

03-039

Design of an integrated system for cleaning and inspecting strawberries

F. Cavas; D. Parras; J.C. Pérez; F.J.F. Cañavate; D.G. Fernández-Pacheco

Universidad Politécnica de Cartagena;

Current factories dedicated to food products, and especially those that handle agricultural products, need a system to remove a great amount of unwanted elements (sand, roots, insects, etc.), as well as products in bad state. This kind of systems is used at the beginning of the production lines. In particular, in the case of companies aimed at processing strawberries, several machines are used to achieve this objective: two rafts at different height, where the cleaning process is carried out, and an inspection belt, where defective products are discarded. At present, this system presents several problems, as product blocking when transferring from machine to machine, a high energy consumption, or the great space required for all the machines. For these reasons, the present communication proposes the design of an integrated system for cleaning and inspecting strawberries to be able to integrate the described functions in a unique machine, being this system also applicable to other fruits and vegetables.

Keywords: 3D modelling; production line; inspection belt; fruit

Diseño de un sistema integral para la limpieza e inspección de fresas

En la actualidad las fábricas dedicadas a productos alimentarios, y en especial aquellas que tratan con productos procedentes del campo, necesitan de un sistema que les permita eliminar una cantidad elevada de elementos no deseados (arena, raíces, insectos, etc.), así como productos que se encuentren en mal estado. Este tipo de sistemas se utilizan al principio de las líneas de producción. Concretamente en el caso de las empresas destinadas a procesar fresa, se suelen emplear varias máquinas para alcanzar este objetivo: dos balsas a diferente altura, donde se lleva a cabo el proceso de limpieza, y una cinta de inspección, donde se descartan los productos defectuosos. Este sistema presenta varios problemas en la actualidad, como el atranque del producto en el trasiego de una máquina a otra, un elevado consumo energético, así como el gran espacio requerido por las distintas máquinas. Por estos motivos, en la presente comunicación se propone el diseño de un sistema integral para la limpieza e inspección de fresa que sea capaz de integrar en una única máquina las funciones descritas, siendo utilizable este sistema también con otras frutas y verduras.

Palabras clave: Modelado 3D; línea de producción; cinta de inspección; fruta

Correspondencia: Francisco Cavas Martínez francisco.cavas@upct.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1 Introducción.

En las empresas relacionadas con la industria alimentaria, más concretamente en aquellas dedicadas al sector de frutas y verduras, existe una problemática con los productos obtenidos directamente del campo. En este tipo de fábricas se procesa una cantidad elevada de elementos no deseados como arena, raíces, insectos, etc. y de productos en mal estado no aptos para el consumo que es necesario separar del producto que se va a comercializar (Constante Prócel y Gordón Garcés, 2015; Ivars, 2001; Pencue y León-Téllez, 2003).

Esta comunicación se centra en aquellas industrias destinadas a la recolección y procesado de fresas donde se utilizan diferentes tipos de maquinaria para separar el producto de los elementos no deseados (Constante et al., 2016). El objetivo de este trabajo ha sido el diseño y desarrollo de una sola máquina, basada en los principios de línea de producción, que sea capaz de tratar el producto desde que es recogido del campo hasta que se introduce en una caja para su traslado y posterior proceso de producción. Con este diseño se pretende una reducción considerable del espacio que ocupan este tipo de maquinaria y una reducción del consumo de energía eléctrica.

2 Metodología

El proceso completo de diseño y desarrollo de un producto comprende seis etapas principales: definición estratégica, diseño de concepto, diseño de detalle, construcción de prototipos, producción y comercialización. Esta comunicación se centra en las tres primeras etapas de este proyecto.

2.1 Definición estratégica

Actualmente en el mercado se recurre a diferentes tipos de maquinaria para procesar el producto recolectado y eliminar la gran cantidad de elementos no deseados y de productos en mal estado. Se suele recurrir a conjuntos de balsas de agua, elevadores y cintas de inspección para completar todo el proceso de limpieza. A continuación, se muestra una revisión de este tipo de sistemas.

- **Conjunto de balsas:** está formado por dos balsas a diferente altura a través de las cuales el producto avanza, dejando en la primera balsa el grueso de suciedad que contiene el producto (Fig. 1). El avance entre balsas se produce por medio de una recirculación de agua, la cual se consigue por medio de una bomba centrífuga que coge agua de la balsa inferior y la suministra a la balsa superior. Antes de volver a la balsa, esta agua pasa por un filtro para eliminar posibles sustancias que contenga.

Figura 1. Conjunto de balsas.



