

APARATO AUTOMÁTICO MÓVIL-TERRESTRE, SISTEMA Y MÉTODO PARA DETECTAR, RECOLECTAR Y CLASIFICAR FRESAS

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un dispositivo móvil y automático para detectar, recolectar y clasificar fresas en un campo abierto, para garantizar el buen estado de selección y recolección de la fresa. Este dispositivo se encarga del proceso de cosecha.

ESTADO DE LA TÉCNICA

La fresa, la cual se cultiva en más de setenta países, siendo Estados Unidos el mayor productor a nivel mundial para el año 2007 y Colombia teniendo el puesto 23 dentro de esta clasificación, con una producción de 23.000 toneladas según cifras estimadas por las FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), teniendo su principal producción del 60 por ciento en el departamento de Cundinamarca, seguidos por los departamentos de Antioquia y Boyacá. Dicha producción se cultiva generalmente en suelo, los cuales se pueden sembrar entre 40 y 55 mil plantas por hectárea, y en una pequeña medida en sistemas hidropónicos con sustrato.

Para la siembra se tienen los surcos (montañas de tierra ya previamente trabajadas para tener condiciones favorables), cada uno de 70 a 80 centímetros de ancho, con dos hileras de plantas separadas a una determinada distancia (de 25 a 40 centímetros) y el proceso de recolección se efectúa de una manera manual.

Cada surco tiene su propia fuente, suministrada por 2 delgados tubos que están perforados para proveer el agua a través de todo el recorrido, además de ser recubiertas por un plástico especial.

Es importante conocer el procedimiento de la cosecha y sus cuidados para que las fresas lleguen en buen estado al mercado:

- Desprender suavemente la fruta y evitar lesiones en la rama para la conservación de la planta.
- No recolectar frutos húmedos o en tiempos lluviosos, recolectar en horas de la mañana.

- Se debe considerar la higiene y evitar la contaminación en la cosecha.
- Utilizar canastillas plásticas de fondo liso con una capacidad máxima de 10 kilogramos, el cual no debe entrar en contacto directo con el suelo.
- Realizar una selección de los frutos, hasta de los que no cumplen con los requisitos, no se deben dejar en el cultivo tras su periodo de recolección.
- Tratar cuidadosamente las fresas.
- Debido al continuo desarrollo del fruto se deben realizar varias recolecciones.
- Establecer los parámetros de los frutos aptos para el mercado.
- Frutos con insectos o enfermedades se deben almacenar en un recipiente aparte para evitar posibles contaminaciones.

Para esto se desea implementar un dispositivo móvil y automático para ayudar a cumplir con la tarea de recolección y clasificación del fruto en el campo para garantizar el buen estado de la fresa.

El problema técnico abordado por los inventores es la necesidad de automatizar el procedimiento de recolección de fresas en un cultivo abierto en donde dicho cultivo está a un nivel cercano al suelo, lo cual hace que los operarios o recolectores sufran enfermedades laborales tales como problemas de espalda alta, media y baja.

Este problema se resuelve con la implementación de un robot autónomo el cual consta de un sistema de tracción en forma de oruga, sobre el cual está una base que comprende un brazo localizado el cual tiene varios grados de libertad y en su extremo distal una agarradera con un sistema de activación (cortador). El sistema también cuenta con cámaras, una pantalla táctil como interfaz entre el sistema de control y el usuario. El robot cuenta con un sistema de almacenamiento separado de dicho cuerpo con un sensor de llenado. El robot lleva una luz incorporada, sensor de luz ambiental y sensores de lluvia (humedad). El robot cuenta con un sistema de procesamiento de imágenes para la localización, identificación y clasificación de las fresas.

Algunos investigadores han planteado la utilización de robots autónomos para la recolección de diferentes tipos de cultivos de frutas, incluyendo las fresas. Por ejemplo, documentos del estado de la técnica plantean la fabricación de aparatos robóticos para cultivos hidropónicos, invernaderos y cultivos de suelo en campo abierto.

