

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO CONCEPTUAL DE MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA LAVAR
MANZANAS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO
DE BACHILLERA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

AUTORA

Melany Koral Soto Carrión

ASESOR:

Héctor Hugo Oscanoa Fernández

Lima, diciembre del 2020

RESUMEN

Actualmente, la capacidad de las máquinas comerciales disponibles en el mercado mundial para el procesamiento primario de manzanas no es compatible con la escala de producción de las empresas peruanas mayoristas distribuidoras de manzanas. Así pues, las máquinas comerciales para lavado y secado de manzanas usualmente tienen un procesamiento mayor o igual a 10tn/h. En cambio, empresas peruanas mayoristas como Teófila y Asociados SAC solo procesan y distribuyen alrededor de 3 toneladas al día. En consecuencia, muchas empresas peruanas prefieren omitir el procesamiento primario de estas frutas. La presente investigación propone el diseño conceptual de una máquina automática de lavado de manzanas con capacidad de 60 kg y procesamiento de 3000 manzanas en una hora, adecuada para la producción peruana. De acuerdo con las metodologías de diseño mecatrónico (VDI 2206) y de diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221), este documento analiza y compara sistemas automáticos de lavado; detalla las características de las variedades de manzana Delicia, Winter e Israel y presenta el diseño conceptual de una máquina automática para lavar manzanas, incluyendo el diseño de la interfaz de usuario.

TABLA DE CONTENIDOS

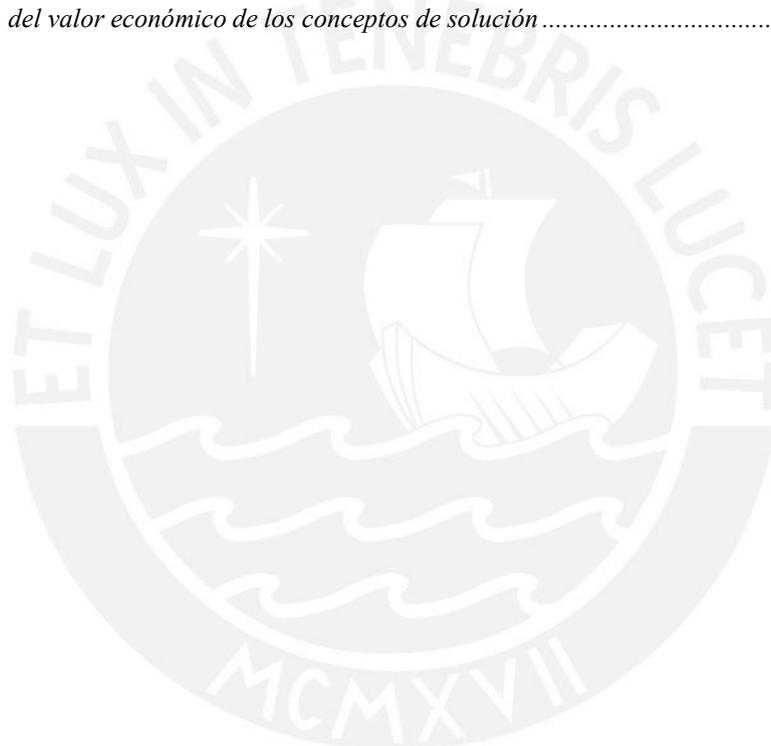
| | Pág. |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | iv |
| Introducción | 1 |
| Antecedentes | 2 |
| 1.1. Problemática | 2 |
| 1.2. Propuesta de solución..... | 5 |
| 1.3. Alcance | 6 |
| 1.4. Objetivos | 6 |
| 1.5. Metodología de trabajo | 6 |
| Fundamento teórico..... | 8 |
| 2.1. Generalidades sobre la manzana | 8 |
| 2.1.1. Propiedades nutritivas | 8 |
| 2.1.2. Elementos que acompañan a las manzanas luego de la cosecha | 10 |
| 2.1.3. La manzana en el Perú | 12 |
| 2.1.4. Daños y tolerancias según Tottus..... | 15 |
| 2.1.5. Relación entre fuerza, altura de caída y área de golpe en las manzanas | 16 |
| 2.2. Estado del arte..... | 18 |
| 2.2.1. Modelos comerciales | 18 |
| 2.2.2. Patentes | 21 |
| Diseño Conceptual | 27 |
| 3.1. Requerimientos del sistema..... | 27 |
| 3.2. Determinación de estructura de funciones | 32 |
| 3.2.1. Black Box..... | 32 |
| 3.2.2. Estructura de funciones..... | 33 |
| 3.3. Matriz morfológica | 35 |
| 3.4. Conceptos de solución del sistema..... | 38 |
| 3.4.1. Concepto de solución 1 | 38 |
| 3.4.2. Concepto de solución 2..... | 39 |
| 3.4.3. Concepto de solución 3..... | 42 |
| 3.5. Evaluación de los conceptos de solución | 43 |
| 3.5.1. Evaluación técnica | 43 |

| | Pág. |
|------------------------------------|------|
| 3.5.2. Evaluación económica | 45 |
| Diseño Conceptual | 47 |
| 4.1. Zona de filtrado..... | 49 |
| 4.2. Zona de remojo | 50 |
| 4.3. Zona de transporte..... | 51 |
| 4.4. Zona de lavado..... | 51 |
| 5.1. Diagrama de operaciones | 52 |
| CONCLUSIONES | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 55 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1 Ranking de Producción y Rendimiento por Hectárea según País</i> | <i>4</i> |
| <i>Tabla 2 Daños y tolerancias descritas en las fichas técnicas de Tottus para las variedades de manzana Winter, Delicia e Israel</i> | <i>16</i> |
| <i>Tabla 3 Valores de altura para los cuales la caída de una manzana produce una magulladura de 100 mm² de área para ciertos materiales.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabla 4 Comparación de características de los modelos comerciales de máquinas de lavado de fruta</i> | <i>21</i> |
| <i>Tabla 5 Comparación de características de las patentes de lavado.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Tabla 6 Lista de exigencias (D equivale a deseo y E equivale a exigencia).....</i> | <i>30</i> |
| <i>Tabla 7 Matriz Morfológica del sistema propuesto.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Tabla 8 Evaluación del valor técnico de los conceptos de solución.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Tabla 9 Evaluación del valor económico de los conceptos de solución.....</i> | <i>46</i> |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| <i>Figura 1. Máquina de lavado, secado y abrillantado de frutas Dinox.....</i> | 3 |
| <i>Figura 2. Esquema de la propuesta de solución.....</i> | 5 |
| <i>Figura 3. Actividad antioxidante de ciertas variedades de manzana.....</i> | 9 |
| <i>Figura 4. Ajuste de la curva del número de porciones de manzana consumidas por día y la probabilidad predicha de riesgo de cáncer colorrectal (intervalo de confianza de 0.95).....</i> | 10 |
| <i>Figura 5. Hoja de manzano.....</i> | 11 |
| <i>Figura 6. Manzana con pedículo.....</i> | 11 |
| <i>Figura 7. Superficie de manzana cosechada anualmente por región (Caycho et al., 2013).....</i> | 12 |
| <i>Figura 8. Manzanas Delicia.....</i> | 13 |
| <i>Figura 9. Manzanas Israel.....</i> | 14 |
| <i>Figura 10. Manzanas Winter Banana.....</i> | 14 |
| <i>Figura 11. Fuerza máxima ejercida y área de magulladura obtenida.....</i> | 17 |
| <i>Figura 12. Área promedio del golpe generado por el impacto de la manzana contra diferentes materiales a diferentes alturas de lanzamiento.....</i> | 17 |
| <i>Figura 13. Lavadora automática de frutas y vegetales GW-4000, MBW-500 de la empresa Eillert B.V.....</i> | 19 |
| <i>Figura 14. Lavadora de fruta con sistema de burbujeo de la empresa Agico.....</i> | 20 |
| <i>Figura 15. Lavadora de fruta con rodillos y rociadores de la empresa Agico.....</i> | 20 |
| <i>Figura 16. Vista lateral del dispositivo de la patente US7467638.....</i> | 22 |
| <i>Figura 17. Vista lateral de la máquina de la patente US1205117A.....</i> | 23 |
| <i>Figura 18. Corte transversal y vista superior del transportador de la máquina de la patente US1205117A.....</i> | 24 |
| <i>Figura 19. Vista lateral de la máquina de la patente US1932827A.....</i> | 24 |
| <i>Figura 20. Vista frontal y transversal de la máquina de la patente EP0087649A1.....</i> | 25 |
| <i>Figura 21. Caja negra de la máquina automática para lavar manzanas.....</i> | 33 |
| <i>Figura 22. Estructura de funciones global.....</i> | 34 |
| <i>Figura 23. Interfaz del primer concepto de solución.....</i> | 38 |
| <i>Figura 24. Primer concepto de solución.....</i> | 39 |
| <i>Figura 25. Interfaz del segundo concepto de solución.....</i> | 40 |
| <i>Figura 26. Armario para computadora.....</i> | 40 |
| <i>Figura 27. Segundo concepto de solución.....</i> | 41 |
| <i>Figura 28. Interfaz del tercer concepto de solución.....</i> | 42 |
| <i>Figura 29. Tercero concepto de solución.....</i> | 43 |
| <i>Figura 30. Gráfico técnico-económico de las propuestas de solución.....</i> | 46 |
| <i>Figura 31. Interfaz de usuario.....</i> | 47 |
| <i>Figura 32. Modelado del diseño conceptual de las zonas de filtrado, remojo, transporte y lavado.....</i> | 48 |
| <i>Figura 33. Modelado de la zona de filtrado.....</i> | 49 |
| <i>Figura 34. Modelado de la zona de remojo.....</i> | 50 |
| <i>Figura 35. Modelado de la zona de transporte.....</i> | 51 |
| <i>Figura 36. Modelado de la zona de lavado.....</i> | 52 |
| <i>Figura 37. Diagrama de operaciones del sistema.....</i> | 53 |

Introducción

La presente investigación propone como objetivo principal el diseño de una máquina automática de lavado de manzanas con capacidad de 60 kg y procesamiento de 3000 manzanas en una hora, adecuada para la escala de producción peruana. Esta investigación analiza y compara diferentes sistemas automáticos de lavado, tanto de productos comerciales, como de patentes. También detalla las características relevantes de las variedades de manzana Delicia, Winter e Israel. Con base en las metodologías de diseño mecatrónico (VDI 2206) y diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221)

En el capítulo 1 se desarrolla la problemática con respecto al procesamiento primario de la manzana en el Perú, enfatizando la falta de maquinaria adecuada para la baja producción peruana de manzanas. También se define la propuesta de solución, objetivos y alcance de la investigación, y la metodología a utilizar. El capítulo 2 contiene información general acerca de la manzana y su producción en el Perú, así como productos comerciales, patentes e investigaciones relacionadas al lavado automático de manzanas. En el capítulo 3 se detallan las entradas y salidas del sistema, así como las funciones de la máquina. Luego, se proponen y evalúan tres conceptos de solución alternativos con el propósito de elegir el diseño conceptual de la máquina automática para lavar manzanas. El capítulo 4 especifica el diseño óptimo y se detallan las zonas filtrado, remojo, transporte y lavado. Finalmente, se presentan las conclusiones.

Se espera brindar un aporte a la literatura ingenieril acerca del diseño de máquinas procesadoras de alimentos. Además de fomentar la industrialización del procesamiento primario de manzanas y la mejora en la calidad y limpieza de las frutas distribuidas en el país.

Capítulo 1

Antecedentes

A pesar de que los supermercados prefieren adquirir productos limpios, en el Perú existen empresas mayoristas proveedoras de manzanas que no realizan el proceso de lavado y secado de manzanas, debido a que las máquinas disponibles en el mercado mundial no se ajustan a su flujo de trabajo. En el presente capítulo se explica la problemática nacional actual en el procesamiento primario de manzanas, que engloba actividades como lavar, secar, seleccionar, clasificar por peso y encerar. Asimismo, se plantea la propuesta de solución, el alcance y los objetivos del presente documento. Luego, se detalla el estado de la tecnología existente, y se explica la metodología utilizada para el diseño de la máquina.

1.1. Problemática

La manzana se encuentra entre las cinco frutas de mayor consumo en el Perú. En el 2013 se consumieron 170 mil toneladas en el país y se perdieron aproximadamente 30 mil toneladas. Sin embargo, de la oferta total interna anual de 200 mil toneladas, el Perú importa más del 20% (principalmente de Chile). Asimismo, la exportación de manzanas es escasa e inconstante; algunos años puede alcanzar 3 mil toneladas, mientras que otros años, es nula (Food and Agriculture Organization, 2011).

Acercas del consumo de manzanas nacionales, “la manzana Delicia tiene una participación (...) del 49% y la manzana Israel, del 26%, lo que las convierte en las variedades más consumidas del País” (Caycho, Machaca, Yataco, & Sawada, 2013, p. 1). Con el fin de abastecer mercados y supermercados peruanos, las manzanas pasan por un proceso que comienza en la cosecha. Primero se seleccionan y descartan los frutos defectuosos o enfermos. A continuación, las manzanas sanas son colocadas en jabas

cosecheras y transportadas en camiones hasta los almacenes mayoristas de ciudades estratégicas. En los almacenes mayoristas se da el procesamiento primario: “la fase de la cadena alimentaria aplicada a la producción primaria de alimentos no sometidos a transformación” (Congreso de la República, 2008, p. 375007). El procesamiento primario de las manzanas incluye lavado, secado, segregación de manzanas defectuosas, a veces encerado y clasificación por tamaño o peso. Las máquinas destinadas al procesamiento primario suelen tener capacidades mayores o iguales a 10 t/hora. Por ejemplo, en la figura 1 se aprecia una máquina de lavado, secado y abrillantado de frutas cuya producción es de 10 a 20 t/hora fabricada por la empresa Dino. Esto supone un problema para las empresas distribuidoras peruanas, cuya producción diaria suele ser menor a 10t, por lo que no es rentable adquirir estas máquinas.



Figura 1. Máquina de lavado, secado y abrillantado de frutas Dinox

Tomado de Poscosecha, “Lavado de frutas y verduras”

Como se observa en la tabla 1, la producción de manzanas del Perú representa solo el 0.2% de la producción mundial. Asimismo, se encuentra en el puesto 46, muy por debajo de países vecinos como Chile y Argentina. Esto se ve reflejado en la producción de empresas distribuidoras nacionales. Por ejemplo, la empresa Teófila y Asociados SAC recibe en su

almacén alrededor de 3 o 4 toneladas al día de distintas variedades nacionales de manzana, que posteriormente serán distribuidas a los supermercados Wong, Tottus y Makro. Esto se traduce en aproximadamente 20 000 manzanas procesadas al día. A pesar de que en diciembre la producción se duplica debido a las celebraciones, esta empresa solo requiere máquinas capaces de procesar 3 000 manzanas por hora. En una entrevista con Teófila Cuba, socia de la empresa Teófila y Asociados SAC, indicó “No es rentable importar maquinaria industrializada para procesar manzanas para el mercado interno debido a que estas están orientadas a escalas altas de producción. En definitiva, no se ajustan a la producción peruana.” Así como esta, muchas empresas optan por no realizar algunos de los procesos como el lavado, secado o encerado. Además, el proceso de segregación es comúnmente manual, lo que implica subjetividad y errores.

Tabla 1

Ranking de Producción y Rendimiento por Hectárea según País

| Ranking | Países | Producción (t) | Porcentaje (%) | Hectáreas (ha) | Rendimiento (t/ha) |
|---------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1° | China | 35,986,667.00 | 47.67% | 2,052,175.00 | 17.54 |
| 2° | EEUU | 4,275,108.00 | 5.66% | 133,789.00 | 31.95 |
| 3° | India | 2,891,000.00 | 3.83% | 289,100.00 | 10 |
| 4° | Turquía | 2,680,075.00 | 3.55% | 142,408.00 | 18.82 |
| 5° | Polonia | 2,493,078.00 | 3.30% | 183,526.00 | 13.58 |
| 9° | Brasil | 1,338,995.00 | 1.77% | 38,077.00 | 35.17 |
| 11° | Chile | 1,169,092.00 | 1.55% | 35,030.00 | 33.37 |
| 12° | Argentina | 1,115,951.00 | 1.48% | 42,394.00 | 26.32 |
| 46° | Perú | 149,561.00 | 0.20% | 9,715.00 | 15.39 |
| | Producción Mundial 2011 | 75,484,671.39 | | | |

Tomado de “Planeamiento estratégico de la manzana”, por Caycho, Machaca, Yataco, & Sawada, 2013

En consecuencia, la cantidad de manzanas nacionales consumidas se ve afectada de forma negativa debido al ineficiente control de la calidad y la distribución de manzanas sucias. En efecto, “la calidad (de las manzanas) debe mejorar significativamente a fin de cubrir las expectativas del consumidor actual, más aun,

cuando los principales competidores extranjeros abastecen de manzana de mejor calidad” (Caycho et al., 2013, p. 29). Asimismo, el especialista en Frutales de la Dirección General Agrícola (DGA) del Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri), William Daga indica que “debemos acortar la brecha tecnológica existente en el Perú para convertirnos en un importante país productor de manzana” (León Carrasco, 2017).

