valorar la honestidad, la responsabilidad, y demás valores que tiene cada miembro del personal.
- Estimular la creatividad y el trabajo en equipo en la empresa.

1.6.6 POLÍTICAS DE MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD

- Compromiso con la protección del medio ambiente, por medio de acciones orientadas a la prevención de la contaminación y una producción más limpia, libre del uso excesivo de fertilizantes.
- Ser conscientes de que los avances tecnológicos hacen bien a la empresa, pero siempre pensar primero en el impacto ambiental que este generará en un futuro.
- Cumplir con los requisitos legales y normas aplicables para ofrecer un ambiente de trabajo seguro.
- Comprometernos al bienestar general de los colaboradores.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS.

En esta parte se hablará sobre las operaciones de acondicionamiento, las cuales incluyen varios procesos. Las operaciones de acondicionamiento pueden ser tan sencillas como la transferencia del producto desde las cajas de cosecha a un empaque para el transporte o pueden incluir una variedad de prácticas tales como: lavado, encerado, clasificación por tamaño, calidad y color. La provisión de sombra durante las operaciones de acondicionamiento es extremadamente importante.

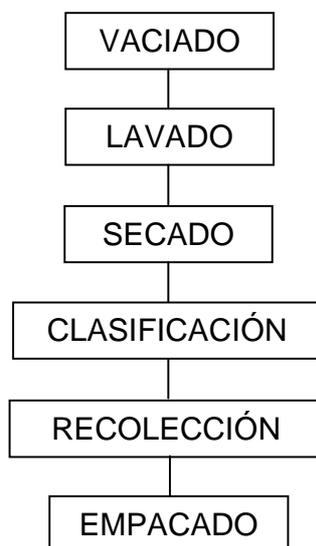
La selección del producto es una operación práctica y en la mayoría de los casos, manual, donde se elimina el producto dañado o defectuoso. Para algunas mercancías, tales como tomates y limones, un cepillado en seco puede ser suficiente para la limpieza del producto. La elección entre el uso del cepillado en seco dependerá del tipo de contaminación.

La higiene es indispensable tanto para controlar la propagación de enfermedades de un artículo al otro, como para limitar el crecimiento de esporas en el agua de lavado o en el aire de la empacadora. Se pueden usar tratamientos con cloro (100 a 150 ppm de cloro activo) en el agua de lavado para disminuir el crecimiento de patógenos.

La clasificación por tamaño es muy útil debido a que ciertos tamaños reciben un valor mayor que otros en el mercado. En el mercado existen algunos clasificadores mecánicos, que consisten en una serie de transportadores ajustados con cadena o de bandas plásticas con aberturas de varios tamaños.

A continuación se indican las operaciones generales las cuales se realizan en la mayoría de haciendas productoras en el Ecuador.

Figura 2.1 Operaciones a realizarse con los frutos.



Fuente: Hacienda Turuco

Elaboración: Propia

VACIADO

Cada vez que el producto es transvasado de un recipiente a otro se deberán de tomar las precauciones necesarias para reducir el daño. Cuando se descarga el producto de las gavetas de campo o de los vehículos de transporte dentro de la hacienda, se puede practicar un vaciado en seco o en agua.

Cuando se vacían en seco y siendo este el caso de nuestra máquina, los recipientes deberán vaciarse lentamente sobre una rampa inclinada o recta con los lados acolchados.

LAVADO

Este proceso se lo realiza en un tanque para lavar los productos cosechados; está construido de láminas de metal galvanizado. Un deflector de lámina de metal se coloca cerca del tubo de drenaje y ayuda a la circulación del agua a través del producto. El agua limpia se añade a presión a través de un tubo horadado (con agujeros), y ayuda a mover el producto flotante hacia el extremo final de drenaje del tanque para que sea recogido después de su limpieza.

SECADO

Para el proceso de secado en algunas haciendas se usan tanques metálicos (de lámina galvanizada) para hacer una mesa sencilla de lavado. Los tanques se cortan longitudinalmente por la mitad, se les hacen unos agujeros para el drenaje y todos los bordes metálicos se cubren con una manguera de plástico o hule abierto por la mitad. Los tanques son entonces fijados a una mesa de madera inclinada. La parte superior de la mesa, construida de tablas de madera, se usa como una base para el secado antes de empacar el producto.

CLASIFICACIÓN

Para realizar el proceso de clasificación, se pueden usar varios métodos o alternativas, las cuales se detallan a continuación:

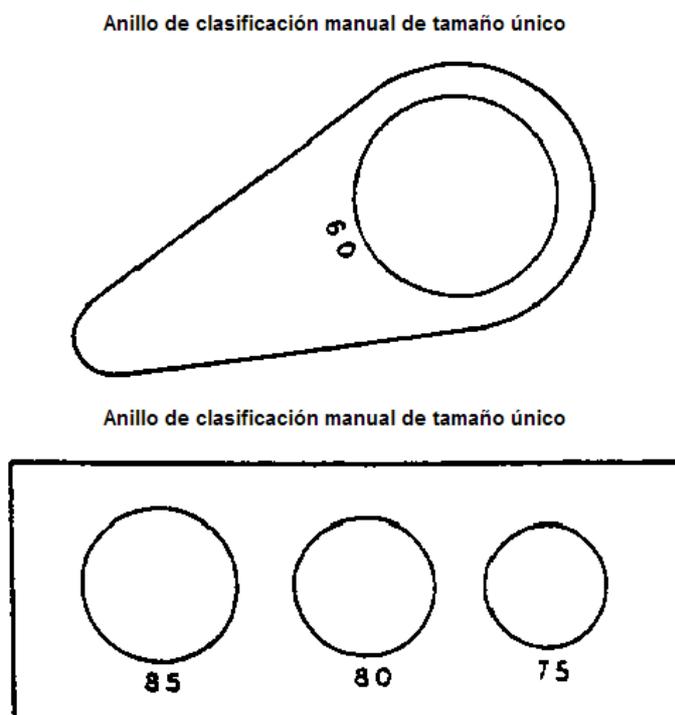
CLASIFICACIÓN MANUAL

Normalmente hay tres tipos de transportadores que se usan para la clasificación del producto. El más simple es un transportador de banda en el que el operario debe manipular el producto, con el fin de ver todos sus lados e inspeccionar la mercancía dañada. El de barra de empuje es muy rudimentario y hace que el producto esté rodando hacia delante enfrente de los trabajadores. Y por último el transportador de rodillos va moviendo los productos hacia atrás, para que pasen en frente de los operarios.

CLASIFICACIÓN POR ANILLOS

Si el producto es de forma redondeada se puede separar usando unos anillos clasificadores por tamaño. Los anillos se pueden construir de madera o bien comprarlos ya hechos en una amplia gama de tamaños.

Figura 2.2 Anillos clasificadores.



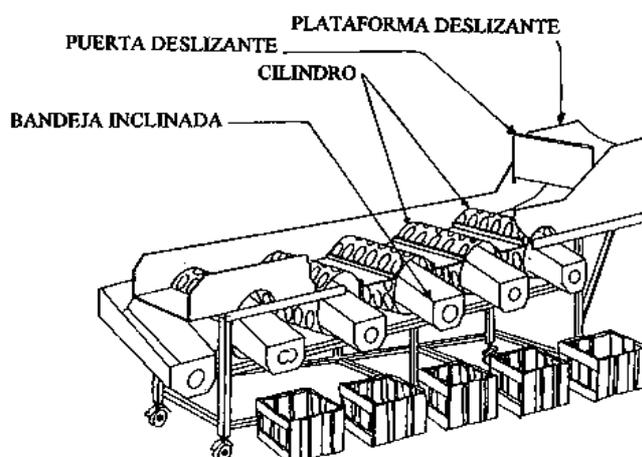
Fuente: FAO. 1989. Prevention of Postharvest Food Losses: Fruits, Vegetables and Root Crops. A Training Manual. Rome: UNFAO. 157 pp.

CLASIFICACIÓN POR CILINDROS ROTATORIOS

El cilindro rotatorio clasificador por tamaño mostrado en la figura 2.3, se compone de cinco cilindros perforados que rotan en un movimiento contrario a las manecillas del reloj cuando se pone en marcha el motor eléctrico. Cada cilindro está perforado, con agujeros suficientemente grandes para permitir que las frutas caigan a través de ellos. El primer cilindro tiene los agujeros de diámetro más pequeño, y el quinto tiene los más grandes. Cuando las frutas pasan a través de ellos son recogidas por una bandeja inclinada, y ruedan

hasta los recipientes, como se observa en la figura. Se debe tomar precaución de que la distancia de caída sea lo más pequeña posible para prevenir daños. Las frutas de mayor tamaño que los agujeros de los cilindros se acumulan al final de la línea. Este equipo funciona mejor con frutos de forma redondeada.

Figura 2.3 Máquina clasificadora de cilindros rotatorios.



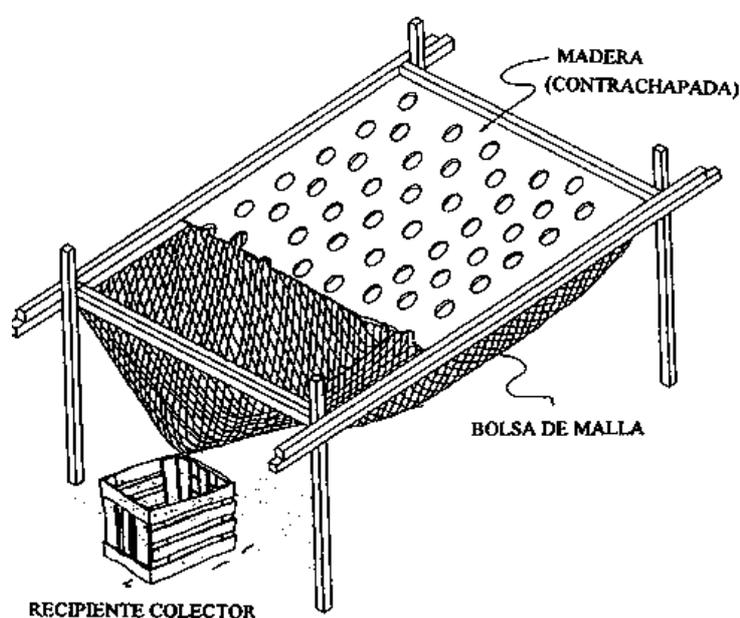
Fuente: Reyes, M.U. 1988. Design Concept and Operation of ASEAN Packinghouse Equipment for Fruits and Vegetables. Laguna, Philippine.

MESA CLASIFICADORA

La mesa clasificadora por tamaños que se muestra en la figura 2.4 forma parte de un grupo de tres o más mesas que se usan de manera escalonada. Cada una está fabricada con madera (contrachapada) y ha sido perforada con agujeros de un tamaño determinado. La primera mesa (la más alta) tiene los agujeros de mayor tamaño y, la última, la más baja, tiene los más pequeños. Una caja de frutos se vacía en la mesa más alta y aquéllas que no pasan a

través de los agujeros se clasifican como de tamaño "Extra-grande", las que pasan caen en una bolsa de malla y llegan rodando a un gran recipiente el cual se vacía en la segunda mesa clasificadora, los frutos que no pasan a través de los agujeros se clasifican como "Grandes", y así sucesivamente.

Figura 2.4 Mesa clasificadora de Frutos por tamaño.



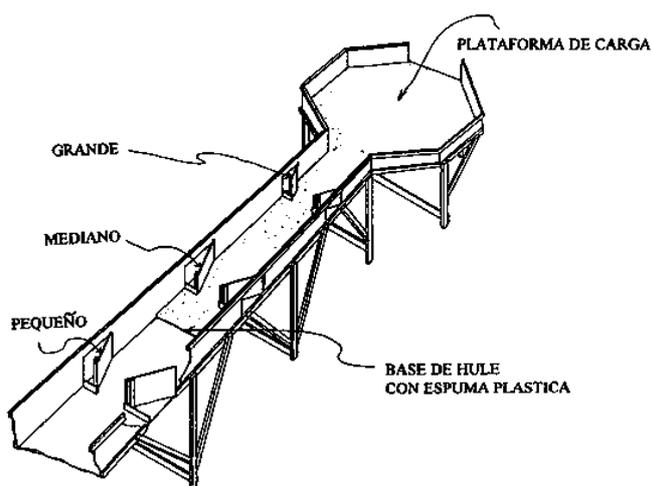
Fuente: Reyes, M.U. 1988. Design Concept and Operation of ASEAN Packinghouse Equipment for Fruits and Vegetables. Laguna, Philippine.

CLASIFICADORA DE CONDUCTO INCLINADO

El clasificador de tamaño que se ilustra en la figura 2.5 se compone de un conducto inclinado rectangular o cascada hecho de madera (contrachapada) y acolchado con espuma plástica para prevenir el daño de los frutos que se vacían en la plataforma octagonal de la parte superior del conducto inclinado, y empiezan a rodar hacia la parte de abajo en la que hay una serie de

constricciones. Las frutas más grandes son recogidas en la primera constricción, las medianas en la segunda y las pequeñas en la última. Las frutas de tamaño más pequeño todavía pasan directamente a un recipiente al final de la cascada. Los operarios deben eliminar manualmente cada fruta y colocarla en el recipiente de tamaño adecuado antes de que la siguiente fruta pase a través de la cascada. La clasificación por tamaño es más rápida cuando 5 operarios trabajan simultáneamente en el clasificador.

Figura 2.5 Clasificador de conducto inclinado o cascada.



Fuente: Reyes, M.U. (Ed.) 1988. Design Concept and Operation of ASEAN Packinghouse Equipment for Fruits and Vegetables. Postharvest Horticulture Training and Research Center, University of Los Baños, College of Agriculture, Laguna, Philippine.

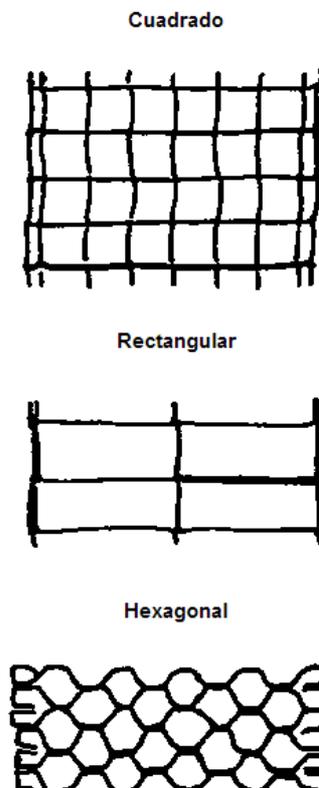
Fuente: Reyes, M.U. 1988. Design Concept and Operation of ASEAN Packinghouse Equipment for Fruits and Vegetables. Laguna, Philippine.

SEPARADORES DE DIFERENTES FORMAS GEOMETRICAS

Si se usa un sistema transportador en la empacadora, una gran variedad de cadenas y bandas se encuentran disponibles. Las cadenas de selección pueden adquirirse de diferentes anchuras y con aberturas de diversos tamaños.

Las aberturas cuadradas se usan normalmente para productos tales como manzanas, tomates y cebollas, mientras las aberturas rectangulares son empleadas para melocotones (duraznos) y pimientos. Las aberturas hexagonales se utilizan frecuentemente para patatas (papas) y cebollas.

