

SISTEMA ELECTROMECAÁNICO DE SELECCIÓN DE PLÁTANO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL

David Restrepo Mejía

Edwar Steven Ariza Torres

Facultad de Ingeniería, Universidad del Quindío

Programa Ingeniería Electrónica

Director

Ph D. Alexander Vera Tasamá

Asesores

Ph D. Magda Ivone Pinzón Fandiño

Ph D. Jorge Iván Marín Hurtado

2021-03-12

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTACT	5
INTRODUCCIÓN	6
CONTEXTUALIZACIÓN Y NECESIDAD.....	8
CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZACIÓN DEL PLÁTANO EN EL AGRO COLOMBIANO	10
Conceptos económicos y jurídicos del sector	11
Agrocadena productiva	11
Cadena agroalimentaria del plátano en Colombia	12
Características del producto	13
Criterios de calidad del producto	17
Tolerancias de aceptación del Plátano según la Norma Técnica Colombiana.....	18
Análisis	18
CAPÍTULO II: ANÁLISIS AGROCONGELADOS DEL QUINDÍO	19
Agrocongelados del Quindío	19
Descripción de los procesos.....	19
Área de carga y descarga de materia prima	19
Área de almacenamiento y maduración de materia prima.....	20
Área de pelado de plátano y yuca	22
Área de triturado	23
Área de procesamiento del plátano y yuca	25
Área de empaque.....	28
Cuartos fríos y cuarto de choque	29
Área de lavado	31
Análisis de los procesos que actualmente implementa la empresa en la selección del plátano.....	32
Cantidad destinada a maduración del plátano.....	32
Personal y tiempo utilizado en la labor de selección del plátano	32
Estándar de selección, tamaño, peso, escala de colores del plátano	32
Procedimiento de selección, manual de seguridad o procesos	32

CAPITULO III: DISEÑO SISTEMA DE SELECCIÓN DE PLÁTANO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL	33
Requerimientos y necesidades	33
Necesidades:	33
Requerimientos	33
Diseño	34
Técnicas y herramientas para el diseño.	35
Visión artificial	35
Procesamiento de imágenes	35
Modelo HSV	36
Modelo RGB	37
Plataforma Raspberry Pi 3 Modelo B+	38
Python	39
Definición de estándares de madurez del plátano	39
Etapa de reconocimiento de madurez por visión artificial.....	41
Etapa de selección del plátano	46
Etapa de acople	64
Verificación de funcionamiento del sistema.....	65
Prueba de calibración.....	66
Prueba de precisión y funcionamiento constante.....	66
RESULTADOS.....	68
Comparativa modelo de segmentación HSV y RGB.....	68
Prueba sistema de selección de plátano por visión artificial.....	70
Tiempos de selección.....	71
CONCLUSIONES	72
TRABAJOS FUTUROS	75
REFERENCIAS.....	76
GLORARIO.....	79
Siglas.....	79
Definiciones técnicas	80
ANEXOS	82
TABLA DE ILUSTRACIONES.....	89

RESUMEN

Siendo el plátano el segundo producto más cultivado en nuestra región, representando gran importancia económica, y viendo la necesidad que presenta esta industria por un avance en la tecnificación de sus procesos, sobre todo en el área de clasificación del fruto. Se desarrollo un proyecto con el fin de diseñar e implementar un sistema el cual permita reconocer el estado de madurez del plátano usando técnicas de visión artificial, que pueda ser implementada en la línea productiva de la empresa Agrocongelados Del Quindío S.A; para ello se hace una investigación para contextualizar el plátano en la industria colombiana, posteriormente se realiza una investigación en la empresa Agrocongelados del Quindío para determinar sus procesos en la cadena productiva y como el proyecto impactaría en esta. Una vez establecidos los requerimientos y necesidades del proyecto, se diseña un prototipo, en cuatro etapas, las dos primeras desarrollan el sistema de reconocimiento de madurez del plátano y el sistema electromecánico de separado; la tercera etapa consta del acople entre la parte del reconocimiento de madurez y el sistema electromecánico de separación; y como última etapa se diseñan pruebas de calibración y funcionamiento que garanticen el cumplimiento satisfactorio de las necesidades y requerimientos.

Como resultados del proyecto se obtienen un análisis de viabilidad de los métodos de segmentación usados en el diseño del sistema de reconocimiento de madurez del plátano, determinando que el modelo HSV es el más conveniente a utilizar; también se realizan pruebas de funcionamiento constante para verificar errores en el sistema, obteniendo una efectividad mayor al 95%; para finalizar se describen trabajos futuros donde se especifican puntos a mejorar en el proyecto, y como se puede implementar con un mayor alcance.

ABSTRACT

Platano being the second most cultivated product in our region, representing great economic importance, and seeing the need that this industry presents for an advance in the technification of its processes, especially in the area of fruit classification. A project was developed in order to design and implement a system which allows recognizing the ripeness of the platano using artificial vision techniques, which can be implemented in the production line of the company Agrocongelados Del Quindío S.A; For this, an investigation is carried out to contextualize the platano in the Colombian industry, later an investigation is carried out in the Agrocongelados del Quindío company to determine its processes in the productive chain and how the project would impact on it. Once the requirements and needs of the project have been established, a prototype is designed in four stages, the first two developing the platano maturity recognition system and the electromechanical separation system; the third stage consists of the coupling between the maturity recognition part and the electromechanical separation system; and as the last stage, calibration and operation tests are designed to guarantee satisfactory fulfillment of the needs and requirements.

As results of the project, a feasibility analysis of the segmentation methods used in the design of the platano maturity recognition system is obtained, determining that the HSV model is the most convenient to use; constant performance tests are also carried out to verify errors in the system, obtaining an effectiveness greater than 95%; Finally, future work is described where points to improve in the project are specified, and how it can be implemented with a greater scope.

INTRODUCCIÓN

Colombia tiene un potencial en la producción agrícola con millones de hectáreas de tierras fértiles, se calculan en alrededor de 40 millones de hectáreas. sin embargo, esta ventaja comparativa no es suficiente para desarrollar dicho potencial. Hoy se mide el desarrollo del agro básicamente en términos de agroindustria, que necesariamente implica procesos de tecnificación y aplicación de conocimiento científico.

Teniendo en cuenta que la agroindustria busca generar productos agrarios con valor agregado, como botanas fritas, cereales procesados, harinas, congelados precocidos, entre otros, se evidencia que el reto consiste en elevar la competitividad de nuestros productos, lo cual implica necesariamente la adecuación a criterios y estándares internacionales. Es por esta razón que se han tecnificado muchos de los procesos dentro de las cadenas productivas de los productos agrarios para garantizar calidad y competitividad en el modo de producción.

Uno de los grandes sectores que muestra esta relación entre la tecnología y la producción agrícola es el café pues con el tiempo se han tecnificado muchos de sus procesos; entre estos se pueden encontrar sistemas de selección electrónicos de café excelso, usando procesamiento de imágenes, el cual selecciona el grano de café según su color (Herrera Pérez, Medina Ortiz, Martínez Llano, Beleño Sáenz, & Berrio Pérez, 2016).

El color es una de las características más usadas para la clasificación de frutos climatéricos en el nivel de maduración, lo cual, junto con el tamaño, conforman los rasgos más importantes en la selección de frutas con los niveles de calidad que exigen los mercados, ya sea para crear productos de valor agregado o comercializar solo los frutos como tal; por esto, existen una cantidad de surtidores y seleccionadores de frutos que se basan en el color.

Esta investigación responde a la necesidad de aportar nuevas formas de implementar tecnología en la producción agrícola de nuestro país. Después del café, el plátano es el producto más cultivado en nuestro departamento, y así como el café, se requieren procesos

rigurosos de tecnificación, esto para mejorar la información de la cosecha, el tiempo de maduración y finalmente la garantía de calidad del producto.

Con la implementación de este proyecto se busca principalmente desarrollar un sistema electromecánico de selección de plátano basado en visión artificial, que facilite el cumplimiento de estándares de calidad, poniendo en una mejor posición competitiva a la empresa Agrocongelados del Quindío, para ello se realizará el análisis de las condiciones y requerimientos de la empresa Agrocongelados del Quindío en su proceso de selección de plátano, y se diseñaran protocolos de verificación, uso y mantenimiento del sistema electromecánico de selección de plátano implementado.

Gracias a la tecnificación de los procesos (Léon Agatón, Mejía Gutiérrez, & Montes Ramírez, 2015), se reduce la probabilidad de errores en la selección de los productos, también se mejoran las condiciones laborales de los operarios de dicha procesadora de alimentos y se aprovecha de forma más eficiente la mano de obra en todo el proceso de preparación del plátano. Al automatizar el proceso, éste se llevará a cabo en menor tiempo y a su vez se garantizará una selección con mayor precisión; cómo se puede observar en la mayoría de las maquinas existentes en el mercado, la velocidad y la precisión que estas tienen (Food T. S., SENTINEL II SORTING MACHINE BY TOMRA, 2019), (Food T. S., HELIUS OPTICAL SORTER), (Food T. S., 2019), (china Patente nº CN201186270Y, 2009), (China Patente nº CN202374719U, 2012), reducirían costos de producción en la empresa, mejorando la eficiencia en los procesos y garantizando los requerimientos de calidad que el cliente demanda. Con el incremento de la producción en la industria agraria desde el año 2009 (Morton, 1987), el procesamiento de grandes cantidades de alimentos es fundamental para el crecimiento de la empresa, por lo que se brindará una tecnificación en un proceso que actualmente es poco riguroso, donde no existen medidas de discriminación fijas, tampoco existe una capacitación en los operarios o un mecanismo para comparar la calidad que se

desea seleccionar en el plátano, siendo éste un trabajo arduo y demorado; el tecnificar dicho proceso permite a la empresa manejar más producto manteniendo la satisfacción del cliente, mejorando la competitividad y las oportunidades de crecimiento.

El presente documento estará dividido en tres capítulos. El primero presentará las razones por las cuales se hace necesario implementar un sistema de clasificación del plátano, para esto se mostrará la cadena productiva del plátano sus características, los criterios de calidad del producto y los sistemas de clasificación del mismo.