1.2. Propuesta de solución

Se propone el diseño de una máquina automática para lavar manzanas Delicia, Winter e Israel acorde al volumen de producción y requerimientos de los supermercados y las empresas distribuidoras, tomando como caso de estudio la empresa Teófila y Asociados SAC. Por tal motivo, la máquina debe procesar tres mil manzanas por hora. Se elaboró la figura 2, que muestra la tarea que realizará la máquina.

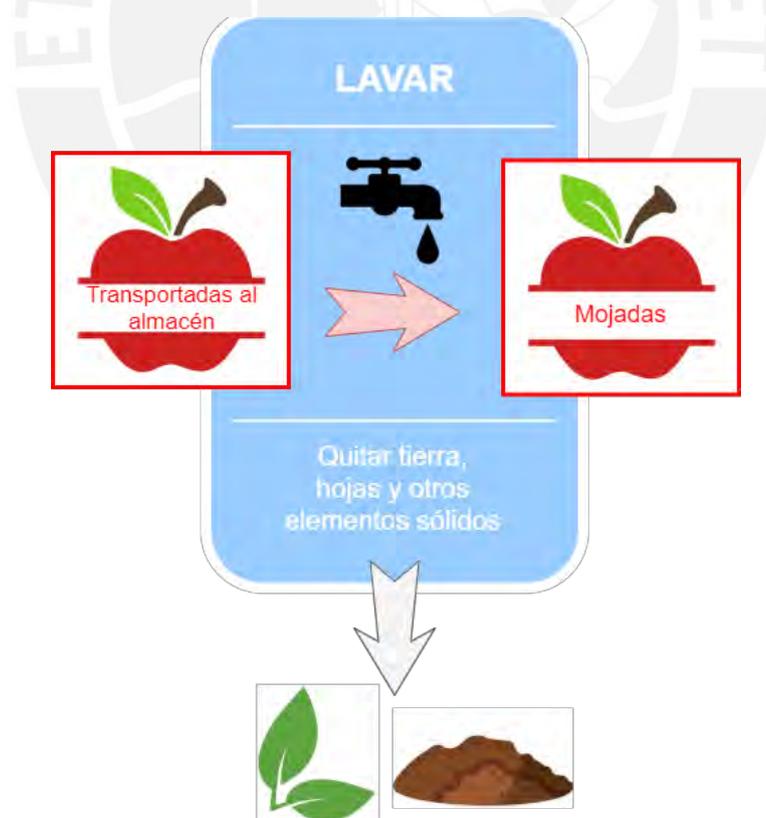


Figura 2. Esquema de la propuesta de solución

1.3. Alcance

El alcance es el análisis técnico económico del diseño conceptual de una máquina para lavar manzana.

1.4. Objetivos

El objetivo principal es realizar el diseño conceptual de una máquina automática para lavar manzanas Delicia, Israel y Winter con una capacidad de 60 kg y un procesamiento de 3000 manzanas en una hora.

Los objetivos específicos son:

- Recolectar información acerca de sistemas automáticos de lavado.
- Determinar las características de las variedades de manzana Delicia, Winter e Israel.
- Presentar un diseño conceptual de un sistema mecatrónico para lavar manzanas, desprender tierra y otros sólidos como hojas y tallos manteniendo un flujo de 3000 manzanas por hora
- Proponer la interfaz de usuario para la interacción con la máquina.

1.5. Metodología de trabajo

Se utilizarán las metodologías de diseño mecatrónico (VDI 2206) y diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221). A continuación, se explica cómo se aplicará esta metodología.

- Definir de la problemática acerca del lavado de manzanas.
- Plantear el objetivo general, los objetivos específicos y la propuesta de solución respecto al lavado de manzanas.

- Revisar el estado de la tecnología asociado al módulo, lo cual incluye patentes, estudios y productos comerciales de lavado manzanas.
- Establecer los requerimientos del diseño de una máquina para el lavado manzanas.
- Determinar las señales, energía, componentes mecánicos, eléctricos y de control que ingresan y que salen del sistema para el lavado de manzanas.
- Determinar las funciones de la máquina automática para el lavado de manzanas.
- Realizar una matriz morfológica con distintos principios de solución para cada función relacionada con el lavado automático de manzanas.
- Proponer conceptos de solución producto de combinar elementos mencionados en la matriz morfológica.
- Realizar un análisis técnico-económico y determinar el concepto de solución óptimo para el lavado automático de manzanas.
- Realizar un diseño conceptual de la máquina para lavado de manzanas con las dimensiones del sistema, analizar la geometría.

Capítulo 2

Fundamento teórico

En este capítulo se brinda información general acerca de la manzana y de su producción en el Perú. También se exponen modelos comerciales, patentes y estudios relacionados a la propuesta de solución planteada en el capítulo 1.

2.1. Generalidades sobre la manzana

A continuación, se explica la importancia del consumo de la manzana enfatizando las propiedades nutritivas de su piel. Asimismo, se detallan otros elementos del árbol manzano que participan de forma no deseada en el procesamiento de manzanas.

2.1.1. Propiedades nutritivas

La manzana está compuesta principalmente por agua (85%) y carbohidratos (14%) (U.S. Department of agriculture, 2019). El alto consumo de carbohidratos suele asociarse a un alto índice glucémico¹, es decir, mayor a 60 (Harvard Medical School, 2013). A pesar del alto contenido de carbohidratos presentes en la manzana, su índice glucémico es menor a 45 (University of Sydney, 2011). Esto se debe a que esta fruta contiene pectina, una fibra soluble que reduce la absorción de colesterol y glucosa en el intestino (Barreto, Ortiz, & Restrepo, 2012). El consumo de alimentos con bajo índice glucémico, como la manzana, cuyo índice se encuentra entre 29 y 44, ayuda a controlar los niveles de glucosa en la sangre, mantener un

¹ Indica la rapidez con la que un alimento aumenta la presencia de glucosa libre en la sangre, siendo 100 el índice de la glucosa.

peso saludable, reducir enfermedades cardiovasculares y aumentar el rendimiento mental (Glycemic Index Foundation, s/f).

La manzana tiene el segundo nivel más alto de compuestos antioxidantes entre las frutas. Además, como se observa en la figura 3, la piel tiene mayor propiedad antioxidante que la pulpa. Esto se debe a que la piel tiene un alto contenido de flavonoides y fenoles, los cuales son sustancias antioxidantes. (Wolfe, Wu, & Liu, 2003) En promedio, la actividad antioxidante de pulpa y piel en conjunto equivale a 1500mg de vitamina C por cada 100g (Wolfe et al., 2003). En consecuencia, el consumo de manzana disminuye el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y degenerativas (Martínez-Flórez, González-Gallego, Culebras, & Tuñón, 2002).

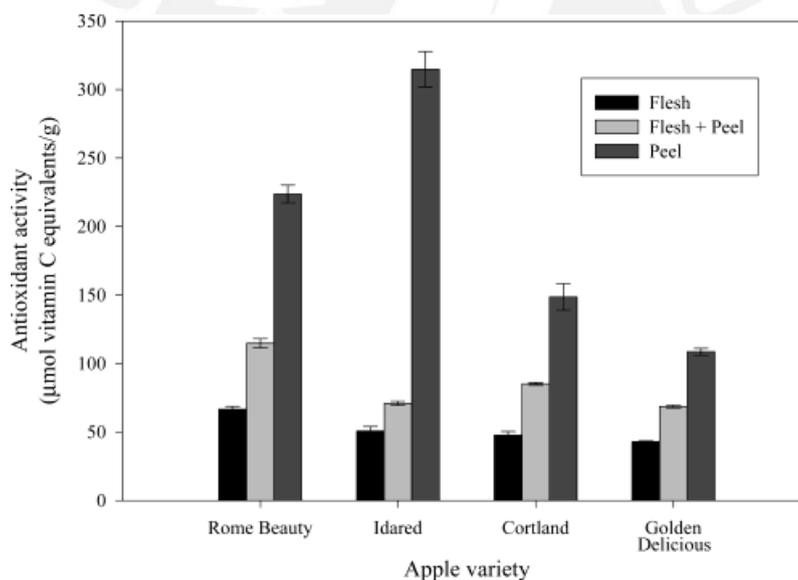


Figura 3. Actividad antioxidante de ciertas variedades de manzana

Tomado de "Antioxidant activity of apple peels", por Wolfe, Wu, & Liu, 2003

El consumo de manzana previene otros problemas de salud. Como se muestra en la figura 4, a mayor consumo diario de manzana, el riesgo de cáncer colorrectal disminuye pues la proliferación y crecimiento de células cancerígenas son inhibidos gracias a la acción anticancerígena de los fenoles (Jedrychowski & Maugeri, 2009). Asimismo, la cáscara contiene fibra insoluble que previene el estreñimiento. También, la pulpa tiene acción antiinflamatoria

pues contiene taninos (Abu Sabbah, 2013). Además, el consumo de manzana también disminuye el nivel de colesterol (Palomo G., Antonio Yuri S., Moore-Carrasco, Quilodrán P., & Neira E., 2010). Por último, la pectina existente en las manzanas provoca una sensación de saciedad, por lo que ayudan a bajar de peso (Mamani Crispín, Ruiz Caro, & Veiga, 2012).

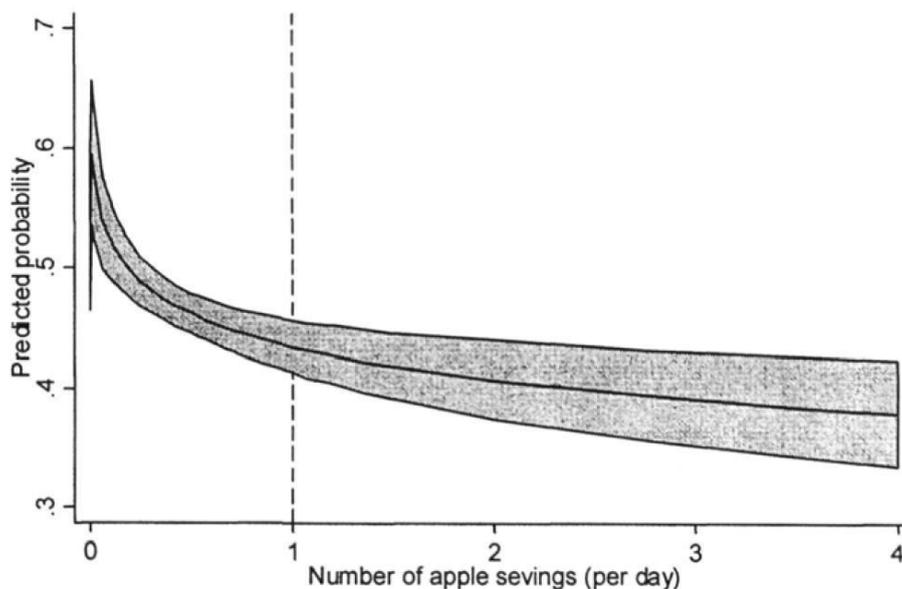


Figura 4. Ajuste de la curva del número de porciones² de manzana consumidas por día y la probabilidad predicha de riesgo de cáncer colorrectal (intervalo de confianza de 0.95)

Tomado de "Antioxidant activity of apple peels", por Wolfe, Wu, & Liu, 2003

2.1.2. Elementos que acompañan a las manzanas luego de la cosecha

La manzana se extrae del árbol manzano (*Malus domestica*) (Ninyerola & Muñoa, 2016) cuyas partes son raíz, tronco, hojas, flores y fruto. El manzano florece en primavera, mientras que las manzanas son cosechadas en otoño. Por tal motivo, la presencia de flores en la cosecha es nula. En cambio, dado que las hojas aparecen luego del florecimiento, en la cosecha es posible extraer y empaquetar hojas de forma involuntaria. ("*Malus domestica* - EcuRed", s/f)

² Una porción equivale a 100g.

A continuación, se detallan los elementos que se suelen encontrar en las jabas cosecheras luego del transporte.

- Hojas: Son ásperas, gruesas y sus márgenes son dentados, como se observa en la figura 5. (Polanco Zambrano, 2017)

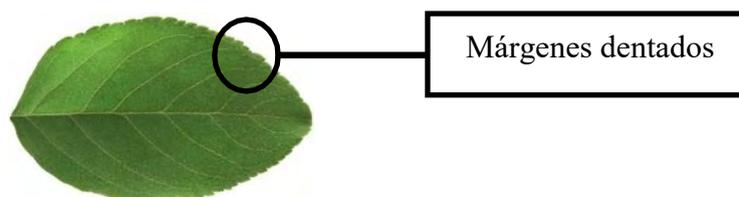


Figura 5. Hoja de manzano

Tomado de RGBSTOCK, "Hoja manzana"

- Pedículo: También llamado pedúnculo, vástago o tallo. Es el rabillo que sostiene a la manzana de la rama. En la figura 6 se observa una manzana que conserva su pedículo.

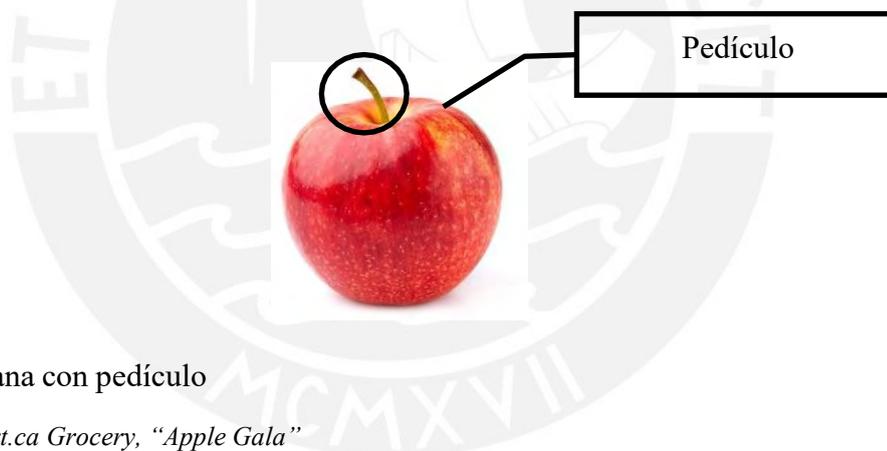


Figura 6. Manzana con pedículo

Tomado de Walmart.ca Grocery, "Apple Gala"

Luego de la cosecha, las manzanas son vertidas en jabas cosecheras. A continuación, las jabas son colocadas dentro de un camión para ser posteriormente trasladadas a un almacén donde se realizan los procesos primarios como el lavado. La manzana puede perder su pedículo y hojas en cualquier etapa, desde la cosecha hasta la compra por parte del consumidor. Por tal motivo, es muy común que se desprendan pedículos y hojas en la etapa de transporte hacia el área de procesos primarios (lavado, secado, clasificación, etc.). Los pedículos desprendidos y

las hojas se mantendrán dentro de las jabas junto con las manzanas hasta que el contenido de la jaba sea vaciado en la máquina de lavado.

2.1.3. La manzana en el Perú

En el Perú, la manzana es la quinta fruta más consumida con un promedio de 4.7 kg por habitante cada año. (Food and Agriculture Organization, 2011). Las variedades importadas más consumidas en el país son Granny Smith, Red Delicious y Golden. Por otro lado, las variedades nacionales de mayor consumo en el Perú son Delicia, Israel, Corriente para agua y Winter. (Caycho et al., 2013)

En el Perú, anualmente se cultivan 9700 hectáreas de manzanos, de los cuales el 80% se encuentra en la región de Lima, como se observa en la figura 7.

