

Diseño de una clasificadora y pesadora de tomate riñón

Nelson Jara-Cobos¹, Fran Reinoso-Avecillas², Olena Leonidivna Naidiuk³, Alex López-Chungata⁴

¹Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: njara@ups.edu.ec

²Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: freinoso@ups.edu.ec

³Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: oneira@ups.edu.ec

⁴Graduado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: alopezc6@est.ups.edu.ec

Resumen

La producción de tomate riñón en la provincia del Azuay – Ecuador, se realiza principalmente dentro de invernaderos. Por lo general se siembra la variedad de tomate que tienen más acogida, como: fortuna, sheila, charles-ton, titán, pietro, fortaleza, cherry y chontoy. A partir de la siembra se requieren aproximadamente tres meses de un gran cuidado para que el fruto sea de calidad, una vez que empieza la fase de cosecha generalmente el método tradicional consiste en recolectar manualmente el tomate y trasladarlo en gavetas hacia el punto de acopio, en donde se procede a clasificar el tomate de acuerdo con su tamaño; una vez clasificados se procede a pesarlos mediante balanzas analógicas para llevarlos al mercado.

Las dificultades que presenta el proceso de clasificación y pesaje del tomate se traducen fundamentalmente en la mano de obra, el tiempo requerido y los riesgos ergonómicos a los que están expuestos los trabajadores por levantar grandes pesos en posturas inadecuadas.

En ese contexto, se ha diseñado una máquina que clasifique el tomate por su tamaño y peso, para ello se ha dividido el sistema total en cuatro subsistemas: estructura soporte, alimentación, clasificación y control. Cada uno de ellos ha sido diseñado considerando las variables cualitativas y cuantitativas obtenidas directamente de varios productores de la zona de Guachapala, Azuay, Ecuador.

Se verificó la viabilidad técnica y económica que tendría la construcción e implementación de la máquina en la localidad, considerando que a nivel nacional no se dispone de este tipo de equipos, su importación representa valores elevados y sobre todo no cumplen con las necesidades específicas de los productores.

Palabras clave: Máquina clasificadora, invernaderos, tomate riñón, sistema de pesaje.

Abstract

Kidney tomato production in the province of Azuay – Ecuador, is carried out mainly in greenhouses. Generally, the tomato variety that is most popular is planted, such as Fortuna, Sheila, Charles-ton, Titan, Pietro, Fortress, Cherry and Chontoy. From planting, approximately three months of great care are required for the fruit to be of quality. Once the harvest phase begins, generally the traditional method consists of manually picking the tomato and moving it in drawers to the collection point. where the tomato is classified according to its size; Once classified, they are weighed using analog scales to take them to the market.

The difficulties presented by the tomato classification and weighing process fundamentally translate into labor, the time required and the ergonomic risks to which workers are exposed by lifting heavy weights in inappropriate postures.

In this context, a machine has been designed to classify tomatoes by size and weight. To do this, the total system has been divided into four subsystems: support structure, feeding, classification and control. Each of them has been designed considering the qualitative and quantitative variables obtained directly from several producers in the Guachapala area, Azuay, Ecuador.

The technical and economic feasibility of the construction and implementation of the machine in the town was verified, considering that this type of equipment is not available nationally, its import represents high values and, above all, it does not meet the specific needs of the users. producers.

Keywords: Sorting machine, greenhouses, tomato kidney, weighing system

1. Introducción

El tomate riñón puede ser producido y cultivado durante todas las épocas del año, el cultivo requiere una temperatura bajo invernadero de 18 a 25 °C [1]. En Ecuador la producción es aproximadamente de 62 mil toneladas al año, se ha podido identificar que cada ecuatoriano consume cinco kilos de tomate al año. Por otro lado, la mayoría de producción se da en las provincias de Santa Elena y en los Valles del Azuay, Imbabura y Carchi [2].

Una máquina clasificadora automatizada permite eliminar trabajos pesados e ineficiencias durante el proceso, mejora y reduce el tiempo de clasificación garantizando una producción equilibrada. A nivel mundial existen máquinas para la clasificación de una gran variedad de productos, pero el costo de importación es alto, lo que dificulta a los agricultores o empresas nacionales adquirir estos equipos. En el cantón Guachapala los productores de tomate riñón no cuentan con algún tipo de maquinaria que les facilite realizar los trabajos del proceso de post-cosecha.

Ante las necesidades que presenta la empresa KAM se propone el diseño y simulación de una máquina clasificadora y pesadora de tomate riñón, la cual permitirá reducir el tiempo y el costo de mano de obra para la clasificación y pesaje.

1.1. Máquinas clasificadoras

Las máquinas clasificadoras optimizan los procesos de clasificación de una gran variedad de productos, entre ellos están los productos orgánicos como el tomate riñón, posibilitando una disminución de tiempos y en consecuencia reduciendo los costos por este proceso. En el mercado internacional se pueden identificar distintos tipos de máquinas clasificadoras, las cuales se revisan a continuación.

1.1.1. Máquina seleccionadora con bandas transportadoras.

Cuenta con un sistema de alimentación mediante una banda transportadora con paletas, la cual alimenta de productos a una banda ranurada que transporta los tomates a un escáner controlado por un ordenador con el que se activa un sistema que empuja el producto hacia distintos compartimentos de acuerdo al tamaño (ver figura 1) [3].



Figura 1. Máquina clasificadora con bandas transportadoras. Fuente: [3].