En el segundo capítulo mostraremos un análisis de los procesos de la empresa Agrocongelados del Quindío con el fin de contextualizar el proyecto y determinar requerimientos y necesidades. Finalmente, en el tercer capítulo se analizarán los requerimientos y necesidades del sistema a implementar y sus potencialidades en la cadena productiva, junto con el desarrollo del prototipo su construcción y su funcionamiento.

CONTEXTUALIZACIÓN Y NECESIDAD

Una empresa procesadora de alimentos está encargada de la transformación, preparación, conservación y/o envasado de alimentos según estándares de calidad definidos por el mercado, requerimientos impuestos por los clientes y regulaciones estatales. Con base en lo anterior la empresa Agrocongelados del Quindío, encargada del procesado de alimentos como el plátano y la yuca para su posterior distribución, tiene como uno de sus procesos más importantes la selección y clasificación del plátano de acuerdo a requerimientos o necesidades expuestas por sus clientes; Estos requerimientos son en su mayoría de apariencia, como: el grado de madurez y el tamaño de los frutos.

Actualmente el proceso de clasificación y selección del plátano en la empresa se realiza de forma manual, donde el operario debe separar el plátano de acuerdo a su madurez o tamaño, con la meta de garantizar que la producción cumpla con los estándares requeridos

por el cliente. Debido a la naturaleza del proceso de selección, la empresa se expone a un margen de error elevado al seleccionar la materia prima; adicionalmente, se incurre en costos que se podrían aprovechar en otras actividades. Con la automatización del proceso mencionado anteriormente, la empresa puede disminuir su costo de producción y a su vez garantizar la calidad de sus productos. La implementación de un sistema que facilite la clasificación y garantice que la producción cumpla con los estándares de calidad, brinda una ventaja competitiva frente a las demás empresas del mercado. Por otra parte, el hecho de realizar la selección del plátano manualmente conlleva una gran cantidad de tiempo y consumo de mano de obra, lo que representa un proceso poco eficiente, generando retrasos e importantes gastos a la empresa. También, se debe tener en cuenta la gran carga laboral a la que se debe someter el personal, teniendo que seleccionar plátano por plátano, además de realizar las otras actividades para su procesamiento.

La revisión de calidad del producto que realiza el cliente se hace mediante la toma de muestras, donde puede variar entre revisar un solo producto (plátano) o una canastilla de todo un cargamento. Debido a que los consumidores son más exigentes y minuciosos a la hora de valorar las características de un plátano de calidad, cuando una de estas muestras no cumple con los estándares que el cliente demanda se tiene como consecuencia la devolución total del cargamento, lo que ocasiona pérdidas económicas representadas en logística, gastos en transporte y la degradación del producto (Maldonado Guzmán, Martínez Serna, Hernández Castorena, & García Pérez de lema, 2011).

CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZACIÓN DEL PLÁTANO EN EL AGRO COLOMBIANO

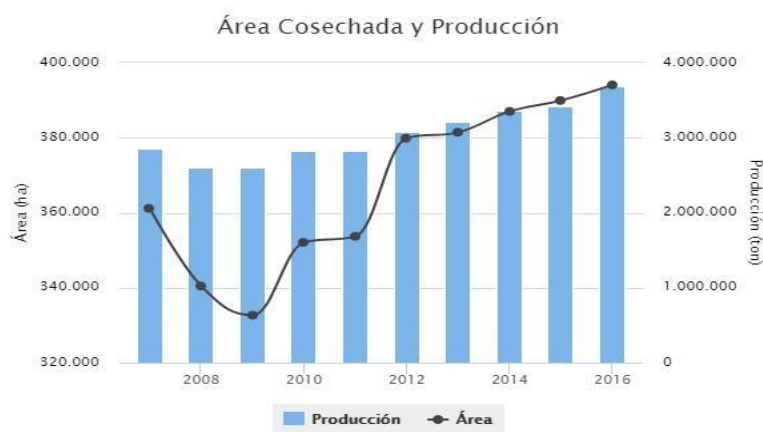
Este capítulo se centrará en la descripción detallada de la necesidad de construir esta tecnología. Para esto realizamos un recorrido por la información disponible sobre el negocio del plátano en Colombia, sus costos de producción y sus utilidades. Planteado el marco teórico que ofrece el concepto de cadena productiva y la tecnología requerida para gestión de calidad y competitividad, podemos dar paso al capítulo dos que se ocupara de describir la empresa estudiada y la pertinencia del desarrollo de la herramienta de selección.

Uno de los problemas más dramáticos del sector agrario en Colombia es la falta de información actualizada y real sobre el estado tanto del mercado como de las condiciones de producción de los diferentes territorios con vocación de producción agrícola, sin embargo, utilizaremos la información disponible.

Gran parte de la producción agrónoma del país es el plátano, según la SIOC, sistema de información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas Colombia es el segundo importador de plátano, exportando alrededor de 45.000 toneladas de plátano (prospectiva, 2019) Y en muchas regiones se produce gran cantidad de este producto (ver figura 1).

Figura 1

Gráfico área cosechada y producción de plátano, entre el 2007 hasta el 2008.



Nota. Tomada de Agronetminagricultura. (2017). tercer censo nacional agropecuario.

Conceptos económicos y jurídicos del sector

Agrocadena productiva

Uno de los conceptos clave en la reflexión teórica y práctica sobre la competitividad es la cadena productiva. La legislación colombiana define este concepto en la ley 811 de 2003 donde señala:

“se entiende por cadena el conjunto de actividades que se articulan técnica y económicamente desde el inicio de la producción y elaboración de un producto agropecuario hasta su comercialización final. Está conformada por todos los agentes que participan en la producción, transformación, comercialización y distribución de un producto agropecuario. Estos agentes participan en la producción, transformación, comercialización y distribución de materias primas, insumos básicos, maquinaria y equipos, productos intermedios o finales, en los servicios y en la distribución, comercialización y colocación del producto final al consumidor. (ley 811 de 2003 Artículo 101 parágrafo 1)

Las cadenas productivas reúnen distintos sectores económicos que realizan alianzas con el fin de beneficiarse entre sí, en estas estructuras intervienen diversos actores que se encargan de cooperar para un mismo fin, el mejoramiento de la productividad y competitividad del sector. Es pues imposible pensar en el desarrollo de un sector productivo sin tener en cuenta la articulación en forma de cadena y de red, el reto consiste proponer elementos que mejoren los ingresos de un eslabón, pero también que aumenten la competitividad de toda la cadena.

Cadena agroalimentaria del plátano en Colombia

De acuerdo al Ministerio de agricultura, la cadena Agroalimentaria del plátano en Colombia está conformada por los productores, comercializadores, industrias de procesamiento, productores de semilla, proveedores de insumos, exportadores, universidades, centros de investigación e instituciones regionales y Nacionales que acompañan el proceso como el ICA, SENA, UNAD, CIAT, Asohofrucol, secretarías de agricultura y corporaciones autónomas regionales, entre otras (Ministerio de agricultura, 2015).

Por su parte, el Ministerio de Agricultura mediante el sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadena (SIOC) afirma que:

“El Acuerdo Nacional de Competitividad de la Cadena firmado en el año 2010, y actualizado 2011-2020 definió su misión y visión basada en indicadores de productividad”. Por lo cual se asumió que “para el año 2015 la cadena productiva de plátano [...] comenzaría transformaciones sustantivas en materia de productividad y competitividad, [...]. En el año 2025 la cadena productiva de plátano en Colombia habrá alcanzado el más alto grado de productividad y competitividad, alcanzando un rendimiento de 12 toneladas hectárea, reducido los costos de producción en un 10%, estabilizado el área sembrada en 750.000 hectáreas y destinado el 12% de su producción a los mercados internacionales y mejorado

considerablemente las condiciones de vida y de trabajo de los productores. La cadena productiva de plátano en Colombia a través de su Consejo Nacional tendrá la misión de servir de órgano consultivo del gobierno [...] servirá de orientador, articulador y facilitador de todos los actores de la cadena en los diferentes procesos tendientes a fortalecer su negocio y alcanzar las metas propuestas hacia el 2015 y el 2025.” (Ministerio de agricultura, 2015)

Una vez claro que los desafíos que enfrenta la agricultura en Colombia no solo consisten en aumentar su producción, el objetivo es aumentar la competitividad de la cadena y todos sus eslabones.

Características del producto

El plátano es un fruto proveniente de una planta que pertenece a un grupo de plantas herbáceas cuyo nombre científico es Musaceae, perteneciente a la familia de las monocotiledóneas. Por lo tanto, el plátano no es un árbol. El plátano, es a menudo erróneamente referido como un árbol, es una hierba larga, con un vástago muy jugoso, el cual tiene peciolos y vainas de hojas, con forma de cilindro, que alcanzan una altura entre 3 a 6 metros, creciendo como un rizoma carnososo, o un cormo. Los retoños surgen alrededor de la planta principal formando un grupo que se conoce como taburete, el brote reemplaza la planta principal cuando da fruto y muere. Lo que indica que es una Megaforbia, significa que carece de un tronco verdadero, en su lugar, posee vainas foliares que forman una estructura llamada pseudotallo (Morton, 1987).

El plátano es un fruto con una forma dactiliforme, el número de frutos por espiga, así como su tamaño y su peso varía según el tipo de plátano que se cultive (Morton, 1987). Existe gran variedad de tipos de plátanos, divididos en diferentes grupos cultivares (ver tabla 1).

Tabla 1.

Clasificación de los plátanos más conocidos en Colombia.

Genoma	Nombre común
AA	Bocadillo, chirarío, chiro, banano oro (originados en Malasia).
AAA	Banano común o Gros Michel con sus variantes.
AAB	Plátano dominico, dominico-hartón, hartón, hortaeta, Bourokou, etc. (originados en la India).
ABB	Pelipita, cachaco, topocho. (Originados en la India).
ABBB	Treparoid (originado en el sureste de Asia).

Nota. Recuperado de Implementación de un cultivo de plátano hartón (*Musa paradisiaca*) en altas densidades como sistema de producción sostenible en el municipio de Cúcuta norte de Santander (informe final de grado).¹

El fruto es una falsa baya apigenia con forma de racimo, cubiertas por un pericarpio de color verde en un ejemplar inmaduro, y amarillo en uno maduro, con una pulpa rica en almidón. Este tipo de planta está restringida a zonas tropicales. Entre las latitudes 30°N y 30°S entre esta banda existen gran variedad de climas con diferentes grados y patrones de precipitación. Un clima adecuado para el plátano es con una temperatura media de 26.67°C y una precipitación media de 10 cm por mes. En estas zonas no debe de haber más de 3 meses de temporada seca (Morton, 1987).