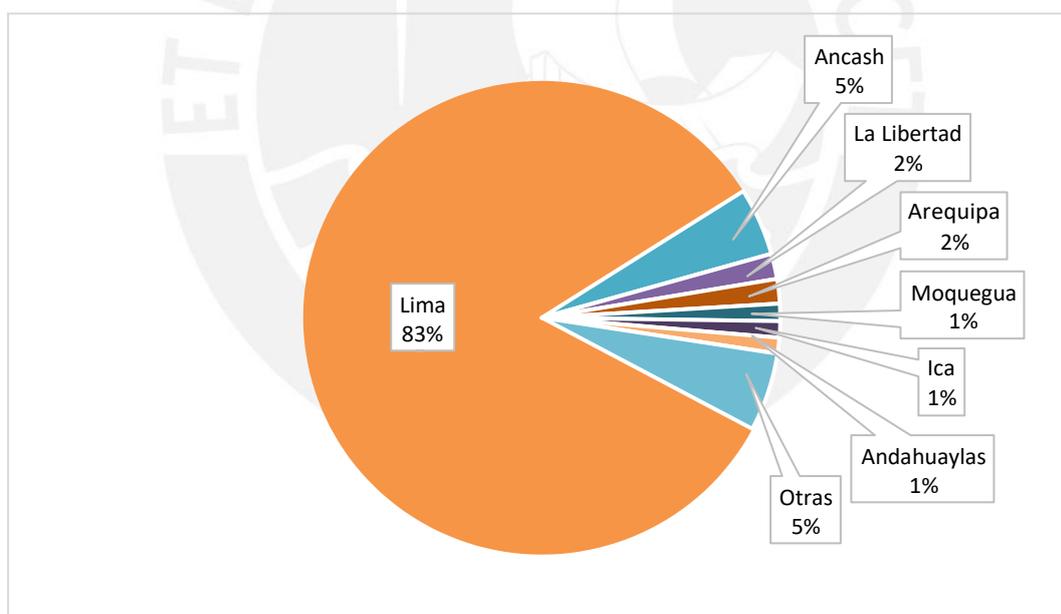


Figura 7. Superficie de manzana cosechada anualmente por región (Caycho et al., 2013)

Adaptado de "Planeamiento estratégico de la manzana", por Caycho, Machaca, Yataco, & Sawada, 2013

Los principales tipos de manzanas nacionales son los siguientes:

- **Delicia**

La coloración varía en cada manzana, como se observa en la figura 8. Sin embargo, el rasgo característico visual es la piel roja brillante sobre un tono amarillo, con áreas de luz y oscuridad. El color rojo puede verse en algunas zonas sólido y en otras zonas se ve rayado. La pulpa es crujiente, jugosa y medianamente aromática. (Ochoa, 2005)



Figura 8. Manzanas Delicia

Tomado de Go Fresh, "Manzana Delicia x 500 Gr"

- **Israel**

La denominación original de la variedad mostrada en la figura 9 es Anna. Fue resultado de un cruce hecho en Israel en 1959 entre las variedades Red Hadassiya y Golden Delicious. (National PLant Germplasm, s/f) Puesto que dicha variedad es originaria de Israel, en el Perú se le conoce con este nombre. Tiene una forma tronco-cónica alargada. Su piel es de color amarillo y/o verde pastel y tiene zonas con un tono rosado (blush). La pulpa es suave, de sabor dulce, ligeramente ácida. Es cultivada en regiones tropicales. Puede ser consumida fresca o cocida. (Kamas, Nesbitt, & Stein, 2017)



Figura 9. Manzanas Israel

Tomado de Just fruit and exotics, "Anna Apple Tree"

- **Winter Banana**

Según una cartilla del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, esta variedad fue obtenida en Indiana, Estados Unidos en el año 1876. La piel de la fruta es amarilla y puede tener zonas con un tono rosado estriado. La cavidad pedicular es ancha y profunda y puede estar cubierta por russet, un defecto que se manifiesta a través de pequeñas zonas marrones, escamosas y sin brillo en la superficie de la fruta. (Yuri, 2006)

La zona encerrada con un círculo negro en la figura 10 muestra el russet. La pulpa es moderadamente firme, jugosa, aromática. (Calvo, 2013)



Figura 10. Manzanas Winter Banana

Tomado de "Manzana: Winter Banana", por Calvo, 2013

2.1.4. Daños y tolerancias según Tottus

Durante el proceso de lavado, las manzanas son sometidas a fuerzas que pueden dañarlas. Por tal motivo, se debe tener en cuenta la tolerancia máxima de golpes, magulladuras y heridas frescas para el diseño de la máquina. Los supermercados peruanos cuentan con fichas técnicas que detallan los estándares de calidad de las frutas adquiridas de las empresas distribuidoras. Por ejemplo, de la tabla 2, que es una adaptación de los daños y tolerancias presentados en las fichas técnicas de Hipermercados Tottus, se concluye que las manzanas Winter y Delicia pueden tener un máximo de 2 o 3 golpes de 10mm de diámetro; mientras que la manzana Winter puede tener un máximo de 5 golpes de 5mm. Asimismo, ninguna manzana debe presentar heridas frescas. Las manzanas deben encontrarse completamente limpias. Pueden presentar un máximo de 10% o 20% de daños de sol, y un máximo de 2 o 3 russets de 10mm. Además, se permite leve lenticelosis y leves deformaciones. Por otro lado, pueden presentarse 1 o 2 heridas mecánicas de un centímetro como máximo. El límite de escaldaduras según la estación es 3 o 5 en puntos de 5mm de diámetro. La vitescencia es tolerada en ciertas temporadas, mientras que nunca se toleran frutos enfermos, que padezcan corazón acuoso, pardeamiento o que se encuentren en estado de pudrición.

Tabla 2

Daños y tolerancias descritas en las fichas técnicas de Tottus para las variedades de manzana Winter, Delicia e Israel

| Nro. | Daños | VARIEDADES | | | |
|------|------------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
| | | Winter y Delicia | | Israel | |
| | | Tolerancia máxima | Tolerancia máxima estacional | Tolerancia máxima | Tolerancia máxima estacional |
| 1 | Suciedad | 0 | 5% | 0 | 5% |
| 2 | Manchas (daños de sol) | 10% | 20% | 10% | 20% |
| 3 | Manchas (lenticelosis) | Leve | Leve | Leve | Leve |
| 4 | Manchas (russet, abrasiones) | 2 de 10mm | 3 de 10mm | 2 de 10mm | 3 de 10mm |
| 5 | Deformidad | Leve | Leve | Leve | Leve |
| 6 | Daño mecánico (golpe, magulladura) | 2 de 10mm | 3 de 10mm | 5 de 5mm | 5 de 5mm |
| 7 | Daño mecánico (herida fresca) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Daño mecánico (cicatrizada) | 1 de 1cm | 2 de 1cm | 1 de 1cm | 2 de 1cm |
| 9 | Manchas (escaldaduras) | 3 en punto (5mm) | 5 en punto (5mm) | 3 en punto (5mm) | 5 en punto (5mm) |
| 10 | Vitrecencia (helada) | 0 | Se tolera | 0 | Se tolera |
| 11 | Enfermedad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Corazón acuoso o pardeamiento | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Pudrición | 0 | 0 | 0 | 0 |

Adaptado de "Ficha técnica", por Hipermercados Tottus, 2015

2.1.5. Relación entre fuerza, altura de caída y área de golpe en las manzanas

La figura 11 relaciona la fuerza máxima y el área de magulladura resultantes de cálculos analíticos del impacto de una manzana a diferentes alturas. Además, se obtuvo la línea de tendencia para aproximar la fuerza máxima que genere magulladuras de área igual a 50mm² y 100mm². De esta manera, se concluye que 221N tienden a producir

100mm² de magulladura, y 177N tienden a producir 50mm² de magulladura. Por otro lado, la figura 12 la relaciona la altura de la caída de una manzana y el área de la magulladura resultante para distintos materiales.

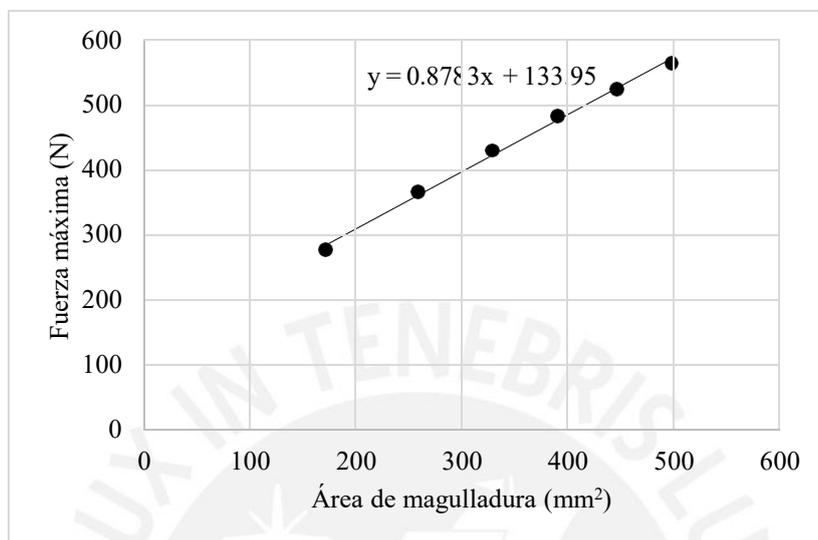


Figura 11. Fuerza máxima ejercida y área de magulladura obtenida

Adaptado de "Development of engineering design tools to help reduce apple bruising", por Lewis, Yoxall, Canty, & Romo, 2007

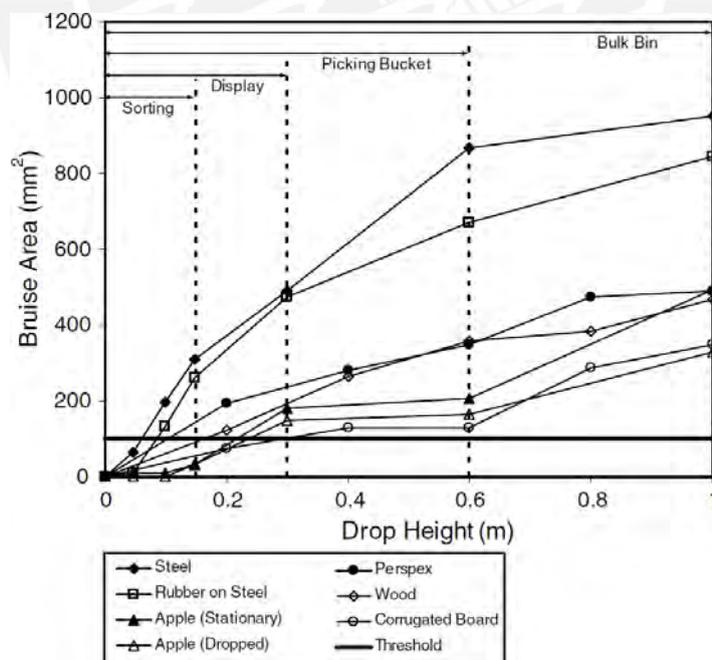


Figura 12. Área promedio del golpe generado por el impacto de la manzana contra diferentes materiales a diferentes alturas de lanzamiento

Tomado de "Development of engineering design tools to help reduce apple bruising", por Lewis, Yoxall, Canty, & Romo, 2007

La tabla 3 enlista los valores de altura para las cuales la caída de una manzana produce una magulladura de 100 mm² y 50 mm² de área para distintos materiales.

Tabla 3

Valores de altura para los cuales la caída de una manzana produce una magulladura de 100 mm² de área para ciertos materiales

| Material | Altura para 100mm² de magulladura(mm) | Altura para 50mm² de magulladura(mm) |
|-----------------------------|---|--|
| <i>Acero</i> | 60 | 43 |
| <i>Goma sobre acero</i> | 85 | 63 |
| <i>Acrílico</i> | 104 | 50 |
| <i>Madera</i> | 164 | 77 |
| <i>Manzana estacionaria</i> | 217 | 160 |
| <i>Manzana lanzada</i> | 236 | 167 |
| <i>Cartón corrugado</i> | 296 | 134 |

Adaptado de "Development of engineering design tools to help reduce apple bruising", por Lewis, Yoxall, Canty, & Romo, 2007

2.2. Estado del arte

A continuación, se presentan diseños similares o relacionados al propuesto en esta investigación, resaltando las diferentes técnicas utilizadas para cumplir su función. Se incluyen modelos comerciales y patentes de máquinas automáticas para lavar y secar frutas o vegetales haciendo uso de sistemas de burbujeo, rociadores y cepillos.

2.2.1. Modelos comerciales

En esta sección se mencionan máquinas comerciales para lavar manzanas y un cuadro que compara sus características.

- a. Eillert B.V. Fruit food washing machine /for vegetables /automatic

La máquina mostrada en la figura 13 de la empresa holandesa Eillert B.V. lava y desinfecta frutas y verduras que flotan. Tiene una capacidad máxima de 2500 unidades por hora y puede ejecutarse de forma manual o automática. Los alimentos son depositados y retirados manualmente con una cesta de plástico. Cuenta con un sistema de inmersión que emplea la inyección de aire para mantener los alimentos sumergidos durante la desinfección. Finalmente, las frutas son extraídas del agua mediante una faja transportadora.



Figura 13. Lavadora automática de frutas y vegetales GW-4000, MBW-500 de la empresa Eillert B.V.

Tomado de Direct Industry, "Fruit food washing machine"

b. Agico Fruit bubble washing machine

Agico ofrece dos modelos de máquinas para lavado de frutas. El primero, mostrado en la figura 14, es una máquina con un soplador de aire que genera el movimiento de las frutas dentro del tanque de lavado. También posee una faja elevadora y rociadores. Su capacidad se encuentra entre 5 y 10 t/hora. Emplea un PLC para el control. Además, el fabricante indica que este modelo tiene un lavado más suave, pues el flujo de agua imprime pequeñas fuerzas a las frutas.



Figura 14. Lavadora de fruta con sistema de burbujeo de la empresa Agico

Tomado de Agico, "Fruit Washing Machine"

c. Agico brush and spray cleaning machine

El segundo modelo ofrecido por la marca Agico se muestra en la figura 15 consiste en un tanque con agua, un transportador de rodillos con cepillos y rociadores. Emplea un PLC para el control. Su capacidad se encuentra entre 5 y 10 t/hora. Este modelo alcanza un mayor nivel de limpieza en comparación del primero.



Figura 15. Lavadora de fruta con rodillos y rociadores de la empresa Agico

Tomado de Agico, "Fruit Washing Machine"

La tabla 4 compara los tres modelos comerciales previamente mencionados. Se identifica que los equipos de la empresa de Agico tienen mayor capacidad, y menor consumo en comparación con Eillert.

Tabla 4

Comparación de características de los modelos comerciales de máquinas de lavado de fruta

| Características | EMPRESA | | |
|------------------------|--------------------------------------|--|--|
| | Eillert B.V. | Agico (bubbling) | Agico (brush and spray) |
| Mecanismo | Burbujeo y transporte por cangilones | Burbujeo, rociadores y transporte por cangilones | Cepillos, rociadores transporte por rodillos |
| Capacidad (t/h) | 5 | De 5 a 10 | De 5 a 10 |
| Altura (mm) | 1761 | De 1200 a 3380 | De 1325 a 1465 |
| Largo (mm) | 7173 | De 2800 a 4000 | De 2335 a 5000 |
| Profundidad (mm) | 1732 | De 700 a 1100 | De 1340 a 1510 |
| Consumo eléctrico (kW) | 2.8 | 2.2 | 2.2 |

2.2.2. Patentes

A continuación, se detallan patentes de aparatos para lavado de frutas o vegetales.

- a. Method and apparatus for washing fruit and vegetables (Patent Núm. US7467638, 1995)

El aparato mostrado en la figura 16 incluye un set de tanques, atomizadores y una faja transportadora con paletas sobresalientes distribuidas de tal manera que la fruta se sitúa en el espacio entre estas. Inicialmente, las frutas son colocadas de manera continua en el tanque. Un mecanismo permite que el agua salga a presión desde un lado del tanque. Por un lado, esto provoca que las manzanas sean impulsadas hacia la faja transportadora que se encuentra al lado opuesto del mecanismo. Por otro lado, el movimiento de las manzanas debido a la presión del

agua evita la colisión entre las manzanas que ya se encuentran en el tanque y las que serán vertidas. Cuando las manzanas llegan a la faja transportadora, las paletas mueven la fruta hacia la zona de atomizadores. La principal función de los atomizadores es producir un giro en las manzanas tal que toda la superficie pueda ser expuesta al lavado. A continuación, las manzanas pasan debajo de los atomizadores de agua potable con el fin de enjuagar el agua residual. Finalmente, las manzanas pueden ser trasladadas a otro proceso. Además, existe un tubo de rebose por el que circula el exceso de agua del tanque hacia un primer reservorio, en el que permanecen los desperdicios de mayor tamaño como hojas y tallos debido a un tamiz situado en la parte inferior de dicho reservorio. El agua que circula a través del tamiz llega al segundo reservorio el cual cuenta con dos salidas. La primera es un canal de rebose, que se encuentra en la parte superior del reservorio para evitar que el agua sobrepase cierto nivel. La segunda salida del agua es mediante una bomba de recirculación hacia los atomizadores. Además, existe una válvula en la base del tanque que permite drenar el agua sucia junto con los sólidos que se mantuvieron en el tanque.