En particular, el documento JP2008206438A describe un robot de recolección de frutos capaz de recolectar la fruta (Por ejemplo, una fresa) en un equipo de cultivo elevado sin dañar la fruta utilizando una tecnología de procesador de imagen. Una imagen de la fresa se toma desde el lado inferior con una cámara (13), y la fresa es fotografiada desde el frente con una cámara (14), de modo que una posición de coordenadas de una imagen tridimensional de la fresa de ambas imágenes se puede especificar. A continuación, se evalúa una relación de coloración a partir de las imágenes en rojo y blanco de la fresa fotografiada con las cámaras (13) y (14), de modo que se pueda juzgar si la recolección es correcta o incorrecta (en términos de maduración). Cuando se juzga que la fresa puede ser cosechada, se maneja un manipulador R de acuerdo con la posición de la imagen, de manera que la fresa se pueda coleccionar. El manipulador R también puede estar constituido individualmente, o compuesto del par de ejes derecho e izquierdo manipuladores R y R, de manera que cada uno de ellos independientemente pueda moverse de manera libre.

Además, el documento WO15003513A1 describe un robot para coger fruta de *Camellia oleifera* y un método para recoger fruta de *Camellia oleifera* utilizando el robot. El robot para coger fruta de *Camellia oleifera* comprende un chasis (5), y un sistema de desplazamiento del chasis (6) para accionar el chasis para moverse y un sistema de control (7). En el chasis están dispuestos un brazo de recogida (3) y un sistema de reconocimiento visual (4), estando dispuestos unos cabezales de recogida vibrantes (3 - 20) en un extremo del brazo de recogida. Un motor eléctrico asíncrono trifásico (7) proporciona energía motriz al sistema de desplazamiento del chasis, un armario eléctrico de control (1) controla el brazo de recogida y el sistema de reconocimiento visual, y un generador eléctrico (2) proporciona energía eléctrica al recogedor de frutas de *Camellia oleifera* y estos elementos estando dispuestos en el chasis. El sistema de control comprende un ordenador de control, el ordenador de control controlando el brazo de recogida para recoger frutos según información tal como la posición y tamaño de un árbol frutal de *Camellia oleifera* recolectada por el sistema de reconocimiento visual, realizando automáticamente el proceso de recogida de la fruta de *Camellia oleifera*. El robot para recoger fruta tiene ventajas tales como ser altamente automatizado, tener buena adaptabilidad al entorno de recolección, excelente compatibilidad entre mecanismos y ser conveniente para el mantenimiento. El robot es capaz de asegurar la continuidad en la operación de recolección, de manera que la eficiencia de recolección es alta.

También, el documento CN102657037A se refiere a un sistema de robot de podar para viñeros que comprende un módulo de navegación, un módulo de podar y un módulo de visión estereoscópica binocular. El módulo de navegación automática comprende un camión de seguimiento, un pan and-tilt cámara, un controlador de la rueda izquierda, un controlador de la rueda derecha, y un ordenador personal industrial. El módulo de podar comprende un brazo mecánico agrícola y unas tijeras de podar en su terminal, en donde el brazo mecánico agrícola se utiliza para montar las tijeras de podar en el terminal y guiando las mismas a las ramas para cortarlas. Las tijeras de podar en los terminales se utilizan para podar las ramas. El ordenador personal industrial se utiliza para analizar y procesar la información de imagen de los viñeros, extraer la información de coordenadas de los puntos de podar, planificar la trayectoria del brazo mecánico y dar directivas de movimiento a las juntas. El módulo de visión estereoscópica binocular comprende dos cámaras industriales, una tarjeta de adquisición de imágenes y el ordenador personal industrial, en donde las dos cámaras industriales se utilizan para adquirir información de imagen de los viñedos, y la información se transmite al ordenador personal industrial para la identificación de imagen y procesamiento a través de la tarjeta de adquisición de imágenes. Con la ayuda del sistema de robot de podar, la intensidad del trabajo se puede reducir, y la eficiencia del trabajo puede ser mejorada.