- **Elevador:** este componente posee como función principal llevar a cabo un primer cribado de la suciedad y elementos no deseados, a la vez que eleva el producto (Fig. 2). Esto lo consigue utilizando como soporte del elevador unos rodillos separados por una pequeña distancia por la cual los elementos no deseados se cuelan, ayudados por un chorro de agua que va enfocado hacia el producto. El giro de los rodillos se realiza gracias a una banda de silicona fija bajo ellos que los obliga a girar por fricción cuando éstos pasan por encima. En los extremos de los rodillos se colocan tapones de polietileno, nylon o cualquier material similar. A su vez, éstos van sujetos a los pivotes de la cadena que proporciona el movimiento de avance.

Figura 2. Elevador.



- **Cinta de inspección:** esta parte se encarga del transporte e inspección del producto a procesar. Consiste en un sistema de transporte continuo formado por una banda de tapiz o lona que se mueve entre dos tambores (Fig. 3). Se suele incorporar iluminación en su parte superior para facilitar la inspección ocular del producto. Para el desperdicio o desecho de los productos se puede colocar debajo una segunda cinta de transporte más estrecha que enlaza con la primera mediante la caída de una tolva a su alrededor donde el operario arroja el producto en mal estado. Ambas cintas realizan el transporte mediante la fricción de la banda con los tambores. Estos son accionados por un motor-reductor, mientras que los tambores de retorno giran sin ningún tipo de accionamiento.

Figura 3. Cinta de inspección.



2.2 Diseño conceptual

2.2.1 Requisitos de diseño

Después de analizar este tipo de maquinaria utilizada actualmente en el mercado, se destacan los principales problemas encontrados:

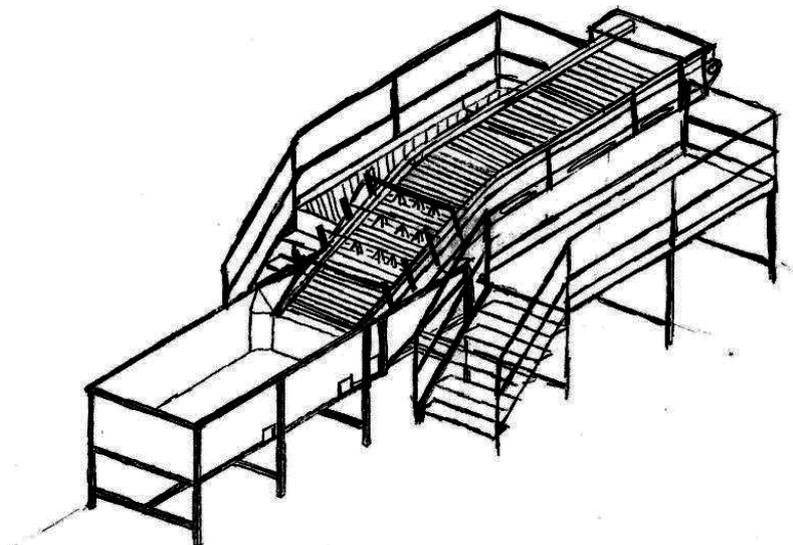
- Atrancamiento del producto en el trasiego de una máquina a otra.
- Consumo elevado de energía eléctrica.
- Necesidad de un gran espacio.

Por estos motivos, se propone diseñar un sistema integral para la limpieza e inspección de fruta que sea capaz de realizar los procesos de limpieza e inspección que se han mencionado anteriormente sin requerir para ello de tres máquinas distintas, todo ello reduciendo el precio del conjunto y resolviendo los principales problemas que surgen al utilizar diferentes sistemas.

2.2.2 Bocetos

En la fase conceptual de diseño se promueve la creatividad del equipo de trabajo, formado por diseñadores e ingenieros que mediante diferentes procesos de búsqueda de ideas obtienen soluciones al problema planteado (Keller et al., 2012). En la figura 4 se puede observar el boceto final del diseño donde se han conseguido fusionar los conceptos de las tres máquinas analizadas.

Figura 4. Boceto final del diseño.