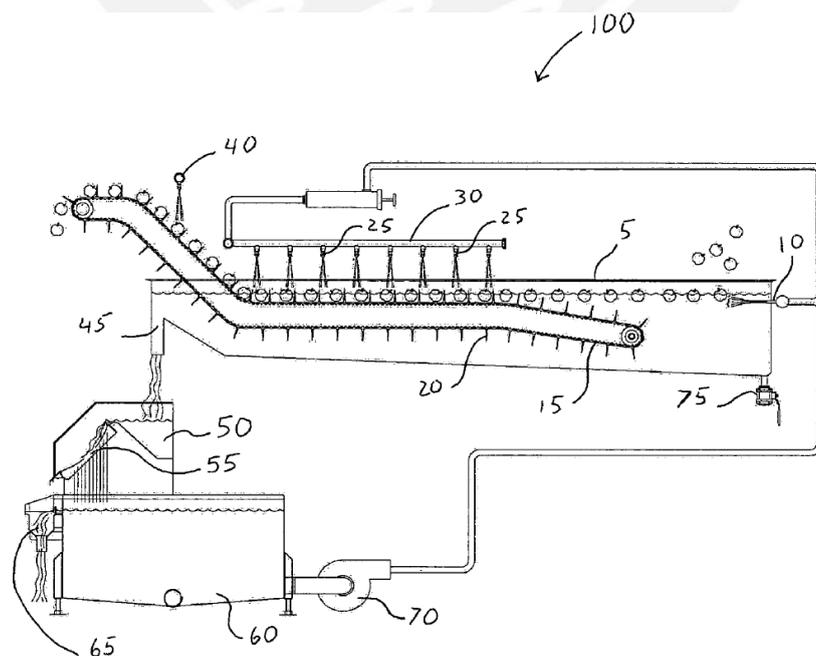


Figura 16. Vista lateral del dispositivo de la patente US7467638

b. Machine for washing fruit (Patent Núm. 1205117, 1916)

La máquina, ilustrada en la figura 17, consta de un transportador de rodillos, un sistema rociador de agua y dos bandejas colectoras. Además, requiere de un motor, una fuente de agua, un tanque de remojo previo y drenaje. Como se aprecia en la figura 18, los rodillos están cubiertos por cepillos cilíndricos, los cuales tienen un surco con forma espiral en el que las frutas reposarán. Asimismo, con el propósito de cepillar y lavar toda la superficie de la fruta, las cerdas de los cepillos adyacentes se extienden en direcciones contrarias, de tal manera que, cuando los cepillos giran, la fruta rota en diversas direcciones. También cuenta con cepillos en los laterales del transportador cuya función es evitar dañar la fruta que se encuentre en dichos extremos, a la vez que contribuyen con el cepillado. Además, la máquina incluye arreglos de poleas cuyo fin es regular la velocidad de giro, tanto del transportador como de los rodillos. Como consecuencia, la acción de cepillado y lavado se puede adecuar a la cantidad y tipo de fruta en cuestión.

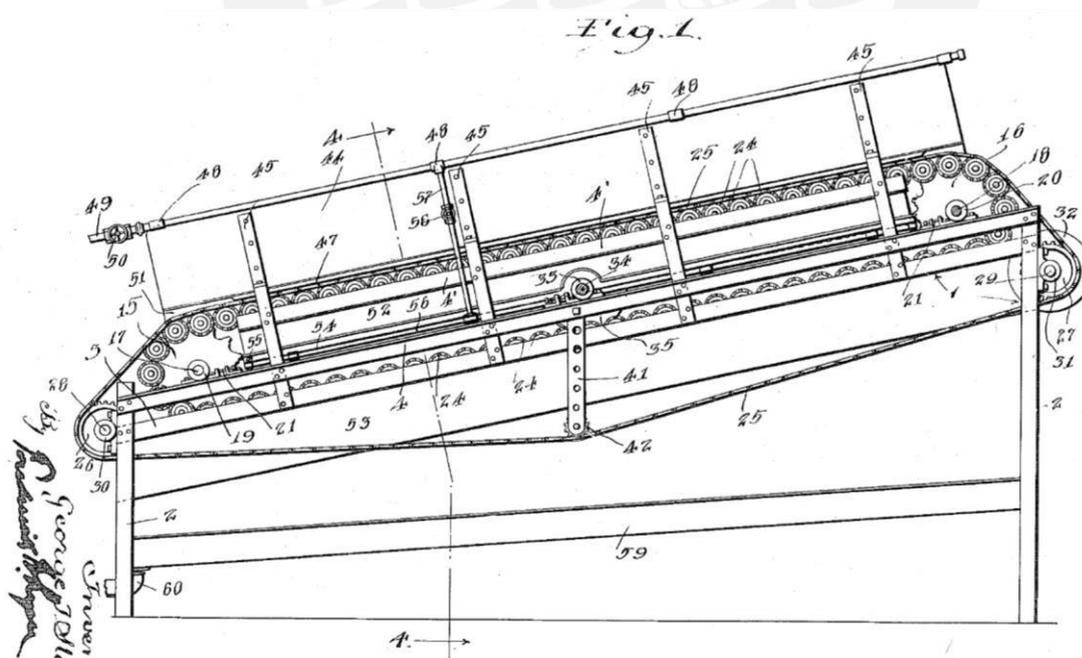


Figura 17. Vista lateral de la máquina de la patente US1205117A

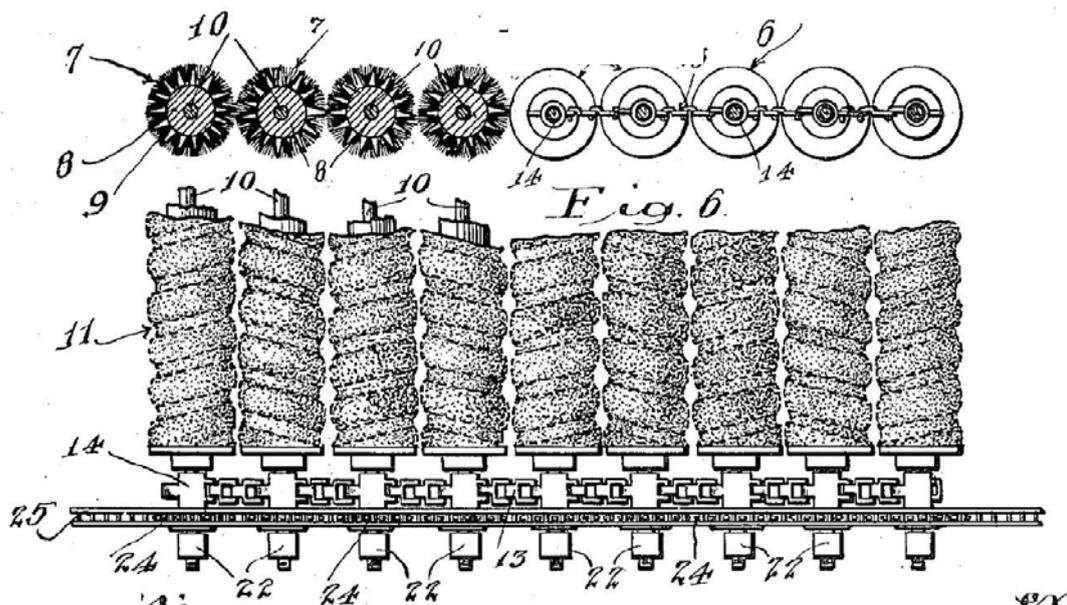


Figura 18. Corte transversal y vista superior del transportador de la máquina de la patente US1205117A

c. Apparatus for preparing fresh fruit for market (Patent Núm. US1932827, 1933)

Las manzanas ingresan mediante una tolva hacia un transportador cuyas varillas están suficientemente espaciadas para dejar caer trozos de tierra y hojas hacia otra tolva. En la figura 19 se observa que los rociadores de esta máquina se encuentran en la parte superior e inferior del transportador.

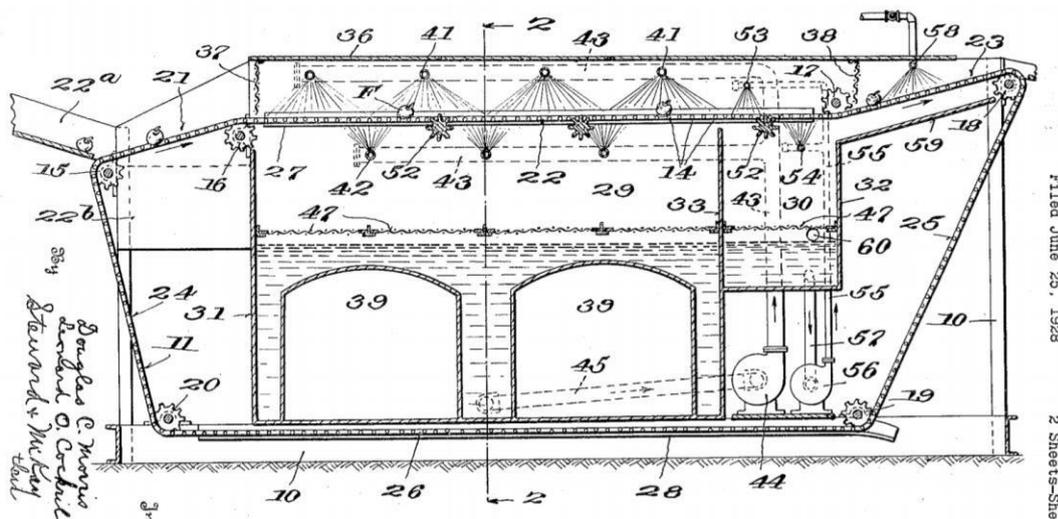


Figura 19. Vista lateral de la máquina de la patente US1932827A

- d. Machine for washing and drying fruit and/or vegetables(Patent Núm. EP0087649A1, 1983)

El aparato de la figura 20 cuenta con un compresor de aire permite que un flujo de aire llegue al tanque con agua y frutas de tal manera que se forman burbujas y las manzanas se mantienen separadas entre ellas. Este mismo compresor es utilizado para producir flujos de aire que permitan el secado de las frutas, acompañado de un movimiento centrífugo.

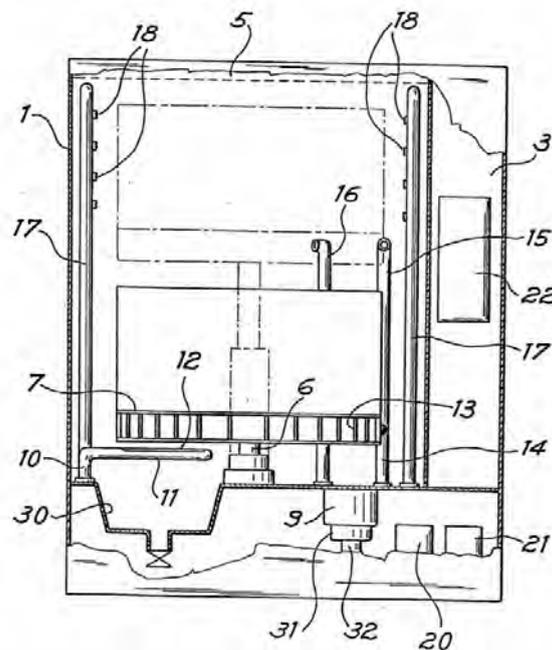


Figura 20. Vista frontal y transversal de la máquina de la patente EP0087649A1

Los métodos de lavado relatados en estas patentes son: remojo, aplicación de presión de agua, fricción contra cepillos y aplicación de burbujas de aire. Además, las patentes US7467638 y US1932827A consideran la separación de desperdicios sólidos. La patente US7467638 incluye un sistema de reutilización de agua. Por otro lado, los mecanismos de transporte presentados son: transportador con paletas o cangilones, transportador de rodillos, faja transportadora y un almacén con movimiento centrífugo. Las patentes US7467638 y US1205117A contemplan la limpieza del mecanismo transportador. El primer transportador

permanece dentro del agua, mientras que el transportador de la segunda patente es rociado con agua. El suministro de agua es continuo en tres patentes. En contraste, la patente EP0087649A1 trabaja en ciclos. La tabla 5 compara las características de las cuatro patentes mencionadas.

Tabla 5

Comparación de características de las patentes de lavado

| Características | Patentes | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| | US7467638 | US1205117A | US1932827A | EP0087649A1 |
| <i>Método</i> | Remojo y presión de agua | Fricción contra cepillos y presión de agua | Presión de agua superior e inferior | Remojo y burbujas de aire |
| <i>Separación de residuos solidos</i> | Sí | No | Sí | No |
| <i>Reutilización de agua</i> | Sí | No | No | No |
| <i>Mecanismo de movimiento</i> | Transportador con paletas | Transportador de rodillos | Transportador de rodillos y faja transportadora | Almacén con movimiento centrífugo |
| <i>Limpieza continua</i> | El transportador permanece en el agua | El transportador es rociado con agua automáticamente luego de cumplir su función | No tiene mecanismo de limpieza | No tiene mecanismo de limpieza |
| <i>Suministro de agua</i> | Continuo | Continuo | Continuo | Por ciclos |

Capítulo 3

Diseño Conceptual

En este capítulo se determinan las exigencias que debe cumplir el diseño. Luego, con base en esta información, se realiza una caja negra con las variables de entrada y de salida. Posteriormente, se describen las funciones de la máquina automática para lavar manzanas, los módulos que la componen y su interacción. Seguidamente, se desarrollará la matriz morfológica para obtener las diferentes opciones de solución. Por último, se realizará una comparación técnica y económica entre las soluciones con el fin de determinar la solución óptima.

3.1. Requerimientos del sistema

Existen requerimientos demandados por el cliente y requerimientos propios de la máquina. Algunos de estos requerimientos son exigencias obligatorias que la máquina debe cumplir y para elaborar satisfactoriamente el diseño de la máquina, otros requerimientos son deseos. Los criterios de requerimientos son los siguientes:

- **Función principal:** La máquina debe lavar de forma automática manzanas Delicia, Winter e Israel con una capacidad de 60kg y un procesamiento de 3000 manzanas por hora.
- **Geometría:** Se podrá reutilizar la zona de vertido (transportador de rodillos de 65cm de ancho, 100cm de altura y 100cm de largo), que actualmente se encuentra acoplada a la calibradora de manzanas Freeway de la empresa Teófila y Asociados.
- **Electrónica:** Se detectará la presencia de manzanas, se medirá la presión del agua, se medirá el nivel del contenedor de agua

- Fuerzas: acorde a lo detallado en la sección 2.1.5, las fuerzas ejercidas sobre las manzanas deben ser menor que 177 N, de tal manera que no se dañe la fruta. Análogamente, la presión ejercida por el líquido del lavado debe ser menor que 17.7 MPa.
- Materia:
 - ✓ Materia de entrada: El ingreso de manzanas de diferentes tamaños es manual e incluye hojas tallos y tierra adherida a estas. Las variedades ingresadas son Israel, Delicia y Winter. Asimismo, ingresa agua potable.
 - ✓ Materia de salida: Salen manzanas de diámetros mayores a 40mm limpias húmedas, agua sucia y desechos (hojas y tallos).
- Cinemática: La velocidad lineal debe permitir procesar 3000 manzanas por hora.
- Señales de entrada:
 - ✓ Encendido
 - ✓ Apagado
 - ✓ Botón de emergencia
 - ✓ Pausa
 - ✓ Detener
 - ✓ Vaciar zona de remojo
- Señales de salida:
 - ✓ Indicador de estado (encendido, lavando, no hay manzanas en el sistema, en pausa, baja presión de agua, bajo nivel de agua, alerta por fallo de la máquina).
- Energía: La alimentación eléctrica general será de 220 VAC monofásico.
- Uso: La máquina debe usarse en espacios con temperatura entre 15 y 30 °C, presión no mayor a 1 atm y humedad relativa máxima del 98%. La máquina debe quedar

completamente estacionaria en el lugar de operación, sin posibilidad de moverla de manera casual.