Adicionalmente, el documento JP2011229406A divulga un aparato automático de recolección que pueda recolectar cosechas automáticamente incluso cuando el fruto está oculto por hojas o similares. El aparato de recolección automático incluye: un sensor de imagen (15) que captura la cosecha agrícola (por ejemplo del árbol de manzana) con la fruta Ej., manzana) a cosechar; un manipulador (14) que recolecta la fruta especificada por la imagen capturada por el sensor de imagen (15); un soplador de aire (12) que levanta las hojas del cultivo agrícola mientras el sensor de imagen (15) captura la imagen; y un controlador (18) que realiza un procesamiento de diagnóstico de la imagen de una pluralidad de imágenes capturadas por el sensor de imagen (15) cuando el soplador de aire (12) levanta las hojas del cultivo agrícola y tiene un dispositivo de procesamiento de imágenes que especifica el fruto oculto por las hojas.

Por su parte, el documento WO06013593A1 se refiere a un recogedor de frutas y verduras automatizado que comprende un robot (R) con al menos seis grados de libertad, provisto de un elemento de agarre (0) en la brida extrema (F), al menos un par de cámaras de vídeo (T1, T2) provisto de un software para la elaboración de

imágenes y software para la determinación de la posición del fruto (M) a recoger, un camión (C) adaptado para soportar dicho robot y dichas cámaras de vídeo, un dispositivo de control, también soportado en dicho camión, que recibe como entrada una señal de las cámaras de video, incluyendo las coordenadas espaciales de la fruta a recoger, y envía como salida una señal de control a dicho robot, y en el que cada movimiento de dicho robot se decide por la señal emitida por dicho dispositivo de control.

También, el documento FR2658624A1 divulga un sistema que comprende una cámara fotográfica (7), un flash (14) y medios de procesamiento de imágenes. La cámara es una cámara de CCD y tiempo de integración variable. Los medios de procesamiento de imagen (16) comprenden medios (23) para activar el flash (14) de forma sincronizada con los periodos de integración de la cámara (7) y detenerla de manera que sólo suministre la energía necesaria durante estos períodos de integración. El sistema es muy aplicable a la detección de fruta a recoger (cosechada) utilizando un robot.

De esta forma, aunque en el estado de la técnica ya se plantea la utilización de aparatos autónomos para la detección y recolección de frutas, existe aún la necesidad de implementar un robot móvil capaz de recolectar fresas en el campo con una pinza de tres garras que tenga un sistema para la identificación de la madurez basados en el porcentaje del color en el total de la superficie, con ayuda de una o dos cámaras para lograr un análisis tridimensional del fruto, que tenga un dispositivo clasificador y de almacenamiento de tres categorías de peso. Siendo un robot automático, con llantas tipo oruga debido al terreno, entregando la información de la recolección al usuario, sin que la persona esté presente.

En este sentido, la presente invención proporciona un diseño específico de un aparato robot autónomo para la detección, recolección y clasificación de fresas en un cultivo de campo abierto, que soluciona los problemas técnicos de recolección para plantas de fresas que se encuentren en un nivel cercano al suelo. Adicionalmente los costos de fabricación del robot son inferiores en comparación a los que se encuentra en el mercado actualmente debido a los materiales y técnicas de diseño que se usaron.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

Figura 1. Vista isométrica lateral Izquierda del aparato tipo robot oruga.

Figura 1A. Vista Superior del aparato tipo robot oruga.

Figura 1B. Vista isométrica lateral Derecha del aparato tipo robot oruga.

Figura 1C. Vista Posterior del aparato tipo robot oruga.

Figura 1D. Vista Inferior del aparato tipo robot oruga.

Figura 1E. Vista lateral Derecha del aparato tipo robot oruga.

Figura 1F. Vista frontal del aparato tipo robot oruga respecto al surco.

Figura 2. Vista lateral Derecha del brazo recolector.

Figura 2A. Vista frontal del brazo recolector.

Figuras 2B. Vista en isométrico del brazo recolector.

Figura 3. Vista en isométrico de la pinza de agarre.

Figura 4. Vista Isométrica del Sistema mecánico de clasificación.

Figura 5. Vista frontal de un cultivo de fresas.

Figura 6. Vista en isométrico del sistema de suspensión y llantas tipo oruga o de cadena

Figura 6A. Vista Frontal del sistema de la Figura 6.

Figura 6B. Vista Lateral del sistema de la Figura 6.

Figura 6C. Vista isométrica de estructura eje oruga.

Figura 6D. Vista frontal del sistema resorte – amortiguación.