1.1.2. Clasificadora mecánica con rodillos.

Consta de una banda transportadora hecha con rodillos PVC, mismos que al seguir su trayectoria se separan conforme a los distintos tamaños que se requieren. En la figura 2 se puede apreciar que dicha separación permite que el producto caiga sobre otras bandas transportadoras que llevan el tomate clasificado a las gavetas correspondientes.



Figura 2. Clasificadora de tomate mecánica con rodillos. Fuente: [3].

1.1.3. Máquina clasificadora por tambor giratorio.

La materia prima cae por gravedad hacia un tambor giratorio, en donde existen 6 ranuras cuya altura puede ser regulada de acuerdo a los distintos tamaños del tomate riñón, cuando esta gira envía los tomates a distintas ranuras que lleva a las bandejas respectivas (ver figura 3).



Figura 3. Clasificadora de tomate por tambor giratorio. Fuente: [3].

1.1.4. Clasificadora por tamaño de banda perforada.

Cuenta con un sistema de clasificación y una banda transportadora de descarga transversal (ver Figura 4), el sistema de clasificación está compuesto de una cinta plástica tipo malla con agujeros cuadrados, los frutos de diámetros pequeños caen por la malla clasificadora hacia la banda de descarga, el tamaño de las perforaciones puede variar dependiendo del requerimiento de los clientes [3].



Figura 4. Clasificador por tamaño de banda perforada.
Fuente: [4].

1.1.5. Clasificación por cilindros rotatorios.

Está compuesta por cinco cilindros perforados con agujeros desde el más pequeño al más grande, por donde a través de ellos el producto cae y se almacena en una bandeja inclinada para luego seguir hasta los recipientes (ver figura 5).

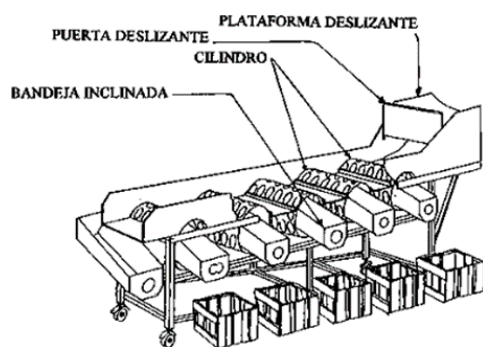


Figura 5. Clasificación por cilindros rotatorios. Fuente: [3].

1.2. Selección de la mejor alternativa.

Para la selección de la mejor alternativa se establecieron algunos factores de ponderación, los cuales presentaron rangos que basan sus valores en función de cada tecnología de clasificación y pesado analizada.

Por mencionar uno de ellos, para el caso del nivel de complejidad de la tecnología se le asignó una ponderación máxima de 10 puntos y de acuerdo a este valor se consideró un rango de 8-10 para un nivel de complejidad bajo, un rango de 5-7 para un nivel de complejidad medio y un rango de 1-4 para un nivel de complejidad alto.

Por lo antes mencionado la mejor alternativa tecnológica en la que se basará el diseño será la clasificadora con bandas transportadoras (ver tabla 1) a la cual se le implementaran dispositivos para cumplir con las características de diseño.

Tabla 1. Matriz de ponderación.

Máquina	Nivel de complejidad de la tecnología (10)	Calidad de clasificación (10)	Facilidad de Mantenimiento (5)	Tiempo de clasificación (5)	Facilidad de operación (5)	Eficiencia (5)	Total de puntuación (40)
1. Clasificadora con bandas transportadoras	10	10	5	5	4	5	39
2. Clasificadora mecánica con rodillos	7	10	4	3	4	4	32
3. Clasificadora por tambor giratorio	5	10	3	4	3	4	29
4. Clasificador por tamaño de banda perforada	5	10	4	4	3	4	30

Fuente: Elaboración propia

1.3. Determinación de las características de diseño.

Para obtener la información base que justifique el diseño de la máquina, se realizó una encuesta a cuatro productores de tomate riñón de la zona a fin de conocer datos precisos sobre la clasificación del tomate, el personal que se requiere y los tamaños que se seleccionan.

De los resultados obtenidos se ha verificado que existen problemas para cumplir con el proceso de clasificación y pesado del producto, ya que se requiere entre 3 y 5 personas por semana para clasificar y pesar los 4 tamaños establecidos como: gruesos, parejos, terceros y cuartos (ver tabla 2); actividad que genera problemas de salud ocupacional por el tiempo prolongado de la actividad en posturas inadecuadas, haciendo necesario el contar con una máquina para desarrollar estos procesos.

Tabla 2. Categoría de tamaño y diámetro de tomate riñón

Categoría (Tamaño)	Diámetro (mm)
Grueso	> 72,5
Parejo	> 62,5 a 72,5
Tercero	> 52,5 a 62,5
Cuarto	42,5 a 52,5

Fuente: Elaboración propia

Para contar con algunos datos adicionales para el análisis, en la tabla 3 se observa los precios promedio

del tomate riñón por gaveta y su peso de acuerdo a la categoría de tamaño.

Tabla 3. Precio por gaveta y peso por unidad de tomate riñón

Categoría (Tamaño)	Precio por gaveta de 20 kg (Dólares)	Peso (g)
Grueso	16	200
Parejo	14	170
Tercero	12	116
Cuarto	10	69

Fuente: Elaboración propia

Una vez analizado el proceso de clasificación y pesado del tomate riñón se han podido identificar las siguientes variables que darán soporte al diseño de la maquina clasificadora.