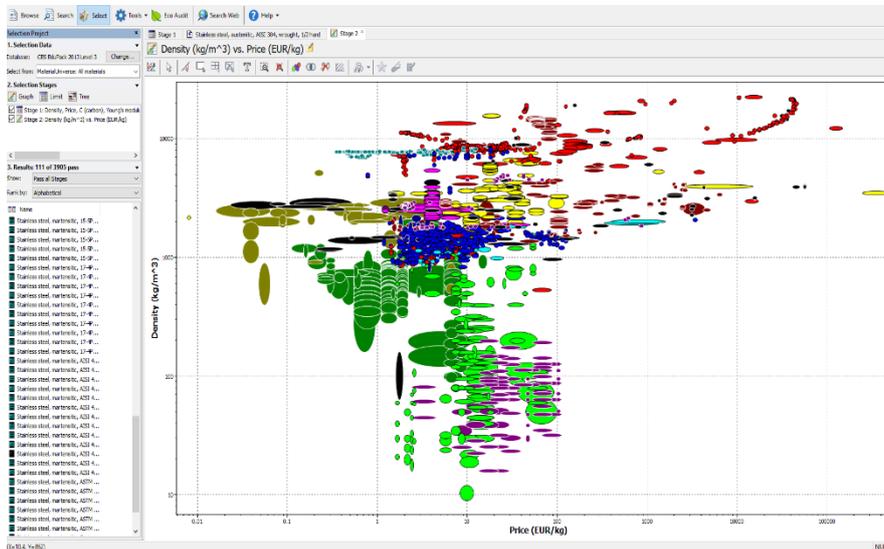
2.2.3 Estudio de materiales

Los elementos analizados en este estudio son el chasis que soporta la balsa y la propia balsa. El chasis debe ser resistente y lo más ligero posible, por tanto, los materiales más adecuados a este propósito son el acero inoxidable y el acero estirado. El acero estirado es un material más económico, pero no se puede utilizar en la industria alimentaria por su alto grado de oxidación, por tanto, el material más idóneo en este caso es un acero inoxidable. Para la búsqueda del acero inoxidable más adecuado se recurre al programa CES EduPack 2013.

En primer lugar, se identificaron los requisitos mínimos necesarios del material, debía ser resistente y soportar las distintas condiciones que se dan en el entorno de trabajo sin sufrir

daños y, todo ello, sin tener un precio excesivo. En cuanto al precio, se debía tener en cuenta tanto el propio valor del material como el del mecanizado del diseño requerido.

Figura 5. Material Densidad vs Precio.



El segundo paso fue establecer los límites para descartar los materiales menos adecuados. Se determinan estos límites teniendo en cuenta valores de densidad, resistencia elástica, resistencia a la tracción de un acero estructural. Se estable un módulo de Young entre 190 y 210 Gpa, densidad no superior a 9000 kg/m³ y precio no superior a 5€/kg. Otra de las características que se requiere es que sea resistente a la corrosión, sobre todo a los ácidos que contiene la fruta.

El software seleccionó varios aceros inoxidables: AISI 216, AISI 304 y AISI 316 que tras analizarlos se descartó en primer lugar, el AISI 216 por no tener fácil comercialización; el AISI 304 y AISI 316 son aceros de los más comercializados, por lo que no existirían problemas para adquirir cualquiera de los dos. El AISI 316 es más resistente a la corrosión, pero a su vez es más caro. Finalmente, se elige el AISI 304 que para las condiciones de trabajo definidas es óptimo y más económico.

2.2.4 Reglamentación industrial aplicada

Las normas y reglamentos que se han tenido en cuenta para el diseño y desarrollo de este proyecto son:

- R.D. 1644/2008, que transpone la Directiva Europea de Seguridad en las Máquinas 2006/42, y cumple con los requisitos de seguridad y salud, expuestos en el anexo I de la citada legislación.
- La directiva 2006/95/CE sobre seguridad eléctrica.
- R.D. 1580/2006, que transpone la directiva sobre Compatibilidad Electromagnética 2004/108/CE.
- UNE-EN 13861:2003 Seguridad de las máquinas. Guía para la aplicación de las normas sobre ergonomía al diseño de máquinas.
- UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.

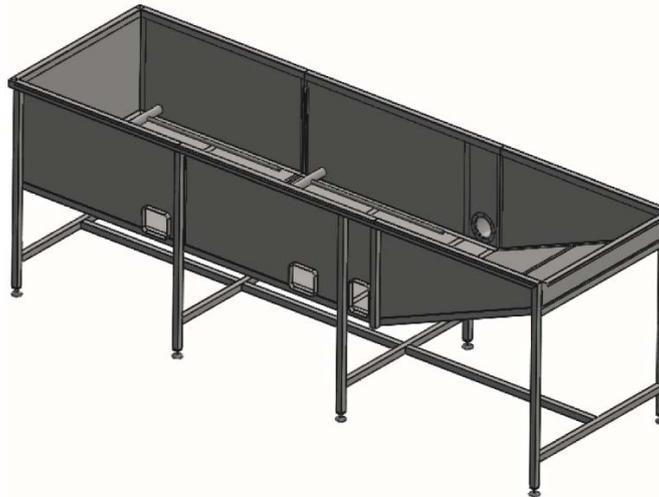
2.3 Diseño de detalle

Para el diseño del sistema integral de limpieza e inspección de fresa se llevó a cabo el estudio y modelado de varios componentes según su funcionalidad, estando estructurados en cinco elementos principales: balsa del elevador, elevador, chasis, transmisión de potencia y bancada de inspección.