El plátano, es un fruto climatérico, es decir que después de cosechado, continúan con su proceso de maduración a pesar de estar fuera de la planta. Existen tres conceptos de maduración que son: de cosecha, de consumo y fisiológica. La maduración fisiológica hace referencia al momento en que la fruta se encuentra en un estado de máximo crecimiento y

¹ Universidad de la Salle, facultad de ciencias agropecuarias, programa de ingeniería agronómica, Yopal.

desarrollo, y todas sus partes están totalmente formadas y aptas para su reproducción. Cuando se habla de madurez de cosecha, se hace referencia a la etapa fisiológica en la que la fruta se puede desprender del árbol y llega a su madurez de comercialización y consumo. Esta última está ligada al momento del desarrollo fisiológico de la fruta en las características propias del color, textura y aroma, las cuales están completas y armónicas (Barrera, Segundo, & Cayón, 2010). Como consecuencia, este tipo de frutos cuentan con unas características especiales como lo son:

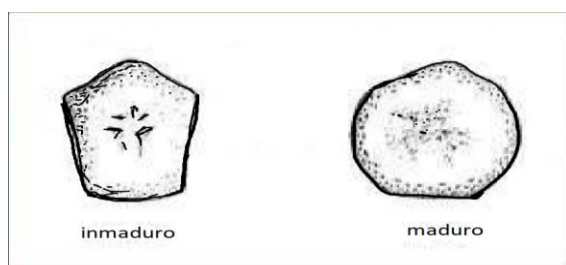
- La respiración del fruto desciende constante y continuamente mientras este crece.
- Incrementan la síntesis de etileno
- Son sensibles a la temperatura y a la humedad, así como al porcentaje de etileno y oxígeno que se encuentra en el ambiente (Gergoff Grozeff, 2016).

Normalmente estos cambios en la maduración de un fruto climatérico se ven reflejados en el cambio de color del fruto. En el caso del plátano este pasa de un color verde a un color amarillo. Para la evaluación de colores, se puede recurrir a escalas ya preestablecidas de colores para la especie que se desea, o utilizar un colorímetro, cuya escala fue determinada por la comisión internacional de l'Eclairage (CIE). Que permite el cálculo de luminosidad, croma y matiz (Gergoff Grozeff, 2016).

La pérdida de peso también es un índice muy utilizado en la post-cosecha de frutos, esta pérdida de peso se debe principalmente a la deshidratación del fruto (Gergoff Grozeff, 2016). La forma del fruto también puede ser un indicador para el índice de maduración, en el caso del plátano, a medida que va madurando pierde la definición de sus aristas, como se observa en la figura 2 (Gergoff Grozeff, 2016).

Figura 2

Comparación entre la forma transversal de un plátano verde y uno maduro.



Nota. Tomada de (Gergoff Grozeff, 2016).

La empresa en la que esta investigación implementa el dispositivo desarrollado, Agrocongelados del Quindío utiliza dos especies de plátanos, que son: Hartón y Fhia. La primera es una variedad que se adapta con mayor facilidad a la zona cafetera y es ampliamente comercializada. Produce un racimo de plátano que contiene de uno a siete o más gajos que están conformados entre cinco a diez frutos. Es de un tamaño mediano, y es usualmente cultivado entre los 1,000-1,500 msnm (Fruits, 2018). La segunda variedad de este fruto se caracteriza porque su planta mide entre 3.5 a 4 mt; su tallo es brillante y sus racimos son ligeramente inclinados y asimétricos. En comparación a la otra variedad, su cascara es más fácil de remover, sin embargo, esto implica que sea más susceptible a golpes (FHA, s.f).

Aunque hay una gran producción y exportación de plátano en Colombia, los productos con valor agregado que cumplan con las exigencias de exportación internacional y para el consumo interno, no son suficientes, además que muchos productores no están debidamente tecnificados.

Uno de los principales problemas a la hora de procesar un producto para darle un valor agregado, es la calidad de la materia prima, esta es una parte fundamental para obtener productos de calidad que cumplan con las normas de producción y con las necesidades del cliente. Estos niveles de calidad solo se garantizan seleccionando adecuadamente la materia

prima que se utilizará en el proceso, según las características que se requiere para cada producto que se realiza.

Criterios de calidad del producto

Una vez estudiadas las características del plátano pasaremos a mostrar los criterios de calidad que están establecidos en Colombia para establecer la manera en que se identifican y clasifican los tipos de productos. El Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC) es la entidad encargada de vigilar la calidad y veracidad de los productos ofrecidos en el mercado. La norma NTC1190, contiene los lineamientos de calidad del plátano en Colombia. se hace necesario realizar un análisis de los diferentes tipos de calidad que existen para así poder determinar la forma en que el prototipo va a responder a dichas exigencias.

Calidad Extra: Los plátanos deben estar formados, tener un grado de $\frac{3}{4}$ lleno, presentar coloración uniforme según su grado de madurez y péndulo bien cortado (no puede ser arrancado ni retorcido). La longitud del dedo para el plátano hartón no podrá ser inferior a 25 cm. (NTC 1190, 1976)

Calidad primera: Plátanos bien formados, podrán presentar solamente daños superficiales y no deberán presentar manchas entre las aristas. (NTC 1190, 1976)

Calidad Segunda: Podrán presenta daños superficiales, pero no podrán presentar manchas en más de una tercera parte de su superficie total. (NTC 1190, 1976)

Grado de Muestra: Comprende todos los plátanos de cualquier variedad que no cumplan con los requisitos de las calidades anteriores o que sean muy pequeños, totalmente deformes, quebrados, y que presenten daños biológicos apreciables. (NTC 1190, 1976)

Tolerancias de aceptación del Plátano según la Norma Técnica Colombiana

Para la Calidad Extra se admite un 5% del plátano que tenga el cuello roto o no cumpla con las especificaciones de calidad extra pero que cumplan con las especificaciones de la calidad primera. (NTC 1190, 1976)

Para Calidad primera Se admite hasta el 10% de plátanos que tengan el cuello roto o no cumplan con las especificaciones de calidad primera pero que cumplan con las especificaciones de calidad segunda, siempre y cuando los defectos no los hagan impropios para el consumo. (NTC 1190, 1976)

Para Calidad Segunda se admiten hasta el 20% de frutos que tengan el cuello roto o no cumplan las especificaciones de calidad segunda. Podrán tener cáscara sucia y formas irregulares (dobles, triangulares, muy curvos), siempre y cuando los defectos no lo hagan impropios para el consumo. (NTC 1190, 1976)

Análisis

Puede pensarse que el diseño que estamos proponiendo soluciona un problema del productor de plátano. un sistema capaz de determinar con precisión el color del fruto y por ende su maduración, permite al transformador de la materia prima hacer una utilización eficiente del plátano.

Un ejemplo de ello es la investigación realizada en la Corporación Universitaria Lasallista en donde se estudia la “Estandarización de parámetros de calidad en la recepción y almacenamiento de plátanos maduros y aguacates en restaurantes KOKORIKO”. (Bodoya Duque, 2015) allí se muestra como KOKORIKO, requiere condiciones precisas de maduración, criterios que en últimas determinan el mejor proveedor. garantizar la descripción precisa del producto mejor la capacidad de negociación.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS AGROCONGELADOS DEL QUINDÍO

En este capítulo vamos a estudiar los requerimientos técnicos y el desarrollo del prototipo junto con su adaptación e implementación a la empresa Agrocongelados del Quindío. para esto partiremos de un análisis de la empresa, para pasar a la formulación del diseño del prototipo, y finalmente la fase de construcción y adaptación a la empresa. Si bien el sistema se pensó para solucionar un problema que encontramos en las empresas procesadoras de productos agrícolas como el plátano, somos conscientes que la tecnología acá desarrollada puede ser usada en otro tipo de cultivos y productos.

Agrocongelados del Quindío

Es una empresa ubicada vía Calarcá Barcelona, que se dedica al procesamiento de alimentos, específicamente plátano y yuca, los cuales son vendidos normalmente a industrias alimenticias. Esta empresa ofrece a la comunidad local más de 50 empleos, siendo gran parte de estos, madres cabeza de hogar.

Agrocongelados del Quindío cuenta con una variedad de procesos para la producción de plátano verde pelado, plátano maduro, patacón precocido, plátano picado, yuca frita, harina de yuca y derivados de ellos; estos procesos se encuentran divididos por áreas dentro de las instalaciones de dicha empresa.

Descripción de los procesos

Área de carga y descarga de materia prima

Como bien dice su nombre esta área corresponde a la carga y descarga de materia prima (ver figura 3), la cual llega principalmente en turbos o camiones que vienen directamente desde las fincas productoras de plátano o yuca, aquí mismo es donde se realiza el proceso de

verificación del estado de la materia prima, ésta es evaluada por personal capacitado que rechaza, acepta o vuelve a negociar el precio de la materia prima según su estado.

Figura 3

Área de carga y descarga de materia prima.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Área de almacenamiento y maduración de materia prima

En esta área es donde se dispone toda la materia prima que fue aceptada. Ésta se almacena en canastillas (ver figura 4) o en racimos enteros de plátano que son cubiertas por un plástico negro (ver figura 5), para que los efectos climáticos o externos perjudiquen lo menos posible dicha materia prima. Allí también se realiza la selección del plátano que será destinado para el proceso de maduración (ver figura 6) o pelado (ver figura 7).

Figura 4

Almacenamiento de plátano en canastillas.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 5

Almacenamiento de plátano en racimo.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 6

Plátano en proceso de maduración artificial.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Área de pelado de plátano y yuca

Esta zona cuenta con unos tanques que son llenados con agua, éste suministro es extraído de una quebrada ubicada dentro del área de la empresa Agrocongelados del Quindío. Dichos tanques cuentan con una división que permite clasificar la materia prima con cáscara y sin cáscara, la materia prima sin cáscara es pelada manualmente por personal capacitado para esta labor (ver figura 7). Los desechos que genera esta área, principalmente cáscara, son dispuestos para el área de triturado (ver figura 8).