Figura 2.6 Separadores de diferentes formas geométricas.



Fuente: TEW Manufacturing Corporation. Penfield, New York.

2.2 NORMATIVA APLICABLE

La norma que se debe tomar en cuenta para la elaboración de la máquina clasificadora es la NORMA CPE INEN 001:87 **CODIGO DE PRÁCTICA PARA LA MANIPULACIÓN DE ALIMENTOS.**

El código recomienda la aplicación de prácticas generales de higiene en la manipulación (inclusive el cultivo y recolección, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte, distribución y venta) de alimentos para el consumo humano con el objeto de garantizar un producto sano y saludable.

A continuación se citan los artículos de la norma CPE INEN001:87, que están relacionados con nuestro tema de tesis:

3.1.2.2 *Equipo y recipientes.* El equipo y los recipientes que se utilicen para la recolección y la producción deberán construirse y conservarse de manera que no constituyan un riesgo para la salud. Los envases que se utilicen de nuevo deberán ser de material y construcción tales que permitan una limpieza fácil y completa. Deberán limpiarse y mantenerse limpios y, en caso necesario, desinfectarse. Los recipientes ya usados para materias tóxicas no deberán utilizarse posteriormente para alimentos o ingredientes alimentarios.

3.1.2.4 *Protección contra la contaminación y los daños.* Deberán tomarse precauciones adecuadas para evitar que las materias primas sean contaminadas por plagas o por contaminantes químicas, físicas o microbiológicas. Deberán tomarse precauciones para evitar posibles daños.

3.1.3 Almacenamiento en el lugar de producción/recolección. Las materias primas deberán almacenarse en condiciones que confieran protección contra la contaminación y reduzca al mínimo los daños y deterioros.

3.1.4.1 Medios de transporte. Los medios de transporte del producto recolectado o de la materia prima desde la zona de producción o lugar de recolección o almacenamiento deben ser adecuados para el fin perseguido y deben ser de materiales y construcción tales que permitan una limpieza fácil y completa. Deben limpiarse y mantenerse limpios y, en caso necesario, ser desinfectados y desinfectados.

3.1.4.2 Procedimientos de manipulación. Todos los procedimientos de manipulación deberán ser de tal naturaleza que impidan la contaminación de la materia prima. Habrá de ponerse especial cuidado en evitar la putrefacción, proteger contra la contaminación y reducir al mínimo los daños. Deberá emplearse equipo especial por ejemplo, equipo de refrigeración-si la naturaleza del producto o las distancias a que ha de transportarse así lo aconsejen.

3.2.5.1 Materiales. Todo el equipo y los utensilios empleados en las zonas de manipulación de alimentos que puedan entrar en contacto con los alimentos deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores y sea inabsorbente, no corrosible, capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección. Las superficies habrán de ser lisas, estar exentas de hoyos y grietas. Deberá evitarse el uso de madera y otros materiales que no puedan limpiarse y desinfectarse adecuadamente, a menos que se tenga la certeza de que su empleo no será una fuente de contaminación. Se deberá

evitar el uso de diferentes metales de tal manera que pueda producirse corrosión por contacto.

3.3.3 Programa de inspección de la higiene. Deberá instituirse para cada establecimiento un calendario de limpieza y desinfección permanente, con objeto de que estén debidamente limpias todas las zonas y de que sean objeto de atención especial las zonas, el equipo y el material más importantes.

2.4 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

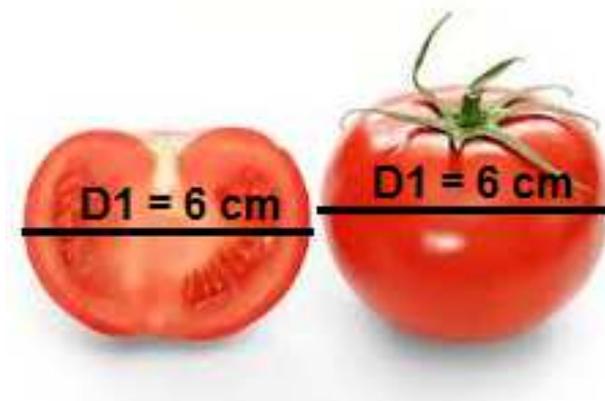
En el cantón Pedro Moncayo se producen limones, tomates, naranjas, aguacates, Suquinni, ají, cebolla puerro, apio, pimiento y vainita. De los anteriores, la máquina se encargará solamente de clasificar: limón, tomate riñón y cebolla paiteña.

A continuación se detallan los frutos que la hacienda desea clasificar:

- Tomate riñón tipo Charleston
- Limón Meyer
- Cebolla paiteña

Tomate riñón tipo Charleston

Figura 2.7 Tomate riñón



Fuente: Hacienda Turuco

Es el fruto del tomate (*Lycopersicon lycopersicum*, Solanaceae), aunque impropriamente tratado como un *vegetal*, ampliamente cultivado y consumido por la gente del sur y centro precolombino, y hoy conocida en todo el mundo.

Descripción del Producto:

Producto de forma redonda con sabor dulce, color rojo.

Categoría: Crudos

Familia: Solanacea

Género: Lycopersicum

Especie: Esculentum Mill

Características:

- Diámetro mínimo 5,5 cm
- Temperatura de Recepción: Ambiente
- Color rojo característico
- Olor Característico
- Textura Firme, pueden estar sujetos a manipulación

Observaciones:

Limpios en particular de productos químicos, libres de humedad externa anormal, libres de olor o sabor extraño.

La entrega es de tomate pintón y tomate un poco más rojo.

Envases y Embalajes:

Tipo de Envase: jaba de polietileno

El producto no debe estar en contacto directo con la superficie del transporte y las jabas, deberán estar limpias.

El transporte debe ser el adecuado, y debe ser cerrado para proteger el producto de contaminaciones físicas, químicas o microbiológicas.

Manejo del producto

Temperatura de recepción: Ambiente

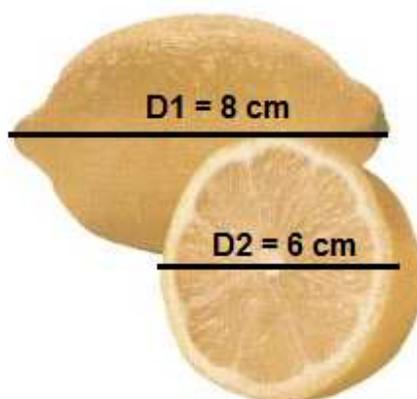
Temperatura de almacenamiento: Max. 40° F

Condición de almacenamiento: refrigeración

Inspección: Norma INEN 1750 - Hortalizas y Frutas Frescas Muestreo

Limón Meyer

Figura 2.8 Limón Meyer



Fuente: Hacienda Turuco

Fruta comestible de sabor ácido y extremadamente fragante que se usa en la alimentación. El limonero posee una madera con corteza lisa y madera dura y amarillenta muy apreciada para trabajos de ebanistería.

Su fruto posee un alto contenido en vitamina C (501,6 mg/L) y ácido cítrico (49,88 g/L).

Descripción del Producto:

Producto de forma redonda con sabor agrio, sus hojas color verde.

Categoría: Crudos

Familia: Rutaceae.

Género: Citrus

Especie: C x limón.

Características del producto:

- Peso promedio 120 a 250 gramos aproximado
- Diámetro máximo 10 cm
- Temperatura de Recepción: Ambiente
- Color verde amarillento característico
- Olor característico
- Textura Firme, pueden estar sujetos a manipulación

Observaciones:

Limpios en particular de productos químicos, libres de humedad externa anormal, libres de olor o sabor extraño.

La entrega es del limón es cuando el producto aun es de color verde.

Envases y Embalajes

Tipo de Envase: Jaba de polietileno

El producto no debe estar en contacto directo con la superficie del transporte y las jabas, deberán estar limpias,

El transporte debe ser el adecuado, y debe ser cerrado para proteger el producto de contaminaciones físicas, químicas o microbiológicas

Manejo del producto

Temperatura de recepción: Ambiente

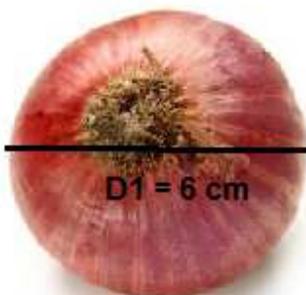
Temperatura de almacenamiento: Max. 40° F

Condición de almacenamiento: Ambiente o refrigeración.

Inspección: Norma INEN 1750 - Hortalizas y Frutas Frescas Muestreo

Cebolla Paiteña

Figura 2.9 Cebolla paiteña.



Fuente: Hacienda Turuco

Tienen una piel roja púrpura y una carne blanca con matices rojizos. Tiende a ser de tamaño mediano a grande y tener un sabor suave a dulce. A menudo se consumen crudas, asadas o cocinadas levemente con otros ingredientes, o

se añaden para dar color a ensaladas. Tienden a perder su color rojo cuando se cocinan.

Descripción del Producto:

Producto de forma redonda con sabor dulce picante.

Categoría: Crudos

Familia: Amaryllidaceae.

Género: Allium

Especie: A Ceba.

Características del producto:

- Peso promedio 80 gramos a 250 gramos aproximados
- Diámetro mínimo 5,5 cm
- Temperatura de Recepción: Ambiente
- Color rojizo.
- Olor fuerte característico
- Textura Firme, pueden estar sujetos a manipulación

Observaciones:

Limpios en particular de productos químicos, libres de humedad externa anormal, libres de olor o sabor extraño.

La entrega es de la cebolla paiteña se da cuando esta aun está fresca de color rojizo.

Envases y Embalajes

Tipo de Envase: Jaba de polietileno

El producto no debe estar en contacto directo con la superficie del transporte y las jabas, deberán estar limpias,

El transporte debe ser el adecuado, y debe ser cerrado para proteger el producto de contaminaciones físicas, químicas o microbiológicas

Manejo del producto

Temperatura de recepción: Ambiente

Temperatura de almacenamiento: Max. 40° F

Condición de almacenamiento: Ambiente o refrigeración.

Inspección: Norma INEN 1750 - Hortalizas y Frutas Frescas Muestreo

2.4 REQUISITOS Y RESTRICCIONES

A pesar de que el diseño nos brinda las mejores condiciones para el correcto funcionamiento y operatividad, hay que tomar en cuenta que en el Ecuador, no existen todos los materiales y las piezas calculadas. Existen restricciones y limitaciones las cuales se muestran a continuación.

- El diseño de cada pieza de la máquina clasificadora debe adaptarse a las piezas que existen actualmente en el mercado ecuatoriano, ya que la importación de dichas piezas no es posible debido al presupuesto limitado.
- La máquina clasificadora debe clasificar los frutos en 5 tamaños o clases diferentes.
- La capacidad mínima de la máquina clasificadora es de 200 kg/hora.
- La velocidad de avance de la máquina transportadora tiene que ser óptima, para que el operario puede seleccionar manualmente los frutos en mal estado.
- Sin duda la mayor limitación que presenta el proyecto, es de índole económica, debido a que el presupuesto con el que se cuenta, es decir, lo ofrecido por la empresa auspiciante, es de 2000 dólares.

2.4 TIPOS DE MÁQUINAS CLASIFICADORAS

2.4.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Anteriormente se mencionaron 5 alternativas de clasificación que pueden reemplazar a la clasificación manual, pero debido a los requerimientos de la hacienda Turuco, las opciones de clasificación por anillos, conducto inclinado y separadores de distintas figuras geométricas, no son recomendables, debido a que toma mucho tiempo, se necesitan demasiados operarios o se realiza de manera incorrecta.

Por tal motivo, las alternativas que se consideran para la selección son la del cilindro rotatorio, la mesa clasificadora y una tercera opción, que consiste en clasificar los frutos con ayuda de bandas transportadoras.

A continuación se describen las alternativas a considerar, de las cuales se escogerá la más conveniente.

PRIMERA OPCIÓN (CILINDRO ROTATORIO)

Ventajas:

- Capacidad de clasificar grandes cantidades.
- Reduce el tiempo de trabajo y los esfuerzos de los operarios.

Desventajas:

- Necesidad de un reductor de velocidad.
- Maltrato a las frutas que se van a clasificar.
- Alta complejidad en fabricación.
- Posible falla en el proceso de clasificación.
- Alto costo en fabricación.
- Difícil limpieza y mantenimiento.
- No se puede hacer una selección manual mientras la máquina se encuentra en funcionamiento.
- Solo funciona para un determinado tipo de frutos.
- Limitación de tamaño de clasificación.

SEGUNDA OPCIÓN (MESA CLASIFICADORA)

Ventajas:

- Costo de fabricación bajo.
- Fácil fabricación.
- No se necesita energía eléctrica.
- No necesitamos personal capacitado.

Desventajas:

- Maltrato a las frutas que se va a clasificar.
- Posible falla en el proceso de clasificación.
- Solo funciona para un determinado tipo de frutos.
- Limitación de tamaño de clasificación.

TERCERA OPCIÓN (BANDA TRANSPORTADORA)

El clasificador de tamaño para frutos ilustrado a continuación se compone de tres etapas. La primera es una etapa de limpieza, la segunda es de estabilización y selección manual, y por último se clasifica los diferentes tipos de frutos. El movimiento de la maquina se lo realiza mediante un motor reductor y el uso de bandas transportadoras.

Ventajas:

- Puede clasificar diferentes tipos de frutos.
- Poco maltrato a la fruta.

- No se necesita personal capacitado.
- Se puede incluir un proceso de clasificación manual (para productos en mal estado).
- Fácil mantenimiento.
- Clasifica de una forma ordenada.

Desventajas:

- Mayor costo de fabricación en comparación a las dos anteriores posibilidades.
- Al ser nueva en el mercado, no se sabe la aceptación que tendrá en el mismo.

Figura 2.10 Máquina clasificadora mediante bandas transportadoras.



Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Para la selección de una de las tres alternativas se consideran los criterios de valoración que más influencia representan en el diseño. Tales como:

COSTO

Es un parámetro fundamental, ya que el proyecto tiene un monto establecido. A mayor costo, menor calificación.

COMPLEJIDAD DE LA MÁQUINA

Se aconseja un nivel de complejidad bajo, debido a que esto influye en el proceso de fabricación de la máquina. Se debe trabajar con piezas mecánicas que existan en el mercado nacional. Debe ser de fácil ensamble. A mayor complejidad, menor calificación.

MANTENIMIENTO

La máquina tiene que ser de fácil mantenimiento, ya que al estar ubicada en las áreas rurales, no se dispone de fácil acceso de personal capacitado. Después del ensamble de la máquina se debe explicar cómo se dará el mantenimiento a la misma. Mientras más difícil sea el mantenimiento, menor será la calificación.

FLUJO DE FRUTOS

La máquina clasificadora de frutos debe tener la capacidad de clasificar y recolectar un mínimo de 200 kg/hora. A mayor capacidad de clasificación, mayor calificación.

PESO

El peso debe ser moderado. La máquina debe ser fabricada por módulos desmontables para su posterior ensamble, ya que el transporte se dificultara al ser un solo módulo. A mayor peso, menor calificación.