2.3.1 Balsa del elevador.

La balsa del elevador consta de un chasis formado por tubo cuadrado 50x50x1,5 mm de acero inoxidable A-304 y una balsa fabricada en chapa de 1.5 mm de espesor en acero inoxidable A-304.

Figura 6. Balsa.



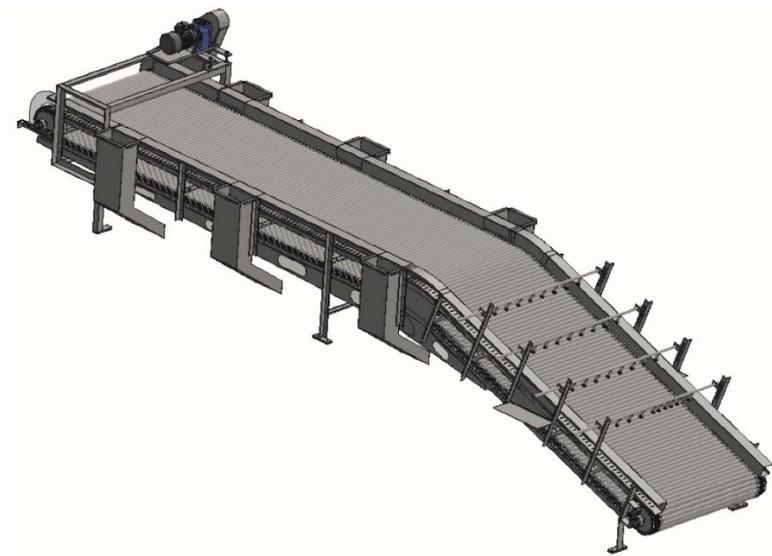
Tal y como se puede apreciar en la figura 6, la balsa dispone de tres cavidades rectangulares en las cuales se incorporan tres "puertas rectangulares" que permitirán limpiar toda la suciedad de la balsa al finalizar el día.

En el lado opuesto a las puertas se dispone de un orificio circular por donde el agua llega a un filtro que permite eliminar la suciedad que pudiera contener el agua, siendo después impulsada otra vez a la balsa por medio de una bomba. De esta manera el agua está en continua recirculación, creando una corriente de agua con la que se consigue que el producto avance.

2.3.2 Elevador.

Esta parte del sistema tiene como función principal hacer un primer cribado de la suciedad y elementos no deseados, a la vez que eleva el producto. Esto se consigue utilizando como soporte del elevador unos rodillos separados por una pequeña distancia a través de la cual los elementos no deseados se cuelan ayudados por un chorro de agua que va enfocado hacia el producto (Fig. 7). El giro de los rodillos se realiza gracias a una banda de silicona fija bajo ellos que los obliga a girar por fricción cuando éstos pasan por encima. En los extremos de los rodillos se colocan tapones de polietileno, nylon o cualquier material similar, y a su vez estos van sujetos a los pivotes de la cadena que proporciona el movimiento de avance.

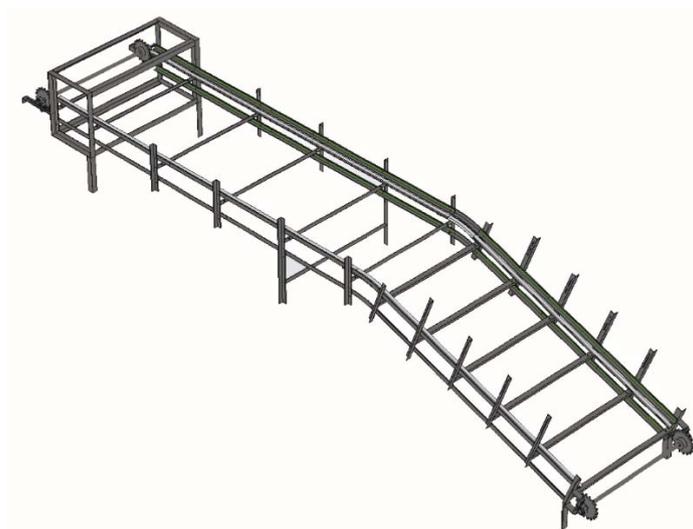
Figura 7. Elevador de rodillos completo.



2.3.3 Chasis.

El chasis del elevador está formado principalmente por un ángulo de 40x4 mm en su totalidad, excepto en los extremos de la máquina que están formados por ángulos de 50x5 mm, ya que en ellos se sujetan los soportes y el motor (Fig. 8). Dichos ángulos se unen mediante unos travesaños para dar estabilidad al conjunto. En los travesaños se instala una varilla que sirve de apoyo y regulación del perfil de silicona que hace que los rodillos que contienen la cadena puedan girar. El lateral de los ángulos por donde la cadena se desliza contiene un perfil de polietileno para evitar el contacto entre la cadena y el ángulo. De esta manera no existe excesivo desgaste de la cadena, que suele ser uno de los elementos más caros de la máquina.