Figura 7

Área de pelado de yuca o plátano.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Área de triturado

Aquí se depositan todos los desechos orgánicos que genera el proceso de selección y pelado de materia prima, éstos son triturados (ver figura 8) y convertidos en harina que se almacena en estopas que se venden, principalmente, para alimentos de animales o abono agrícola (ver figura 9).

Figura 8

Área de triturado.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 9

Almacenamiento de harina para abono.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Área de procesamiento del plátano y yuca

Sección de fritura

La empresa Agrocongelados del Quindío cuenta con una freidora industrial (ver figura 10) con una capacidad de 1,200Kg, que de forma autónoma recibe el plátano maduro, y una vez esté precocido lo deposita en canastillas. Esta máquina también cuenta con una recolección de sedimentos que son separados del plátano una vez precocido.

Figura 10

Freidora industrial.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Sección de formado y corte del patacón

En esta sección el personal de la empresa dispone los plátanos, anteriormente precocidos, en la banda transportadora con un máximo de cuatro a seis plátanos, dependiendo del tamaño. La banda cuenta con un pistón neumático unido a una plancha, que una vez accionado el pistón éste comprime el plátano, para luego pasar a ser cortado manualmente por un personal (ver figura 11). Obteniendo como resultado final el patacón, que luego pasará al área de empaque (ver figura 15).

Figura 11

Sección de formado y corte de patacón.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Sección de triturado, mezclado y extrusión de yuca

Aquí se procesa la yuca para ser transformada en bastones y bolitas de harina de yuca. Una vez la yuca es pelada, se congela por un período de tres días en los cuartos fríos (ver figura 16) (ver figura 17) que hacen parte de las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío. Luego se procede al triturado de la yuca congelada mediante una trituradora industrial (ver figura 12) convirtiendo la yuca en harina. Al obtener la harina de yuca se procede a mezclar ésta con sal (ver figura 13) en una proporción de 100 kilos de harina por 1 kilo de sal. Por último, la mezcla de harina y sal se pasa por una extrusora, la cual forma los bastones y bolitas de harina de yuca (ver figura 14).

Figura 12

Trituradora industrial.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 13

Mezcladora industrial.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 14

Extrusora industrial.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Área de empaque

Es un cuarto que cuenta con una bandeja de acero inoxidable y una selladora térmica. En esta área se realiza el empackado de productos procesados y terminados de la yuca y el plátano (ver figura 15) como: bastones y bolitas de yuca, yuca picada, plátano picado y patacones.

Figura 15

Personal empacando patacón.



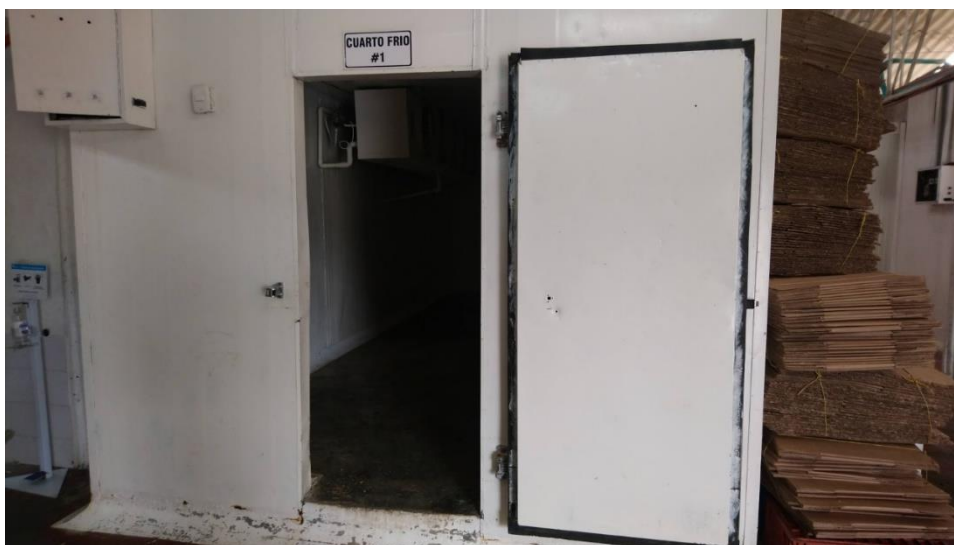
Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Cuartos fríos y cuarto de choque

La empresa Agrocongelados del Quindío cuenta dentro de sus instalaciones con dos cuartos fríos (ver figura 16) (ver figura 17), los cuales son usados para congelar, no sólo productos finalizados, sino también para congelar materia prima que será usada posteriormente en otros procesos. La empresa también cuenta con un cuarto de choque (ver figura 18) a -30°C , que es utilizado principalmente cuando se desea congelar el producto en menos tiempo, asegurando que al ser enviado se encuentre en las condiciones adecuadas.

Figura 16

Cuarto frío #1.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 17

Cuarto frío #2.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Figura 18

Cuarto de choque.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Área de lavado

En esta área se encuentra el almacenamiento de las canastillas que son lavadas mediante agua presión (ver figura 19).

Figura 19.

Área de lavado de canastillas.



Nota. Tomada en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Análisis de los procesos que actualmente implementa la empresa en la selección del plátano

Para contextualizar la situación actual de la empresa, lo cual se consigue realizando visitas técnicas, concretando reuniones con el personal encargado, haciendo análisis de los procesos presentes en la empresa, y recolectando información o desarrollando un marco teórico que pueda ser relevante para la concepción de alternativas.

Cantidad destinada a maduración del plátano

20.000 y 40.000 kg por semana.

Personal y tiempo utilizado en la labor de selección del plátano

10 o 12 personas en condiciones normales de trabajo, para efectos demostrativos se dispusieron tres personas a seleccionar un cargamento de plátano, tardando un estimado de 13 minutos en seleccionar 10 canastillas.

Estándar de selección, tamaño, peso, escala de colores del plátano

Se considera un plátano verde cuando este no supera los 10 grados brix, se raspa y masera un plátano de todo el cargamento, extrayendo la muestra para analizarla.

El peso mínimo para que un plátano sea aceptado es de 280 gramos, a la hora de seleccionar plátano, los obreros determinan este peso mediante la experiencia sin ningún tipo de medida objetiva.

Se descartan los plátanos con evidentes defectos físicos como: cortes, agujeros o golpes fuertes.

Procedimiento de selección, manual de seguridad o procesos

Llega el camión con el plátano ya destinado a maduración, se realiza un primer vistazo y se toma muestra por grados brix, y se rechaza o se renegocia el precio, se procede

con el proceso de selección (principalmente por peso y defectos por daños mecánicos), por último, se rocía acelerante de maduración.

CAPITULO III: DISEÑO SISTEMA DE SELECCIÓN DE PLÁTANO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL

En este capítulo se muestra el diseño del prototipo y las razones que planteamos para su construcción, planos, diseño de pruebas y la descripción de los recursos necesarios para la construcción de la herramienta de selección.

Requerimientos y necesidades

Una vez identificado y contextualizado el estado de la empresa Agrocongelados del Quindío, se procede con el levantamiento de necesidades y requerimientos que debe cumplir el sistema electromecánico de selección de plátano.

Necesidades:

- Automatizar en mayor medida el proceso de selección del plátano, requiriendo un menor número de trabajadores para desempeñar esta labor.
- Tecnificar la selección del plátano por madurez estableciendo estándares de calidad más objetivos y cuantificables.
- Optimizar tiempos de producción en el proceso de la selección del plátano

Requerimientos

- El sistema electromecánico de selección del plátano debe cuantificar y evaluar el estado de madurez de forma autónoma
- El sistema electromecánico de selección del plátano debe separar de forma autónoma el plátano que se considere óptimo para continuar con el proceso de producción del plátano que no se considere óptimo.

- Con el fin de proyectar la tecnificación de los demás procesos de Agrocongelados del Quindío, el sistema electromecánico de selección del plátano debe poder acoplarse a futuros proyectos de modernización.
- Debido a las condiciones ambientales donde se realiza el proceso de separación del plátano, como: exposición al aire libre, químicos y grandes cantidades de agua; el sistema electromecánico de selección del plátano debe tener la capacidad de soportar dichas condiciones sin verse afectado por ellas.
- Teniendo en cuenta que el manejo del sistema electromecánico de selección del plátano será ejecutado por personal poco capacitado, éste debe ser lo más intuitivo y fácil de poner en funcionamiento.
- El sistema electromecánico de selección del plátano debe soportar esfuerzos mecánicos, inesperados o abruptos (golpes, choques y sobrecarga) que puedan ocurrir en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío.

Diseño

El diseño del sistema electromecánico de selección del plátano por visión artificial se dividió en cuatro etapas:

1. Etapa de reconocimiento de madurez por visión artificial: en esta etapa se plantea una metodología de diseño comparativo para el desarrollo de un sistema que permita identificar la madurez del plátano, utilizando el procesamiento de imágenes digitales como principal herramienta.
2. Etapa de selección del plátano: esta etapa consta del diseño de un sistema electromecánico que permita separar el plátano verde del plátano pintón y maduro, teniendo en cuenta todos los requerimientos y necesidades mencionados en el levantamiento de requerimientos y necesidades.

3. Etapa de acople: en esta etapa se pone en funcionamiento el sistema de reconocimiento de madurez por visión artificial junto con el sistema de selección del plátano y se realizan los últimos ajustes para que el sistema funcione de forma óptima y continúa.
4. Verificación del funcionamiento del sistema: en esta etapa se busca determinar las pruebas necesarias para que el sistema de selección funcione correctamente, determinando la eficiencia y precisión en condiciones de uso reales.

Técnicas y herramientas para el diseño.

Visión artificial

El sistema de visión artificial es uno de los métodos más innovadores para la adquisición, el proceso y análisis de imágenes en procesos de producción (S.L, 2019). Por esta razón, implementar un sistema de clasificación de plátanos Hartón y Fhia por visión artificial, requiere la integración de hardware y software que permitan el proceso de inspección de clasificación del plátano, eximiendo a los empleados de Agrocongelados del Quindío realizar tareas repetitivas donde exista más margen de error y menos exactitud analítica que la que ofrece el procesamiento de una imagen.