OPERADORES

El objetivo de la máquina es reducir el número de trabajadores en el proceso de clasificación, por lo tanto entre menos trabajadores sean utilizados, será mejor. A mayor número de operadores, menor calificación.

SISTEMA DE CLASIFICACION

Los criterios de comparación más importantes y determinantes con los cuales se valoran las alternativas anteriores se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Criterio de comparación y códigos de equivalencia.

CRITERIO DE COMPARACION	CODIGO DE EQUIVALENCIA		
	10 A 8	7 A 4	3 A 1
COSTO	Económico	Normal	Costoso
COMPLEJIDAD DE LA MAQUINA	Fácil	Normal	Difícil
MANTENIMEINTO	Fácil	Normal	Difícil
FLUJO DE FRUTOS.	Rápido	Normal	Lento
PESO	Liviano	Normal	Pesado
NUMERO DE OPERARIOS	Uno solo	Dos operarios	Más de dos
CALIDAD DE CLASIFICACION	Buena	Normal	Mala
MONTAJE Y DESMONTAJE	Fácil	Normal	Difícil
VARIOS TIPOS DE FRUTOS	Muchos	Algunos	Uno

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Se asigna un puntaje a cada factor antes mencionado por medio de una matriz de perfil competitivo. (MPC).

La calificación es del 1 al 10 de acuerdo a las características de los factores antes mencionados. La alternativa que se seleccionará es aquella que reúna el mayor puntaje.

RESULTADOS

A continuación, se evalúan los factores señalados y se proporciona el puntaje respectivo para cada alternativa.

Tabla 2.2 Cuadro de la selección de las máquinas clasificadoras.

FACTOR	P.	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		Calif.	P.P	Calif.	P.P	Calif.	P.P
COSTO	10	7	70	8	80	4	40
COMPLEJIDAD	10	3	30	6	60	4	40
MANTENIMIENTO	10	3	30	6	60	5	50
FLUJO DE FRUTA	10	8	80	3	30	8	80
PESO	10	5	50	8	80	5	50
NUMERO DE OPERARIOS	10	3	30	3	30	9	90
CALIDAD DE CLASIFICACION	20	5	100	2	40	9	180
MONTAJE Y DESMONTAJE	10	3	30	5	50	5	50
VARIOS TIPOS DE FRUTOS	10	4	40	4	40	9	90
TOTAL	100	41	460	45	470	58	670
INDICE PORCENTUAL		46		47		67	
ORDEN DE SELECCIÓN		3		2		1	

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

DONDE:

PP = Peso ponderado

P = Peso

La tabla anterior determina que la mejor alternativa es la tercera, de tal manera que esta opción se diseñará y construirá.

2.4.2 DATOS TÉCNICOS

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones de la máquina transportadora y clasificadora se dan mediante dos tipos de parámetros:

PARÁMETROS DE DISEÑO

Para determinar los parámetros de diseño se parte de las necesidades de la hacienda Turuco.

- La máquina debe soportar una carga máxima de 200 kg.
- Capacidad de la máquina clasificadora es de 200 kg/hora.
- Se desea obtener 5 diferentes tipos de clasificación por tamaño.
- Tipo de accionamiento: por motor eléctrico.
- Lugar de trabajo: Zona rural.

PARÁMETROS FUNCIONALES

La máquina debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Debe trabajar de forma continua, 8 horas diarias.
- La máquina clasificadora debe ser de fácil operación, montaje, desmontaje y mantenimiento.
- Las dimensiones de la máquina en conjunto no deben superar los 7000 mm de largo, 1000 de ancho, ya que se tiene un espacio determinado en la hacienda Turuco.

AMBIENTE DE TRABAJO

El ambiente de trabajo es el medio donde va a funcionar la máquina clasificadora de frutos.

Los principales factores a tener en cuenta son:

TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

La altura es de 3200 m.s.n.m y las precipitaciones pluviales no son mayores a 3500mm anuales, la temperatura adecuada en climas templados varía entre 15 a 30 C. y una humedad relativa entre el rango del 92 al 96%.

GRADO DE INSTRUCCIÓN DEL OPERADOR

No se necesita personal con experiencia, ya que la máquina clasificadora de frutos es de fácil manejo.

GRADO DE CONTAMINACIÓN

Al ser una máquina netamente eléctrica no contamina el medio ambiente.

VIDA ÚTIL

La máquina debe tener una vida útil mínima de 5 años, trabajando en promedio 8 horas diarias.

MATERIALES

Se considera el uso de materiales que sean de fácil adquisición en el país, pero que cumplan con la normativa aplicable.

PROCESOS

Se utiliza procesos de fabricación convencionales tales como: torneado, taladrado, fresado, soldadura y pintura

2.5 INSTRUMENTACIÓN

Para el correcto funcionamiento de la máquina clasificadora, se necesitan solamente:

MOTOR ¼ hp

Figura 2.11 Motor de ¼ HP.



Fuente: REINRA
Elaboración: Propia

Especificaciones técnicas:

Frecuencia: 60 Hz

Alimentación: 110 V – 220 V

Cojinetes: Rodamientos de bolas horizontal con cuña

Protección: Protector térmico automático hasta 0.75 HP

Servicio: Continuo

Velocidad nominal: 1760 rpm

Corriente: 5.4 A

PULSADOR ON/OFF

Figura 2.12 Pulsador.



Fuente: KYWI

Elaboración: Propia

Especificaciones técnicas:

Resistencia de contacto 50 m W. máx.

Resistencia del aislamiento 1.000 M W. min. a 500 V. CC

Rigidez dieléctrica 1000 V. 50/60 Hz./1 min.

Vida mecánica 500.000 maniobras

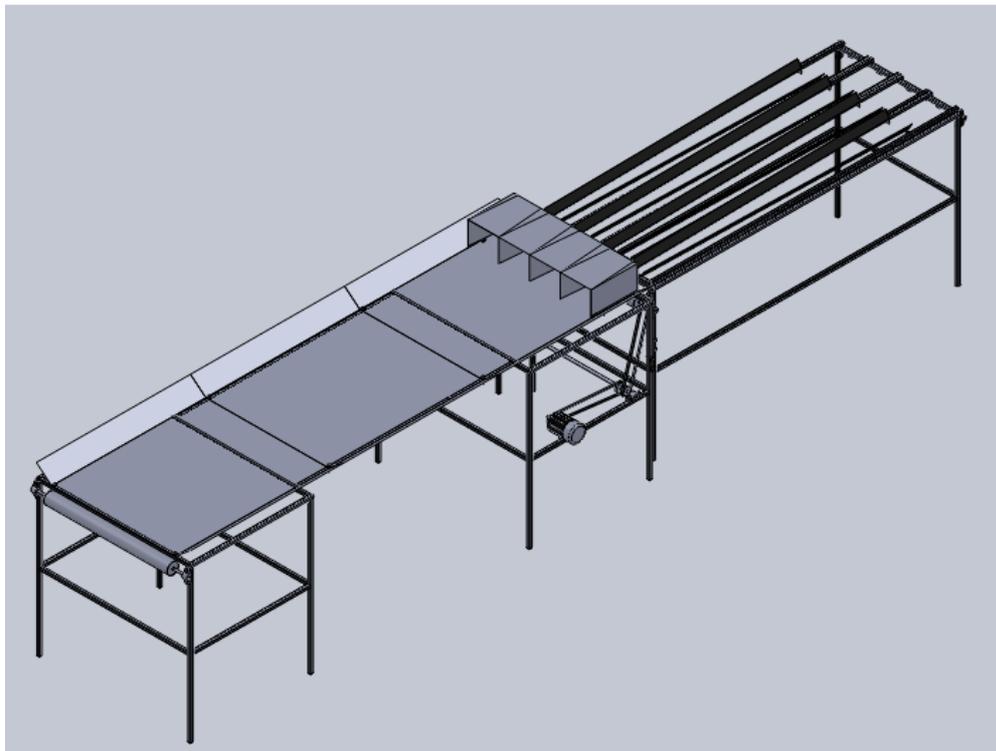
Tratamiento de contacto Au sobre Ni sobre bronce

Margen de temperatura de trabajo -20 °C +85°C

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA MÁQUINA CLASIFICADORA

Figura 3.1 Esquema de la máquina clasificadora.



Fuente: Programa CAD

Elaboración: Propia

3.1 PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LA MÁQUINA

Para saber a ciencia cierta cuáles eran las necesidades que debía cumplir la máquina clasificadora, el administrador de la hacienda nos proporcionó más detalles de la operación de la máquina, como los tipos de frutos a clasificar,

velocidad de clasificación, peso que va a soportar la máquina, condiciones ambientales, etc.

La hacienda Turuco produce gran variedad de productos, pero los frutos que se van a clasificar con esta máquina son:

- Tomate riñón (Charlestong, Pietro, Sheyla-Victory y Micaela).
- Limón Meyer.
- Cebolla paiteña.

Las especificaciones más importantes para el diseño son:

- La carga máxima para el diseño de la estructura es de 200 kg, ya que se va a suponer que un operario va a subirse a la máquina por cualquier situación.
- La capacidad de clasificación requerida, es de aproximadamente 200 kg/hora.
- Cada gaveta cargada pesa alrededor de 15 kg dependiendo el fruto.

Se va a clasificar los frutos en 5 clases diferentes de acuerdo al tamaño:

- Menores a 55 mm de diámetro.
- Mayores a 55 mm pero menores a 65 mm de diámetro.
- Mayores a 65 mm pero menores a 70 mm de diámetro.
- Mayores a 70 mm pero menores a 75 mm de diámetro.
- Mayores a 75 mm de diámetro.

3.2 DISEÑO MECÁNICO

En este capítulo, se realiza el diseño de los sistemas de la máquina clasificadora, que están divididos en:

- Sistema motriz
- Sistema mecánico
- Sistema de clasificación
- Estructura soportante

Se debe calcular primero la potencia requerida del sistema motriz, de manera que la selección del motor sea adecuada. Para esto, es necesario conocer la velocidad de operación de la banda transportadora así como también los diámetros y velocidades de los ejes.

Una vez calculada la potencia requerida, se va a seleccionar las catalinas, las que se encargarán de transmitir la potencia a través de todo el sistema motriz.

Los ejes serán diseñados a flexión y a fatiga, de manera que soporten las cargas aplicadas con el menor diámetro posible, pero con un adecuado factor de seguridad.

Una vez calculado el sistema motriz, se realizará el cálculo de la estructura en un programa CAD, para comprobar que soporta las fuerzas aplicadas.

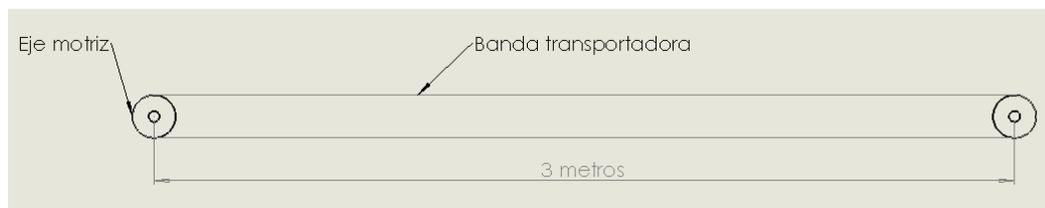
Peso promedio por bandeja = 15 kilogramos

Para obtener el tiempo que se demora en clasificar una bandeja, se divide el peso de la bandeja, para la capacidad requerida:

$$\text{Tiempo por bandeja} = \frac{15 \text{ kg}}{200 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}} = 0,0075 \text{ horas} = 27 \text{ segundos}$$

La distancia entre centros de los ejes que mueven la banda transportadora es de 3 metros, como se muestra en la figura 3.3. Esta distancia es la que recorre el fruto hasta llegar a la zona de clasificación.

Figura 3.3 Distancia entre los ejes motrices.



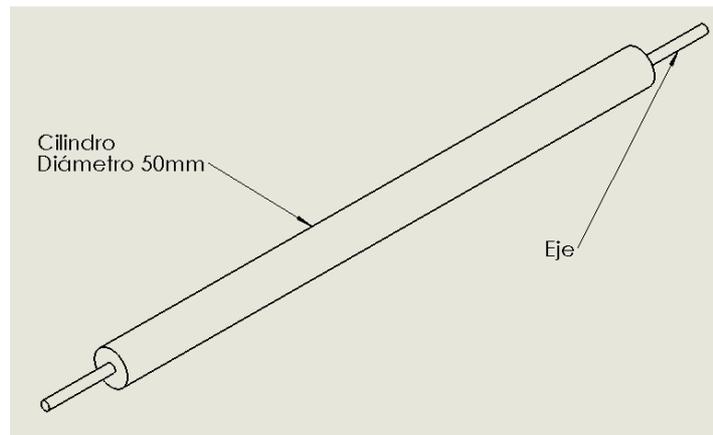
Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

La velocidad con la que se mueve la banda transportadora, se calcula dividiendo la distancia recorrida, para el tiempo que toma clasificar una bandeja:

$$\text{Velocidad banda} = \frac{3 \text{ m}}{27 \text{ seg}} = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se supone un diámetro del cilindro que mueve la banda transportadora de 50 mm, como se muestra en la figura 3.4. Este diámetro de cilindro es el más común para este tipo de bandas.

Figura 3.4 Esquema del eje motriz y el cilindro.



Fuente: Programa CAD

Elaboración: Propia

Se calcula la velocidad angular del cilindro, partiendo de la velocidad lineal de la banda transportadora que es conocida:

$$V = \omega * r$$

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{0,12 \frac{m}{seg}}{0,025 m} = 4,8 \frac{rad}{s}$$

Se transforma la velocidad angular a RPM:

$$n = 4,8 \frac{rad}{seg} * \frac{60 seg}{1 min} * \frac{1 rev}{2\pi rad}$$

$$n = 46 RPM$$

Una vez conocida la velocidad a la que gira el eje motriz, para calcular las velocidades de los demás ejes, se supone una velocidad de salida del motor de 120 RPM, esto se puede lograr con un Motorreductor cuya velocidad de entrada

sea de 1200 RPM, con una relación de reducción de 10. Estos motores son fáciles de conseguir en el mercado, y el rango de potencias es amplio, dependiendo del trabajo que se vaya a realizar.

Una vez conocida la velocidad de salida del motor, vamos a calcular la potencia necesaria para mover todo el sistema motriz.

SELECCIÓN DEL MOTOR

Para calcular la potencia necesaria del motor, se debe calcular la potencia para mover todo el sistema motriz, es decir, se debe calcular la potencia necesaria para mover cada eje y la potencia necesaria para mover el tomate.

Para calcular la potencia necesaria para mover cada eje, se necesita conocer:

- Inercia de las masas en movimiento (masa del eje).
- Aceleración angular (como todos los elementos parten del reposo, la aceleración se calcula desde 0 hasta la velocidad angular de trabajo).
- Torque (se calcula con los parámetros anteriores).

Para calcular la aceleración angular, se debe conocer la velocidad a la que gira cada eje. Las velocidades están detalladas en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Velocidad del los ejes.