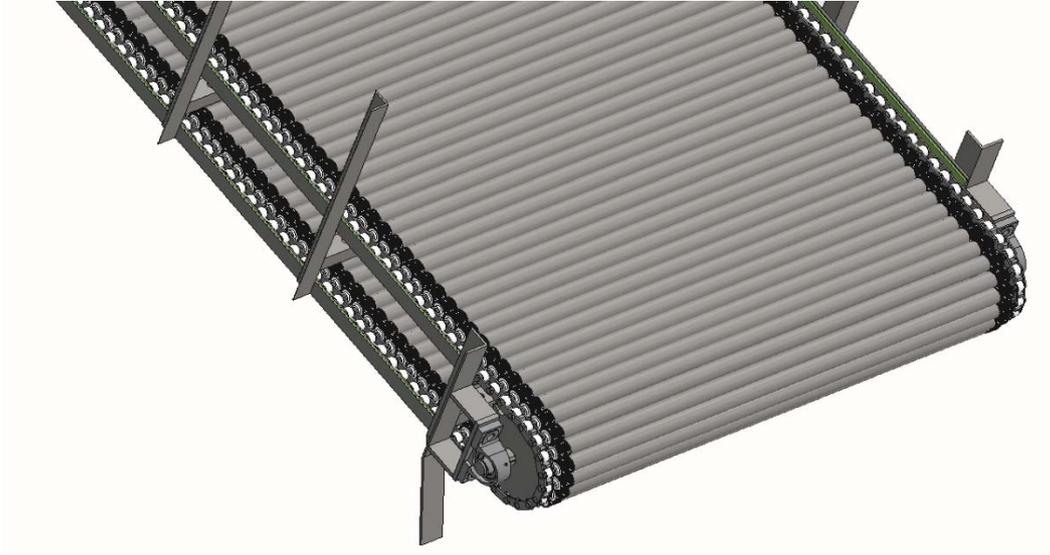
Figura 8. Chasis del elevador.



2.3.4 Transmisión de potencia.

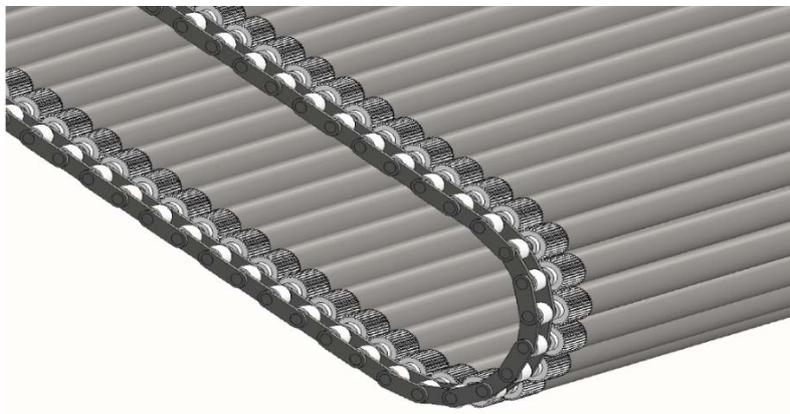
La transmisión de potencia del elevador está compuesta por (Fig. 9): cadena, piñones, soportes con rodamientos, ejes y motor.

Figura 9. Elementos de transmisión de potencia.