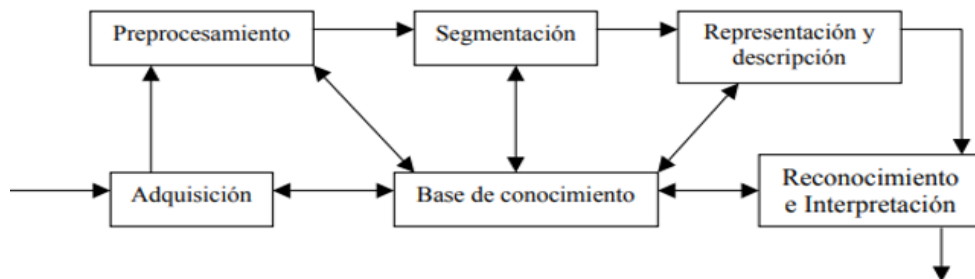
Por tanto, este sistema brinda el proceso de imágenes captadas por los sistemas de visión, procesados por el software que lleva el mismo sistema, y con ello, el proceso de determinación del grado de madurez del plátano.

Procesamiento de imágenes

Como objetivo tiene el procesamiento automático de imágenes que realice tareas basadas en visión, los pasos principales de un sistema de procesamiento de imágenes son como se observa en la figura 20 y se detalla en la tabla 2 (Alegre Gutiérrez, Sánchez González, Fernández Díaz, & Mostaza Antolín, 2003).

Figura 20

Diagrama de bloques fundamental de un sistema de procesamiento de imágenes.



Nota. Tomada de (Alegre Gutiérrez, Sánchez González, Fernández Díaz, & Mostaza Antolín, 2003)

Tabla 2.

Definición etapas del procesamiento de imágenes.

Procesamiento de imágenes	
Adquisición.	Se realiza con un dispositivo, como una cámara digital.
Procesamiento	Son operaciones que preparan la imagen, mejorando o realzando característica que se desean captar con mayor facilidad
Segmentación.	En este paso se obtienen regiones específicas requeridas de la imagen, asignándole a cada una de ellas etiquetas, las cuales están formadas por píxeles con características similares.
Representación y descripción	Una vez segmentada la imagen en las regiones de interés, se representa dichas regiones de una forma que facilite el procesamiento, en términos de sus características
Reconocimiento e interpretación	El reconocimiento selecciona características discriminantes de la imagen, generando un vector que contiene las características que las representa.

Nota. Tomada de (Alegre Gutiérrez, Sánchez González, Fernández Díaz, & Mostaza Antolín, 2003)

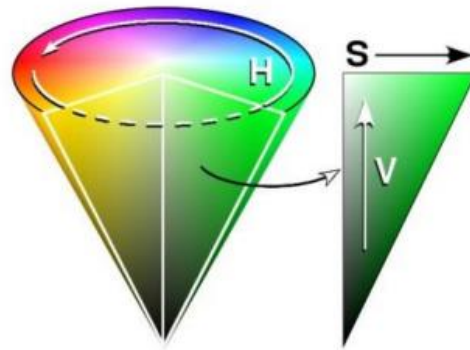
Modelo HSV

El modelo HSV es una descripción de color en tres componentes: Tonalidad o Matiz (Hue), Saturación (Saturation) y Valor (Value). Este modelo se representa como un cono (ver figura

21), describiendo la frecuencia de cada color en el espectro visible del componente H, con el componente S representando la pureza del color, y con el componente V la cercanía del píxel al negro y el blanco (Pérez & Medina, 2017).

Figura 21

Cono descriptor del modelo HSV.



Nota. Tomada de (Salgado Yoshemart, Amador Salgado, Padilla Medina, Barranco Gutiérrez, & Barranco Gutiérrez, 2015)

Si bien el componente H describe las frecuencias de cada color y es un atributo cromático, el componente S es la medida del grado en el que este color puro está diluido en la luz blanca. Por esta razón, ambos componentes están ligados directamente a cómo percibe el color el ojo humano. En cambio, el componente V está separado de la información cromática principal, debido a que se expresa desde un porcentaje de 0% que significa que no hay brillo, por lo tanto, es de tonalidad negra, y va hasta un 100% de brillo total, que significa un espectro de color puro (Amador, Padilla, Barranco, & Barranco, S.f). Gracias a esta relación de componentes el procesamiento de imágenes en color que arroja este modelo ayuda a poseer un mayor rango dinámico.

Modelo RGB

RGB son las siglas en inglés de Red, Green y Blue. Este modelo es una representación de los colores primarios Rojo, Verde y Azul, y es el sistema más adecuado

para representar las imágenes que se reproducirán en una pantalla, debido a la mezcla de píxeles de los colores básicos. Para representar un color RGB asigna un valor de intensidad a cada píxel, y si por ejemplo los valores de los tres componentes son idénticos, se obtendrá el color gris, pero si el valor de todos los componentes es el máximo, se obtendrá un color puro, y será negro si todos los componentes tienen un valor de cero (FotoNostra, S.f).

Plataforma Raspberry Pi 3 Modelo B+

Es un computador de bajo coste y de tamaño reducido, que puede ser utilizado para la reproducción de videos de alta definición, para procesadores de texto o procesadores de imagen. Esta placa posee 1GB de memoria RAM, un procesador que funciona a 1.4 Ghz, e incluye WiFi a doble banda 2.4 Ghz y 5 Ghz, también Bluetooth 4.2 de base, sin la necesidad de adaptadores y, además, la tarjeta de red Gigabit Ethernet alcanza los 300Mbps al funcionar sobre una USB 2.0 (Velasco, 2018).

El miniordenador también se ha caracterizado por tener 4 puertos USB 2.0, puerto CSI para conectar una cámara, puerto DSI para conectar una pantalla táctil, además de la salida de audio estéreo y video compuesto, un puerto MicroSD y, un Power-over-Ethernet (PoE) (ver figura 22) (Velasco, 2018).

Figura 22

Fotografía Raspberry Pi 3 b+ parte superior.



Nota. Tomada de (Velasco, 2018)

Python

Es un lenguaje de programación que permite trabajar más rápidamente e integrar sistemas de manera más efectiva (Python, 2020), posee una sintaxis sencilla que cuenta con una vasta biblioteca de herramientas, además de tener una licencia de Software se encuentra disponible en Windows, MacOS y Linux. También, tiene la posibilidad de crear un código con gran legibilidad, lo cual hace ahorrar tiempo y recursos, facilitando su comprensión e implementación (Soloaga, 2018).

Definición de estándares de madurez del plátano

Con las visitas realizadas a la empresa Agrocongelados del Quindío, y tomando como guía la norma NTC 1190, la cual define los requisitos que deben cumplir los plátanos para ser consumidos frescos, se determina la escala de maduración (ver tabla 3) a tener en cuenta en el desarrollo del sistema de reconocimientos de madurez del plátano.

Tabla 1.

Descripción nivel de madurez del plátano.

Nivel de madurez	Características
1	Estado en el cual se ha alcanzado el máximo desarrollo y presenta la totalidad de su superficie de color verde.
2	Estado en el cual el fruto ya no tiene, en la totalidad de su superficie, una coloración verde, presentando tonalidades amarillas.
3	Estado en el cual la totalidad de la superficie del fruto se encuentra de color amarillo o rojizo.

Una vez definido los niveles de maduración que se tendrán en cuenta para el diseño del sistema de reconocimiento de madurez del plátano, se consulta con el personal más experimentado y calificado de la empresa Agrocongelados del Quindío, los plátanos que coinciden con los niveles de madurez que se muestran en la tabla 3, categorizando así, los niveles de maduración del plátano (ver figura 23) que se procesa en la empresa.

Figura 23

Plátanos organizados por niveles de madurez.



Nota. Para la elaboración de la imagen se consultó con el personal de la empresa

Agrocongelados del Quindío, los cuales catalogaron y ordenaron los plátanos según su nivel de madurez.

Según la figura 23 y contando de izquierda a derecha, se clasifican los plátanos en la siguiente manera (ver tabla 4).

Tabla 2.

Clasificación escala de madurez de plátanos de la figura 23

No. Plátano	Nivel de madurez
1-2	1
3-6	2
7-9	3

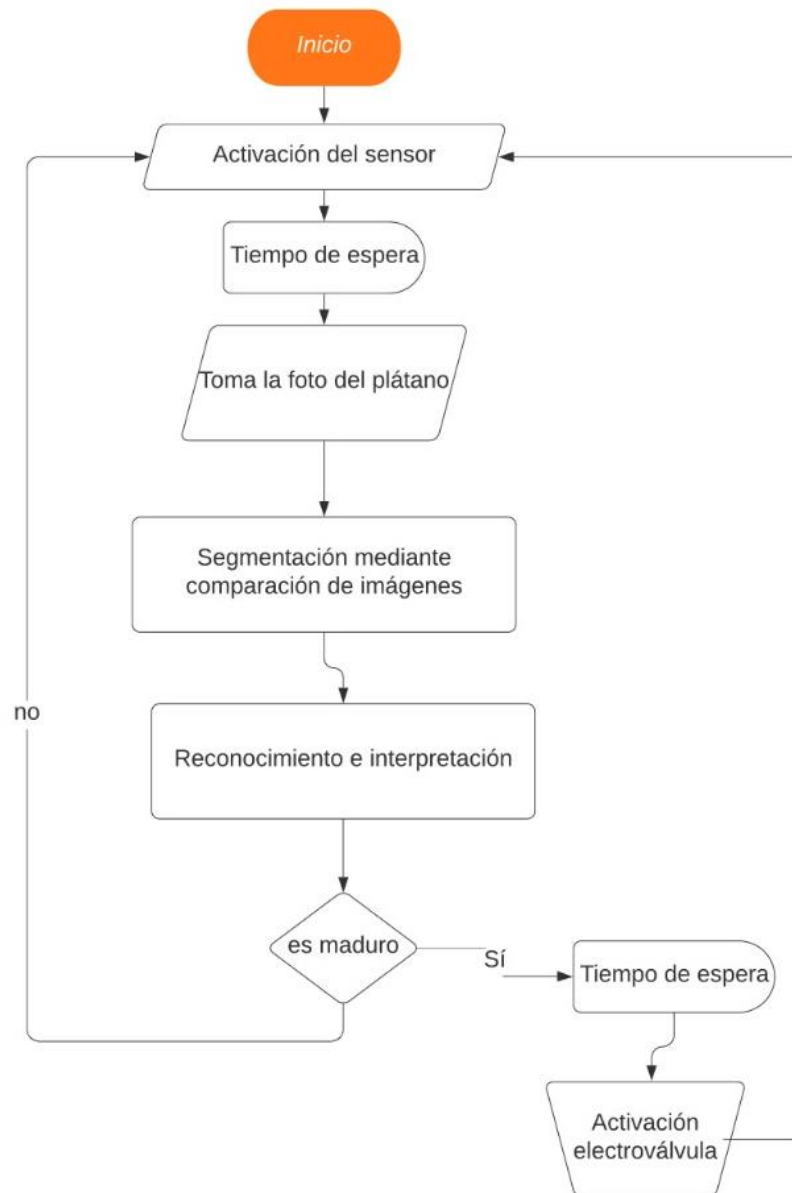
Etapas de reconocimiento de madurez por visión artificial

En la etapa de reconocimiento de madurez por visión artificial, se debe capturar y reconocer el plátano, segmentando la imagen y así obtener los datos de color de este y ponderando estos datos llegar a la conclusión del nivel de maduración que se posee y finalmente separar el plátano que no es apto.