- Se deberá considerar 4 categorías distintas de tamaño: cuarto, tercero, parejo y grueso.
- De acuerdo con las categorías de tamaño se cuentan con los rangos de diámetro de tomate riñón (ver tabla 1).
- La máquina debe poseer un sistema de pesado para gavetas de 20 kg.

2. Diseño de la máquina clasificadora

Se ha desarrollado una propuesta de diseño de concepto que permitiría dar solución a las necesidades que presentan los productores de tomate riñón encuestados. Este diseño presenta tres subsistemas principales, los cuales se describen en la figura 6 y tabla 4.

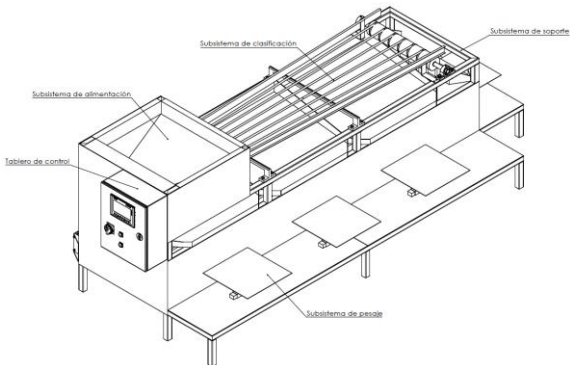


Figura 6. Diseño de concepto. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Subsistemas de la máquina a diseñar

Nombre	Componentes
Subsistema de clasificación	Correas redondas termo soldables
	Motorreductor
	Ejes de soporte
	Chumaceras
	Rodillos
Subsistema de soporte y alimentación.	Tolva de alimentación
	Estructura de soporte
	Tolvas de salida
	Soporte de gavetas

Subsistema de control	Celdas de carga
	Accionadores de señal
	Variador de frecuencia
	PLC

Fuente: Elaboración propia

2.1. Diseño del subsistema de clasificación

Este subsistema se compone de cordones termo soldables de aplicación en industrias alimenticias, los cuales se encargan de clasificar los distintos tamaños del producto; para la transmisión se requieren de ejes ranurados, chumaceras y un motorreductor que envía potencia directa al sistema de clasificación. En la figura 7 se presentan los elementos que conforman este subsistema.

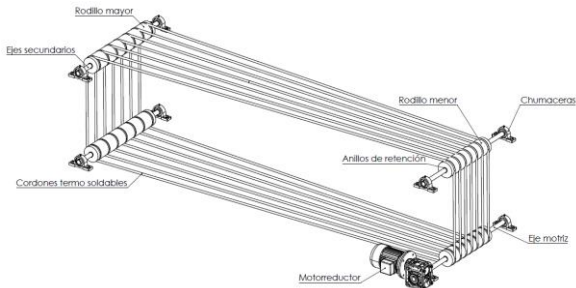


Figura 7. Subsistema de clasificación. Fuente: elaboración propia.

Para determinar la capacidad de producción que se requiere establecer para el diseño se realizó una revisión del promedio de producción por cada cosecha, identificada en el número de gavetas de 20 kg por cada tamaño de producto de acuerdo a la clasificación (ver tabla 5).

Tabla 5. Producción por gavetas.

Tipo	Gavetas/semana
Grueso	18
Parejo	25
Tercero	16
Cuarto	6
Total:	65

Fuente: Elaboración propia

Luego se calcularon las distintas variables involucradas en el diseño de la máquina, como: el porcentaje de gavetas, el número de tomates que se encuentran en una gaveta, el número total de tomates por cosecha, el peso total (kg) de gavetas y el flujo en lb/min, este procedimiento se ha repetido para los diferentes tamaños de tomate riñón de acuerdo con las ecuaciones 1 a la 5.

$$\%_{gavetas} = \frac{gavetas\ por\ cosecha * 100\%}{total\ gavetas} \tag{1}$$

$$Cant_{1\text{ gaveta}} = \frac{20\,000\text{ g} * 1\text{ tomate}}{Masa\ tomate} \quad (2)$$

$$Cant_{gavetas} = \frac{gavetas\ por\ cosecha * Cant_{1\text{ gaveta}}}{1\text{ gaveta}} \quad (3)$$

$$Cant_{kg\ gavetas} = \frac{gavetas\ por\ cosecha * 20\text{ kg}}{1\text{ gaveta}} \quad (4)$$

$$Flujo_{lb/min} = \frac{Cant_{kg\ gavetas} * 48\text{ lb/min}}{1300\text{ kg/h}} \quad (5)$$

En la tabla 6, se presentan los resultados para cada uno de los tamaños de clasificación establecidos, en función de las ecuaciones 1 a la 5, valores con los que se ha definido el flujo másico total para el diseño de la máquina. En la tabla se presentan de manera particular el porcentaje de gavetas de tomate producido por cosecha y tamaño, su número de unidades aproximada, su capacidad o flujo másico por tamaño en kg/h, obtenido al multiplicar el número de unidades de tomate por la masa que tiene cada uno y relacionarla con una hora de operación; además se ha colocado el flujo másico (lb/min) con el que se diseñará la máquina.