Figura 6E. Vista inferior del sistema de la Figura 6.

Figura 7. Método de dispositivo móvil y automático para detectar, recolectar y clasificar fresas en un campo abierto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención proporciona un diseño específico de un aparato robot autónomo para la detección, recolección y clasificación de fresas en un cultivo de campo abierto, para plantas de fresas que se encuentren en un nivel cercano al suelo. Este aparato es un robot móvil capaz de recolectar fresas con un brazo robótico recolector y una pinza (gripper) de tres garras que cuenta con un sistema para la identificación de la madurez del fruto basado en el porcentaje del color rojo con respecto al total de la superficie, con ayuda de una o dos cámaras para lograr una reconstrucción tridimensional del fruto, que tenga un dispositivo clasificador y de almacenamiento de tres categorías de peso. Siendo un robot automático, con

llantas tipo oruga debido al terreno, entregará la información de la recolección al usuario, sin que la persona esté presente.

En las Figuras 1, 1A-1E se observa el aparato tipo robot oruga o de cadena, el cual se compone de un cuerpo principal (5), un brazo recolector (1), una pinza de agarre con tres dedos (2), un sistema mecánico de clasificación (4) y un contenedor de almacenamiento (6) y un sistema de suspensión con llantas tipo oruga (3). Para el funcionamiento y control del aparato tipo robot automático, el cuerpo principal (5) comprende los siguientes componentes de hardware: dos sistemas embebidos, como unidades centrales de procesamiento, tipo Raspberry Pi 3, los cuales, a través de un software y hardware, un microcontrolador y un procesador digital de señales, cumplen una función específica, optimizando tamaño, costo, confiabilidad y desempeño. Se cuenta con dos unidades para el procesamiento, una maestra y otra esclava, de imágenes y manejo de la interfaz. El microcontrolador es el encargado de activar: los motores pasos a paso, motorreductores y un servomotor, presentes en el brazo robótico. Se cuenta con un Arduino mega para esta labor. Además, cuenta con motores paso a paso ubicados en la articulación del brazo robótico (1). El servomotor (2.e) es el encargado de dar movilidad a la pinza del aparato automático móvil-terrestre de recolección de fresas. Los controladores para motorreductores se encuentran en las distintas articulaciones del brazo robótico y el sistema mecánico de contrapesos. Los motorreductores (3.g) (Figura 6E), permiten cambiar o combinar velocidades. El aparato tipo robot automático cuenta como fuente de energía con una batería, la cual tiene un sistema de recarga por corriente alterna AC.

En la figura 2 se aprecia una vista lateral del brazo del aparato automático móvil-terrestre de recolección de fresas (1), el cual tiene la configuración de un robot articulado, compuesto por 4 eslabones (1.a-1.d) y 3 articulaciones. Tiene 2 grados de libertad de rotación entre los eslabones (1.b – 1.c) y (1.c – 1.d), más uno adicional en la base con desplazamiento de traslación entre los eslabones (1.a – 1.b). El sistema de traslación longitudinal (eslabón 1.a) está conformado por un perfil de una aleación de aluminio con una longitud de 35 a 70cm y un carro móvil (rodamiento guía lineal) que se desliza sobre el perfil (plano X) y genera la articulación 1 entre los eslabones (1.a – 1.b). Los eslabones (1.b), (1.c) y (1.d) tienen las longitudes entre 7 a 11 cm, 28 a 38 cm y 20 a 30 cm respectivamente elaborados con una aleación de aluminio. La rotación de la articulación 2 entre los eslabones (1.b – 1.c) está dada por un motor paso a paso, el cual permitirá un ángulo de funcionamiento

entre 0° y 180° en el plano YZ. La rotación de la articulación 3 entre los eslabones (1.c – 1.d) está dada por un motor paso a paso, el cual permitirá un ángulo de funcionamiento entre 15° y 345° en el plano YZ. En el eslabón (1.b) se encuentra fija la cámara (7.2), para una visión horizontal (plano XY) con respecto al surco. En el eslabón (1.d) se encuentra fija la cámara (7.2), para una visión superior (plano XZ) con respecto al surco. Con la visión horizontal y superior de las cámaras (7.1, 7.2), se genera un plano tridimensional XYZ del espacio a trabajar y analizar. Conociendo el espacio tridimensional XYZ, las longitudes de los eslabones, los tipos de movimientos de cada articulación y, por último, la posición objetivo a alcanzar, se generan los movimientos necesarios para que el final del eslabón (1.d) alcance dicha ubicación.