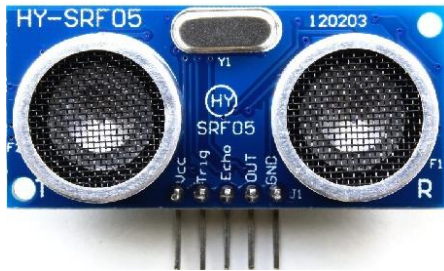
Para esto se siguen diferentes procesos y decisiones que se pueden observar en la figura 24, donde la señal de entrada, al inicio, está determinada por el ingreso de un plátano al sistema, siendo aceptado o rechazado al final, según su grado de madurez.

Figura 24

Diagrama de flujo sistema de reconocimiento de madurez de plátano por visión artificial



En la función de detección el plátano, se planteó el uso de un sensor de proximidad, para esto se utilizó el sensor de distancia ultrasónico SRF05 (ver figura 25).

Figura 25*Sensor de distancia ultrasónico SRF05**Nota.* Tomada de (Sigma Electrónica, 2021)

Mediante un pulso ultrasónico, se detecta a que distancia se encuentra el objeto, midiendo el tiempo entre que se envía el pulso y se recibe el rebote. Aunque la precisión de este dispositivo no es demasiado elevada, cumple con los requisitos, pues solo debe detectar el paso de un objeto en una distancia fija, lo que es igual a detectar un cambio en la distancia sin necesidad de un equipo de gran precisión, además cuenta con una fácil configuración y un bajo consumo de recurso de procesamiento, este sencillo y económico dispositivo cumple con los requisitos que se necesitan.

Para la captura de la imagen del plátano, se utilizó el módulo de cámara de la Raspberry pi (ver figura 26). Como se implementará la Raspberry pi 3 modelo B+ para el procesamiento de los datos, el módulo de Raspberry brinda una compatibilidad y fácil manejo inigualable, además de contar con una velocidad de obturación variable, así como el brillo y la resolución, brindando una flexibilidad y robustez a la hora de capturar la imagen. La cámara cuenta con 8-megapíxeles de resolución y una velocidad de captura máxima de 90 fotogramas por segundo.

Figura 26

Módulo de cámara Raspberry pi, Camera V2.1



Nota. Tomada de (333ohms, 2021)

Se elaboró un prototipo con medidas de 50 centímetros de ancho, largo y 80 centímetros de alto (ver figura 27), y se acotó la resolución de la cámara a 400 x 400 píxeles, para reducir la cantidad de datos, que además de ser innecesarios, cargaba el algoritmo de manera negativa, afectando su precisión y velocidad de funcionamiento. También se estableció una iluminación controlada, que permitiese mantener las condiciones lumínica lo más estables posible

Figura 27

Prototipo de pruebas sistema de reconocimiento de madurez por visión artificial



Nota. Prototipo construido en madera, con el cual se prueban el funcionamiento del sistema de reconocimiento de madurez, el sensor de distancia y el sistema de iluminación

Para la segmentación del plátano se establecieron cotas de aceptación, tanto superiores como inferiores, cuyos valores son representativos de una gama de colores (en este caso el verde y el amarillo) que reflejan el color dado del plátano, mientras discriminan los colores del fondo.

Los valores de los umbrales se definieron mediante un valor promedio del sistema de color RGB o HSV del valor significativo del color de los plátanos (Verde-Amarillo) y se obtuvieron evaluando una cantidad de plátanos usando el prototipo observado en la figura 27. Estos valores se muestran en la tabla 5.

Tabla 3.

Umbrales de aceptación según el grado de madurez del plátano.

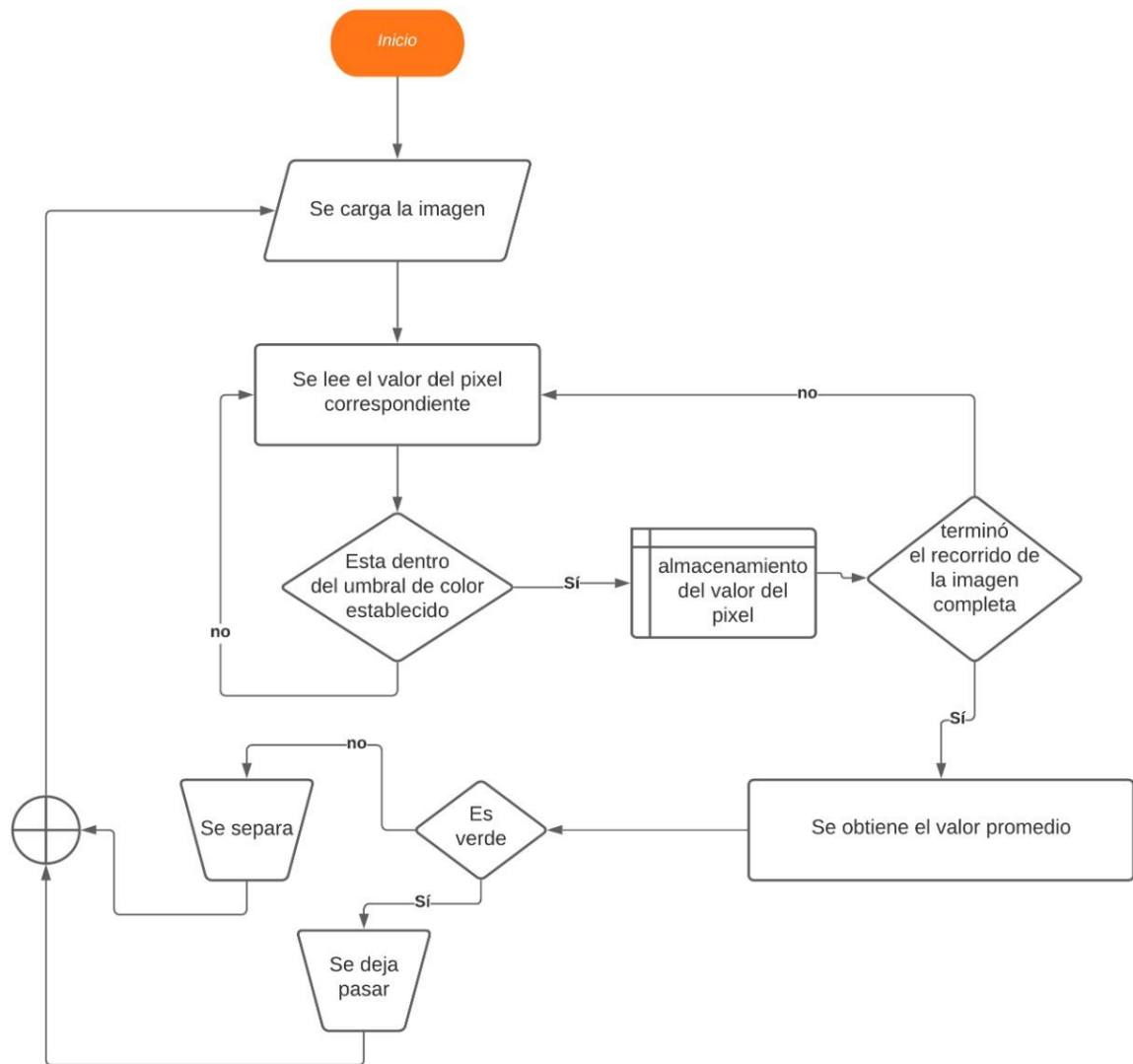
Madurez	HSV	RGB	
	H	R	G
1	0.18	45%	55%
2	0.15	50%	50%
3	0.12	55%	45%

Con estos umbrales se recorre la imagen buscando los pixeles cuyos valores cumplen con los requerimientos de las cotas establecidas.

Con los pixeles seleccionados, se extrae el valor de cada uno de estos y se hace un promedio como se observa en el diagrama de flujo de la figura 28, el valor de este promedio se evalúa con las cotas (establecida según la necesidad, en este caso para seleccionar exclusivamente el plátano verde) y se excluye el plátano pintón y maduro del verde.

Figura 28

Diagrama de flujo captura y selección de plátano.



Etapas de selección del plátano

En la etapa de selección de plátano, se busca diseñar un mecanismo que permita separar el fruto adecuado del no adecuado, cumpliendo con los requerimientos planteados anteriormente.

Para el diseño del mecanismo, se plantea como solución la construcción de una banda transportadora como estructura base del sistema de reconocimiento de madurez de plátano y el mecanismo electromecánico de selección del plátano, el cual se ideó implementando una

compuerta mecánica, que, mediante una electroválvula y un pistón, se accionara, empujando el plátano no deseado fuera de la línea de producción.

Diseño banda transportadora.

Para el diseño de la banda transportadora se parte de la optimización de recursos, refiriéndonos a esto, como la utilización de material ya disponible dentro de las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío; la cual cuenta a su disposición y fuera de uso con un motorreductor trifásico de 3/4 de caballo de fuerza (Hp) con una caja reductora relación 1/40 y, también se cuenta con una cinta tipo Table Top de acetal.

Con la disposición del motorreductor y la cinta Table top mencionados anteriormente, se prosigue con la elección y descripción de los elementos que componen la banda transportadora.