Tabla 6. Datos que definen la capacidad de la máquina

	% gavetas por tamaño	# tomates	Capacidad kg/h	Flujo lb/min
Grueso	28	1800	360	13,2
Parejo	38	2941	500	18,4
Tercero	25	2759	320	12
Cuarto	9	1729	120	4,4
Total	100	9229	1300	48

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se presenta la distribución de los siete cordones termo soldados y los rangos de clasificación de acuerdo con los diámetros del producto, estos forman los seis caminos de clasificación de tomates (distancia entre cordones) y varían de acuerdo con la clasificación requerida empezando desde diámetros de 42,5 mm hasta 72,5 mm, los diámetros mayores a este último caerán en una tolva, dando un total de 4 rangos de clasificación diferentes.

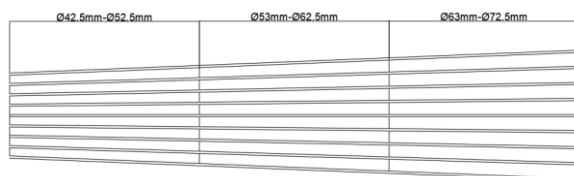


Figura 8. Rangos de clasificación de acuerdo con los diámetros del producto. Fuente: elaboración propia.

Para la selección del cordón se tomó como referencia el catálogo de correas, juntas tóricas y bandas termo soldables de poliuretano de la marca Fenner Drives [5]. Se identifica el diámetro del cordón termo soldable en función del cálculo de la fuerza de tensión que soportará (ecuación 6), en donde se relaciona la cantidad de tomate por minuto que va a clasificar la máquina y el número de cordones establecidos de acuerdo a los rangos de clasificación (ver figura 8).

$$F_{cordón} = \frac{C_{requerida} * g}{cordones} \quad (6)$$

En este sentido cada cordón soportará una fuerza de 30,37 N, por lo que se selecciona los de la clase FDA, debido a que su aplicación está en la industria alimenticia. Tiene un diámetro de 12 mm y con un porcentaje de estiramiento de 4 %, las otras características se consiguen en el catálogo.

Para garantizar el tipo de cordón seleccionado, se realiza un análisis estático, empezando por determinar el esfuerzo máximo en función de la fuerza determinada (ver Figura 9).

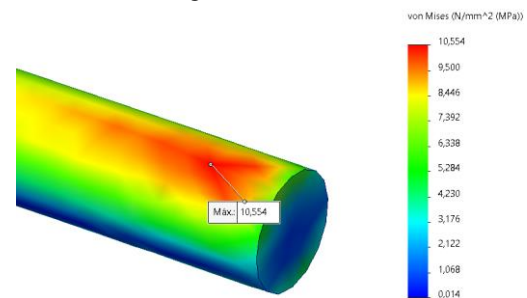


Figura 9. Esfuerzo de Von Mises. Fuente: elaboración propia.

El esfuerzo máximo determinado es de 10,55 MPa en un extremo del cordón termo soldable, el cual es relativamente pequeño en comparación al límite elástico del material utilizado por lo que no habrá rotura.

En la figura 10 se muestra el análisis de deformación sobre los cordones considerando la situación más extrema que pueda presentarse.

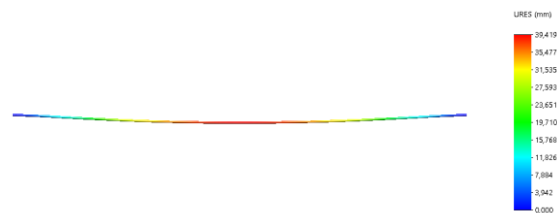


Figura 10. Deformación máxima del cordón. Fuente: elaboración propia.

El mayor desplazamiento como caso crítico ocurre en el centro del emplazamiento del cordón; de la

simulación se obtiene un valor de 39,419 mm. En vista que se tendrán soportes-guías que ayudarán a impedir el desplazamiento encontrado, se garantiza que los cordones seleccionados con un diámetro de 12 mm, son aptos para soportar la carga durante el proceso de clasificación.

Para el cálculo de la velocidad lineal y angular del subsistema de clasificación, se toma en cuenta la cantidad total de tomate requerida de 1300 kg/h, con este valor se puede obtener el tiempo que se tardaría en clasificar una gaveta de 21,67 kg; dividiendo el peso del producto para la capacidad requerida, se obtiene un tiempo de 60 s.

Con este tiempo se puede determinar la velocidad lineal que requieren los cordones termo soldables para lograr la clasificación. Para ello se considera una longitud de 6221,59 mm de cordón, valor que cubre los distintos rangos de clasificación en función de los diámetros de rodillos de transmisión recomendados en el catálogo. La velocidad lineal resultante es de 0,104 m/s, lo que corresponde a una velocidad angular de 2,16 rad/s, tomando un diámetro de rodillo de 96 mm (recomendado en el catálogo en función de la carga que soportarán los cordones). Este valor corresponde a una velocidad rotacional de 21 rpm.

Los mecanismos de transmisión de movimiento y potencia que tendrá el subsistema de clasificación se pueden observar en la figura 11.



Figura 11. Subsistema de clasificación. Fuente: elaboración propia.

La potencia requerida se determina sumando la potencia lineal y la potencia rotativa (ver figura 12) que viene dada por la ecuación 7.

$$P_{max} = (F_{accel} + F_{friction} + F_{lifting}) V_{max} + (T_{accel} + T_{friction} + T_{lifting}) \omega_{max} \quad (7)$$

Donde

P_{max} = Potencia lineal y rotatoria (W o hp)

F_{accel} = fuerza de aceleración (N)

$F_{friction}$ = Fuerza de fricción (N)

$F_{lifting}$ = Fuerza elevación (N)

T_{accel} = Torque de aceleración (N * m)

$T_{friction}$ = Torque de fricción (N * m)

$T_{lifting}$ = Torque de elevación (N * m)

V_{max} = Velocidad (m/s)

ω_{max} = Velocidad angular máxima (rad/s)



Figura 12. Combinación de potencia rotacional y lineal. Fuente: elaboración propia.