	Velocidad en RPM	Velocidad rad/seg
Eje motriz	46	4.82
Eje 1	46	4.82
Eje 2	60	6.28

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL EJE MOTRIZ

CÁLCULO DE LA INERCIA DEL CILINDRO

Para empezar los cálculos, se asumió un diámetro del cilindro sobre el cual gira la banda transportadora de 50 mm, con un espesor de 2 mm y una longitud L de 0.8 metros, de esta manera, el volumen de dicho cilindro es:

$$V = \frac{\pi}{4} (d_{ext}^2 - d_{int}^2) * L$$

$$V = \frac{\pi}{4} (0,05^2 - 0,048^2) * 0,8 = 1,54 * 10^{-4} m^3$$

Para obtener la masa, se multiplica el volumen por la densidad, que en este caso, por ser el cilindro de acero, es de 7850 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V = 7850 \frac{kg}{m^3} * (1,54 * 10^{-4} m^3)$$

$$m = 1,25 \text{ kg}$$

Una vez obtenida la masa de un cilindro, se la multiplica por 2, debido a que el sistema cuenta con 2 cilindros idénticos para que gire la banda transportadora. De esta manera, la masa de los cilindros es de 2,5 kg.

El mecanismo de transmisión de movimiento que se seleccionó, está compuesto por catalinas y cadenas, de tal manera que la masa de estos elementos también influyen al momento de calcular la inercia. Por eso vamos a sumar 2 kg más a la masa calculada, que es aproximadamente lo que pesa una catalina. De esta manera, la masa total entre cilindros y catalina es de 4,5 kg y esta es la masa con la que se calcula la inercia.

$$I = \frac{m}{8}(d_{ext}^2 - d_{int}^2)$$

$$I = \frac{4,5}{8}(0,05^2 - 0,048^2)$$

$$I = 1,1 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2$$

CÁLCULO DE LA INERCIA DEL EJE

Para calcular la inercia de los ejes a los que van sujetos los cilindros, que de igual manera son 2, se va a suponer en primera instancia un diámetro de 12,5 mm, que es la cuarta parte del diámetro de los cilindros, y una longitud L de 1 metro. De esta manera, el volumen de los ejes es:

$$V = \frac{\pi}{4}(d^2) * L$$

$$V = \frac{\pi}{4} (0,0125^2) * 1 = 1,27 * 10^{-4} m^3$$

Para obtener la masa, se multiplica el volumen por la densidad, que en este caso, por ser el eje de acero, es de 7850 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V = 7850 \frac{kg}{m^3} * (1,27 * 10^{-4} m^3)$$

$$m = 1 kg$$

Una vez obtenida la masa de un eje, se la multiplica por 2, debido a que el sistema cuenta con 2 ejes macizos idénticos para que gire la banda transportadora. De esta manera, la masa de los ejes es de 2 kg y esta es la masa con la que calculamos la inercia.

$$I = \frac{m}{8} (d^2)$$

$$I = \frac{2}{8} (0,0127^2)$$

$$I = 4,04 * 10^{-5} kg * m^2$$

Para obtener la inercia total, se suma la inercia de los cilindros y la de los ejes, de manera que la inercia total es:

$$I = 1,5 * 10^{-4} kg * m^2$$

CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ANGULAR

La velocidad angular a la que giran estos elementos, es de 46 RPM, es entonces necesario, transformar esta velocidad a rad/seg, para poder calcular su aceleración angular en un tiempo de 0,5 seg.

$$\omega = 46 \text{ RPM} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$\omega = 4,82 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Una vez calculada la velocidad angular en las unidades adecuadas, el cálculo de la aceleración se lo realiza dividiendo la velocidad angular obtenida, para el tiempo que se demora en llegar desde el reposo hasta la velocidad de trabajo, este tiempo, para facilitar los cálculos, es de 0,5 seg. Entonces, la aceleración angular es igual a:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = 9,64 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

CÁLCULO DEL TORQUE

Como ya tenemos los valores de la inercia total y de la aceleración angular, el cálculo del torque resulta bastante simple, solo se multiplica estos 2 valores de la siguiente manera:

$$T = I * \alpha$$

$$T = (1,5 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2) * 9,64 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T = 1,45 * 10^{-3} \text{ Nm}$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA

La potencia se calcula multiplicando el torque por la velocidad en RPM y dividiendo para 9550 (Diseño en ingeniería mecánica de Shigley; 2008):

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

$$P = \frac{(1,45 * 10^{-3} \text{ Nm}) * 46 \text{ RPM}}{9550}$$

$$P = 7 * 10^{-6} \text{ Kw}$$

Para obtener la potencia en HP, se divide este valor para 0,74:

$$P = 9,5 * 10^{-6} \text{ HP}$$

Esta es la potencia que se necesita para hacer girar a los ejes motrices.

POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL EJE 1

Para empezar los cálculos de este eje, se va a suponer un diámetro de 25,4 mm y una longitud L de 1 metro.

CÁLCULO DE LA INERCIA

Primero calculamos el volumen:

$$V = \frac{\pi}{4}(d^2) * L$$

$$V = \frac{\pi}{4}(0,0254^2) * 1 = 5,1 * 10^{-4} m^3$$

Para obtener la masa, se multiplica el volumen por la densidad, que en este caso, por ser el eje de acero, es de 7850 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V = 7850 \frac{kg}{m^3} * (5,1 * 10^{-4} m^3)$$

$$m = 4 kg$$

El mecanismo de transmisión de movimiento que se seleccionó, está compuesto por catalinas y cadenas, de tal manera que la masa de estos elementos también influyen al momento de calcular la inercia. Por eso se suma 6 kg más a la masa calculada, que es aproximadamente lo que pesan las 3 catalinas. De esta manera, la masa total entre eje y catalinas es de 10 kg y esta es la masa con la que se calcula la inercia.

$$I = \frac{m}{8}(d^2)$$

$$I = \frac{10}{8}(0,0254^2)$$

$$I = 8,06 * 10^{-4} kg * m^2$$

CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ANGULAR

La velocidad angular a la que gira este eje, es la misma a la que gira el eje motriz. Esto se debe a que tienen una relación de transmisión de 1. De esta manera, la aceleración angular es la misma también:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = 9,64 \frac{rad}{s^2}$$

CÁLCULO DEL TORQUE

Como los valores de la inercia total y de la aceleración angular son conocidos, el cálculo del torque resulta bastante simple, se multiplica estos 2 valores de la siguiente manera:

$$T = I * \alpha$$

$$T = (8,06 * 10^{-4} kg * m^2) * 9,64 \frac{rad}{s^2}$$

$$T = 7,8 * 10^{-3} Nm$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA

La potencia se calcula multiplicando el torque por la velocidad en RPM y dividiendo para 9550:

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

$$P = \frac{(7,8 * 10^{-3} Nm) * 46 RPM}{9550}$$

$$P = 3,75 * 10^{-5} Kw$$

Para obtener la potencia en HP, se divide este valor para 0,74:

$$P = 5,06 * 10^{-5} HP$$

Esta es la potencia que se necesita para hacer girar al eje 1.

POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL EJE 1

Para empezar los cálculos de este eje, se va a suponer un diámetro de 25,4 mm y una longitud L de 1 metro.

CÁLCULO DE LA INERCIA

Primero se calcula el volumen:

$$V = \frac{\pi}{4} (d^2) * L$$

$$V = \frac{\pi}{4} (0,0254^2) * 1 = 5,1 * 10^{-4} m^3$$

Para obtener la masa, se multiplica el volumen por la densidad, que en este caso, por ser el eje de acero, es de 7850 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V = 7850 \frac{kg}{m^3} * (5,1 * 10^{-4} m^3)$$

$$m = 4 \text{ kg}$$

El mecanismo de transmisión de movimiento que se seleccionó, está compuesto por catalinas y cadenas, de tal manera que la masa de estos elementos también influyen al momento de calcular la inercia. Por eso se suma 2 kg más a la masa calculada, que es aproximadamente lo que pesa la catalina. De esta manera, la masa total entre eje y catalina es de 6 kg y esta es la masa con la que se calcula la inercia.

$$I = \frac{m}{8} (d^2)$$

$$I = \frac{6}{8} (0,0254^2)$$

$$I = 4,83 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2$$

CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ANGULAR

La velocidad angular a la que gira este eje, es de 60 RPM, es entonces necesario, transformar esta velocidad a rad/seg, para poder calcular su aceleración angular en un tiempo de 0,5 seg.

$$\omega = 60 \text{ RPM} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$\omega = 6,28 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Una vez calculada la velocidad angular en las unidades adecuadas, el cálculo de la aceleración se lo realiza dividiendo la velocidad angular obtenida,

para el tiempo que se demora en llegar desde el reposo hasta la velocidad de trabajo, este tiempo, para facilitar los cálculos, es de 0,5 seg. Entonces, la aceleración angular es igual a:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = 12,5 \frac{rad}{s^2}$$

CÁLCULO DEL TORQUE

Como los valores de la inercia total y de la aceleración angular son conocidos, el cálculo del torque resulta bastante simple, se multiplica estos 2 valores de la siguiente manera:

$$T = I * \alpha$$

$$T = (4,83 * 10^{-4} kg * m^2) * 12,5 \frac{rad}{s^2}$$

$$T = 6,07 * 10^{-3} Nm$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA

La potencia se calcula multiplicando el torque por la velocidad en RPM y dividiendo para 9550:

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

$$P = \frac{(6,07 * 10^{-3} Nm) * 60 RPM}{9550}$$

$$P = 3,8 * 10^{-5} Kw$$

Para obtener la potencia en HP, dividimos este valor para 0,74:

$$P = 5,15 * 10^{-5} HP$$

Esta es la potencia que se necesita para hacer girar al eje 2.

POTENCIA NECESARIA PARA MOVER EL TOMATE

Para calcular esta potencia, se usa la siguiente ecuación:

$$P = 0,412 * V(600 + 16E + Q)$$

Donde:

$$P = Potencia (w)$$

$$V = Velocidad de la banda \left(0,12 \frac{m}{s}\right)$$

$$E = Distancia entre centros (3,1 m)$$

$$Q = Masa sobre la banda (200 kg)$$

Reemplazando estos valores se obtiene:

$$P = 0,412 * 0,12(600 + 16 * 3,1 + 200)$$

$$P = 42,08 \text{ w} = 0,4208 \text{ Kw}$$

$$P = 0,056 \text{ HP}$$

POTENCIA TOTAL

Finalmente para calcular la potencia que va a necesitar el motor, se suman todas las potencias calculadas y se multiplican por un factor de servicio:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_T = (9,5 * 10^{-6} \text{ HP}) + (5,06 * 10^{-5} \text{ HP}) + (5,15 * 10^{-5} \text{ HP}) + 0,05612 \text{ HP}$$

$$P_T = 0,05612 \text{ HP}$$

Como se observa, las potencias necesarias para mover los ejes, son casi despreciables en comparación a la potencia que se necesita para mover el tomate. Esto es debido a que los ejes y sus componentes, tienen masas relativamente pequeñas, lo cual se ve reflejado en una inercia muy pequeña. El otro factor que influye en esto, son las velocidades de rotación, que al ser bajas, producen una aceleración angular pequeña. Como resultado de estas dos magnitudes, al multiplicarlas obtenemos un torque muy pequeño, y finalmente, una potencia nada significativa.

Para multiplicar la potencia calculada por un factor de servicio, se va a suponer sistemas mecánicos en malas condiciones, como mal anclaje del motor y vibraciones excesivas, además de prolongadas horas de operación, numerosos arranques y malas instalaciones eléctricas, de manera que como la

potencia calculada es baja, se recomienda un factor de servicio de 3, dando como resultado una potencia de:

$$P_T = 0,05612 \text{ HP} * 3$$

$$P_T = 0,16 \text{ HP}$$

De esta manera, se concluye que se necesita un motor de 0,16 HP con una velocidad de entrada de 1200 RPM y una relación de reducción de 10, dando como resultado una velocidad de salida de 120 RPM.

SELECCIÓN DE CATALINAS

Para seleccionar de manera adecuada las catalinas que se van a usar, se deben seguir ciertos pasos:

- Calcular la capacidad necesaria (Potencia total). Determinar un factor de seguridad y multiplicarlo por la capacidad necesaria.
- Conocer la velocidad de rotación de los ejes.
- Conocer las relaciones de transmisión de velocidades entre los ejes.

Una vez obtenidos todos estos datos, se usa la **Tabla de capacidad de cadena estándar sencilla de rodillos No. 25 Paso ¼** (INTERMEC: la transmisión de potencia por cadena de rodillos; Tercera edición) para encontrar el número de dientes del piñón conductor partiendo de las RPM a las que va a girar. La tabla se encuentra en el anexo A.

Para encontrar la capacidad necesaria, se va a usar un factor de seguridad de 1,3, ya que en la selección del motor se usó un factor de 3. Entonces se obtiene:

$$\text{Capacidad necesaria} = 0,05612 * 1,3 = 0,07 \text{ HP}$$

$$\text{Velocidad del eje} = 120 \text{ RPM}$$

Como se observa en la tabla, la velocidad de 120 RPM no se encuentra tabulada, de modo que se debe interpolar para obtener el número de dientes.

Una vez realizada la interpolación, se observa que a 120 RPM, una cadena No.25 de paso $\frac{1}{4}$ ", lubricación tipo A, con un piñón conductor de 12 dientes, soporta 0,07 HP. A partir de este piñón, y conociendo la relación de transmisión de velocidades entre ejes, se seleccionan las demás catalinas.

Piñón 2

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{120}{46} = 2,6$$

$$\text{Número de dientes del piñon 2} = 12 * 2,6 = 32$$

Piñones 3, 4, 5

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{46}{46} = 1$$

$$\text{Número de dientes de los piñones 3, 4, 5} = 25$$

Piñón 6

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{46}{60} = 0,8$$

$$\text{Número de dientes del piñón 6} = 25 * 0,8 = 20$$

A continuación se muestra una tabla de los piñones que se van a usar, con sus especificaciones en mm. La tabla se encuentra en el anexo A.

Tabla 3.2 Piñones a utilizar (Para cadena ANSI No. 25 Paso ¼”).

# de Piñón	# de Dientes	Ø Total	Ø Hueco Standard	Ø Hueco Máximo
1	12	27,5	6,35	9,525
2	32	68,3	9,525	38,1
3, 4, 5	25	54,1	6,35	22,225
6	20	43,9	6,35	25,4

Fuente: INTERMEC: La transmisión de potencia por cadena de rodillos: Un compendio de información técnica y práctica; Tercera edición; pág. 19.

Elaboración: Propia.

CÁLCULO DE LA FUERZA TANGENCIAL

Una vez seleccionados los piñones que se van a utilizar, se debe verificar que la fuerza tangencial a la que están sometidos, no sobrepase la permitida para estos piñones, que para una cadena ANSI No. 25 con paso de ¼”, es de 3470

N. La tabla con los valores de fuerza tangencial permitida se encuentra en el anexo A.

La fuerza tangencial se calcula dividiendo el torque aplicado en el eje, para el radio de cada piñón:

$$F = \frac{T}{r}$$

Donde:

$$T = \text{Torque (Nm)}$$

$$r = \text{Radio del piñon (m)}$$

Piñón 2

$$F = \frac{7,8 * 10^{-3} \text{ Nm}}{\frac{68,3}{2000} \text{ m}} = 0,2284 \text{ N}$$

Piñones 3, 4

$$F = \frac{7,8 * 10^{-3} \text{ Nm}}{\frac{43,9}{2000} \text{ m}} = 0,355 \text{ N}$$

Piñón 5

$$F = \frac{1,45 * 10^{-3} \text{ Nm}}{\frac{43,9}{2000} \text{ m}} = 0,066 \text{ N}$$

Piñón 6

$$F = \frac{6,07 * 10^{-3} Nm}{\frac{56,1}{2000} m} = 0,216 N$$

Se observa que ningún piñón está sometido a una fuerza tangencial mayor a la permitida para estos piñones. De hecho, las fuerzas a las que están sometidas, son bastante bajas, esto se debe a que el torque es muy pequeño como se explicó anteriormente.