Banda table top kv820 400

Las bandas table top son empleadas principalmente en la industria alimenticia y farmacéutica para el transporte de productos como envases, frascos, botellas o cajas pequeñas. (Venmir, 2020) Las características principales de las bandas table top que la hacen ideal para el transporte de materia prima como el plátano, son: su resistencia mecánica, que le permite soportar grandes cargas de materia prima; resistencia al desgaste, que la hace idónea para ambientes al aire libre; facilidad de mantenimiento, esto es primordial para la industria de primer nivel cuyos trabajadores no poseen conocimientos avanzados sobre el mantenimientos de maquinaria; y por ultimo una larga vida útil, reduciendo costos en reemplazo de repuestos y modernización. (Venmir, 2020), (BENAR & CIA, 2020), (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016) Estas características también se ven reforzadas gracias al material con el que está construida la banda, acetal, el cual posee una gran resistencia a la abrasión, alta resistencia a la temperatura, con un rango de trabajo entre -40°C y 85°C, alta resistencia a la deformación plástica, casi nula absorción de agua, y una de las características más

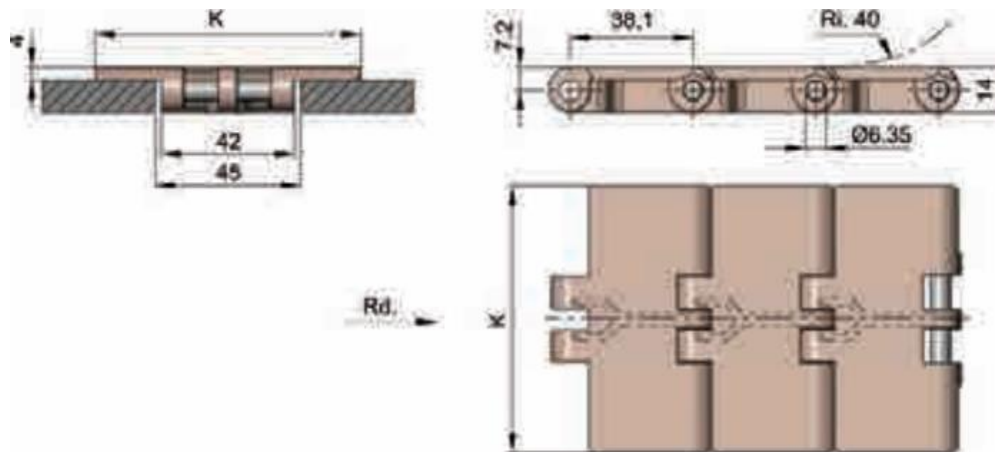
importantes, es el cumplimiento de normas FDA que le permite el contacto con alimentos, también está aprobado por el USDA (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016).

La banda table top que se utiliza para la construcción de banda transportadora, cuenta con el código de referencia KV820 400 en el catálogo de la empresa AVE® (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020).

Las medidas la banda trasportadora están definidas en la tabla 6 y figura 29 (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020).

Figura 29

Banda TableTop KV820 400.



Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020)

Tabla 4.

Medidas Banda Table Top KV820 400.

Código	K (mm)	Peso (Kg/m)	Material
KV820 400	114.3	1.03	Acetal

Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020)

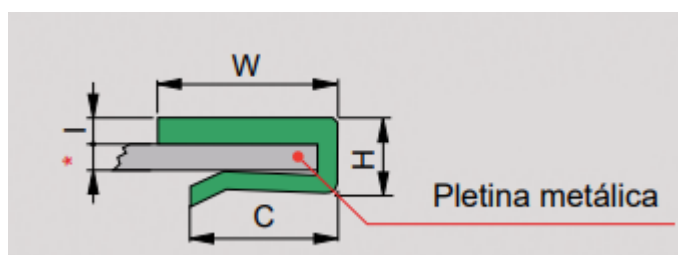
Guías de deslizamiento de la banda

La banda transportadora requiere unas guías superiores que se encuentran aseguradas en su estructura; (ver figura 30) (ver tabla 7) en las guías se apoya y desliza la banda, esto evita el contacto con la estructura metálica de la banda, lo que prolonga la vida útil de la esta. (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016).

Uno de los materiales más utilizados y de fácil acceso para la implementación de las guías de deslizamiento, es el polietileno de ultra alto peso molecular (U.H.M.W.-PE) (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016), (Aceros Levinson, 2020), (GoodFellow, 2020). El U.H.M.W.-PE posee un peso molecular muy elevado (3-6millones) (GoodFellow, 2020), permitiéndole tener una muy buena resistencia a la abrasión, bajo coeficiente de fricción, buena resistencia química, fuerza ante el alto impacto, un amplio margen de temperatura (-200°C a + 70°C), también se encuentra aprobado para el contacto con alimentos por la FDA (Aceros Levinson, 2020).

Figura 30

Guía superior para banda transportadora en material U.H.M.W.-PE



Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020)

Tabla 5.

Medidas guía superior para banda transportadora en material U.H.M.W.-PE

Material	W (mm)	H (mm)	C (mm)	I (mm)	Peso (Kg/m)
U.H.M.W.-PE	20	10.5	20	3	0.12

Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020)

Motorreductor

La empresa Agrocongelados del Quindío posee un motorreductor en buenas condiciones de funcionamiento, (ver figura 31) el cual formó parte una banda transportadora que se encuentra fuera de sus condiciones de uso. (ver figura 32) El motorreductor posee una caja reductora de relación 1/40 y una potencia de 3/4 Hp a 1750 RPM, estos datos son extraídos de la placa del motorreductor.

Figura 31

Motorreductor relación 1/40



Nota. Se probó el funcionamiento del motorreductor, concluyendo que se encontraba en óptimas condiciones de uso, por ende, se optó por usar, ahorrando gran costo en la construcción de la banda.

Figura 32

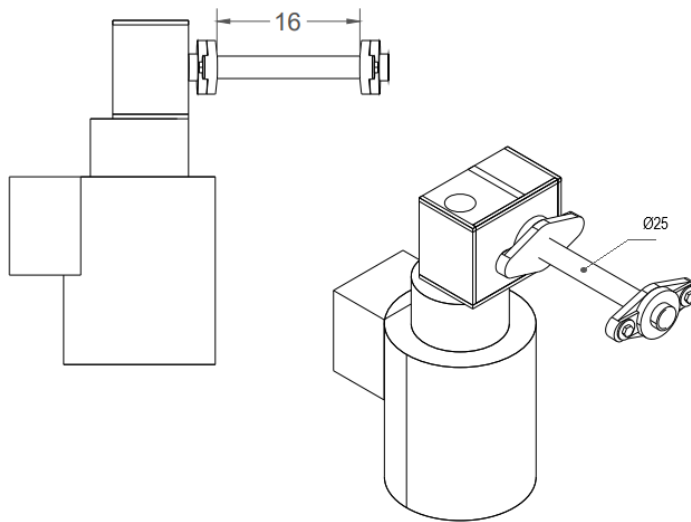
Banda transportadora fuera de uso



Nota. Esta banda transportadora se encontraba en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío, anteriormente se usaba en la sección de formado y corte del patacón, actualmente se encuentra desmantelada y fuera de uso.

Eje del motor

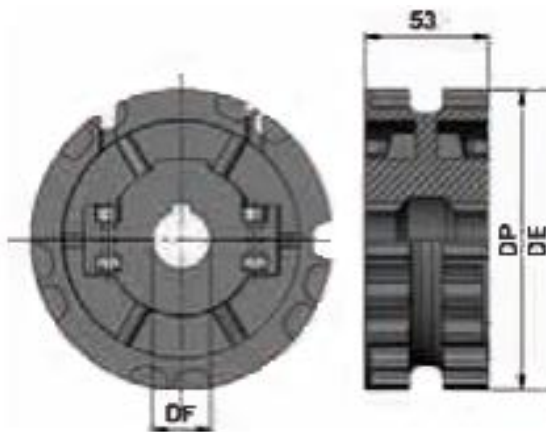
El eje de motor viene determinado principalmente por las cargas y esfuerzos que debe aguantar; se recomienda implementar ejes cuadrados para bandas cuyo ancho supere los 900mm (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016). El eje seleccionado para la banda transportadora es determinado por el motor que ya se posee, y el ancho de la banda, que no supera los 900mm; se selecciona un eje redondo de acero inoxidable con un diámetro de 25mm y una longitud sin soporte de 160mm. (ver figura 33)

Figura 33*Ilustración eje del motor.*

Nota. Ilustración extraída de los planos del sistema electromecánico de selección de selección de plátano basado en visión artificial

Piñón

En la elección del piñón, se recurre a la recomendación estipulada en el catálogo de la empresa AVA®. Se selecciona el piñón de tracción, referencia 6321077 (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020), con 21 dientes, hecho de poliamida reforzada; las dimensiones del piñón se definen en la figura 34 y tabla 8

Figura 34*Piñón Z 21 referencia 6321077**Nota.* Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020)**Tabla 6.***Medidas piñón Z 21 referencia 6321077*

Código	Z	DE	DP	DF	Kg
6321073	21	129.0	129.26	25	0.40

Nota. Medidas tomadas de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020)**Tipo de retorno**

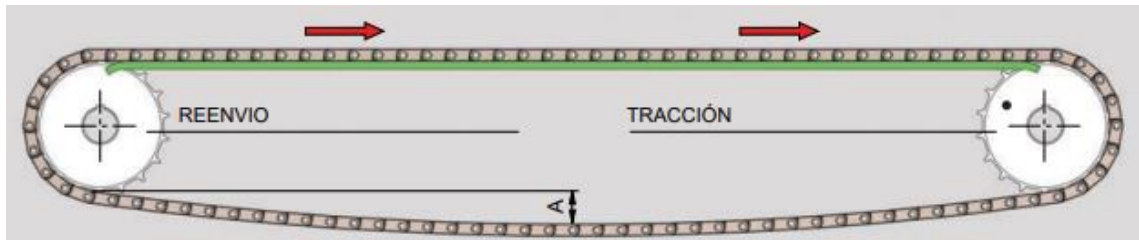
Existen cuatro tipos de retornos que se determinan en la forma de implementar o fabricar el soporte inferior para la banda (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016).

Retorno libre

Este tipo de retorno solo es recomendado para bandas transportadoras inferiores a dos metros, debido a que la propia estructura de la banda funciona como soporte para esta (ver figura 35). También es aconsejable verificar que la distancia “A” oscile entre 25mm y 100mm (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016).