- **Mantenimiento:** De acuerdo con el Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas (Congreso de la República, 2008), el diseño de la máquina debe permitir su fácil y completa limpieza y desinfección al terminar un ciclo de trabajo.
- **Ergonomía:** Con base en la Norma Básica de Ergonomía (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2008) se plantea que:
 - ✓ El panel de la interfaz debe encontrarse a una altura aproximada de 140 cm. Esto se debe a que mirar hacia abajo es más óptimo que mirar hacia arriba.
 - ✓ Los mensajes mostrados mediante la interfaz deben evitar errores en su interpretación, ser llamativos con letra grande y clara, para facilitar la visualización.
 - ✓ La máquina debe permitir el vertido de las manzanas desde jabs cosecheras (52cm x 36cm x 32cm). Además, la zona de vertido debe encontrarse a una altura entre 60 y 100 cm.
 - ✓ El diseño de la máquina debe permitir el posicionamiento y libre movimiento del operario en la zona de vertido de manzanas, de tal manera, que se evite giros e inclinaciones del tronco.

La tabla 6 indica si el requerimiento señalado es una exigencia o un deseo.

Tabla 6

Lista de exigencias (D equivale a deseo y E equivale a exigencia)

| LISTA DE EXIGENCIAS | | Pág. 1 de 2 |
|--------------------------|--|-----------------|
| | | Edición Rev.1.0 |
| Proyecto | Diseño de máquina para lavar manzanas | |
| D/E | Descripción | |
| Función Principal | | |
| E | La máquina debe lavar de forma automática manzanas Delicia, Winter e Israel con una capacidad de 60kg y un procesamiento de 3000 manzanas por hora. | |
| Geometría | | |
| D | Se podrá reutilizar el transportador de rodillos de 65cm de ancho, 100cm de altura y 100cm de largo, que actualmente se encuentra acoplado a la calibradora de manzanas Freeway de la empresa Teófila y Asociados. | |
| Cinemática | | |
| E | La velocidad lineal debe permitir procesar 3000 manzanas por hora. | |
| Materia Prima | | |
| E | <p><u>Ingreso:</u> Ingresan manualmente las variedades Israel, Delicia y Winter, incluyendo hojas tallos y tierra. Asimismo, ingresa agua potable.</p> <p><u>Salida:</u> Manzanas limpias húmedas, agua sucia y desechos (hojas y tallos).</p> | |
| Señales | | |
| E | <p><u>Ingreso:</u> Se ingresan instrucciones (Encendido, apagado, botón de emergencia, pausa, detener, vaciar zona de remojo).</p> <p><u>Salida:</u> La señal de salida es un indicador de estado (encendido, lavando, no hay manzanas en el sistema, en pausa, baja presión de agua, bajo nivel de agua, alerta por fallo de la máquina).</p> | |
| Energía | | |
| E | La alimentación general será de 220 VAC monofásico. | |

Continuación Tabla 6

Lista de exigencias

| LISTA DE EXIGENCIAS | | Pág. 2 de 2 |
|----------------------|--|-----------------|
| | | Edición Rev.1.0 |
| Proyecto | Diseño de máquina para lavar y manzanas | |
| D/E | Descripción | |
| Fuerzas | | |
| E | Las fuerzas ejercidas sobre las manzanas deben ser menor que 177 N. | |
| E | La presión ejercida por el líquido del lavado debe ser menor que 17.7 MPa. | |
| Electrónica | | |
| E | Se detectará la presencia de manzanas, se medirá la presión del agua, medir nivel del contenedor de agua. | |
| Usos | | |
| E | La máquina debe usarse en espacios con temperatura entre 15 y 30 °C, presión no mayor a 1 atm y humedad relativa máxima del 98%. | |
| E | La máquina debe quedar completamente estacionaria en el lugar de operación, sin posibilidad de moverla de manera casual. | |
| Mantenimiento | | |
| E | De acuerdo con el Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas, el diseño de la máquina debe permitir su fácil y completa limpieza y desinfección. | |
| Ergonomía | | |
| E | El diseño debe cumplir la Norma Básica de Ergonomía (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2008) | |

3.2.Determinación de estructura de funciones

En esta sección se emplean métodos que permiten reconocer tanto las entradas y salidas de la máquina, así como las funciones que realiza. Al representar la máquina como una caja negra, se obtienen las entradas y salidas de la máquina. Posteriormente, se detallan las funciones que cumple la máquina, clasificándolas según el dominio a la que cada una pertenece.

3.2.1. Black Box

Se representa la máquina como una caja negra para distinguir los elementos de entrada y salida. A continuación, se mostrará las entradas y salidas de la máquina automática para lavado de manzanas. Finalmente, en la figura 21 se presenta la caja negra del sistema.

Entradas

- Manzanas de variedades Israel, Delicia y Winter con tierra, hojas y tallos adheridos a estas. Las manzanas son vertidas manualmente en la máquina
- Agua potable
- Señales de encendido, apagado, emergencia
- Instrucciones: inicio, pausa, vaciar zona de remojo
- Energía: Alimentación del dispositivo

Salidas

- Indicador de estado: Encendido, en pausa, remojando, lavando, bajo nivel de agua, baja presión de agua, no hay manzanas en el sistema, alerta por fallo de la máquina
- Manzanas húmedas y limpias
- Agua sucia
- Ruidos y vibraciones

- Hojas y tallos



Figura 21. Caja negra de la máquina automática para lavar manzanas

3.2.2. Estructura de funciones

En esta sección se mencionan todas las funciones que realiza el sistema para lavado de manzanas. Asimismo, la figura 22 muestra la estructura de funciones global, que incluye los dominios del controlador, energía, sensores, actuadores y mecánica.

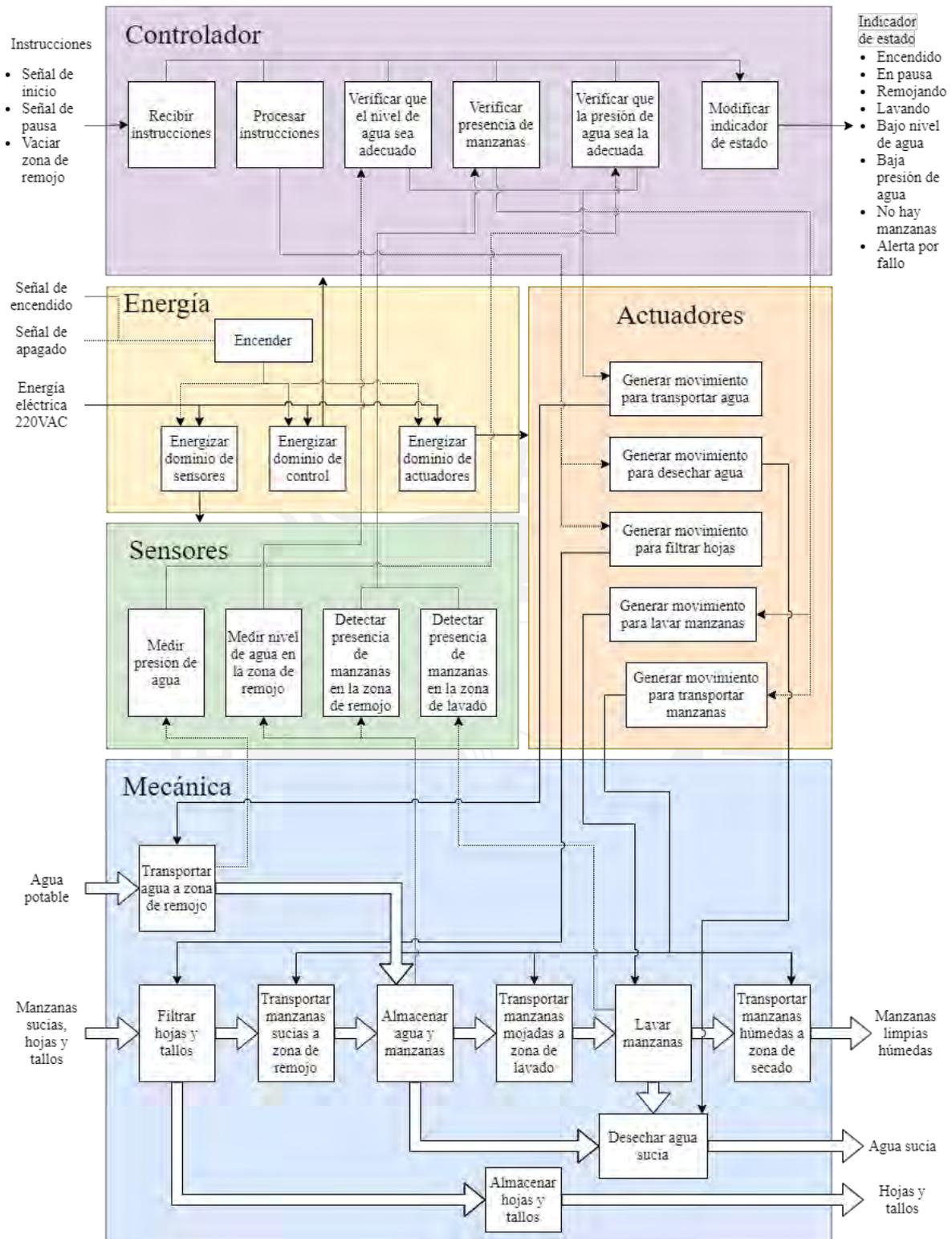


Figura 22. Estructura de funciones global

3.3. Matriz morfológica

A continuación, se presenta la matriz morfológica de cada dominio, señalando tres formas de realizar cada función. De esta manera se generan tres conceptos de solución diferentes. La tabla 7 muestra la matriz morfológica.

Tabla 7

Matriz Morfológica del sistema propuesto

| Tipo | Función | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|----------|--|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Energía | Encender | Interruptor de levas | Botonera | Interruptor de levas |
| | Acondicionar energía de actuadores | Fuente de alimentación conmutada | Fuente de alimentación conmutada | Fuente de alimentación conmutada |
| | Acondicionar energía dominio de sensores | Regulador de voltaje lineal DC | Regulador de voltaje lineal DC | Regulador de voltaje lineal DC |
| | Acondicionar energía dominio de controlador | Regulador de voltaje lineal DC | Regulador de voltaje lineal DC | Regulador de voltaje lineal DC |
| Mecánica | Transportar agua a zona de remojo | Tubería | Tubería | Tubería |
| | Filtrar hojas y tallos | Malla | Transportador de rodillos y malla | Transportador de rodillos y malla |
| | Almacenar hojas y tallos | Recipiente enmallado | Bandeja y malla | Bandeja deslizable y malla |
| | Transportar manzanas sucias a zona de remojo | Gravedad | Transportador de rodillos | Transportador de rodillos |

Continuación Tabla 7

Matriz Morfológica del sistema propuesto

| Tipo | Función | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|-----------------|---|---|--|---|
| Mecánica | Almacenar agua y manzanas | Recipiente | Recipiente | Recipiente |
| | Transportar manzanas mojadas a zona de lavado | Inyector de aire y transportador de paletas | Inyector de aire y transportador de rodillos | Inyector de aire y transportador de paletas |
| | Lavar manzanas | Toberas | Toberas | Toberas y cepillos |
| | Desechar agua sucia | Tubería | Tubería | Tubería |
| | Transportar manzanas húmedas a zona de secado | Transportador de paletas | Transportador de rodillos | Transportador de rodillos |
| Sensores | Medir nivel de agua | Sensor de nivel no sumergible | Sensor de nivel sumergible electrónico | Sensor de nivel sumergible mecánico |
| | Detectar presencia de manzanas | Cámara | Cámara | Cámara |
| | Medir presión de agua | Sensor de presión capacitivo | Sensor de presión capacitivo | Sensor de presión capacitivo |
| Control | Recibir instrucciones | LCD táctil | Computadora | Panel de botones |

Continuación Tabla 7

Matriz Morfológica del sistema propuesto

| Tipo | Función | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|------------|--|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Control | Procesar instrucciones | Placa computadora | Computadora | Placa computadora |
| | Verificar que el nivel de agua sea adecuado | | | |
| | Verificar presencia de manzanas | | | |
| | Verificar que la presión de agua sea la adecuada | | | |
| | Modificar indicador de estado | LCD táctil | Computadora | Display y luces |
| Actuadores | Generar movimiento para transportar agua | Electrobomba y válvula | Electrobomba y válvula | Electrobomba y válvula |
| | Generar movimiento para filtrar hojas y pedículos | Electrobomba | Motor DC y electrobomba | Motor DC y electrobomba |
| | Generar movimiento para transportar manzanas a la zona de remojo | Gravedad | Motor DC | Motor DC |
| | Generar movimiento para transportar manzanas a la zona de lavado | Electrobomba y válvula | Electrobomba y válvula | Electrobomba y válvula |
| | Generar movimiento para lavar manzanas | Electrobomba | Electrobomba | Motor DC y electrobomba |
| | Generar movimiento para desechar agua | Electrobomba y válvula | Electrobomba y válvula | Electrobomba y válvula |

3.4. Conceptos de solución del sistema

Los conceptos de solución que se presentarán a continuación han sido obtenidos de la matriz morfológica del dominio de energía, mecánico, de actuadores, de sensores y de control.

3.4.1. Concepto de solución 1

El operario enciende la máquina con un interruptor de levas de la caja de control y presiona “Iniciar” en la pantalla táctil, donde se muestran alertas y el estado de la máquina. La figura 23 muestra la caja de control con la pantalla táctil, el botón de emergencia y el interruptor de levas.



Figura 23. Interfaz del primer concepto de solución

Se bombea agua desde la toma mediante tuberías hasta el recipiente de remojo. Se detendrá el flujo de agua cuando el valor medido por el sensor de nivel no sumergible coincida con el valor deseado. Luego se emite el mensaje “Coloque las manzanas” y el usuario vacía el contenido de las cosecheras en el recipiente de remojo. El aire que pasa por el compresor y la tobera empapa hojas y pedúnculos para que se hundan hasta la cesta enmallada donde serán almacenados. El flujo de aire también ayuda a remojarlas y moverlas hacia los cangilones, cuya función es elevar manzanas sobre la altura del agua. Existen rociadores a presión sobre los cangilones para enjuagar las manzanas. Cuando acabe el proceso de remojo, una electroválvula

permite que el agua fluya a través de la cesta enmallada hacia el desagüe. A continuación, el recipiente de remojo estará vacío y la cesta enmallada podrá ser vaciada. Por otro lado, los aspersores se detienen cuando los cangilones se encuentran sin manzanas. Si el operario emite la instrucción de pausa todos los actuadores y los sensores se detienen y esperan la instrucción de reinicio. También tiene la opción de abrir la válvula de desagüe mediante un botón. La figura 24 es un esbozo de este concepto de solución.