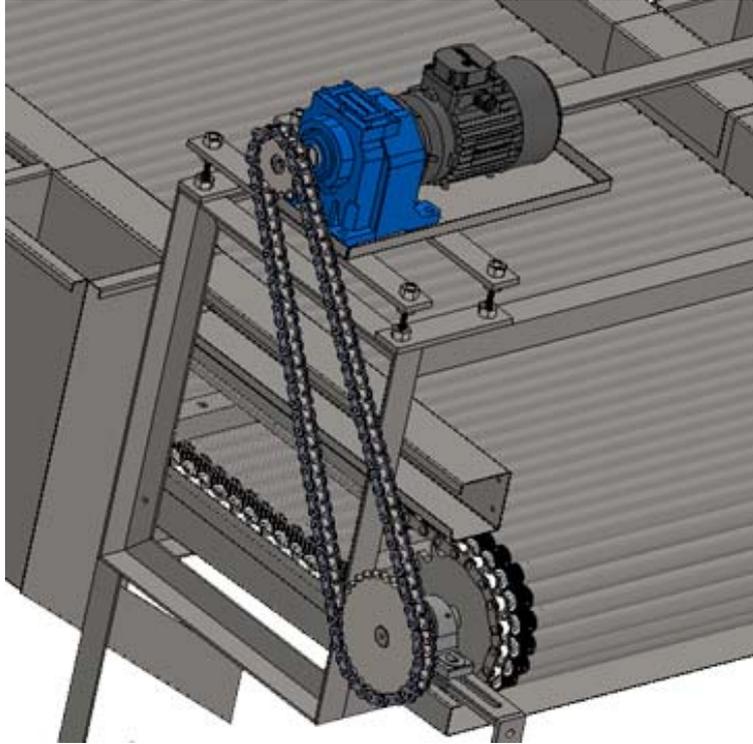
- **Soporte con rodamiento:** situados en los extremos del chasis se encuentran los soportes de los ejes del elevador. Se utilizan 4 soportes UCP 206 para un eje de 30 mm (el último número indica el diámetro del eje). Dichos soportes están fabricados en acero inoxidable y están formados por un rodamiento de bolas y un soporte para acoplarlos en su posición.
- **Cadena:** se trata de una cadena especial de paso 35, pivotes en todos los pasos de 22 mm de largo por 10 mm de diámetro, y rodillo Delrin de 14 mm de diámetro (Fig. 10). En los pivotes de la cadena se acoplan los rodillos encargados de desplazar la fruta. Estos rodillos llevan en los extremos un tapón Delrin con un moleteado para que al contacto con el perfil de silicona puedan girar y eliminar elementos no deseados.

Figura 10. Conjunto cadena y rodillos.



- **Motor:** se ha elegido un conjunto motor-reductor coaxial H042 de 1.1kW, 1500 rpm e $l=30.45$. La velocidad lineal que se tiene con este moto-reductor es de 15m/min que está dentro de los límites para una cinta de inspección.

Figura 11. Motor acoplado a la cinta.



- **Cerramientos:** en la parte inferior del elevador se ha diseñado una bandeja cuya función principal es recoger el agua que se desprende de los rodillos para después volverla a depositar en la balsa y evitar que el operario pueda meter la mano en el retorno de la cadena (Fig. 13). Cubriendo los rodillos en la parte superior se encuentra un perfil de chapa que tiene varias funciones: evitar que la cadena puede levantarse, que los operarios no metan las manos en la cadena, de apoyo para los operarios y para sujetar los cajones de desperdicio. Otro resguardo fijo es la coraza del motor y la transmisión por cadena. Para el diseño de estos resguardos se ha seguido el manual de seguridad de las máquinas.

Figura 12. Cerramientos.

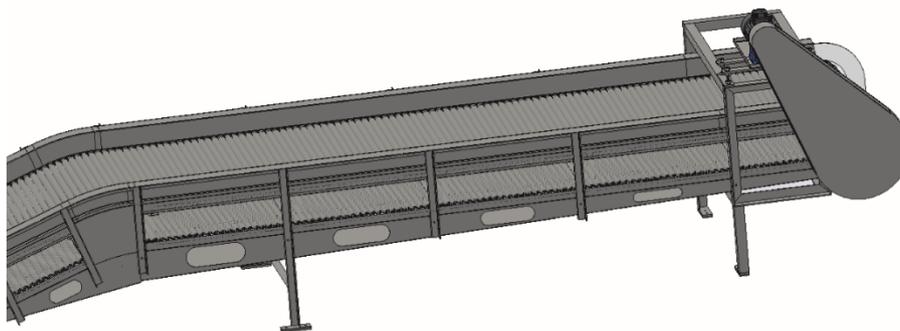
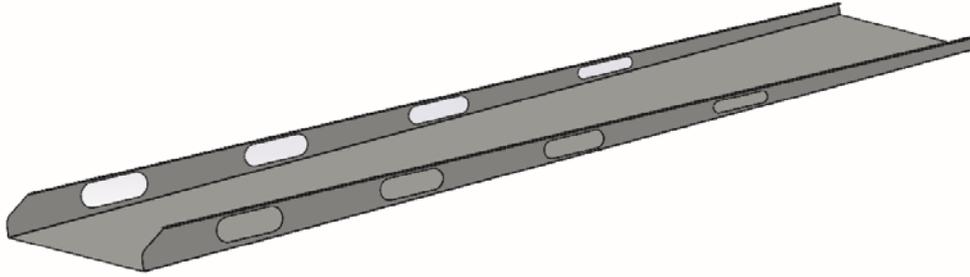