Luego de obtener todos los valores de la ecuación 7, se obtiene una potencia requerida para el sistema de clasificación de 219,703 Watts o 0,295 hp.

Para la selección del motorreductor se sigue la metodología que se utiliza en el catálogo SITI [6], para ello se consideró la potencia requerida y la velocidad rotacional de 21 rpm en el eje de salida del reductor. Con estos valores se procede a seleccionar el motorreductor SITI tipo MU tamaño 50 (ver figura 13).

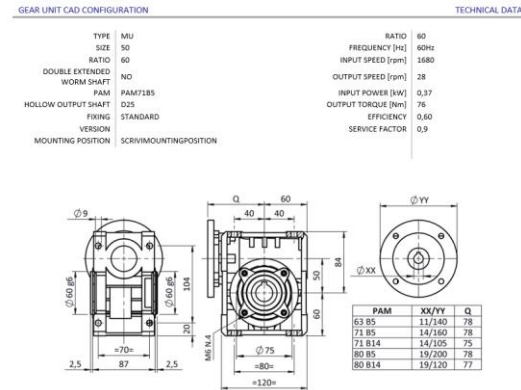


Figura 13. Motorreductor seleccionado. Fuente: elaboración propia.

En lo referente al diseño del eje de transmisión del sistema de clasificación, se ha considerado el torque, las tensiones de los cordones termo soldables, peso propio y las reacciones en los cojinetes para calcular el diámetro desde un criterio estático y dinámico; en la figura 14 se muestra la configuración de dicho eje.

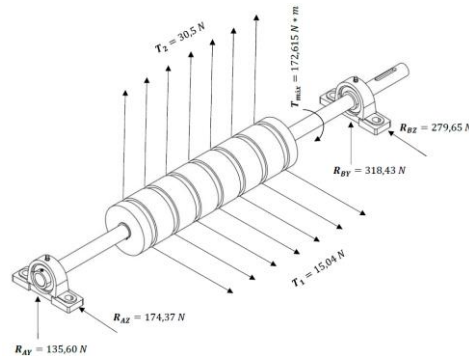


Figura 14. Cargas, torque y tensiones presentes en el eje. Fuente: elaboración propia.

Considerando la posibilidad de falla estática y utilizando la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos máximos de Von Mises para ejes giratorios, redondos y solidos se tiene la ecuación 8 [7], de donde se despeja el diámetro d , obteniendo un valor de 22,66 mm.

$$\sigma'_{m\acute{a}x} = \left[\left(\frac{32K_f(M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs}(T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Para el análisis de falla por fatiga, se utiliza la ecuación ED-ASME elíptico [7], para el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constantes, la teoría dice que el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante, por lo que, M_m y T_a son igual a 0.

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

El valor del diámetro es de 25,24 mm. Se escoge un diámetro de 26 mm con un material de acero AISI 1144.

Se procede a comprobar la resistencia del eje diseñado mediante software de ingeniería, presentando un esfuerzo máximo de 101,880 MPa, lo que no excede del límite elástico de 206,807 MPa del material, presentando un factor de seguridad superior a 2 (ver Figura 15).

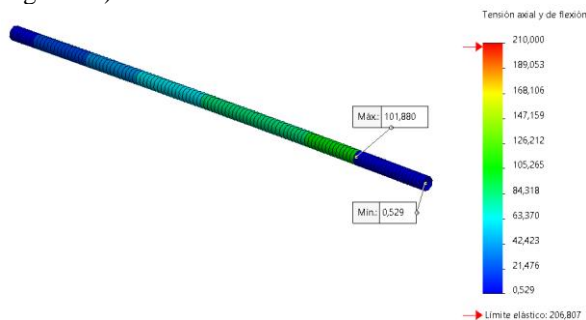


Figura 15. Esfuerzo máximo del diseño propuesto. Fuente: elaboración propia.

En el eje diseñado se ha previsto colocar los rodillos de arrastre que tensarán los cordones termosoldados, estos se sujetan al eje mediante chaveta y anillos de retención (ver figura 16).

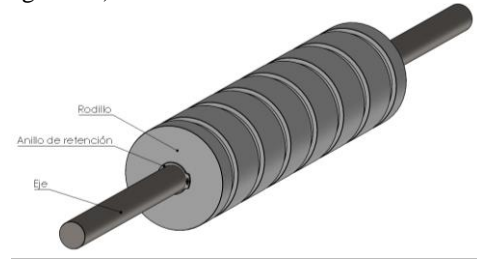


Figura 16. Ubicación de rodillos de arrastre y anillo de retención. Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la selección de las chumaceras que darán soporte a los ejes, se determinaron en primera instancia la carga radial que soportaría cada uno de los apoyos, estos valores vinculados a la velocidad rotacional y la vida nominal de 4000 horas de operación proyectada, se ha seleccionado del catálogo NTN las chumaceras UCP205.

2.2. Diseño del subsistema de soporte y alimentación.

Este subsistema se compone de la estructura principal, las tolvas de alimentación y recolección y las plataformas para el pesado del producto (ver figura 17).