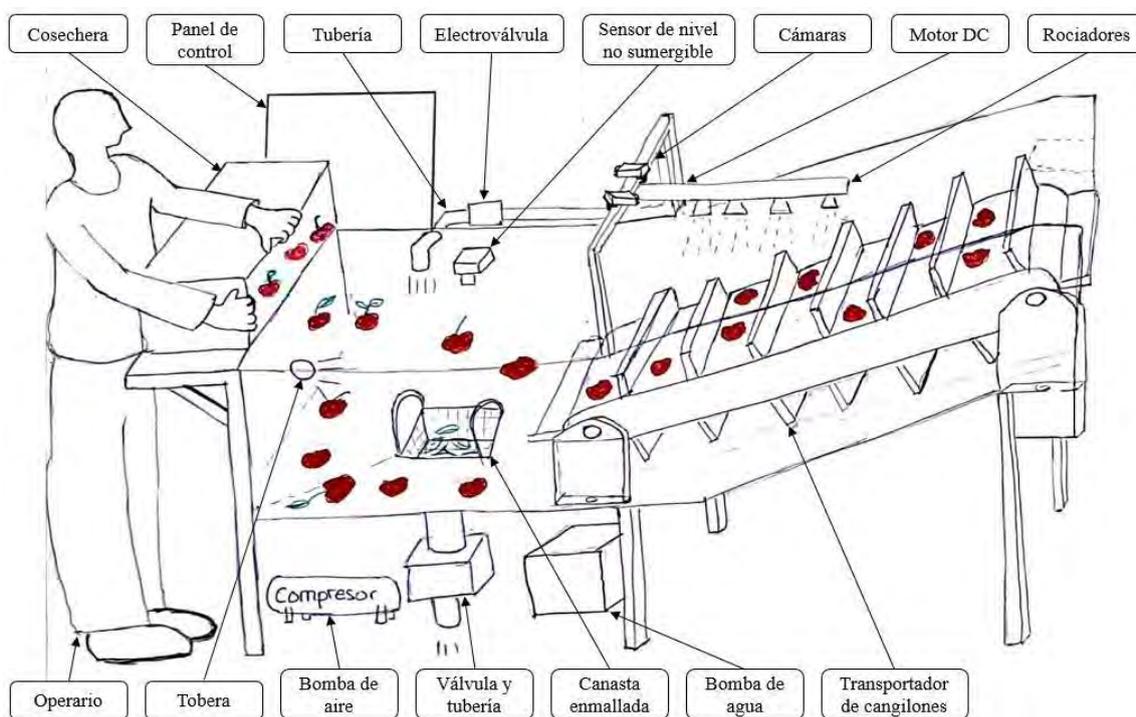


Figura 24. Primer concepto de solución

3.4.2. Concepto de solución 2

El operario enciende la máquina a través de la computadora e inserta los parámetros requeridos. En la pantalla se visualiza el estado de la máquina, mientras que las alertas se muestran mediante luces. En la figura 25 se muestra el programa instalado en la computadora. En la figura 26 se muestra el espacio en el que se encuentra la computadora del almacén de Teófila y Asociados.



Figura 25. Interfaz del segundo concepto de solución



Figura 26. Armario para computadora

Cuando el usuario da la instrucción de inicio, se bombea agua desde una toma mediante tuberías hasta el recipiente de remojo. Se detendrá el flujo de agua cuando el valor medido por el sensor de nivel sumergible electrónico coincida con el valor deseado. Se emite el mensaje “Coloque las manzanas”. A continuación, se activa el transportador de rodillos, donde el usuario vacía el contenido de las cosecheras. Las hojas y pedúnculos caen entre rodillos y se

almacenan en una bandeja extraíble. Las manzanas caen en el recipiente de remojo luego de alcanzar el extremo final del transportador. En un lado de dicho recipiente existe un inyector de aire. El flujo de aire que emana mueve las manzanas hacia la siguiente etapa y empapa hojas y pedículos restantes para que se hundan y lleguen a la cesta enmallada donde serán almacenados.

Luego de ser remojadas, las manzanas son extraídas del recipiente por una faja transportadora de rodillos que eleva a las manzanas sobre la altura del líquido. Luego, pasan debajo de aspersores a presión. Cuando el proceso de remojo acaba, una electroválvula permite que el agua fluya al desagüe. A continuación, el recipiente de remojo estará vacío y la cesta enmallada podrá ser retirada y vaciada. Asimismo, los aspersores se detienen cuando la zona de lavado se encuentra sin manzanas. Si el operario emite la instrucción de pausa todos los actuadores y los sensores se detienen y esperan la instrucción de reinicio. También puede abrir la válvula de salida del agua mediante un botón en la computadora. La figura 27 es un esbozo de este concepto de solución.

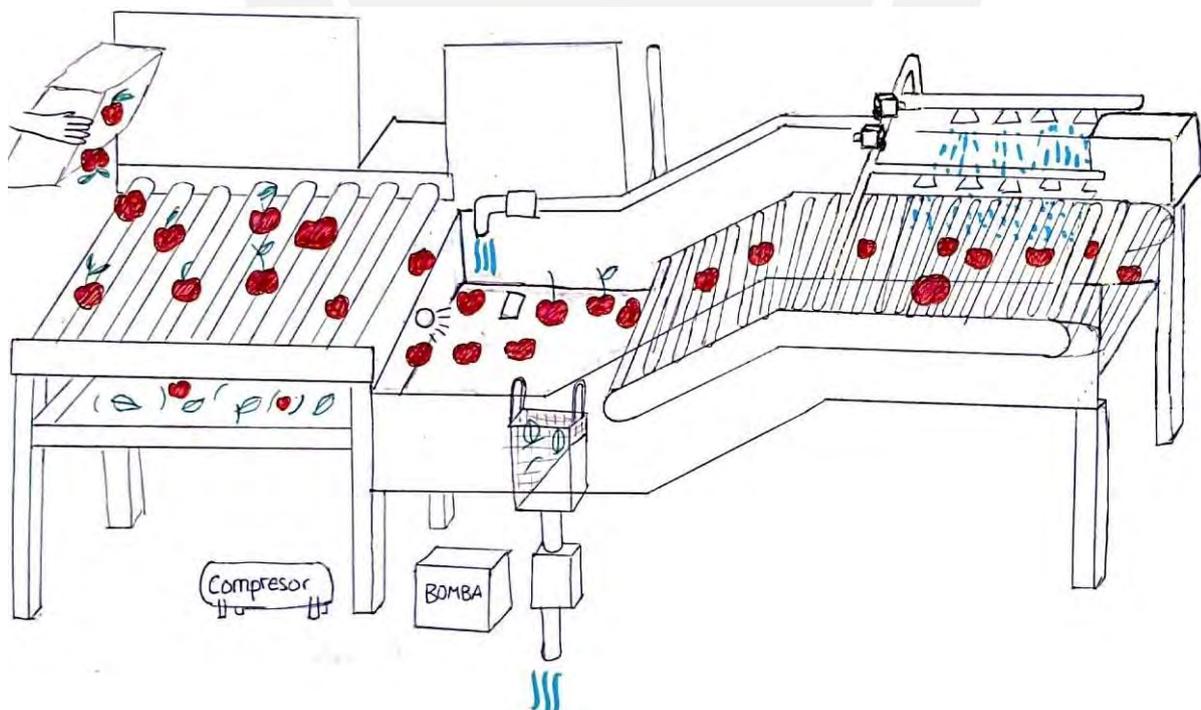


Figura 27. Segundo concepto de solución

3.4.3. Concepto de solución 3

El operario enciende la máquina mediante un interruptor de levas. En la pantalla del panel de control se muestra el estado de la máquina y alertas. La figura 28 muestra la caja de control con la pantalla y botones.

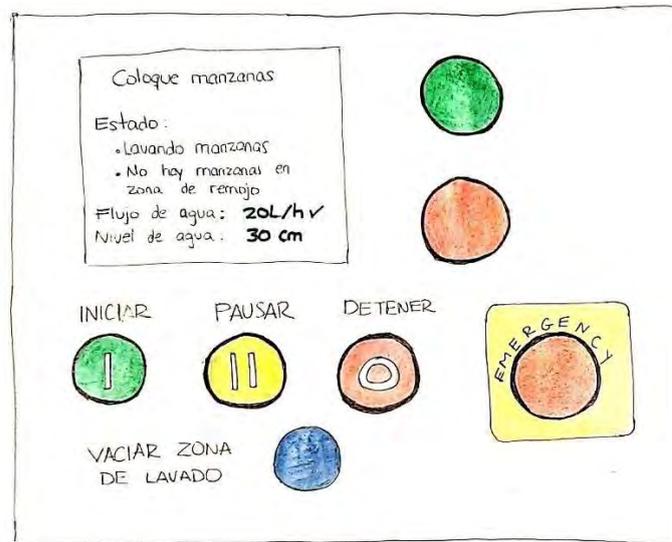


Figura 28. Interfaz del tercer concepto de solución

Cuando el usuario presiona "Iniciar", se bombea agua desde una toma mediante tuberías hasta el recipiente de remojo. Se detendrá el flujo de agua cuando el valor medido por el sensor de nivel sumergible mecánico coincida con el valor deseado. Se emite el mensaje "Coloque las manzanas". A continuación, se activa el transportador de rodillos y el usuario vacía el contenido de las cosecheras en el extremo inicial de este. Las hojas y pedúnculos caen entre rodillos y se almacenan en una bandeja extraíble. Las manzanas caen en el recipiente de remojo luego de alcanzar el extremo final del transportador. En un lado de dicho recipiente existe un inyector de aire que ayuda a mover las manzanas hacia la siguiente etapa y empapa hojas y pedúnculos restantes para que se hundan y lleguen a la cesta enmallada donde serán almacenados. Las manzanas remojadas son extraídas del recipiente por un transportador de cangilones que eleva a las manzanas sobre la altura del líquido. Luego, caen sobre una faja transportadora de rodillos debajo de aspersores a presión. Estos rodillos están envueltos por cepillos los cuales mejoran

la limpieza por la fricción. Cuando acabe el proceso de remojo una electroválvula permite que el agua del recipiente de remojo fluya hacia el desagüe. A continuación, el recipiente de remojo estará vacío y la cesta enmallada podrá ser retirada y vaciada. Asimismo, los aspersores se detienen cuando la zona de lavado se encuentra sin manzanas. Si el operario emite la instrucción de pausa todos los actuadores y los sensores se detienen y esperan la instrucción de reinicio. También tiene la opción de abrir la válvula de salida del agua mediante un botón. La figura 29 es un esbozo de este concepto de solución.

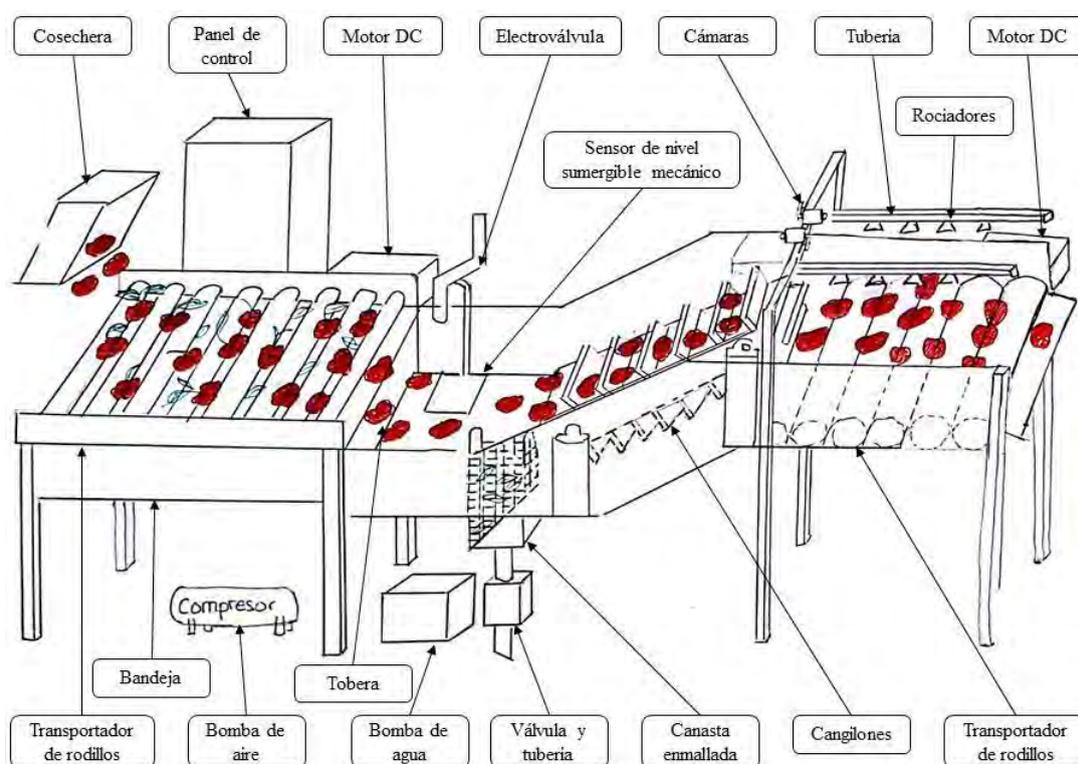


Figura 29. Tercero concepto de solución

3.5. Evaluación de los conceptos de solución

En esta sección se evalúa el valor técnico y económico de las tres soluciones propuestas en la sección 3.4.

3.5.1. Evaluación técnica

A continuación, se definen los criterios técnicos de evaluación para diseño en fase de concepción o proyecto y el peso asignado a cada uno de estos.

- Función principal: Tiene un peso de 10 debido a que el objetivo del presente documento es diseñar una máquina que cumpla la función principal.
- Uso de recursos (agua, energía): Tiene un peso de 5 porque el uso de agua y energía eléctrica es importante mientras la eficacia de la máquina no se vea afectada de forma negativa.
- Seguridad: Tiene un peso de 5 porque es importante que la máquina no presente peligros para los operarios.
- Mantenimiento: Tiene un peso de 3, dado que la máquina debe permitir una limpieza diaria simple y minuciosa de las superficies que están en contacto con alimentos

De la tabla 8 se concluye que la solución 3 supera a las demás en el aspecto técnico debido al uso de cepillos, a diferencia de las soluciones 1 y 2, las cuales solo dependen del agua a presión para retirar la suciedad impregnada.

En consecuencia, las soluciones 1 y 2 consumirán más tiempo y agua para cumplir su función. Por tal motivo, obtuvieron 1 (Regular) en el criterio de uso de recursos (agua). Mientras que la solución 3 obtuvo 2 puntos (suficiente).

En la solución 1, las manzanas son vertidas directamente a la zona de remojo, lo cual no es muy seguro, pues la persona puede entrar en contacto con algún sensor y agua. De esta manera, la solución 1 obtuvo 2 puntos en el criterio de seguridad, mientras que las soluciones 2 y 3 obtuvieron 3 puntos.

El mantenimiento y limpieza de la solución 2 toma más tiempo y personal, debido a que las cerdas que cubren a los rodillos del transportador deben limpiarse y cambiarse. En cambio, las soluciones 1 y 2 no cuentan con cepillos. Por tal motivo, las soluciones 1 y 2 tienen 3 puntos, mientras que la solución 3 tiene 2 puntos.

Tabla 8

Evaluación del valor técnico de los conceptos de solución

| EVALUACIÓN DE CONCEPTOS DE SOLUCIÓN | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| Valor Técnico Xi | | | | | | | | |
| Proyecto: Diseño de máquina automática para lavar manzanas | | | | | | | | |
| p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI 2225) | | | | | | | | |
| 0 = No satisface, 1 = Regular, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) | | | | | | | | |
| g: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación | | | | | | | | |
| Criterios de evaluación para diseño en fase de concepción o proyecto | | | | | | | | |
| Variantes de concepto/Proyecto | | | SOL 1 | | SOL 2 | | SOL 3 | |
| N | Criterio de Evaluación | G | P | GP | P | GP | P | GP |
| 1 | Función principal | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 3 | 30 |
| 2 | Uso de recursos (agua, energía) | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 3 | 15 |
| 3 | Seguridad | 5 | 2 | 10 | 3 | 15 | 3 | 15 |
| 4 | Mantenimiento | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 |
| Puntaje Máximo | | 92 | | | | | | |
| Valor Técnico Xi | | | 0.37 | | 0.42 | | 0.72 | |
| Orden | | | 3 | | 2 | | 1 | |

3.5.2. Evaluación económica

En la tabla 9 se presenta la evaluación de los criterios económicos para cada concepto solución. El costo de tecnología no se consideró como un criterio debido a que las tecnologías utilizadas, como cámaras y sensores, tienen costos similares en las tres soluciones. A continuación, se explica el peso asignado a cada criterio:

- Costo de Fabricación: Tiene un peso de 3 porque los materiales a utilizar deben ser aptos para estar en contacto con los alimentos y la fabricación no debe permitir filtración de agua.
- Costo de Mantenimiento: Tiene un peso de 3 debido a que las superficies de la máquina en contacto con las frutas tendrán una limpieza diaria.

Tabla 9

Evaluación del valor económico de los conceptos de solución

| EVALUACIÓN DE CONCEPTOS DE SOLUCIÓN | | | | | | | | |
|--|------------------------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| Valor Económico Yi | | | | | | | | |
| Proyecto: Diseño de máquina automática para lavar manzanas | | | | | | | | |
| p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de Valores según VDI 2225) | | | | | | | | |
| 0 = No satisface, 1 = Regular, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) | | | | | | | | |
| g: Peso ponderado y se da en función a la importancia de los criterios de evaluación | | | | | | | | |
| Criterios de evaluación para diseño en fase de concepción o proyecto | | | | | | | | |
| Variantes de concepto/Proyecto | | | SOL 1 | | SOL 2 | | SOL 3 | |
| N | Criterio de Evaluación | G | P | GP | P | GP | P | GP |
| 1 | Costo de Fabricación | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | Costo de Mantenimiento | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 2 | 6 |
| Puntaje Máximo | | 16 | | | | | | |
| Valor Técnico Yi | | | 0.75 | | 0.69 | | 0.5 | |
| Orden | | | 3 | | 1 | | 2 | |

De la figura 30 se concluye que la solución 3 es la óptima, puesto que las tres soluciones evaluadas tienen un valor económico similar, mientras que el valor técnico de la solución 3 es el mayor.