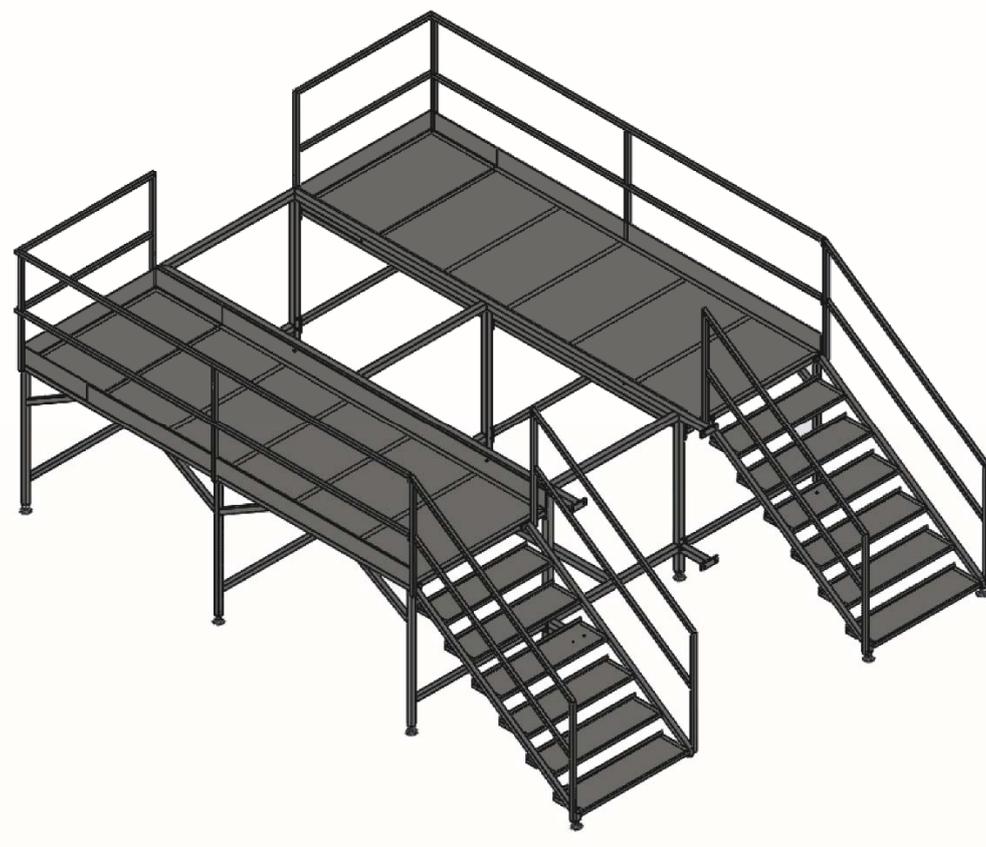
Figura 13. Bandeja para recogida de agua.



2.3.5 Bancada de inspección.

Para el diseño de escaleras, pasarelas y barandillas de la bancada de inspección (Fig. 14) se ha tenido en cuenta el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Figura 14. Plataforma de inspección.



3 Resultado final.

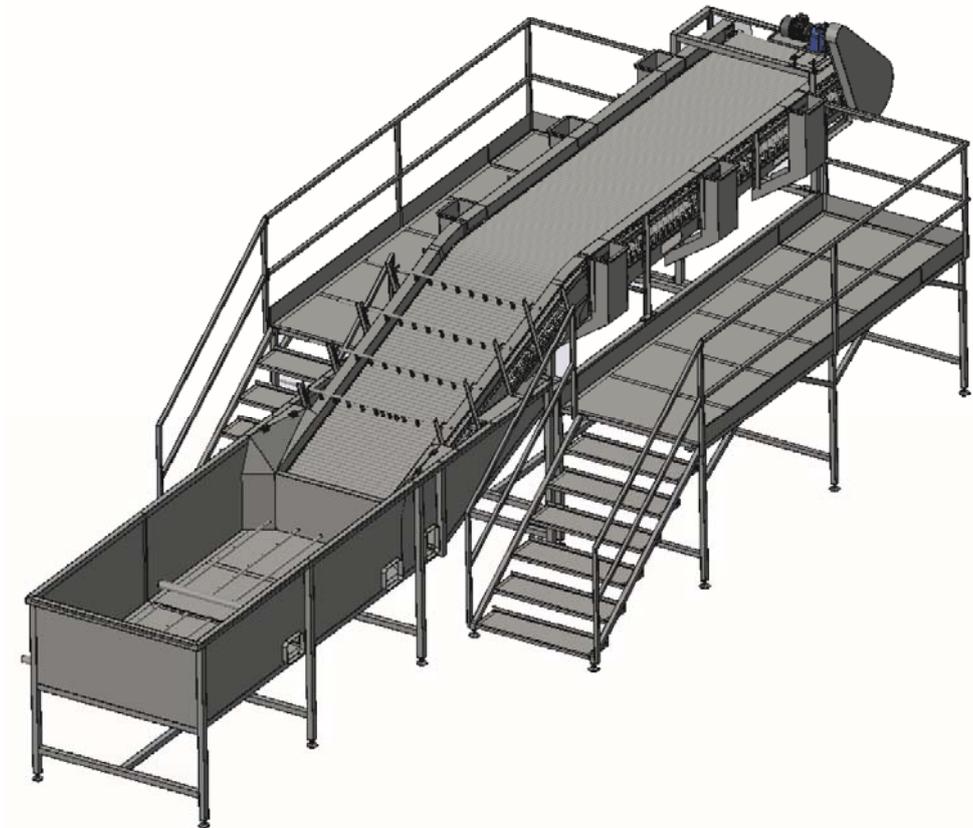
Tras ensamblar todos los componentes descritos previamente se obtiene el diseño final del sistema integral de limpieza e inspección de fresa mostrado en la figura 15.