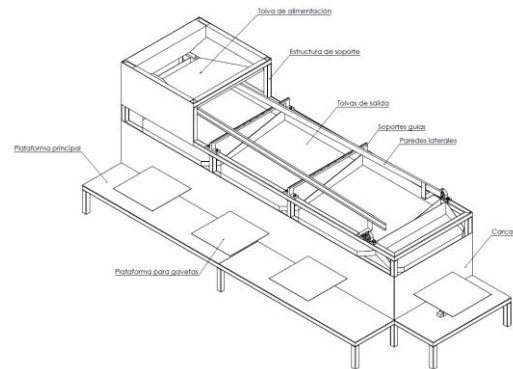


Figura 17. Subsistema de soporte y alimentación. Fuente: elaboración propia.

Para el diseño de la estructura principal se utilizó tubo de acero ASTM A36 cuadrado de 40 x 40 x 1,2 mm, las dimensiones se basaron en los resultados obtenidos del diseño del subsistema de clasificación (realizado anteriormente), para comprobar su resistencia se utilizó el software ANSYS, con el que se determinó que el esfuerzo máximo en la estructura es de 40,645 MPa, el cual no excede el límite elástico de 250 MPa del material por lo tanto no habrá falla o rotura (ver figura 18). En cuanto al análisis de deformación, se pudo apreciar que la estructura soporta de manera eficiente el peso de todos los componentes ya que la máxima deformación que presenta es de 0,418 mm. Finalmente

se determinó el factor de seguridad para la estructura en un valor de 6,2, lo que garantiza su diseño.

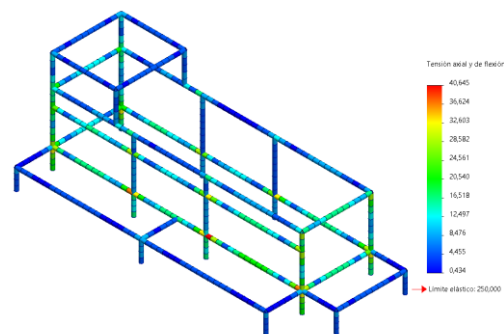


Figura 18. Esfuerzo de Von Mises en la estructura. Fuente: elaboración propia.

2.3. Diseño del subsistema de control.

Los componentes principales que se utilizaron para ejecutar la clasificación y el pesaje de los tomates se mencionan a continuación:

- Variador de frecuencia
- Procesador lógico programable PLC
- Celdas de carga
- Módulos de expansión

Variador de frecuencia. - se utiliza para regular la velocidad de giro del motorreductor, sus características se presentan en la figura 19.

Modelo: XSY-AT1
Tensión de alimentación: Baja tensión
Tensión de entrada: MONOFASICA A 220VAC 50Hz/60Hz
Tensión de salida: TRIFASICA A 220VAC 50Hz/60Hz
Potencia de salida:3HP
Potencia de motor adecuada: 2,20 kW
Corriente nominal: 12A
Método de control: lazo abierto
Control:
--Panel desmontable: potenciómetro y pulsadores
--5 entradas digitales, X1--X5, para manipulación desde tablero
--1 entrada analógica AI1 (0-10 V, 0-20 mA), para control de velocidad mediante potenciómetro
Comunicación: No existente
Peso: 1030g
Tamaño: aprox. 16,5 x 11,5 x 10 cm / 6,4 x 4,5 x 3,9 pulgadas

Figura 19. Características del variador de frecuencia. Fuente: [8].

PLC. - los detalles del PLC seleccionado se muestra en la figura 20.

Modos de scan	Loop y tiempo
Lenguaje de programación	Lista de instrucciones, Ladder y lenguaje C
Capacidad de programa	348KB (modelo XD5) - 1MB (modelo XD5E)
CPU	16 bits operaciones aritméticas lógicas punto flotante
Tiempo de procesamiento	0,05us
Temporizadores (T)	7.000
Contadores (C)	7.000
Datos de registro (D)	90.000 (Words)
Registros de Memoria Flash (FD)	14.192 (Words)
Protección	Por contraseña 6 caracteres ASCII
Entradas	NPN 24VDC (Aislamiento optoacoplado)
Puntos de memoria (M)	92.000 puntos
Número módulos expandibles	Hasta 10 módulos
Reloj	Base tiempo real COM1: RS232 , COM2: RS485, Puerto
Comunicaciones	RJ45 ETHERNET (Solo modelos XD5E) (programación se puede por USB tipo B)
Protocolos Comunicación	ModBus, Protocolo libre

Figura 20. Características del PLC. Fuente: [9].

Celdas de carga. - en este proyecto se utilizó celdas de carga para detectar la masa del producto que se requiere pesar en una gaveta, los detalles de la celda seleccionada se presentan en la figura 21.