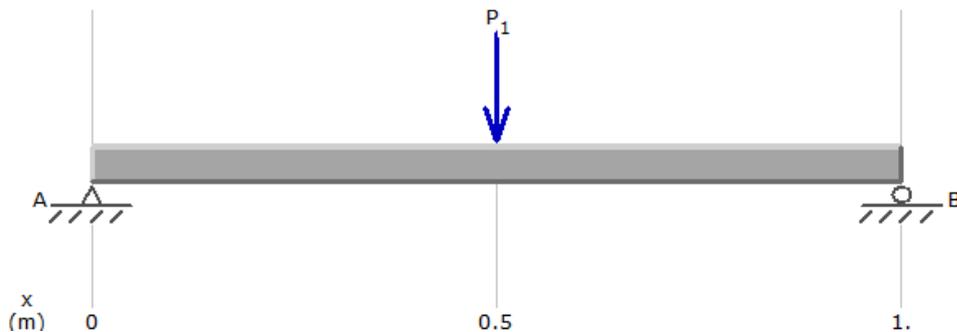
3.2.2 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico está compuesto por 3 ejes, en los cuales están colocados los piñones y sobre los cuales actúa la fuerza tangencial calculada. Se deberían considerar a las fuerzas tangenciales como las fuerzas actuantes en los ejes, pero debido a que son muy pequeñas en comparación a la fuerza aplicada por el peso propio del eje no lo serán. Las catalinas van a estar situadas en los extremos del eje, por lo que el peso de estas no ejerce una fuerza considerable para la deflexión del eje, la que debe ser calculada para saber si supera la permitida.

Por todo lo mencionado, la única fuerza que va a ser considerada para el diseño de los ejes, va a ser el peso del mismo.

DISEÑO DE LOS EJES 1 Y 2

Figura 3.5 Diagrama de fuerzas actuantes en el eje 1 y 2.



Fuente: Programa CAD

Elaboración: Propia

La fuerza P_1 es el peso de los ejes, para calcular el peso, se multiplica la masa, que para estos ejes es de 4 kg, por la gravedad:

$$P_1 = 4 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \sim 40 \text{ N}$$

Como la carga está situada en la mitad, y se considera al eje como una viga simplemente apoyada, las reacciones en los apoyos son de 20 N en cada uno.

El momento máximo se lo calcula multiplicando la carga puntual por la distancia a la que está situada:

$$M_{max} = 40 \text{ N} * 0,5 \text{ m} = 20 \text{ Nm}$$

CÁLCULO DEL DIÁMETRO

El procedimiento que se va a seguir para calcular el diámetro, es el de prueba y error, es decir, se supone un diámetro para empezar los cálculos, y se

realizan tantas iteraciones como sean necesarias hasta encontrar un diámetro con el cual se obtenga un factor de seguridad adecuado y una deformación menor a la permitida. La teoría de falla que se va a usar, es la del esfuerzo cortante máximo (ECM). Se supone un acero AISI 1080 HR, con un $S_y = 220$ MPa y un $S_u = 400$ MPa.

Con todos estos datos, se calculan los esfuerzos en función del diámetro:

$$\sigma_a, \sigma_b = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Donde:

$$\sigma_x = \frac{M * c}{I} = \frac{32M}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T * r}{J} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_y = 0$$

El M_{\max} es de 20 Nm y el torque T es de $7,8 \times 10^{-3}$ Nm, entonces:

$$\sigma = \frac{203,71}{d^3}$$

$$\tau = \frac{0,04}{d^3}$$

Para empezar, se va a suponer un diámetro de 1" (25,4mm):

$$\sigma_x = 12,431 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 0,002 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a, \sigma_b = \frac{12,431}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{12,431}{2}\right)^2 + 0,002^2}$$

$$\sigma_a = 12,435 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = -4,72 * 10^{-7} \text{ MPa}$$

Ahora se calcula el factor de seguridad n , sabiendo que:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_a - \sigma_b} = \frac{220}{12,43}$$

$$n = 17,7$$

El siguiente paso es comprobar que la deformación que sufre el eje sea menor a la permitida, que en nuestro caso, es de 0,001 plg/pie, es decir, 0,083 mm/m (DEUTSCHMAN A.; Diseño de máquinas, Teoría y práctica; Segunda edición). Véase anexo A.

$$\gamma_{max} = \frac{P * L^3}{48E * I}$$

Donde:

$$P = \text{Carga aplicada (N)}$$

$$L = \text{Longitud del eje (m)}$$

$E = \text{Módulo de elasticidad (Pa)}$

$I = \text{Inercia (Kg * m}^2\text{)}$

Todos los datos necesarios son conocidos, entonces se procedes al cálculo la deflexión máxima:

$$\gamma_{max} = \frac{40 \text{ N} * (1 \text{ m})^3}{48 * 200 \text{ GPa} * \frac{4 * \left(\frac{25,4}{2000}\right)^2}{2}}$$

$$\gamma_{max} = 0,0000129 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es mucho menor a la permitida, pero el factor de seguridad es bastante alto, así que se disminuye el diámetro a la mitad (12 mm) y se calcula de nuevo, obteniendo los siguientes resultados:

$$\text{diámetro} = 12 \text{ mm}$$

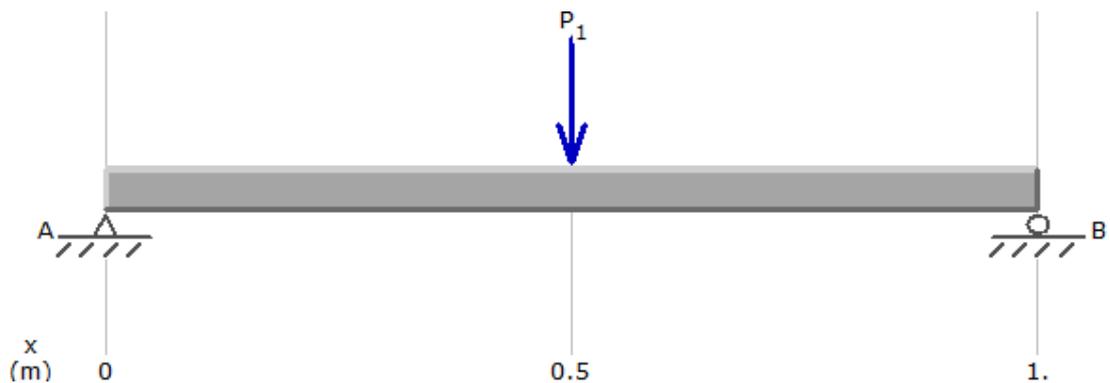
$$n = 1,86$$

$$\gamma_{max} = 0,0000578 \text{ mm}$$

Con el diámetro de 12 mm, la deflexión sigue estando por debajo de la permitida, pero el factor de seguridad disminuyó drásticamente aunque sigue siendo seguro usar un eje con este diámetro. Se concluye entonces, que para cumplir las condiciones de seguridad y deflexión, se debe usar un eje que tenga un diámetro mínimo de 12 mm. Cualquier diámetro mayor es permitido.

DISEÑO DEL EJE MOTRIZ

Figura 3.6 Diagrama de fuerzas actuantes en el eje motriz.



Fuente: Programa CAD

Elaboración: Propia

La fuerza P_1 es el peso del eje, para calcular el peso, se multiplica la masa, que para este eje es de 2.25 kg, por la gravedad:

$$P_1 = 2,25 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \sim 22 \text{ N}$$

Como la carga está situada en la mitad, y se considera al eje como una viga simplemente apoyada, las reacciones en los apoyos son de 11 N en cada uno.

El momento máximo se lo calcula multiplicando la carga puntual por la distancia a la que está situada:

$$M_{max} = 11 \text{ N} * 0,5 \text{ m} = 5,5 \text{ Nm}$$

CÁLCULO DEL DIÁMETRO

El procedimiento que se va a seguir para calcular el diámetro, es el mismo que se usó para los ejes 1 y 2. La teoría de falla que vamos a usar, es la del esfuerzo cortante máximo (ECM). Se supone un acero AISI 1080 HR, con un $S_y = 220$ MPa y un $S_u = 400$ MPa.

Con todos estos datos conocidos, se empieza calculando los esfuerzos en función del diámetro:

$$\sigma_a, \sigma_b = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Donde:

$$\sigma_x = \frac{M * c}{I} = \frac{32M}{\pi * d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T * r}{J} = \frac{16T}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_y = 0$$

El M_{\max} es de 5,5 Nm y el torque T es de $1,45 \times 10^{-3}$ Nm, entonces:

$$\sigma = \frac{56,02}{d^3}$$

$$\tau = \frac{0,00738}{d^3}$$

Para empezar, se supone un diámetro de $\frac{1}{2}$ " (12,54mm):

$$\sigma_x = 54,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 0,003 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a, \sigma_b = \frac{54,7}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{54,7}{2}\right)^2 + 0,003^2}$$

$$\sigma_a = 54,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = -2,37 * 10^{-7} \text{ MPa}$$

Ahora se calcula el factor de seguridad n , sabiendo que:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_a - \sigma_b} = \frac{220}{54,7}$$

$$n = 4,02$$

El siguiente paso es comprobar que la deformación que sufre el eje, sea menor a la permitida, que en nuestro caso, es de 0,001 plg/pie, es decir, 0,083 mm/m.

$$\gamma_{max} = \frac{P * L^3}{48E * I}$$

Donde:

$$P = \text{Carga aplicada (N)}$$

$$L = \text{Longitud del eje (m)}$$

$$E = \text{Módulo de elasticidad (Pa)}$$

$$I = \text{Inercia (Kg * m}^2\text{)}$$

Con todos los datos necesarios conocidos, se procede a calcular la deflexión máxima:

$$\gamma_{max} = \frac{22 \text{ N} * 1^3}{48 * 200 \text{ GPa} * \frac{2,25 * \left(\frac{12,7}{2000}\right)^2}{2}}$$

$$\gamma_{max} = 0,0000505 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es mucho menor a la permitida, y el factor de seguridad es un poco elevado, así que se elige un diámetro de 10 mm y se calcula de nuevo:

$$\text{diámetro} = 10 \text{ mm}$$

$$n = 1,96$$

$$\gamma_{max} = 0,0000814 \text{ mm}$$

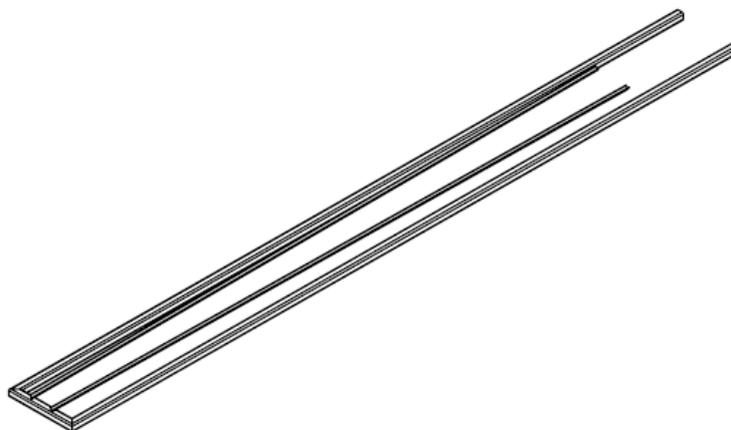
Con el diámetro de 10 mm, la deflexión sigue estando por debajo de la permitida, pero el factor de seguridad disminuyó aunque sigue siendo seguro usar un eje con este diámetro. Se concluye que para cumplir las condiciones de seguridad y deflexión, se debe usar un eje que tenga un diámetro mínimo de 10 mm. Cualquier diámetro mayor es permitido.

3.2.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

El sistema de clasificación está conformado por 4 estructuras, a las que se denominan clasificadores y se muestran en la figura 3.7. Estos clasificadores están fabricados de tubo cuadrado y perfiles de acero inoxidable, a través de los cuales gira una pequeña banda transportadora, permitiendo que el fruto se mueva hasta conseguir su adecuada clasificación.

Los detalles de las dimensiones y formas de los elementos que conforman el clasificador se encuentran en el Anexo C.

Figura 3.7 Esquema del clasificador.



Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

Para calcular la dimensión de los perfiles, primero se debe tomar en cuenta los rangos de clasificación que se necesitan:

Tabla 3.3 Tamaños de los frutos.

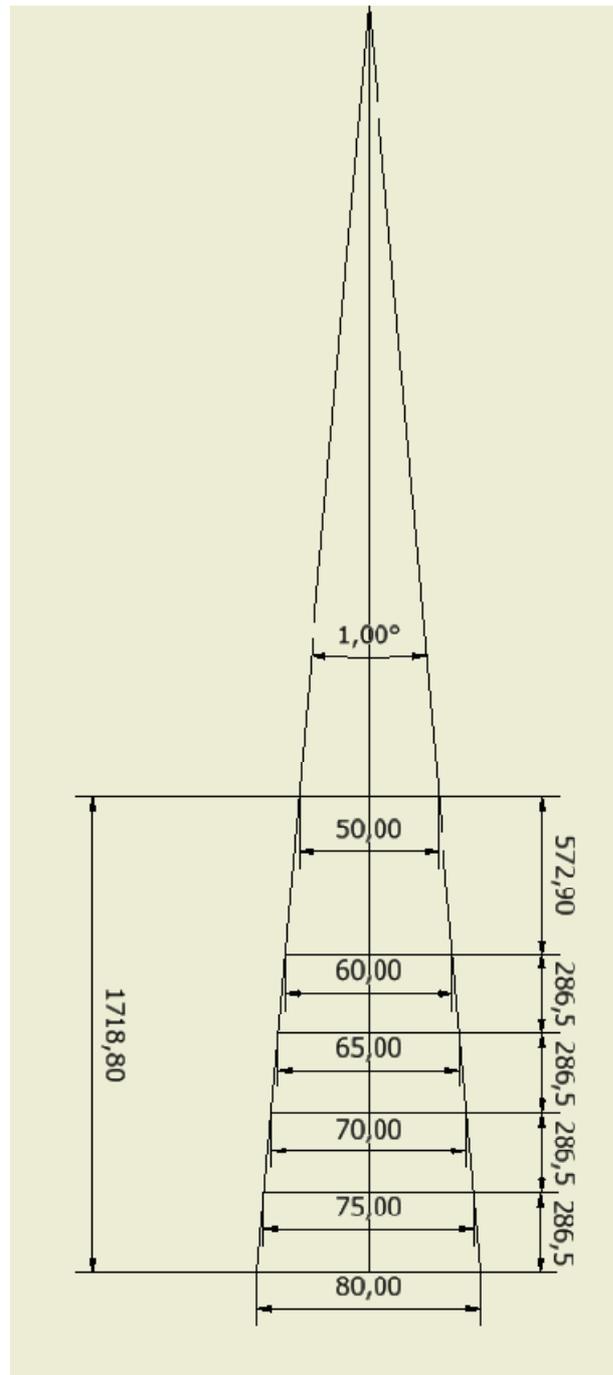
Tamaño	1	2	3	4	5
Diámetro (cm)	< 5 – 6	> 6 – 6.5	> 6.5 - 7	> 7 – 7.5	> 7.5

Fuente: Hacienda Turuco

Elaboración: Propia

Mediante operaciones trigonométricas se obtuvo el debido espacio al cual deben estar separadas cada una de las bandejas para que se cumpla con un proceso de clasificación exitoso. Para el cálculo se utilizó el ángulo de 1° de abertura.