La Metodología de funcionamiento del aparato tipo robot automático se explica a continuación

1. Se ubica el robot al lado del surco que se quiere trabajar. Este debe cumplir con las condiciones requeridas en la figura 5.
2. El brazo mecánico que se encuentra ubicado en la plataforma principal (5) a un costado. El cual, de no estar en su posición inicial, realizará la rutina preestablecida en la cual coloca cada uno de los eslabones del brazo en la posición determinada por medio de un algoritmo implementado en el sistema embebido. Cuando se está hablando de una rutina preestablecida se refiere a los movimientos automáticos para que el brazo robótico siempre comience a cierta distancia de 5 a 15 cm (L) desde el surco con respecto al robot (Figura 1F).
3. El brazo (1) tiene dos cámaras ubicadas en dos diferentes articulaciones (1.a – 1.d) como se observa en la figura 2C, la cámara a color está localizada en el lado del robot, en el eslabón (1.b) para adquirir la imagen en el plano vertical. La cámara se ubicará en el eslabón (1.d) del brazo (1) para adquirir la imagen en el plano superior, lo que permite realizar una reconstrucción 3D, para detectar los frutos presentes en el rango de visión de la máquina.
4. Si al momento de realizar el barrido, se detecta una fresa que cumpla con las condiciones específicas preestablecidos por el agricultor para su recolección sea para consumo nacional o de exportación, se establece por medio del procesamiento de imágenes las coordenadas donde se encuentra el fruto. Este procesamiento de imágenes es llevado a cabo por el sistema embebido.

Las condiciones de recolección se refieren a la madurez, tamaño y patrón del fruto para que pueda ser recolectado según las normas de comercialización.

5. Teniendo las coordenadas proporcionadas por el sistema embebido, se envía la información al microcontrolador.
6. El microcontrolador es un actuador que controla el funcionamiento de los motorreductores, indicando cuanto se debe mover cada articulación para alcanzar el fruto dependiendo de su ubicación.
7. Al alcanzar el fruto, la pinza (2) según la programación preconfigurada por el agricultor se activa para iniciar el proceso de recolección. Si la recolección de frutos es para consumo nacional la pinza agarra el fruto, si la recolección de frutos es para exportación se corta el tallo. La fresa en ambos casos cae en el interior de la pinza recolectora (2).
8. El brazo (1) posiciona la fresa en la sección (4.d) del sistema mecánico de clasificación.
9. Posteriormente se acciona el mecanismo de clasificación mecánico por contrapesos. Cada contrapeso se encuentra adaptado de acuerdo con la clasificación: pequeña (2 gramos - 5,3 gramos), mediana (5,4 gramos - 21,3 gramos) o grande (21,4 gramos- 50 gramos), en donde el contrapeso al ser mayor que el peso de la fresa, esta pasará por otra sección de contrapeso moviéndose de forma mecánica por el plano, con grados entre 15° y 50°. El orden en el que las fresas son clasificadas inicia por el primer compartimiento que corresponde al contrapeso de mayor peso, en caso de que la fresa no cumpla con el peso mínimo requerido continuará a la segunda o a la siguiente compuerta.
10. Las fresas caen al contenedor correspondiente de acuerdo con su peso (6).
11. Antes de llegar al contenedor, las fresas se deslizan por una guía (4.f). En la cual se encuentra ubicado un sensor de proximidad.
12. Este sensor envía información al sistema embebido de cuando ha pasado una fresa, luego se muestra en la pantalla táctil ubicada en el cuerpo del robot (5), la información de cuantas fresas hay en cada contenedor y si está lleno.
13. La zona de almacenamiento de las fresas se compone de tres contenedores (6). Los cuales están ubicados de forma independiente al cuerpo principal. Específicamente atrás del cuerpo principal (5), como se observa en la figura 1.
14. Después de esto se inicia nuevamente el proceso de detección, recolección y clasificación de fresas hasta que el usuario lo indique.