SPECIFICATIONS				
PARAMETER	VALUE			UNIT
NTEP/OIML accuracy class	NTEP	Non-Approved	C3*	
Maximum no. of intervals (n)	5000 single	1000	3000	
Rated capacity—R.C. (E _{max})	5, 7, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100			kg
Rated output—R.O.	2.0			mV/V
Rated output tolerance	0.2			mV/V
Zero balance	0.2			mV/V
Zero return, 30 min.	0.0330	0.0300	0.0170	±% of applied load
Total error	0.0200	0.0500	0.0200	±% of rated output
Temperature effect on zero	0.0023	0.0100	0.0023	±% of rated output/°C
Y = E _{max} /V _{min}	6000	1400	6000	Maximum available 10000
Temperature effect on output	0.0010	0.0030	0.0010	±% of applied load/°C
Eccentric loading error	0.0049	0.0074	0.0049	±% of rated load/cm
Temp. range, compensated	-10 to +40			°C
Temp. range, safe	-20 to +70			°C
Maximum safe central overload	150			% of R.C.
Ultimate central overload	300			% of R.C.
Excitation, recommended	10			VDC or VAC RMS
Excitation, maximum	15			VDC or VAC RMS
Input impedance	415±15			Ω
Output impedance	350±3			Ω
Insulation resistance	>2000			MΩ
Cable length	1040: 1.0 1041: 0.5			m
Cable type	6 wire, PVC, single floating screen			Standard
Construction	Plated (anodized) aluminum 1040 aluminum—1041			
Environmental protection	IP65**			
Platform size (max)	400 x 400			mm
Recommended torque	Up to 30 kg: 7.0 50 kg and up: 10.0			N·m

* 50% utilization. Other utilization factors available upon request.
** Available also in IP67
All specifications are subject to change without notice.

Figura 21. Ficha técnica de celda de carga. Fuente: [10].

Módulos de expansión. – estos permiten ampliar las entradas y salidas de un controlador lógico programable sean analógicas o digitales, debido a que en algunos casos las características de un PLC no satisfacen el trabajo que se pretende realizar.

En la figura 22 se presenta la metodología de control para la clasificación y pesaje del tomate riñón.

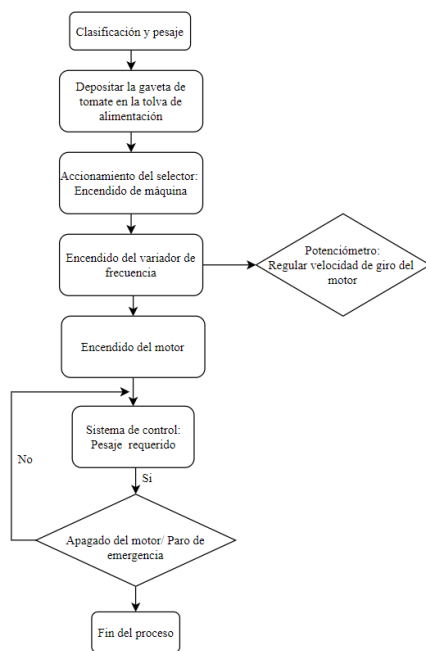


Figura 22. Metodología de control de la máquina. Fuente: elaboración propia

Para el control del pesaje se cuenta con cuatro celdas de carga las cuales envían una señal en mili voltios a los convertidores, estos transforman dichas señales en unas más grandes (voltios) con la finalidad de tener una mejor exactitud del valor; posteriormente, estas son enviadas a los módulos de expansión que están conectados al controlador lógico programable, luego con un cable ethernet se envía toda la información almacenada en el PLC hacia la pantalla HMI, cabe recalcar que en la programación es en donde se detecta la señal de voltaje como una de peso en kg, en la pantalla se visualizarán los valores requeridos y los actuales durante el proceso de pesaje.

En referencia al interfaz hombre máquina (HMI), en la figura 23 se presenta la interfaz que se utiliza para el control del pesaje del producto. Consta de cuatro secciones, cada una para un tamaño distinto de tomate, cuartos, terceros, parejos y gruesos de la sección uno a la cuatro, respectivamente. Además, contiene un botón de inicio y otro de paro.



Figura 23. Interfaz Hombre Máquina – pantalla principal HMI. Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

El diseño de la máquina se ha enfocado en resolver la clasificación del tomate por su tamaño y el pesaje de las gavetas con cierta cantidad de producto.

En este sentido se diseñó el sistema de clasificación que se muestra en la figura 24, cuyo principio de funcionamiento se basa en un sistema de cordones termo soldables.

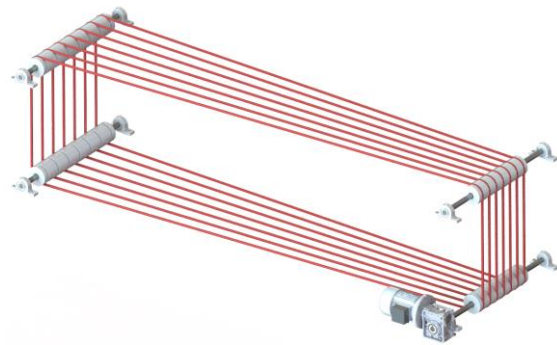


Figura 24. Sistema de clasificación. Fuente: elaboración propia.

La apertura en forma de V de los cordones permitirá que los tomates vayan cayendo acorde a su diámetro, iniciando por los más pequeños y terminando con los más grandes. Al estar en constante movimiento arrastrarán a los tomates que no cumplen con el diámetro en el primer módulo hasta el siguiente y así sucesivamente. Por otra parte, los cuatro rodillos de grillon mueven los siete cordones termo soldables y los guían por su trayectoria correspondiente.

Para el ingreso del tomate a la máquina se diseñó una tolva con un volumen que se adapta a la capacidad requerida. Los cuatro módulos de clasificación cuentan con su salida individual, estas tienen como función llevar el tomate clasificado hacia las gavetas de recolección, la primera está destinada para los tomates denominados cuartos, la segunda para los terceros, la tercera para los parejos y la del final para los gruesos.

Mediante la simulación en software de ingeniería se analizaron los componentes más críticos, es así que en la tabla 7 se muestran los resultados del esfuerzo de Von Mises, el cual es comparado con el límite elástico de los distintos materiales verificando que no exista falla o rotura y posteriormente se determinan los factores de seguridad de los elementos diseñados.