Figura 3.8 Geometría de la estructura de clasificación.



Fuente: Propia
Elaboración: Propia.

3.2.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTANTE

Para el análisis de la estructura soportante se utilizó un programa CAD el cual mediante una simulación nos proporcionó los resultados de las deformaciones a partir de las cargas aplicadas. Con estos resultados se comprobó que los materiales que conforman la estructura soportaron las cargas con un factor de seguridad adecuado.

Para el análisis primero se definió los materiales. A continuación se muestra las tablas de propiedades de los materiales que se utilizó para la simulación.

Tabla 3.4 Tabla de propiedades del acero A36.

Nombre		Acero A36
General	Densidad	7.85 g/cm ³
	Esfuerzo a fluencia	207 MPa
	Esfuerzo último	345 MPa
Esfuerzo	Módulo de Young	210 GPa
	Coeficiente de Poisson	0.3

Fuente: Tabla de datos obtenidos en la simulación del Programa CAD

Elaboración: Propia

Tabla 3.5 Tabla de propiedades del acero galvanizado.

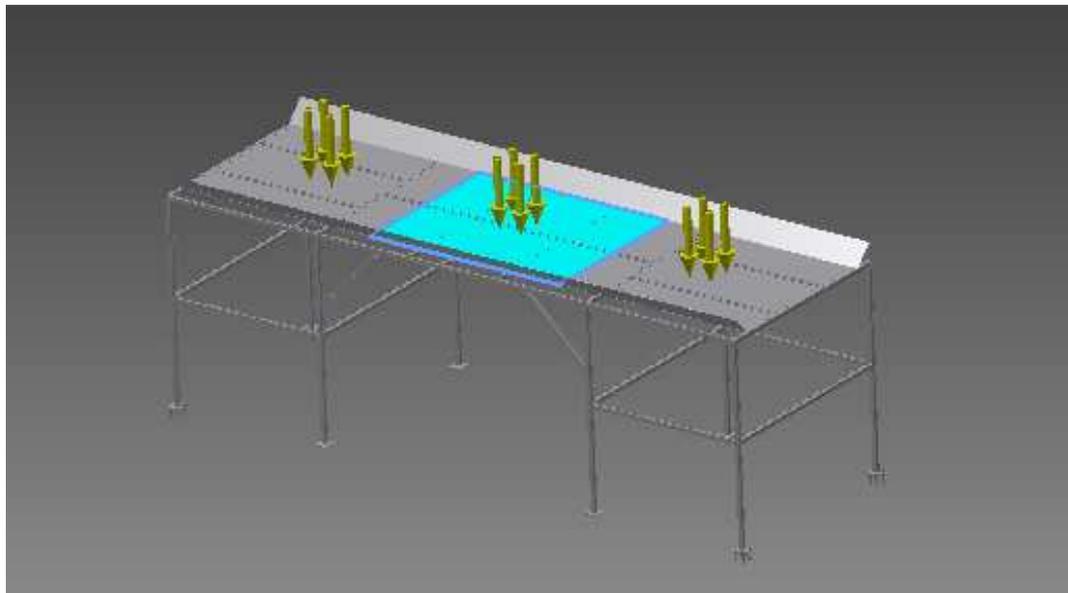
Nombre	Acero Galvanizado	
General	Densidad	7.85 g/cm ³
	Esfuerzo a fluencia	207 MPa
	Esfuerzo último	345 MPa
Esfuerzo	Módulo de Young	200 GPa
	Coeficiente de Poisson	0.3

Fuente: Tabla de datos obtenidos en la simulación del Programa CAD

Elaboración: Propia

Una vez que se definieron los materiales, se seleccionó las cargas aplicadas.

La carga que se utilizó para la simulación fue de 200 [Kg], la cual, aplicada en la mesa clasificadora, con un área de 800000 mm², equivale aproximadamente a 0.003 [MPa]. Como se muestra a continuación.

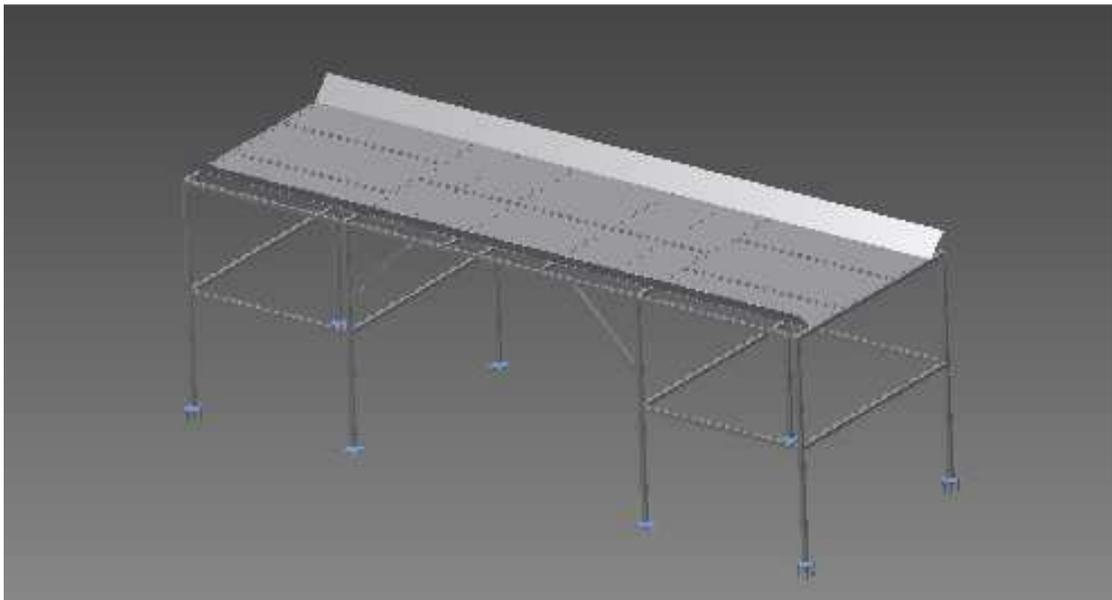
Figura 3.9 Cargas aplicadas en cada una de las mesas.

Fuente: Programa CAD

Elaboración: Propia

Además se deben incluir cierto tipo de restricciones como son las caras fijas. A continuación se muestran las restricciones que se usaron en la estructura y los resultados proporcionados por el programa. Los resultados completos se muestran en el anexo B.

Figura 3.10 Restricciones en cada una de los apoyos de la estructura.



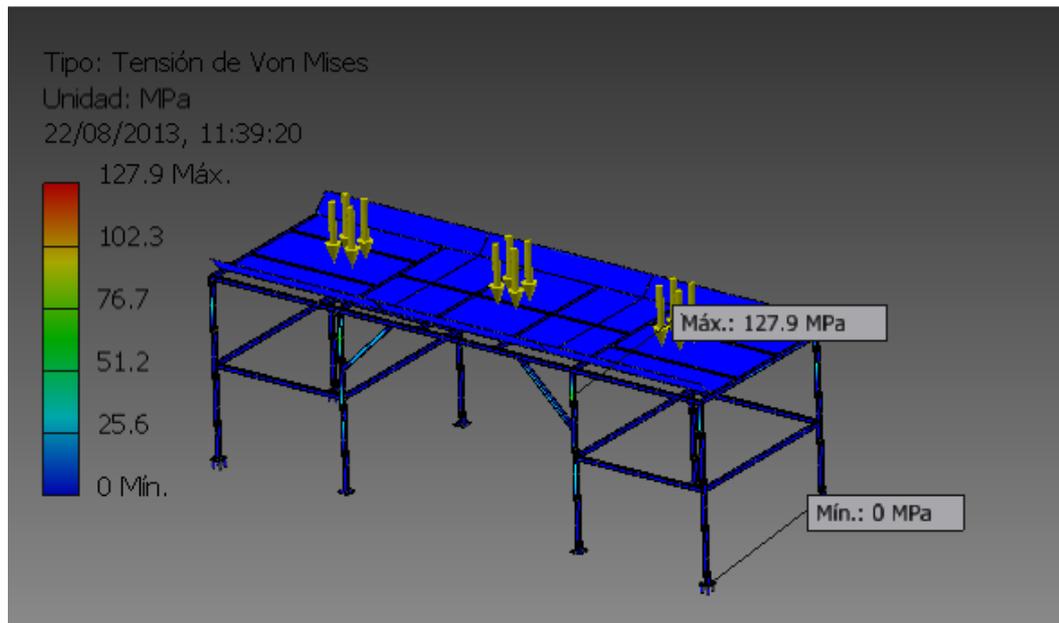
Fuente: Programa CAD

Elaboración: Propia

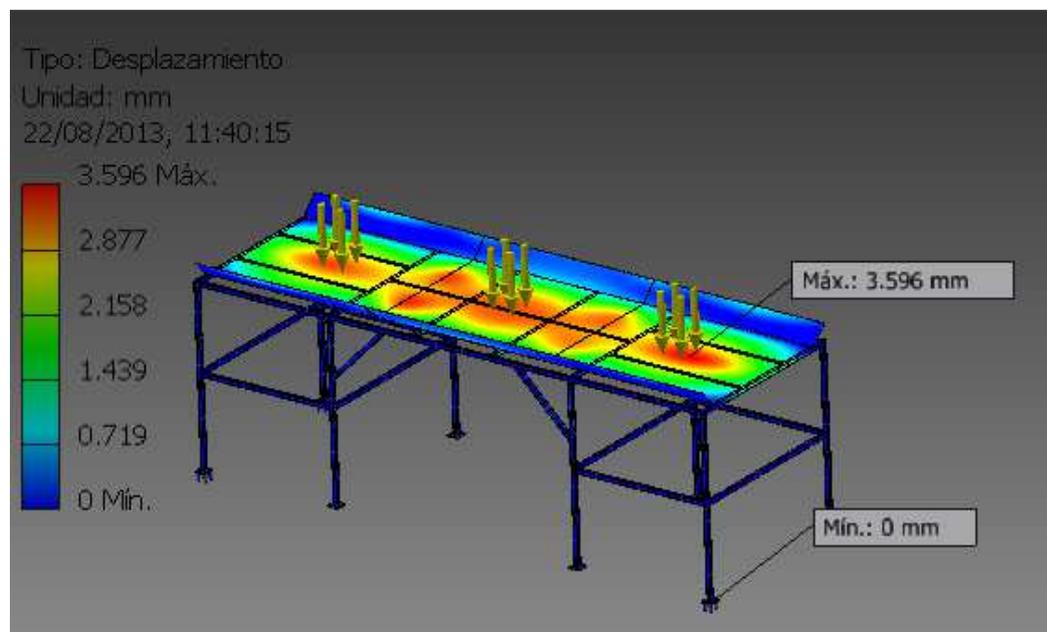
Una vez definidas las cargas y las restricciones, se procede a calcular los resultados. Los más importantes para nuestro diseño son:

- Esfuerzo de Von Misses
- Desplazamiento máximo
- Factor de seguridad

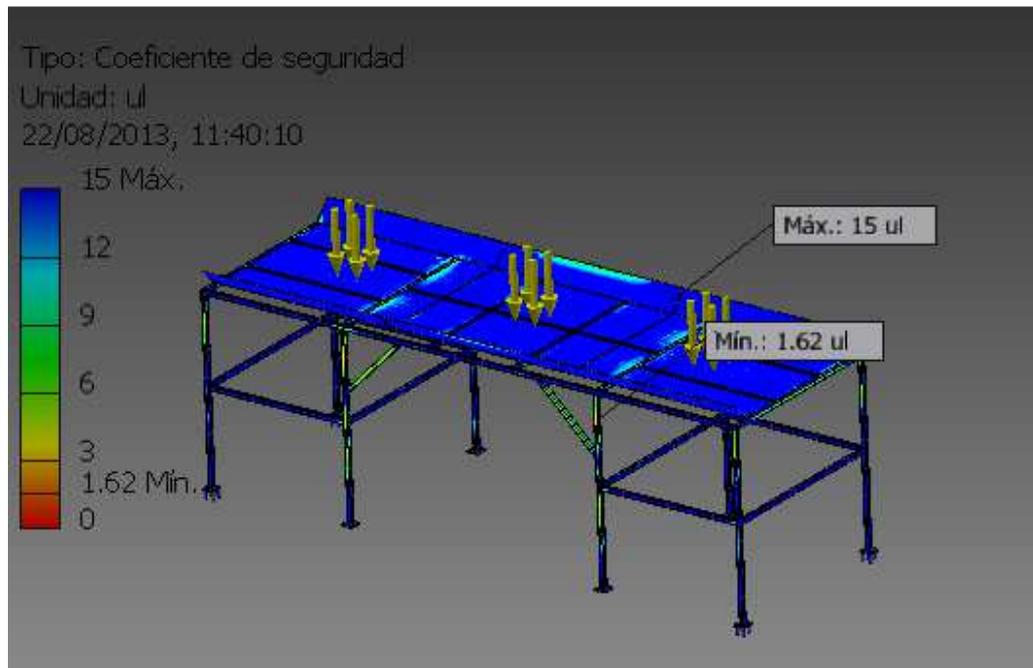
A continuación se muestran capturas de pantalla de los resultados.

Figura 3.11 Esfuerzo de Von Mises.

Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

Figura 3.12 Desplazamiento máximo.

Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

Figura 3.13 Factor de seguridad.

Fuente: Programa CAD

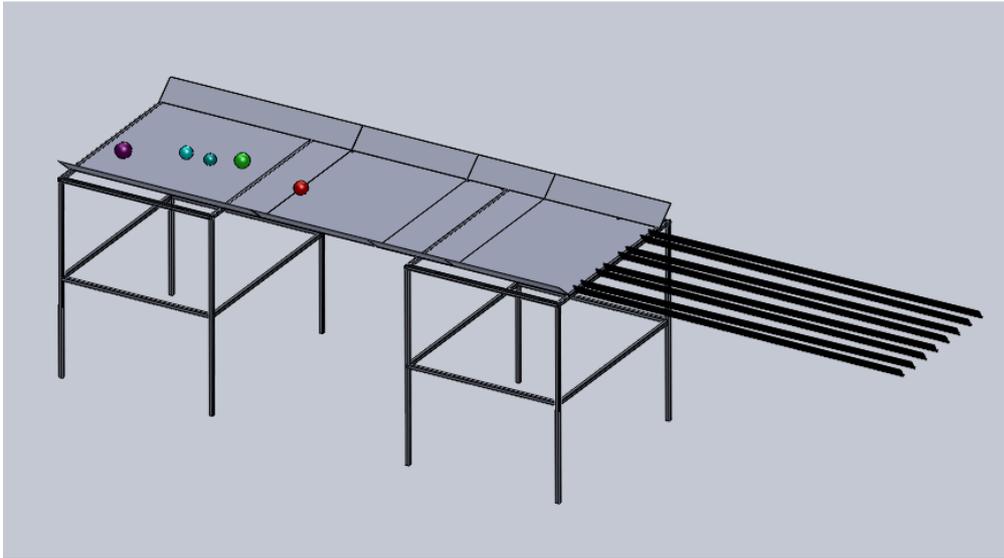
Elaboración: Propia

Se observa que los resultados son satisfactorios, el esfuerzo de Von Mises no sobrepasa el límite de fluencia, el desplazamiento máximo está dentro de los rangos permitidos y el factor de seguridad mínimo es mayor a 1.