En las figuras 2A y 2B se observa una vista frontal e isométrica del brazo recolector (1), el cual tiene la configuración de un robot articulado compuesto por 4 eslabones y 3 articulaciones. Tiene 2 grados de libertad de rotación entre los eslabones (1.b – 1.c) y (1.c – 1.d), más uno adicional en la base con desplazamiento de traslación

entre los eslabones (1.a – 1.b). El sistema de traslación longitudinal en el eslabón (1.a) está elaborado por un perfil de una aleación de aluminio que puede tener una longitud de 35 a 70cm y un carro móvil (rodamiento guía lineal) que se desliza sobre el perfil (plano X) como se observa en la figura 2B, y genera la articulación 1 entre los eslabones (1.a – 1.b). Los eslabones (1.b, 1.c y 1.d) tienen dimensiones de longitud entre 7-11 cms, 28-38 cms y 20-30 cms respectivamente, hechos de un material de una aleación de aluminio. La rotación de la articulación de la pinza de agarre (2) entre los eslabones (1.b – 1.c) está dada por un motor paso a paso, el cual permitirá un ángulo de funcionamiento entre 0° y 180° en el plano YZ. La rotación de la articulación 3 entre los eslabones (1.c – 1.d) está dada por un motor paso a paso, el cual permitirá un ángulo de funcionamiento entre 15° y 345° en el plano YZ. En el eslabón (1.b) se encuentra fija la primera cámara (7.2), para una visión horizontal (plano XY) con respecto al surco. En el eslabón (1.d) se encuentra fija la segunda cámara (7.1), para una visión superior (plano XZ) con respecto al surco. Con la visión horizontal y superior de las cámaras (7.2, 7.1), se genera un plano tridimensional XYZ del espacio a trabajar y analizar. Conociendo el espacio tridimensional XYZ, las longitudes de los eslabones, los tipos de movimientos de cada articulación y, por último, la posición objetivo a alcanzar, se generan los movimientos necesarios para que el final del eslabón (1.d) alcance dicha ubicación.

En la figura 3, se observa una vista isométrica de la pinza de agarre con tres garras (2), la cual tiene la configuración de una pinza de presión con accionamiento eléctrico, la cual está compuesta por una base (2.b), un sistema de una leva (2.d) el cual permite el movimiento de los eslabones (2.c) y genera la apertura o cierre de las garras (2.a) con eslabones (2.c). En las garras (2.a) se ubican cuchillas (8) que pueden ser tapadas con otra pieza, esto de forma tal que cuando estén descubiertas se pueda realizar corte al pedúnculo de la fresa, cumpliendo con las características internacionales, y cuando estén tapadas se pueda imitar el movimiento que realizan los agricultores para cosechar la fresa sin crear ningún daño a la planta, de esta forma, la fresa sin el pedúnculo cumpliría con estándares de calidad nacional.

El sistema de leva (2.d) es accionado por un servomotor el cual permitirá un ángulo de funcionamiento entre 0° y 120°. El sistema de leva (2.d) está conectado con rodamientos a los eslabones (2.c), los cuales permiten la rotación mecánicamente. Cada garra (2.a) con eslabón (2.c) tiene un punto de unión rotacional con la base (2.b) y otro punto de unión rotacional con cada uno de los eslabones (2.c). Al accionar el servomotor se genera un movimiento en la leva (2.d), desplazando

simultáneamente los 3 eslabones (2.c), llevándolos a su diámetro externo mínimo o máximo y de esta manera, generar la apertura o cierre de las 3 garras con eslabón (2.a) respectivamente.