La máquina tiene una primera zona en la cual la fresa procedente de un volteador de cajas es depositada en la balsa con agua. En esta zona comienza el proceso de lavado y eliminación de elementos procedentes del campo, como pequeños insectos y tierra que haya quedado en las raíces. El producto avanza a lo largo de la balsa por medio de una corriente de agua generada por una bomba centrífuga que hace que el agua esté en continua recirculación. La suciedad cae al fondo de la balsa. Al final del día de trabajo, se procede al vaciado de la balsa para su limpieza.

A continuación, el producto es sacado de la balsa por medio de una cinta con un tramo inclinado y otro recto. En ese tramo inclinado se encuentra un conjunto de duchas para terminar de eliminar posibles restos de suciedad que hayan quedado depositados en las fresas. De esa manera el agua procedente de las duchas cae a la balsa, consiguiendo una regeneración del agua que hay en la balsa.

En el tramo recto se procede a inspeccionar el producto. La inspección se lleva a cabo por medio de operarios que eliminan el producto que no es válido para procesarlo. Dicho producto es depositado en unos cajones situados en los laterales de la cinta, para enviarlo a un “palot” o a otra cinta para su eliminación. El producto en buen estado sigue el proceso de producción.

Figura 15. Ensamblaje final.



4 Conclusiones

Durante la recolección de fresas se obtienen otros elementos como arena, raíces, insectos, etc. que es necesario separar del producto que se va comercializar. En la actualidad se utilizan diferentes maquinarias para llevar a cabo esta tarea con el consecuente espacio que ellas ocupan y el gasto de energía que conllevan. Se ha analizado la problemática de este tipo de maquinaria como base para el diseño de un único sistema capaz de procesar las fresas desde que son recolectadas hasta su colocación en cajas.

Para el desarrollo de este proyecto se han tenido en cuenta las prescripciones de la legislación vigente y, de acuerdo con ellas, se han cubierto las condiciones impuestas por las especificaciones de diseño definidas por el equipo de trabajo al principio del proyecto.

En esta comunicación se han mostrado las fases iniciales del proceso de diseño y desarrollo de esta nueva maquinaria cuyo objetivo es la reducción de espacio dentro de la fábrica y la disminución del consumo eléctrico mediante la optimización del sistema de procesado. El resultado es una línea de producción compacta, capaz de realizar todas las fases de limpieza y manipulación con el mínimo de recursos de espacio y energía.

5 Referencias.

Constante, P., Gordon, A., Chang, O., Pruna, E., Acuna, F., & Escobar, I. (2016). Artificial Vision Techniques to Optimize Strawberry's Industrial Classification. *IEEE Latin America Transactions*, 14, 2576-2581.

Constante Prócel, P.N., & Gordón Garcés, A.M. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para clasificación de al menos tres tipos de frutas*. Tesis doctoral no publicada, Quito, 2015.,

Ivars, J.B. (2001). *Concepción de un sistema de visión artificial multiespectral para la detección e identificación de daños en cítricos*. Tesis doctoral no publicada, Universitat Politècnica de València,

Keller, L.R., Abbas, A., Bickel, J.E., Bier, V.M., Budescu, D.V., Butler, J.C., Diecidue, E., Dillon-Merrill, R.L., Hämmäläinen, R.P., & Lichtendahl Jr, K.C., (2012). Brainstorming, Multiplicative Utilities, Partial Information on Probabilities or Outcomes, and Regulatory Focus. *Decision Analysis*, pp. 297-302.

Pencue, E.L., & León-Téllez, J. (2003). Detección y clasificación de defectos en frutas mediante el procesamiento digital de imágenes. *Revista Colombiana de Física*, 35, 148-151.