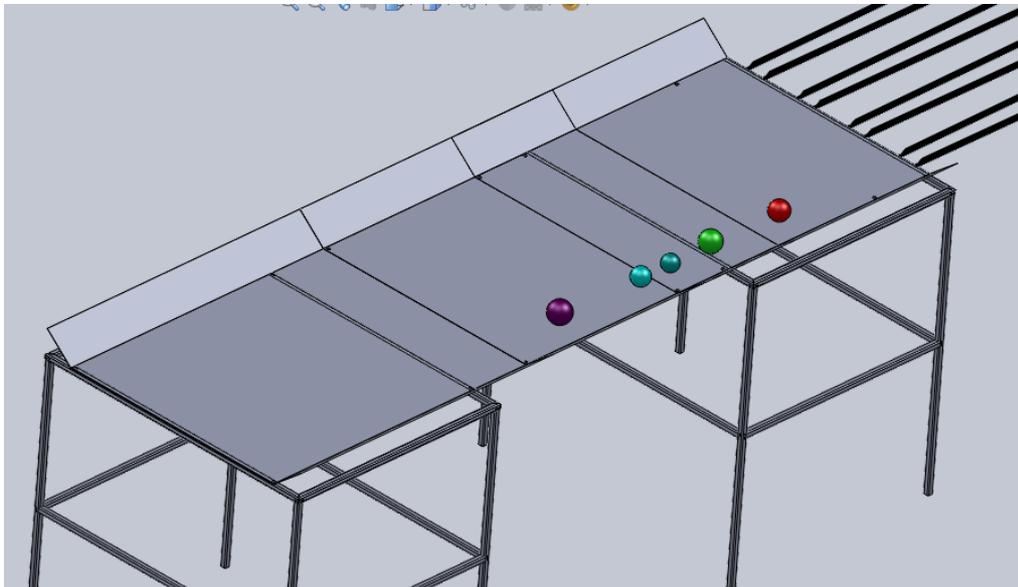
3.3 SIMULACIÓN DEL SISTEMA MULTICUERPO

Para esta simulación se utilizó un programa CAD, el cual puede tomar en cuenta, aunque no todas, pero si la mayoría de variables físicas que se presentan en nuestro diseño.

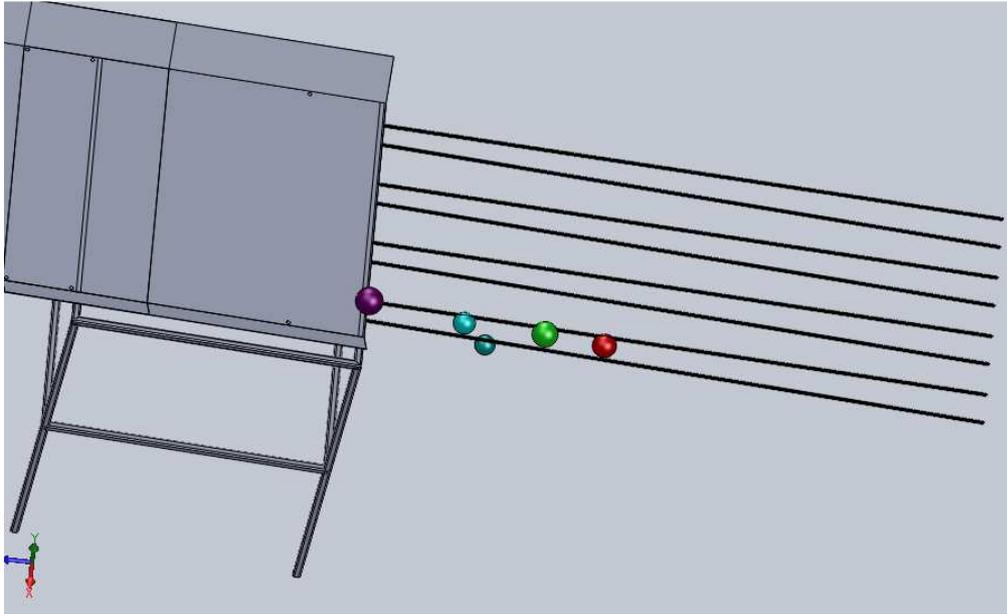
A continuación se muestran capturas de pantalla de la simulación.

Figura 3.14 Simulación.

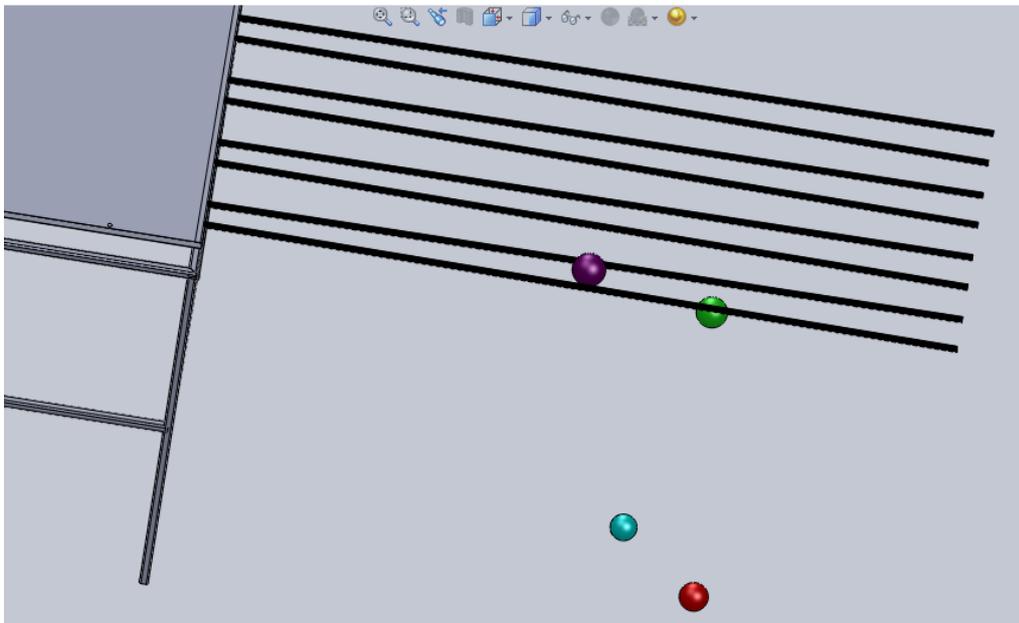
Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

Figura 3.15 Simulación.

Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

Figura 3.16 Simulación.

Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

Figura 3.17 Simulación.

Fuente: Programa CAD
Elaboración: Propia

CAPÍTULO 4

FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA CLASIFICADORA

4.1 FABRICACIÓN

La fabricación de la máquina clasificadora, se debe llevar a cabo en un taller mecánico que cuente con todas las máquinas y herramientas necesarias para fabricar todos los elementos que conforman dicha máquina.

La construcción de los elementos que conforman la máquina clasificadora, se lleva a cabo siguiendo las indicaciones de los planos de taller.

Al momento de empezar la construcción, hay que verificar que todos los materiales necesarios para los elementos de la máquina clasificadora, se puedan encontrar de manera fácil y rápida en el mercado nacional.

Para la fabricación de las partes y elementos que componen la máquina clasificadora, es necesario contar con ciertas máquinas, herramientas, instrumentos de medición, materia prima y elementos seleccionados que se detallan a continuación:

MÁQUINAS:

- Cortadora de tol de 1 mm de espesor, y 6 metros de longitud
- Dobladora de tol de 1 mm de espesor y 1.5 metros de longitud
- Equipo SMAW
- Torno, distancia entre puntos de 1.5 metros, volteo de 200 mm

- Esmeril
- Amoladora
- Taladro

MATERIA PRIMA:

- 5 Tubos cuadrados de acero negro de 40mm de ancho; $e=2\text{mm}$;
 $L=6\text{m}$
- 2 Planchas de acero ASTM A 36 1220X2440X0.8 mm
- Eje de acero AISI-1018 $D=10\text{ mm}$; $L=1000\text{ mm}$
- 2 Ejes de acero AISI-1018 $D=12\text{ mm}$; $L=1000\text{ mm}$

ELEMENTOS SELECCIONADOS:

- Piñón (Catalina) ANSI 25B12
- Piñón (Catalina) ANSI 25B20
- 3 Piñones (Catalinas) ANSI 25B25
- Piñón (Catalina) ANSI 25B32
- Cadena de rodillos ANSI No. 25, paso $\frac{1}{4}$, $L=3\text{m}$
- Banda Transportadora de PVC para alimentos de 800 mm de ancho,
longitud total 6 metros, espesor de 3mm
- Motorreductor de $\frac{1}{4}$ HP de potencia, con velocidad de salida del eje de
120 RPM

4.1.1 FABRICACIÓN DE LAS PARTES

Los elementos de la máquina clasificadora que se van a construir son:

- Estructura soportante
- Mesa de clasificación
- Eje de distribución
- Ejes motrices
- Cilindros para la banda transportadora
- Separadores
- Sistema de clasificación

Para la construcción de todas las partes de la máquina clasificadora, es necesario conocer los procedimientos de fabricación, los cuales están detallados en las hojas de procesos que se usan para cada una de ellas. Véase anexo C.

4.1.2 MONTAJE

Para realizar el montaje de la máquina clasificadora, se construyeron adecuadamente todas las partes necesarias, tomando en cuenta las especificaciones establecidas en los planos de construcción.

El montaje se debe llevar a cabo siguiendo las operaciones necesarias para cada caso (estructura y sistema motriz), las cuales se muestran en una tabla antes del diagrama de procesos o cursograma que indica el orden de las operaciones.

La simbología que se usa para realizar los diagramas de procesos o cursogramas se muestra a continuación.

Tabla 4.1 Simbología usada en diagramas de procesos.

SIMBOLO	SIGNIFICADO
	OPERACIÓN
	INSPECCIÓN
	FIN DEL PROCESO

Fuente: <http://ingenierosindustriales.jimdo.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/ingenier%C3%ADa-de-metodos/t%C3%A9cnicas-de-registro-de-la-informaci%C3%B3n/>

Elaboración: Propia

Una vez fabricadas todas las piezas, se debe seguir el diagrama de proceso para el montaje. Véase anexo E.

4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de campo se realizaron en la ciudad de Guayllabamba, provincia de Pichincha.

Estas pruebas, se detallan en un protocolo de pruebas que verifica los siguientes aspectos:

- Control de dimensiones.
- Pruebas de funcionamiento en vacío.

- Pruebas de funcionamiento con carga.
- Calidad de clasificación.
- Maltrato al fruto.

CONTROL DE DIMENSIONES

Se deben realizar las mediciones necesarias en la máquina clasificadora construida y compararlas con las dimensiones de la máquina clasificadora diseñada.

PROCEDIMIENTO:

- Medir el largo, el ancho y la altura de total de la máquina construida.
- Comparar estas dimensiones con las dimensiones de la máquina diseñada.

Tabla 4.2 Tabla para el control de las dimensiones principales.

DIMENSIONES PRINCIPALES				
DIMENSIONES (mm)	Diseño	Máquina Construida	Aceptación	
			SI	NO
Largo Total				
Ancho Total				
Altura Total				

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN VACÍO

Esta prueba sirve para comprobar el correcto funcionamiento de la máquina clasificadora sin carga.

PROCEDIMIENTO:

- Encender la máquina.
- Verificar cada 10 minutos que todas las partes estén funcionando.
- Realizar las verificaciones durante una hora.

Tabla 4.3 Tabla de verificación del funcionamiento en vacío.

Tiempo (min)	Motor Eléctrico		Banda Transportadora		Eje Motriz		Eje Distribuidor	
	Falla	No Falla	Falla	No Falla	Falla	No Falla	Falla	No Falla
10								
20								
30								
40								
50								
60								

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON CARGA

Esta prueba verifica la capacidad de clasificación de la máquina, tomando como referencia un promedio de 200 kg/hora (0.05 kg/seg).

PROCEDIMIENTO:

- Encender la máquina.
- Colocar una bandeja de producto (20 kg aprox).
- Tomar el tiempo que se demora en clasificar toda la bandeja.
- Calcular la capacidad de clasificación, dividiendo el peso del producto para el tiempo que se demoró en ser clasificado.
- Si la capacidad de clasificación es mayor a 0.05 kg/seg, es una buena capacidad, si es menor a ese valor, es mala.
- Repetir el procedimiento con 2 bandejas (40kg aprox), 3 bandejas (60kg aprox), 4 bandejas (80kg aprox) y 5 bandejas (100kg aprox).

Tabla 4.4 Tabla de verificación del funcionamiento con carga.

Cantidad de producto (kg)	Tiempo (seg)	Capacidad de clasificación (kg/seg)		
			Buena	Mala
20				
40				
60				
80				
100				

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

CALIDAD DE CLASIFICACIÓN

Esta prueba verifica que la máquina esté clasificando adecuadamente, es decir, que separe los frutos de acuerdo al tamaño, y en caso de que se mezclen frutos de diferentes tamaños, también indica el porcentaje de frutos de uno y otro tamaño. Para medir los frutos y verificar que estén en la categoría adecuada, se necesita contar con un calibrador.

PROCEDIMIENTO:

- Encender la máquina.
- Clasificar una bandeja de producto (20 kg aprox).
- Pesar el producto clasificado en cada categoría.
- Verificar las medidas de los tomates en cada clasificación con el calibrador.
- Separar los que no pertenecen a la categoría correspondiente.
- Pesar los tomates malos y sacar el porcentaje.
- Realizar este procedimiento con cada categoría.
- Repetir el procedimiento con 2 bandejas (40kg aprox), 3 bandejas (60kg aprox), 4 bandejas (80kg aprox) y 5 bandejas (100kg aprox).

Tabla 4.5 Tabla de la calidad de clasificación.

Kg	< 6.5 cm		> 6.5 - < 7cm		> 7 - < 7.5 cm		> 7.5 cm	
	% Correc.	% Incorr.	% Correc.	% Incorr.	% Correc.	% Incorr.	% Correc.	% Incorr.
20								
40								
60								
80								
100								

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

MALTRATO AL FRUTO

Esta prueba verifica el porcentaje de frutos que resultan aplastados o sufren algún tipo de maltrato después de ser clasificados. El criterio de evaluación del estado físico del producto depende de la pericia del observador y está basado en la siguiente tabla.

Tabla 4.6 Criterio de evaluación de maltrato al fruto.