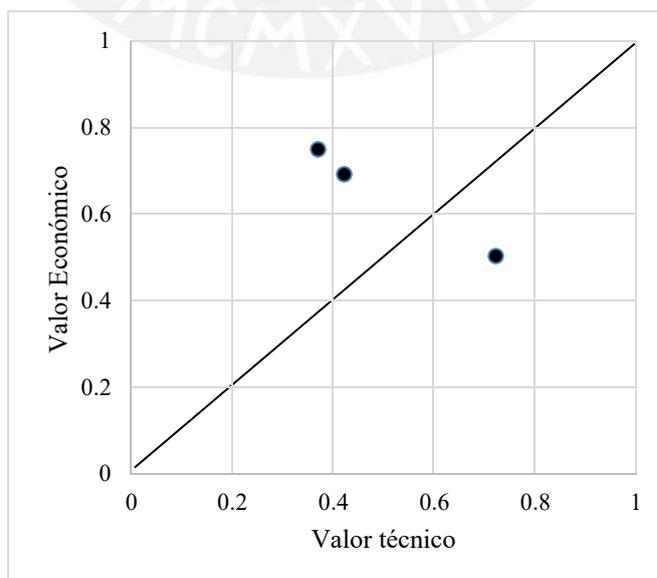


Figura 30. Gráfico técnico-económico de las propuestas de solución

Capítulo 4

Diseño Conceptual

El usuario gira el interruptor de encendido en el panel de control de la caja de pasos para encender la máquina. Asimismo, la caja contiene la pantalla, el botón de emergencia y los botones de iniciar, pausar, detener y vaciar zona de remojo. Si el operario emite la instrucción de pausa todos los actuadores y los sensores son desactivados. En la pantalla se puede visualizar el estado de la máquina y alertas. En la figura 31 se muestra la interfaz con el usuario.

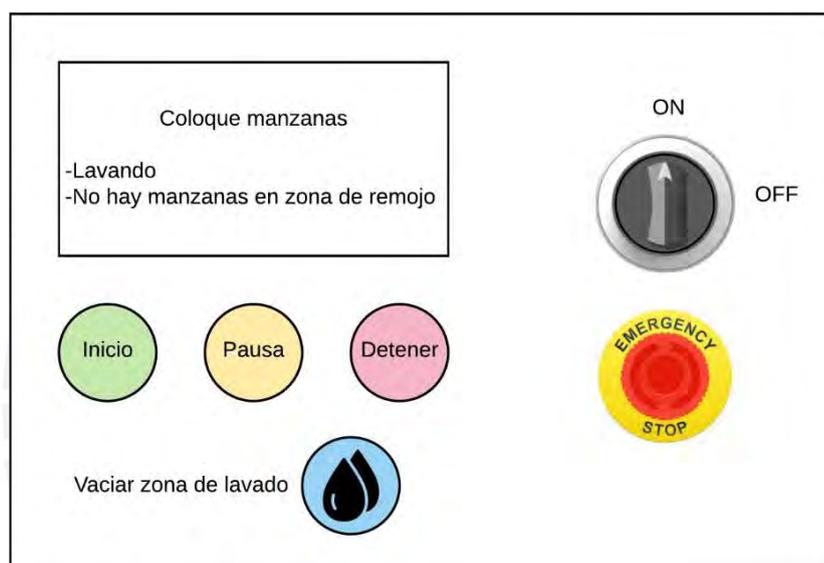


Figura 31. Interfaz de usuario

A continuación, se brindan detalles de las zonas de filtrado, remojo, transporte y lavado del diseño conceptual. En la figura 32 se señalan los componentes del diseño de la máquina dividida en las zonas mencionada.

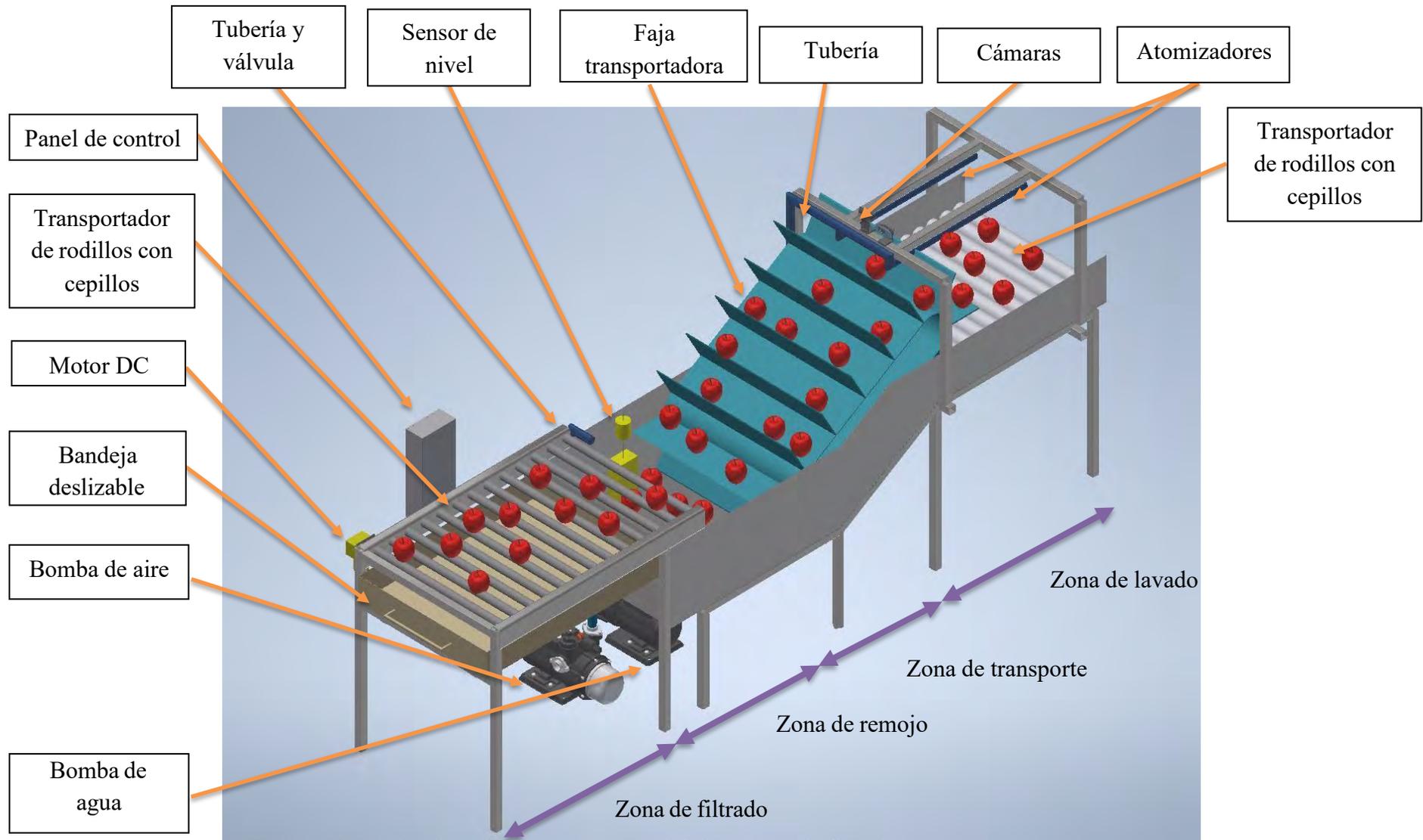


Figura 32. Modelado del diseño conceptual de las zonas de filtrado, remojo, transporte y lavado

4.1. Zona de filtrado

Cuando el usuario da la instrucción de inicio, se bombea agua desde una toma mediante tuberías hasta el recipiente de remojo. El flujo de agua se detendrá cuando el valor medido por el sensor de nivel sumergible mecánico coincida con el valor deseado. Seguidamente, se emite el mensaje “Coloque las manzanas” en la pantalla y se activa el transportador de rodillos y el usuario vacía el contenido de la cosechera en el extremo inicial del transportador. La altura seleccionada de este transportador es 750mm con base en la Norma Básica de Ergonomía.

Las hojas, pedúnculos y manzanas con diámetro menor a 40mm caen a través de las separaciones entre rodillos y son almacenadas en una bandeja extraíble. Las manzanas con un diámetro mayor a 40mm, completan el recorrido a través del transportador de 900mm de longitud. Al terminar la jornada se extrae la bandeja y se descartan los desechos. En la figura 38 se muestra el modelado de la zona de filtrado y sus partes.

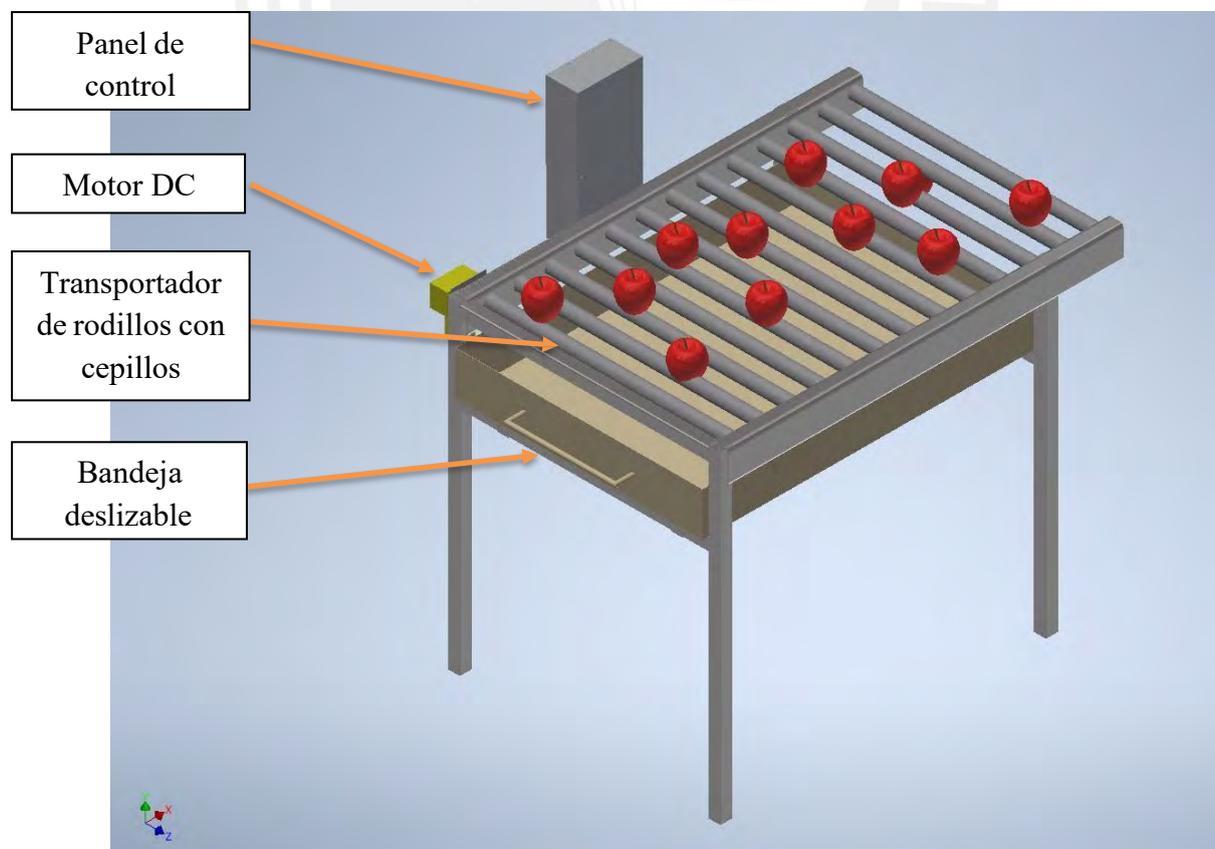


Figura 33. Modelado de la zona de filtrado

4.2. Zona de remojo

Luego de transitar por el transportador de rodillos, las manzanas caen en un recipiente de remojo. En la cara del recipiente más cercana a la zona de remojo existe un inyector de aire. El flujo de aire que este emana cumple tres funciones: primero, permite que las manzanas se mojen por completo; segundo, mueve las manzanas hacia la siguiente etapa y; tercero, empapa hojas y pedúnculos restantes para que se hundan y lleguen hasta la cesta enmallada donde serán almacenados.

El sensor sumergible que indica cuando el nivel de agua. Además, una cámara permite reconocer la presencia de manzanas en la zona de remojo. Así, cuando no hay manzanas, el inyector de aire se detiene. Por otro lado, en el panel de usuario se encuentra un botón “vaciar zona de remojo”, de manera que el usuario puede realizar esta operación independientemente del proceso de la máquina. Cuando el usuario presiona este botón, se abre la electroválvula que permite el flujo del agua de la zona de remojo al desagüe. Posteriormente, la cesta enmallada podrá ser retirada y vaciada. En la figura 34 se muestra el modelado de la zona de remojo y sus partes.

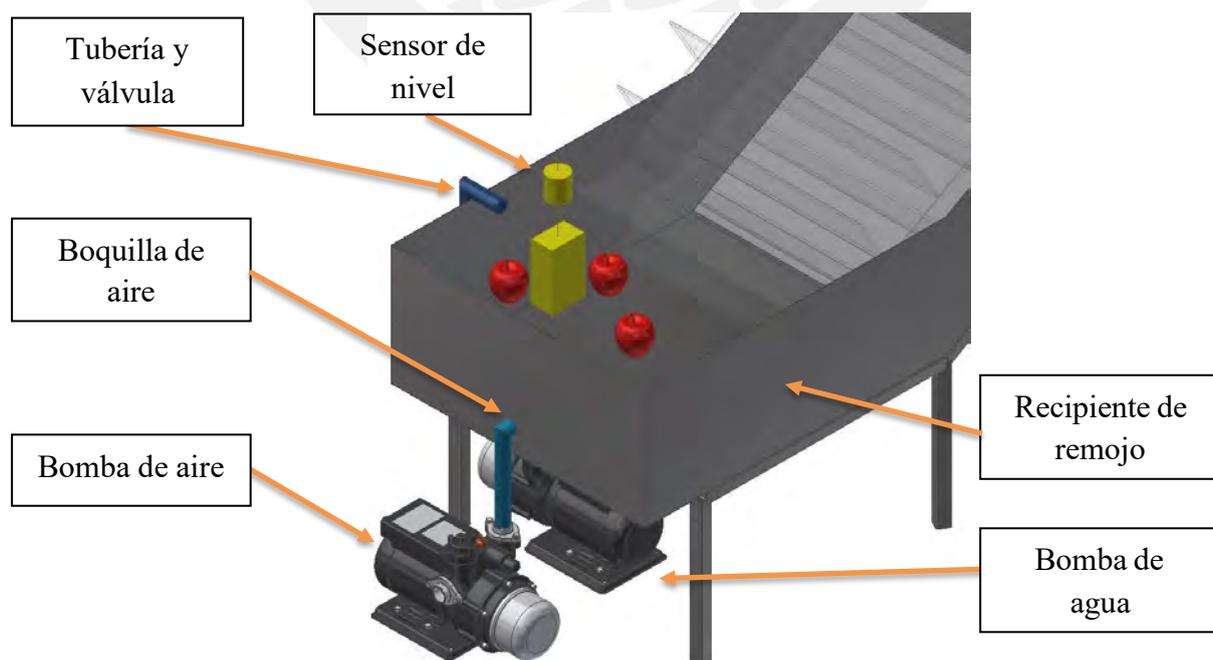


Figura 34. Modelado de la zona de remojo

4.3. Zona de transporte

Luego de ser remojadas, las manzanas son extraídas del recipiente por un transportador de paletas enmalladas que eleva a las manzanas sobre la altura del líquido. Este transportador se activa de forma automática cuando la cámara detecta la presencia de manzanas en la zona de remojo. En la figura 35 se muestra el modelado de la zona de transporte.