Para la movilidad del robot se tuvieron en cuenta tres consideraciones importantes para su funcionamiento, las cuales son: el terreno, sistema de suspensión y el sistema de orugas con su respectivo tren de engranes. En las figuras 1F y 5 se observa una vista frontal de un cultivo de fresas, en donde el aparato tipo robot móvil está diseñado según las condiciones de un terreno real. Las fresas son sembradas directamente en el terreno. El cultivo está conformado por muchos surcos (Xi), es de: 25 cm a 45 cm. Donde cada montículo de tierra tiene la altura (Z) de 20 a 47 cm, con un ancho (Xm) de 67 a 90 cm. El grado de inclinación del terreno varía de 10 a 45 grados. La tecnología estará adaptada para funcionar con los rangos anteriormente mencionados, exceptuando el grado de inclinación, que soportará hasta un máximo de 15 grados de inclinación. La planta de fresa típicamente tiene como dimensiones una Altura entre 14 a 18 cms; el ancho del pedúnculo entre 1,13mm a 1.8mm. Las dimensiones de la fresa tienen un ancho entre 2,6 a 3,3 cm; una altura entre 3,4 a 4,7 cm. La altura de la fresa con respecto al piso esta entre 35 a 55 cms.

En la figura 4 se observa una vista isométrica del sistema mecánico de clasificación (4), el cual está compuesto por un soporte (4.a) para juntar el cuerpo principal (5) del robot y el sistema de clasificación (4); una banda transportadora (4.b), un conjunto de plataformas giratorias de contrapeso (4.c), un alojamiento (4.d), una carcasa (4.e) de zona de clasificación por contrapeso; una rampa de descargue (4.f) en donde se ubican sensores de proximidad (4.f). Dicho sistema tiene 2 grados de libertad, el primero en la sección (4.b) y el segundo en la sección (4.c). El resto de secciones (4.a, 4.d, 4.e, 4.f) se utilizan como apoyo para el sistema mecánico de clasificación (4), de forma que estén de apoyo para el motor o como medio de desplazamiento de la fresa. Las piezas están fabricadas de un material impermeable, de fácil limpieza y que no permita la propagación de gérmenes.

La Metodología de funcionamiento del sistema mecánico de clasificación se explica a continuación:

1. Al ser detectada la fresa, por el sistema de detección de imagen, y recolectada por el brazo mecánico (1), esta será depositada en el alojamiento (4.d).

2. El alojamiento (4.d) se moverá de manera horizontal a través de tres diferentes secciones que están conformadas por compuertas accionadas por contrapesos (4.c). Cada contrapeso se encuentra adaptado de acuerdo con la clasificación: pequeña, mediana o grande; el cual al ser mayor su peso que el de la fresa, esta pasará por la siguiente sección de contrapeso moviéndose de forma mecánica por el plano, con grados entre 15° y 50° . El orden en el que las fresas son clasificadas inicia por el primer compartimiento o sección de contrapeso que corresponde al contrapeso de mayor peso, en caso de que la fresa no cumpla con el peso mínimo requerido continuará al segundo compartimiento o sección de contrapeso.
3. Al recolectar la fresa con el brazo mecánico (1), el cual llevará la fresa al inicio de la sección de clasificación, empieza el movimiento de la banda transportadora (4.b) la cual es accionada por un motor paso a paso para obtener una mayor precisión, ubicado en la sección (4.a). Al ser los compartimientos de contrapeso (4.c) un sistema mecánico, se reduce el consumo energético total de esta sección del aparato tipo robot automático.
4. Después de pasar por los compartimientos de contrapeso (4.c), la fresa cae en la rampa de descargue (4.f) correspondiente con su peso, en donde se envía una señal por medio de un sensor de proximidad ubicada al inicio de cada canal de la rampa de descargue (4.f), para que el proceso se inicie nuevamente.
5. La fresa cae a través de una rampa de descargue (4.f) al contenedor de almacenamiento (6) según su tamaño.

Haciendo referencia a las figuras 6, 6A y 6B, el aparato tipo robot móvil, se moviliza por un sistema de suspensión/amortiguación (3.c) con llantas del tipo oruga o de cadena (3), el cual se compone de la parte inferior de la base principal (5), la cual sostiene todos los engranes (3.a) y engranes conectados al motor y de estos a cada una de las partes independientes de cada oruga, permitiendo así un aumento del torque (3.b). En la Figura 6C se describe el sistema tipo oruga (3) cuenta con un sistema de suspensión/amortiguamiento (figura 6D) con el fin de dar estabilidad, el cual lo une al cuerpo principal (5). El movimiento del sistema tipo oruga (3) es accionado por 4 motores eléctricos y contiene un tren de engranes que permiten el desplazamiento de la cadena. El sistema de suspensión y amortiguación (3.c), está