ESTADO	CALIFICACIÓN
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Pésimo	1

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

PROCEDIMIENTO:

- Encender la máquina.
- Clasificar una bandeja de producto (20 kg aprox).

- Pesar el producto clasificado en cada categoría.
- Realizar una inspección visual en cada categoría para reconocer a los frutos dañados. Los frutos dañados serán los que tengan una calificación menor a 3.
- Separar los frutos dañados.
- Pesar los tomates dañados y sacar el porcentaje.
- Realizar este procedimiento con cada categoría.
- Repetir el procedimiento con 2 bandejas (40kg aprox), 3 bandejas (60kg aprox), 4 bandejas (80kg aprox) y 5 bandejas (100kg aprox).

Tabla 4.7 Tabla del porcentaje de fruto maltratado.

Cantidad clasificada	Frutos Sanos	Frutos Dañados
Kg	%	%
20		
40		
60		
80		
100		

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Los resultados de las pruebas de funcionamiento se encuentran en el anexo E.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO

Después de la elaboración de la máquina clasificadora de frutos se realizó una evaluación económica del proyecto para obtener información y determinar si su ejecución es viable y rentable.

Una evaluación económica requiere de un previo análisis del costo total del proyecto, para lo cual es indispensable mostrar detalladamente los costos que intervinieron para la culminación del proyecto ya sean estos directos o indirectos.

Antes de comenzar con el proyecto se elaboró un presupuesto teórico en el perfil de proyecto de grado que fue de 2000 USD, correspondientes a los costos totales que involucra el diseñar y construir la máquina clasificadora de frutos. Este presupuesto sirvió como base y referencia de cuánto dinero se necesitaría para alcanzar los objetivos que requería la empresa. Después de concluida la construcción, se logró establecer los costos reales en los que se incurrió.

Para la realización del análisis económico y financiero de los costos reales, se consideró a los costos directos y a los costos indirectos del proyecto que se detallan a continuación.

5.1. COSTOS DIRECTOS

Los costos directos comprenden todo lo referente a la construcción de la máquina, es decir: equipos, materiales y mano de obra directa para la construcción de los distintos componentes, así como el costo de diseño.

Tabla 5.1 Costo de la mano de obra.

No.	Descripción	No. Horas	\$ / Hora	TOTAL USD.
1	Maestro Metal Mecánico	100	7.5	750
1	Ayudantes Mecánicos	30	5	150
			TOTAL USD	900

Fuente: Taller metalmecánico Suquillo

Elaboración: Propia

Tabla 5.2 Costo del diseño.

Nombre	CARGO	No. Horas	\$ / Hora	TOTAL USD.
Sr. Mario Angos	Responsable del Proyecto	150	5	750
Sr. Héctor Calvopiña	Responsable del Proyecto	150	5	750
			TOTAL	1500

Fuente:

Elaboración: Propia

La siguiente tabla detalla los costos de la materia prima utilizada para la construcción de la máquina clasificadora de frutos.

Tabla 5.3 Costo de los materiales.

Tipo	Cant.	Descripción	Material	Valor Unit.	Valor Total
Plancha	1	1200x2400x1mm	Acero inoxidable	60	60
Perfil cuadrado	12	30x30x1mm	Acero negro	8	96
Plancha	3	1200x2400x1mm	Acero galvanizado	50	150
Eje	4	1000 x 15mm	Acero transmisión	15	60
Motor	1	0.25 hp	Varios	400	400
Rodamientos	10	D = 12mm	Varios	10	100
Piñón 25B12	1	12 de dientes	Acero al carbono	5	5
Piñón 25B20	1	20 de dientes	Acero al carbono	9	9
Piñón 25B25	3	25 de dientes	Acero al carbono	13	39
Piñón 25B32	1	32 de dientes	Acero al carbono	17	17
Banda transportadora	1	6000x800x3mm	Caucho y grapas Inoxidable	450	450
Caja de Cadena No. 25	2	3 mts.	Acero al carbono	30	30
Pintura	2	Gal Amer.	Anticorrosivo	8	16
Extras	--	--	--	--	68
TOTAL					1500

Fuente: Varios

Elaboración: Propia

Con los costos de mano de obra directa y materiales, se puede determinar los costos directos totales que a continuación serán mostrados.

Tabla 5.4 Costos directos totales.

DESCRIPCION	TOTAL USD
Mano de obra	900
Diseño	1500
Materiales	1500
TOTAL	3900

Fuente:

Elaboración: Propia

5.2. COSTOS INDIRECTOS

En lo que se refiere a costos indirectos se incluyen los gastos administrativos, financieros y cualquier gasto extra. La tabla siguiente detalla los gastos administrativos que fueron necesarios para realizar el diseño y la construcción de la máquina clasificadora de frutos.

Tabla 5.5 Costos de adquisición de insumos.

CANTIDAD	DESCRIPCION	V. Unitario	TOTAL
2	Mascarillas	7.50	15
6	Pares de guantes de caucho	1.50	9
4	Gafas de seguridad	1.50	6
TOTAL			30

Fuente: KYWI

Elaboración: Propia

Tabla 5.6 Varios.

DESCRIPCION	TOTAL
Transporte	50
Impresiones	20
TOTAL	70

Fuente:Varios

Elaboración: Propia

Los costos indirectos totales se consiguen de la sumatoria correspondiente de todos los valores.

Tabla 5.7 Costos indirectos totales.

DESCRIPCION	TOTAL
Insumos	30
Varios	70
TOTAL	100

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

5.3 ANÁLISIS COSTO / BENEFICIO

Los costos totales del proyecto se obtuvieron de la suma de los costos directos y los costos indirectos.

Tabla 5.8 Costo total del proyecto.

DESCRIPCION	TOTAL
Costos Directos	3900
Costos Indirectos	100
TOTAL	4000

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

DEPRECIACIÓN

La depreciación se la obtuvo teniendo en cuenta una vida útil de 5 años.

$$Depreciación = \frac{Inversión\ Total}{5\ años} = \frac{4000\ USD}{5\ años} = 800\ USD/año$$

CONSUMO DE ENERGÍA

Para el cálculo del consumo de energía eléctrica se deben tomar como referencia las tarifas vigentes en el mercado, es decir, 0.04 centavos el KWh.

La potencia eléctrica de la máquina se calcula multiplicando el voltaje con el que trabaja por la intensidad de corriente del componente eléctrico, en este caso el motor:

$$P = V * I$$

$$P = 110 V * 3 A$$

$$P = 330 W$$

El tiempo de uso es de 8 horas al día, entonces, la potencia eléctrica consumida al día es de:

$$P = 330 W * 8 horas$$

$$P = 2.64 \frac{KWh}{día}$$

En un mes el consumo será:

$$P = 2.64 \frac{KWh}{día} * 30 días$$

$$P = 79.2 \frac{KWh}{mes}$$

Si multiplicamos este valor por el costo del KWh, entonces el gasto mensual por energía eléctrica será:

$$C = 79.2 \frac{KWh}{mes} * 0.04 \frac{USD}{KWh}$$

$$C = 3.2 \frac{USD}{mes}$$

Finalmente, el consumo en un año será:

$$P = 79.2 \frac{KWh}{mes} * 12 meses$$

$$P = 950.4 \frac{KWh}{año}$$

Multiplicando este valor por el costo del KWh obtenemos el gasto anual por energía eléctrica:

$$C = 950.4 \frac{KWh}{año} * 0.04 \frac{USD}{KWh}$$

$$P = 38.4 \frac{USD}{año}$$

La tabla 5.10 muestra los valores en USD del consumo mensual y anual.

TABLA 5.9 Consumo de energía.

Descripción	Costo KWh (USD)	Consumo Mensual (USD)	Costo Anual (USD)
Energía eléctrica	0.04	3.2	38

Fuente: Empresa Eléctrica Quito
Elaboración: Propia

Con los datos obtenidos de los costos de la máquina, se determina la rentabilidad del proyecto por medio un indicador: el periodo de retorno de la inversión (PRI).

PERÍODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (PRI)

Se calcula este indicador para determinar la cantidad de periodos que deberá operar el proyecto para que los flujos cubran la inversión, incluido el costo de capital involucrado.

$$\text{Inversión proyecto} = 4000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo de energía anual} = 38 \text{ USD}$$

$$\text{Interés bancario anual (tasa de interés de la banca privada)} = 12.80\%$$

$$\text{Interés anual proyecto} = (\text{Inversión proyecto}) \cdot (\text{Interés Bancario anual}) =$$

$$\text{Interés anual proyecto} = 4000 * 0.1280 = 512 \text{ USD}$$

Utilidad operativa de la máquina clasificadora de frutos.

(+) Ahorro producido por la máquina (anual)= 11520 USD

(-) Costo por máquina, incluido mano de obra y diseño = 4000 USD

(-) Costo de energía (anual) = 38 USD

(-) Mantenimiento (anual) = 300 USD

(=) Utilidad operativa = 11520 – 4000,0 – 38 – 300,0 = 7182 USD.

$$PRI = \frac{(Inversión\ proyecto + Interés\ Anual)}{Utilidad\ Operativa} = \frac{4000 + 512}{7182} = 0,63$$

$$PRI = 8\ meses$$

La inversión del proyecto se la va a recuperar en 8 meses, por lo tanto pasado este tiempo se va a comenzar a obtener réditos económicos. Los cálculos se los realizó con datos reales acordes a la situación económica actual.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó una máquina que se encargue de la clasificación por tamaño de diferentes clases de frutos redondos, los tamaños de frutos oscilan entre (0-5.5), (5.5-6), (6-6.5), (6.5-7), (7-7.5), (7.5-10) cm.

2. Se determinó que para que el proceso de clasificación sea exitoso, se necesitan frutos redondos y estos deben estar en estado tierno (verde), para garantizar que los frutos tengan una buena resistencia mecánica y no resulten dañados.

3. Al realizar las pruebas de funcionamiento se verificó que la máquina clasificadora de frutos satisface a la demanda del cliente. Cumpliendo con una capacidad de 400 kg/h lo que equivale aproximadamente a una gaveta en 3 minutos. Además se concluye que la máquina no daña ningún fruto en el proceso de clasificación.

4. El proceso de selección del modelo de la máquina se realizó con un previo estudio de las máquinas existentes en el mercado, y mediante una matriz de ponderación, con la que se determinó un modelo óptimo que cumplan con los requisitos del cliente.

5. Se determinó que en la Universidad de las Fuerzas Armadas existen estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, que, con el apoyo de mano de obra nacional calificada, tienen el conocimiento técnico para fabricar

máquinas de esta naturaleza, que actualmente son importadas al país, demostrando así también que existe la capacidad tecnológica e intelectual en el país para la construcción de nuevas máquinas.

6. Previamente antes de la construcción se desarrolló una simulación, la cual se realizó en un programa CAD, y con esta se verificó que el concepto de funcionamiento de la máquina clasificadora de frutos sería exitoso. Los resultados obtenidos de los programas CAD permitieron establecer los posibles errores que se cometerían; brindando la oportunidad de mejorarlos en el proceso de construcción.

7. Mediante el análisis de costos se determinó que la maquina clasificadora de frutos por su tamaño tiene un costo de 4000 USD. En materiales se invirtió 1500 UDS correspondiente al 37,5 % del costo total. También 1000 USD en mano de obra, extras y alquiler del equipo equivalentes a 25,00 %. y finalmente en tutoría y el costo de diseño 1500 USD equivalentes a 37,5%.

8. El costo final de la máquina superó la inversión inicial debido q se realizaron mejoras de diseño para garantizar la vida útil de 5 años de la máquina.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable que al realizarse el presupuesto de la máquina, se tomen en cuenta precios actuales y reales, además de incluir en el presupuesto gastos no planificados.

2. Si se desea clasificar frutos de forma alargada, se debe implementar un sistema que oriente a los frutos de tal manera que ingresen al sistema de clasificación en forma adecuada para su futura clasificación.

3. Se observó que los estudiantes de ingeniería de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE tienen falencias en la formación del área administrativa. Por lo tanto se recomienda a futuro tomar cursos de nivelación en el ámbito administrativo, para mejorar nuestro desempeño como futuros ingenieros del país.

4. Se debe seguir las recomendaciones establecidas en el manual de operación y mantenimiento de la máquina clasificadora de frutos, para garantizar la eficacia del proceso de clasificación y además la vida útil de la máquina.

5. Es importante que la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad las Fuerzas Armadas ESPE como institución que forma profesionales, mantenga convenios para la realización de proyectos de tesis con el sector de empresa privada, a fin de que los estudiantes cuenten con un respaldo que les garantice el cumplimiento por parte de la empresa auspiciante, especialmente con lo referente a los desembolsos económicos.

6. La carrera de Ingeniería Mecánica debería brindar capacitaciones en el área administrativa para la realización del perfil de tesis, ya que de esto depende la viabilidad del proyecto que se realizará.

BIBLIOGRAFÍA

- Arthur, E. G. (1998). *Diseño de Mecanismos*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México.
- Brostead, P. J. (1986). *Packing of fruit and vegetables; a study of models for manufacture*. London: Chantam Maritime.
- Budynas, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- ANL, I. (2009). *Catalogo de Bandas Transportadoras*. Quito: Interinox.
- Caqui, B. C. (2009). *Clasificadora de tomates*. Obtenido de <http://www.youtube.com/watch?v=zuNnj-2QwXE>
- Deutschman, A. D. (1987). *Diseño de Máquinas, Teoría y Práctica*. Mexico: Continental.
- Jones, F. D. (s.f.). *Machinery's Handbook*. New York: Industrial Press Inc.
- Kader, A. A. (1985). *Postharvest Technology of Fruits and Horticultural Crops*. California: Regents of the University of California. Division of Agriculture and Natural Resources.
- Lobosco, O. S. (1989). *Selección y Aplicación de Motores Eléctricos*. Barcelona: Marcombo S.A.

- Madrid, U. d. (2006). *Costes directos e indirectos*. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Costes_directos_e_indirectos_en_Finanzas
- Salud, S. L. (2000). *Análisis Costo Beneficio*. Obtenido de <http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/File/An%C3%A1lisis%20Costo%20beneficio.pdf>
- Warner, M. (Febrero de 2007). *Maquina Clasificadora de frutos*. Obtenido de <http://www.youtube.com/watch?v=QnG8tS5Pf3A>

ANEXOS

ANEXO A

TABLA DE CAPACIDAD DE CADENA No. 25 PASO $\frac{1}{4}$

TABLA DE DIMENSIONES DE PIÑONES PASO $\frac{1}{4}$

TABLA DE ESFUERZO MÁXIMO DE CADENAS

ANEXO B

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA
EN EL PROGRAMA CAD

ANEXO C

HOJAS DE PROCESO

ANEXO D

DIAGRAMA DE PROCESO PARA EL MONTAJE

ANEXO E

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

ANEXO F

PLANOS

ANEXO G

MANUAL DE USUARIO

ANEXO H

FOTOS

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA
CLASIFICADORA DE FRUTOS POR SU TAMAÑO”**

ELABORADO POR:

.....
Mario Fernando Angos Mediavilla

.....
Héctor Alejandro Calvopiña Enríquez

.....
Ing. Ángelo Villavicencio.

Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica

Sangolquí, Octubre del 2013