Tabla 7. Resultados de la simulación de los elementos críticos

Elemento	Material	Límite elástico (MPa)	Es-fuerzo (MPa)	FS
Eje motriz	Acero AISI 1144	206,81	101,88	2
Estructura de soporte	Acero ASTM A36	250	40,46	6,2

Tolva de alimentación	Acero galvanizado	203,94	93,85	2,2
Plataforma para gavetas	Acero galvanizado	203,94	49,2	4,1
Plataforma del sistema de pesaje	Acero galvanizado	203,94	30,08	6,8
Plataforma de pesaje a la salida	Acero galvanizado	203,94	43,31	4,7
Tolva de salida	Acero galvanizado	203,94	55,98	3,6

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25 se presenta un esquema del diseño final de la máquina de clasificación y pesaje de tomate riño.



Figura 25. Diseño final de la máquina. Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se describen las características de la máquina diseñada.

Tabla 8. Características de la máquina.

Nombre	Descripción
Clasificadora y pesadora de tomate riño por tamaño	La máquina clasifica cuatro diferentes tamaños de tomates, consta de una tolva de alimentación donde ingresa el producto, tiene un subsistema de clasificación mediante cordones termo soldables que es en donde el producto se clasifica por su tamaño, además, se compone de un sistema de pesaje automático que detecta el peso requerido por el operario.
Capacidad	1300 kg/h
Potencia	0.37285 kW o 0.5 HP
Dimensiones	3160* 1135*1200 mm
Producto	Tomate riño
Voltaje	220 V
Tipo de pantalla	Táctil
Componentes	PLC, motorreductor, variador de frecuencia, celdas de carga.

Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Se diseñó una máquina clasificadora y pesadora que se encarga de clasificar el tomate riño por su tamaño y pesarlo en gavetas plásticas, la información adquirida

mediante las encuestas permitió encontrar las variables cuantitativas y cualitativas para el diseño, categorías en las que se clasifica el producto, tamaño, tiempo y cantidad de personal que se requiere para este trabajo, problemas de salud que genera.

La capacidad de la máquina es de 1300 kg/h, logrando clasificar la producción anual de 48000 kg de tomate de una de las empresas consultadas, en un total de 37 horas con un solo operario en la máquina lo que resulta viable comparado con las 840 horas que tomaría sin la implementación del equipo.

El sistema de pesaje evita que los trabajadores tengan que cargar las gavetas para pesarlas en balanzas analógicas, el funcionamiento se basa en la integración de celdas de cargas que envían señales en mili voltios hacia los convertidores los cuales convierten dichas señales en una más amplia que va de 0 a 10 voltios, posteriormente se dirigen a los módulos de expansión y al PLC, mediante la pantalla HMI se pueden configurar los pesos que se necesita, el control del equipo es de fácil manipulación e intuitiva para el operario.

Para garantizar el buen funcionamiento y resistencia de los elementos críticos, se utilizó software de ingeniería el cual permite demostrar, si los materiales y geometrías propuestas son los adecuados.

5. Referencias

- [1] M. Caguana, B. Quindi, y E. Robayo, El cultivo de tomate riño en invernadero (*Lycopersicon esculentum*), Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar AAIC., vol. 1. Quito - Ecuador: Editorial Abya Yala, 2003. Accedido: 11 de abril de 2024.
- [2] E. C. Ausay Basantes, «Respuesta de tomate riño *Lycopersicum esculentum* Mill) cv Dominic bajo invernadero a dos relaciones nitrato/amonio mediante fertirriego por goteo», B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2015. Accedido: 11 de abril de 2024.
- [3] L. M. Espín Bautista y H. D. Palomo Astudillo, «Diseño y simulación de una máquina clasificadora de tomate de riño para los productores del sector de Pataín perteneciente a la parroquia Panzaleo de la provincia de Cotopaxi.», B.S. thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC., Latacunga - Ecuador, 2020. Accedido: 15 de abril de 2024.
- [4] Agri Expo, «Seleccionadora de frutas by A. Krebeck GmbH Stalleinrichtungen und Apparatebau | AgriExpo». Accedido: 15 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agriexpo.online/es/prod/krebeck-gmbh->

stalleinrichtungen-und-apparatebau/product-171092-79863.html

[5] GAES, «Grupo GAES | Sistemas Mecánicos GAES». Accedido: 26 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://grupogaes.com/>

[6] «Siti S.p.A. | Società Italiana Trasmissioni Industriali». Accedido: 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.sitiriduttori.it/#/chRInterattiva>

[7] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena Edición., vol. 6. México DF.: McGraw-Hill Interamericana, 2012.

[8] Fruugo, «Convertidor de Frecuencia Vfd 1.5kw/2.2kw/4kw Inversor, Xsy-at1.», Fruugo. Accedido: 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fruugo.es/vfd-15kw22kw4kw-inversor-xsy-at1-convertidor-de-frecuencia-entrada-monofasica/p-51547660-103808370>

[9] Industriales Andes, «PLC XINJE XD5-24T-E», INDUSTRIALES ANDES SAS. Accedido: 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://industrialesandes.co/plc/540-plc-xinje-xd5-24t-e.html>

[10] Ingelsoft, «Celdas de carga Sensortronics – Ingelsoft». Accedido: 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingelsoft.com/catalogo-productos/celdas-de-carga/celdas-sensortronics/>