compuesto por cuatro resortes (3.c.b) y cuatro amortiguadores (3.c.c) metálicos. Tiene 2 grados de libertad, los cuales permiten adaptarse a las condiciones del terreno descritas anteriormente en la figura 5. De esta forma se garantiza la estabilidad del robot sobre el terreno establecido, además cumple la función de mitigar las vibraciones e impactos que recibe a causa del movimiento y el terreno. La conexión entre el sistema de suspensión (3.c) y el cuerpo principal (5) del aparato tipo robot móvil, se encuentra unida por una rotula (3.c.a) circular flexible, el cual permite el movimiento entre estos dos. En medio de cada resorte (3.c.b) se encuentra un amortiguador (3.c.c), el cual permite contrarrestar el impacto generado por los cambios bruscos en el terreno.

La conexión entre las orugas (3) se da por medio de un acople flexible y rotatorio (3.e.b), el cual permite el movimiento independiente de cada oruga (3), de esta forma se permite establecer la dirección de giro que se desea del aparato tipo robot, siendo esta dirección: izquierda, derecha, o recta. Sobre los ejes (3.e.a y 3.e.c) se encuentran unidos 4 sistemas de suspensión, como se describió anteriormente (figura 6D). El tren de engranes (3a) permite que la oruga se caracterice por un tren de engranes el cual le da la forma de funcionamiento. Los motores eléctricos que generan el movimiento del robot se encuentran ubicados en el último eje (3.e.a y 3.e.c) de la parte posterior, la unión al eje se realiza por medio de un sistema de dos engranes (3b). El tren de engranajes está compuesto por los engranajes de transmisión (3.a.a) y engranes/rodillos de retorno (3.a.b), que están unidos a los ejes (3.e.a y 3.e.c), el acople flexible y rotatorio (3.e.b) está sujeto internamente a la caja de forma rectangular (3d), los engranes se encuentran en paralelo y en medio tienen un acople flexible y rotatorio (3.e.b), con el fin de mantener el equilibrio del dispositivo y brindar soporte sobre el terreno.

Para el procesamiento de imágenes e identificación del fruto se siguieron los siguientes pasos como se indica en la Figura 7:

1. Adquisición de imágenes por medio de la captura de las dos cámaras (RGB e Infrarroja), las cuales se conectan al puerto de adquisición de datos de su respectivo sistema embebido.
2. Realizar los procesos respectivos para la detección de color, a través del uso de los modelos de color.
3. Al trabajar con un modelo de color que tiene en cuenta la iluminación, se identifica el color rojo.

4. Después de haber identificado el color rojo, se siguen las normas de calidad de recolección de fresas, las cuales establecen el rango de maduración.
5. Si solo se tiene en cuenta el color rojo, no se puede diferenciar entre otros objetos con el mismo color, como: una manzana o una mano. Por este motivo se decide trabajar con otra característica importante. Se hacen procesos morfológicos para obtener dichas características (patrón y forma).
6. Al tener una comparación entre las diferentes características anteriormente mencionadas, proporcionando una mayor confiabilidad a la hora de detectar solo fresas.
7. Dichos procesos se realizan para cada captura de imagen y ejecución del algoritmo de forma simultánea para ambas cámaras.
8. Ya con esta información se puede establecer las coordenadas de cada una de las fresas cosechables.
9. Cada cámara muestra un plano bidimensional (2D) de la fresa. El primer eje coordenado es XY. EL segundo eje coordenado es YZ. A partir de estos dos planos se genera el plano tridimensional (3D), conociendo también la ubicación de las cámaras en el cuerpo del aparato tipo robot móvil y la distancia relativa entre las cámaras y el surco. Por ende, ambas ubicaciones encontradas en los planos bidimensionales (2D) se vuelven uno solo en el plano tridimensional (3D).
10. Por último, al conocer esta ubicación se envían las coordenadas para que el brazo recolector realice los respectivos movimientos para alcanzar el fruto.
11. En caso dado que no se encuentren las fresas en ambos planos, el aparato tipo robot iniciará el proceso nuevamente en una ubicación espacial diferente hasta encontrar una fresa o alcanzar su límite de movilidad.