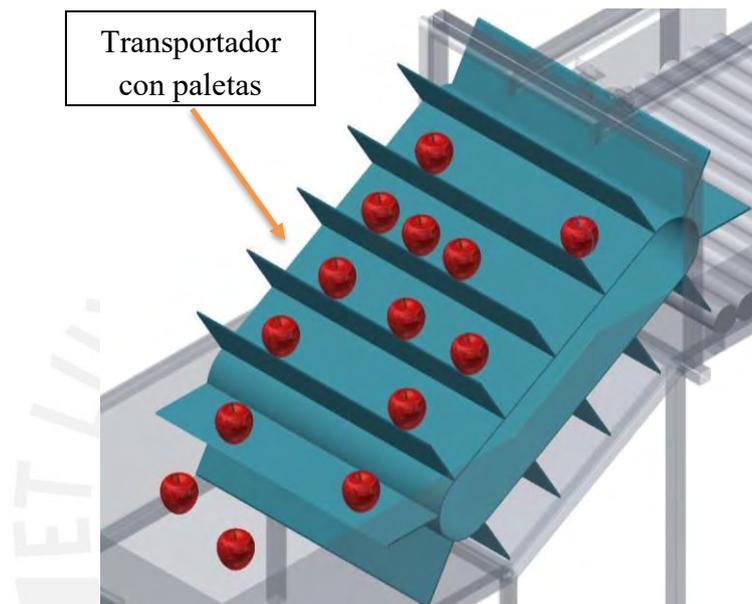


Figura 35 Modelado de la zona de transporte

4.4. Zona de lavado

La zona de lavado consiste en un transportador de rodillos envueltos en cepillos que retiran la tierra de las manzanas gracias a la fricción. En esta zona también se encuentra la estructura que sostiene la tubería y rociadores. El agua que cae luego de enjuagar las manzanas se dirige al recipiente de remojo. En la figura 36 se muestra el modelado de la zona de remojo y sus partes.

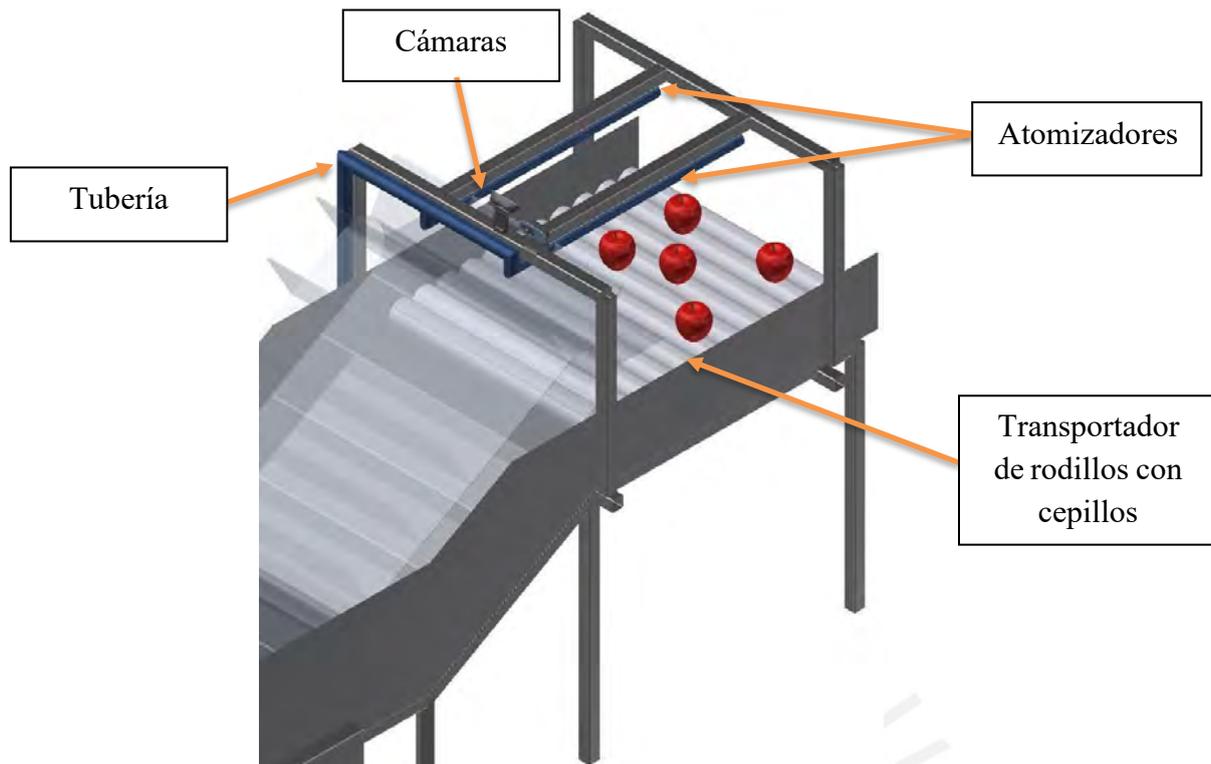


Figura 36. Modelado de la zona de lavado

5.1. Diagrama de operaciones

Cuando el operario presiona inicio, se bombea agua al recipiente de remojo hasta que el valor medido por el sensor de nivel sumergible mecánico sea el deseado, se activa el transportador de la zona de filtrado y se muestra el mensaje “Listo para recibir manzanas” en la pantalla. El usuario vierte las jabas de manzanas en el transportador de rodillos de la zona de filtrado, los desechos como hojas pedúnculos o manzanas muy pequeñas caen en una bandeja extraíble. Luego las manzanas caen en el recipiente con agua de la zona de remojo. El sistema de burbujeo de esta zona ayuda a que las manzanas se empapen por completo y mueve las manzanas hacia la siguiente zona. En la zona de transporte, se encuentran cangilones que retiran las manzanas del recipiente con agua y las colocan en el transportador de la zona de lavado. La zona de lavado incluye un transportador de rodillos con cepillos y aspersores. El operario espera en la zona final de la máquina y recoge las manzanas mientras salen de la máquina. Presiona “Vaciar zona

de remojo” cada vez que desea renovar el agua del recipiente de remojo. Finalmente detiene el proceso y vacía la bandeja de desechos. Se elaboró el diagrama de operaciones del sistema, mostrado en la figura 37.

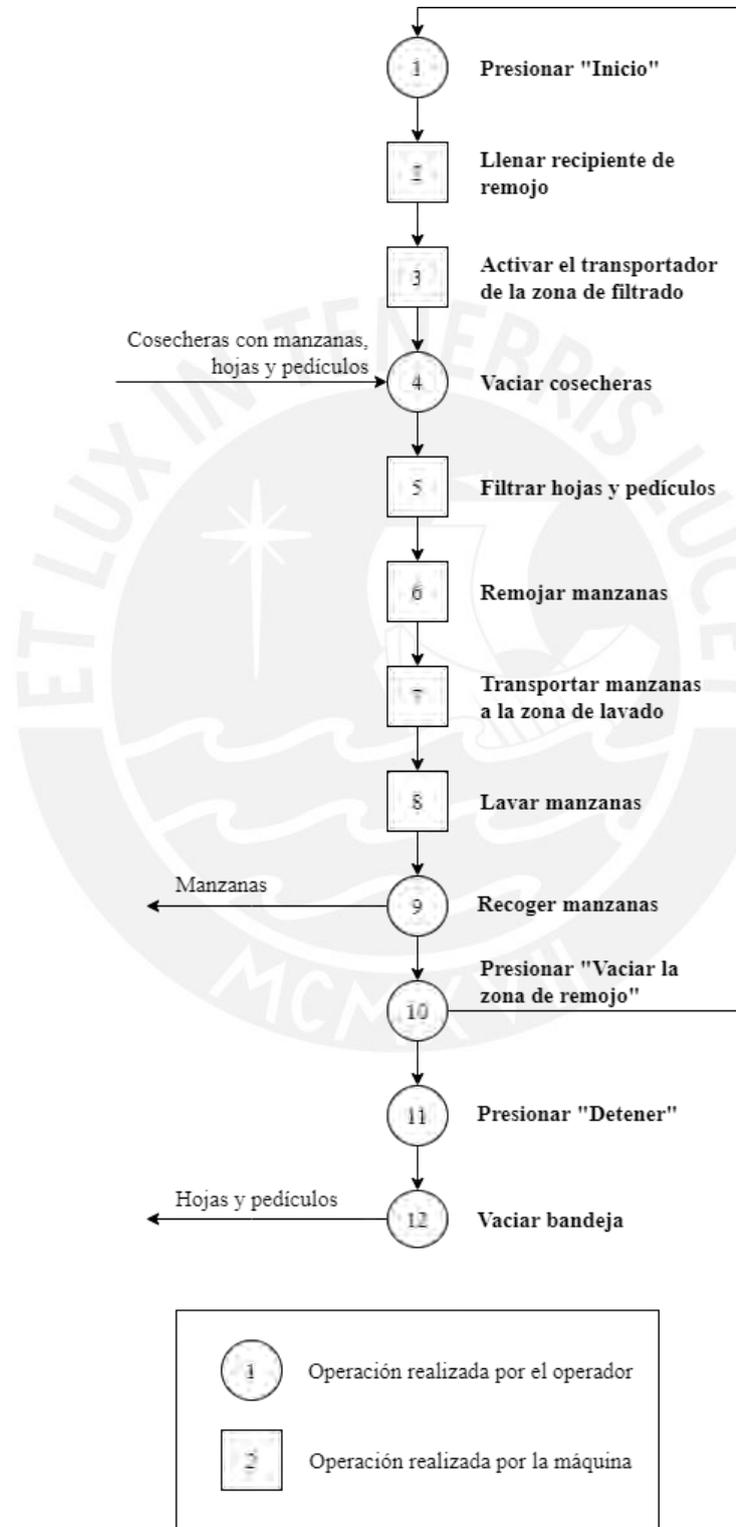


Figura 37. Diagrama de operaciones del sistema

CONCLUSIONES

Se consiguió realizar un diseño conceptual de una máquina automática de lavado de manzanas, siendo este el objetivo principal del presente trabajo.

En la presente investigación se analizó la problemática de la ausencia de máquinas comerciales de lavado de manzanas que se ajusten a la producción peruana, por lo que se propuso diseñar una máquina con un procesamiento de 3 000 manzanas por hora.

Luego de analizar y comparar productos y tecnologías de lavado automático de manzanas, se concluye que los sistemas de flujo de burbujas de aire mantienen los frutos sumergidos; que las cintas transportadoras pueden extraer la fruta de los tanques; y que el uso de rociadores y cepillos permiten la extracción de residuos impregnados en las frutas.

Se investigó la importancia nutricional de las manzanas y sus propiedades mecánicas. De lo que se obtuvieron los límites de fuerza (177N), presión (17.7 MPa) y altura de caída (según el material) que preservan la calidad de las manzanas en el procesamiento de lavado.

Acorde a la metodología elegida, se propusieron conceptos de solución con base en los requerimientos de la máquina, la estructura de funciones y matriz morfológica presentados en el capítulo 3. Asimismo, se consideró una altura de 745mm para el área de vertido con base en la Norma Básica de Ergonomía.

El diseño conceptual de la máquina automática para lavado de frutas presentado incluye un transportador de rodillos que permite la caída de hojas y pedúnculos en una bandeja extraíble, una zona de remojo con inyección de aire y una zona de lavado con rodillos cubiertos con cepillos y rociadores de agua. Se colocaron cámaras para verificar la presencia de manzanas en la zona de remojo y en la zona de lavado. Además, la propuesta de interfaz de usuario presenta botones y mensajes simples acerca del estado de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

- Abu Sabbah, S. (2013, diciembre 23). *La manzana y sus beneficios para la salud*. Recuperado de <https://rpp.pe/lima/actualidad/la-manzana-y-sus-beneficios-para-la-salud-noticia-657139>
- Barreto, F., Ortiz, B., & Restrepo, L. (2012). Estudio De Los Efectos De La Pectina Sobre El Metabolismo De Lípidos Y Glucosa (Ensayo in Vitro). *Vitae*, 19(1), S306–S308. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914094.pdf>
- Calvo, P. C. (2013). Manzana: Winter Banana. Recuperado el 6 de octubre de 2019, de <https://inta.gob.ar/documentos/manzana-winter-banana>
- Caycho, A., Machaca, J., Yataco, V., & Sawada, C. (2013). *Planeamiento Estratégico de la Manzana Allan Oscar Caycho Rivas Jessica Araceli Machaca Legua*.
- Congreso de la República. (2008). Decreto legislativo 1062, que aprueba la ley de inocuidad de los alimentos. *Ley de inocuidad*, p. 7. Recuperado de <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/DecretosLegislativos/01062.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2011). FAOSTAT. Recuperado el 30 de agosto de 2019, de <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Glycemic Index Foundation. (s/f). Why follow a Low GI Diet?
- Harvard Medical School. (2013). A good guide to good carbs : The glycemic index. Recuperado el 27 de octubre de 2019, de October 12, 2013 website: <https://www.health.harvard.edu/healthbeat/a-good-guide-to-good-carbs-the-glycemic-index>
- Jedrychowski, W., & Maugeri, U. (2009). An apple a day may hold colorectal cancer at bay: Recent evidence from a case-control study. *Reviews on Environmental Health*, 24(1), 59–74. <https://doi.org/10.1515/REVEH.2009.24.1.59>
- Kamas, J., Nesbitt, M., & Stein, L. (2017). *Texas Fruit & Nut Production: Apples*. Recuperado de <http://counties.agrilife.org/galveston/files/2012/03/Fruit-Nut-Production-Apples.pdf>
- León Carrasco, J. C. (2017). Perú no cuenta con una nueva variedad de manzana hace más de 40 años. Recuperado de <https://agraria.pe/noticias/peru-no-cuenta-con-una-nueva->

variedad-de-manzana-13741

Lewis, D. (1995). *Patent Núm. US7467638*. Estados Unidos.

Malus domestica - EcuRed. (s/f). Recuperado el 28 de octubre de 2019, de https://www.ecured.cu/Malus_domestica

Mamani Crispín, P. L., Ruiz Caro, R., & Veiga, M. D. (2012). Pectina: Usos farmacéuticos y aplicaciones terapéuticas. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 78(1), 82–97.

Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, 17(6), 271–278.

Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2008). *Resolución ministerial 375-2008-TRA, que aprueba la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico*. Lima.

Morris, D., & Cockrill, L. (1933). *Patent Núm. US1932827*. Estados Unidos.

National PLant Germplasm. (s/f). Malus domestica (Suckow) Borkh. Recuperado de <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/accessiondetail.aspx?id=1208689>

Ninyerola, M., & Muñoa, G. (2016). Manzano (Malus domestica). Recuperado el 27 de octubre de 2019, de http://www.fenodato.net/especies/?specie_id=malus_domestica

Ochoa, M. R. G. (2005). Optimización de la deshidratación de rodajas de manzana en función de la densidad y porosidad. *Universidad Nacional Agraria De La Selva*, 14–15.

Recuperado de

[https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/E COEFICIENCIA EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO .pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/E%20COEFICIENCIA%20EN%20LA%20MUNICIPALIDAD%20PROVINCIAL%20DE%20LEONCIO%20PRADO.pdf)

Palomo G., I., Antonio Yuri S., J., Moore-Carrasco, R., Quilodrán P., Á., & Neira E., A. (2010). El consumo de manzanas contribuye a prevenir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: Antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Revista Chilena de Nutrición*, 37(3), 377–385.

- Polanco Zambrano, D. A. (2017). Manzana: características, propiedades y tipos. Manzano árbol, su cultivo. Recuperado el 6 de octubre de 2019, de <https://naturaleza.paradais-sphynx.com/plantas/tipos-de-frutas/manzana-propiedades-tipos-manzano-arbol.htm>
- Poretti, W. (1983). *Patent Núm. EP0087649A1*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Stamm, G. (1916). *Patent Núm. 1205117*. Estados Unidos.
- U.S. Department of agriculture. (2019). Apples, raw, with skin (Includes foods for USDA's Food Distribution Program). Recuperado el 27 de octubre de 2019, de <https://nutritiondata.self.com/facts/fruits-and-fruit-juices/1809/2>
- University of Sydney. (2011). *About Glycemic Index*. 2. Recuperado de <http://www.glycemicindex.com/about.php>
- Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant activity of apple peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 609–614. <https://doi.org/10.1021/jf020782a>
- Yuri, J. A. (2006). Russet en pomáceas. Recuperado el 23 de noviembre de 2019, de http://pomaceas.utralca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletin_N06_5.pdf