Figura 35

Ilustración banda transportadora con retorno libre



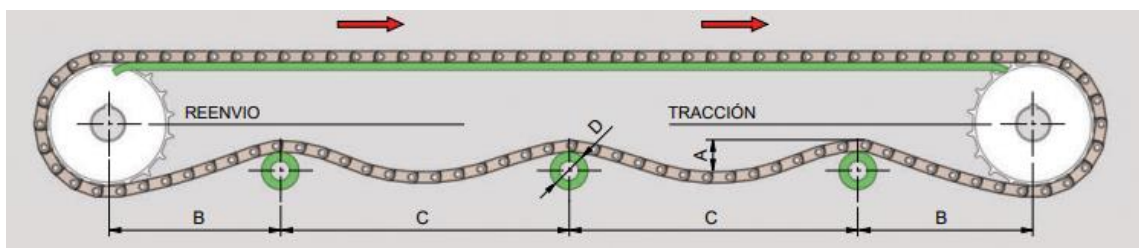
Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Retorno con rodillo

Está formado por rodillos dispuestos a cierta distancia, creando así un soporte para la banda (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016) (ver figura 36). Las distancias recomendadas para la instalación de los rodillos se pueden observar en la tabla 9

Figura 36

Ilustración banda transportadora con retorno con rodillo.



Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Tabla 7.

Recomendaciones para la instalación de banda transportadora con retorno con rodillos

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
oscilación	25-100	250-500	800-1200	42-60

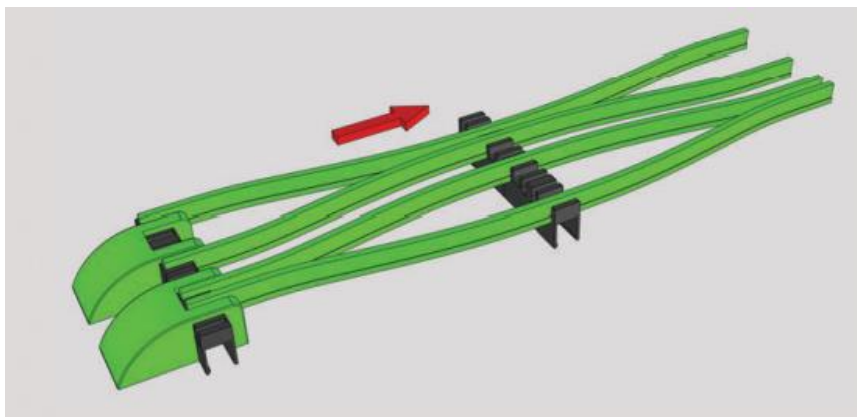
Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Retorno con plataforma

Como bien indica el nombre, el retorno con plataforma se implementa mediante una plataforma uniforme o bien, mediante perfiles de plástico entrelazados (ver figura 37) que forman un soporte deslizante para la banda (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)(ver figura 38).

Figura 37

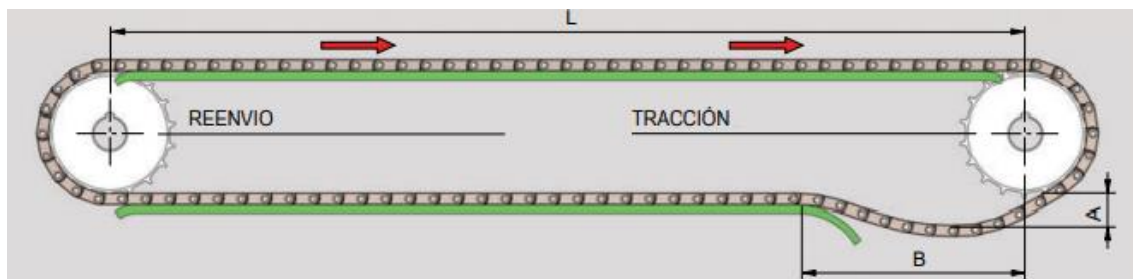
Plataforma de plástico con perfiles entrelazados.



Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Figura 38

Ilustración banda transportadora con retorno con plataforma.



Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

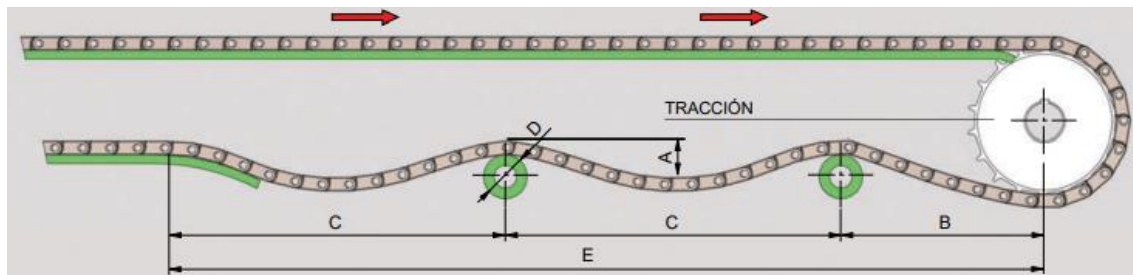
La distancia “A” debe oscilar entre 25mm y 100mm, y la distancia “B” debe oscilar entre 450mm y 650mm para bandas transportadoras menores a 4 metros, y para bandas transportadoras mayores, la oscilación debe ser entre 800mm y 1200mm. (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016) (ver figura 38).

Retorno mixto

Este retorno está formado por la combinación del retorno con rodillos y el retorno con plataforma. (ver figura 39) las medidas recomendadas para la implementación de este retorno se observan en la tabla 10

Figura 39

Ilustración banda transportadora con retorno mixto.



Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Tabla 8.

Medidas recomendadas para la implementación de una banda transportadora con retorno mixto.

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	
				con rodillos	sin rodillo
Oscilación	25-100	250-500	800-1200	450-600	800-1200

Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

la elección de sistema de retorno de la banda transportadora para la empresa Agrocongelados del Quindío, si bien podría realizarse mediante el retorno libre, se identificó que la distancia de oscilación “A” se aproximaba mucho a lo recomendado de 100mm, para ser una banda corta, de 1,2 metros; por esta razón se decidió añadir al diseño dos rodillos de soporte, que añadieran a la banda mayor estabilidad, evitando así, sobresaltos y desgastes adicionales.

Cálculos de verificación

El proceso de diseño hace necesaria la verificación de los materiales escogidos para la construcción de la banda transportadora, permitiendo realizar ajustes si son pertinentes, o bien concretar el diseño.

El proceso de verificación se realiza mediante cálculos matemáticos, donde se observa la carga y tensión que debe soportar la banda transportadora y el eje del motor, así mismo se halla la potencia requerida por el motor para un correcto funcionamiento de la banda.

Cálculos banda

Peso máximo del plátano

$$P_{pl} = 500gr = 0,5 Kg$$

Longitud banda

$$L = 1,2 m$$

Se dispone de un motorreductor de 3/4 HP a 1750 RPM con una caja reductora relación 1/40 (ver figura 31)

Ancho de banda table top KV8200 400 (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020).

$$k = 0,1143 m$$

Se establece un eje redondo de acero inoxidable de Ø25

Peso de la banda (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2020).

$$P_B = 1,03 \frac{Kg}{m}$$

Carga del producto

Para determinar la carga del producto en la banda, se establece como máximo tres plátanos sobre la banda

$$C_p = 0,5 Kg * 3 = 1,5Kg$$

Peso del productora por metro

$$P_P = \frac{1,5Kg}{1,2m} = 1,25 \frac{Kg}{m}$$

En primer lugar, se dispone a calcular la tensión de trabajo que debe soportar la banda, determinada por: (ver Ecuación 1)

$$T_T = T_M + F_V + F_S \text{ (Kg)} \quad (1)$$

Donde:

T_M : Tensión motriz

F_V : Factor de velocidad

F_S : Factor de servicio

La tensión motriz para banda unidireccional sin acumulación, con retorno por rodillos, está determinada por: (ver Ecuación 2)

$$T_M = (L * P_B * \mu_{BR}) + [(L * \mu_{BG} * (P_B + P_P))] \text{ (Kg)} \quad (2)$$

Donde:

L : Longitud de la banda

P_B : Peso de la banda

P_P : Peso del producto en la banda por metro

μ_{BG} : Coeficiente de fricción de la banda con la guía superior. (ver anexo 7)

$$\mu_{BG} = 0,14$$

μ_{BR} : Coeficiente de fricción de la banda con la guía inferior. (ver anexo 7)

$$\mu_{BR} = 0,10$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2, se obtiene que:

$$T_M = 0,5066 \frac{Kg}{m}$$

Se calcula la tensión motriz por ancho de banda, donde (ver ecuación 3):

$$T_{ML} = \frac{T_M}{k} \frac{Kg}{m} \quad (3)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3, se obtiene:

$$T_{ML} = 4,4325 \left(\frac{Kg}{m} \right)$$

Para hallar el coeficiente de velocidad, se hace necesario calcular la velocidad de la banda transportadora (ver ecuación 4), donde:

$$V = \text{revoluciones del motor} * \text{relación de reducción} * \text{perímetro piñón} \quad (4)$$

Donde:

Revoluciones del motor: 1750 RPM

Relación de reducción: 1/40

Perímetro piñón: $DP * \pi = 40,5$

Reemplazando los valores en la ecuación 4 se obtiene:

$$V = 1771 \frac{cm}{min} = 17,71 \frac{m}{min}$$

Se halla el factor de velocidad de la banda transportadora según el anexo 4, por lo tanto

$$\frac{V}{L} = \frac{16,8m/min}{1,2m} = 14$$

$$F_V = 2,05$$

Factor de servicio según el anexo 5.

$$F_S = 1,4$$

Se reemplazan los valores de la ecuación 1, para la tensión de trabajo, obteniendo:

$$T_T = 1,4540 Kg$$

Se halla la tensión de trabajo por ancho de banda, donde (ver ecuación 5):

$$T_{TL} = T_{ML} + F_V + F_S \text{ (Kg)} \quad (5)$$

Reemplazando en la ecuación 5, obtenemos

$$T_{TL} = 4,4325 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right)$$

Se observa que la carga soportada por la banda es mayor a la carga del producto, concluyendo que la banda es adecuada para su implementación.

Cálculo de resistencia y flexibilidad del eje

Peso del eje redondo de acero inoxidable de diámetro Ø25 según tabla 3, es 3,85 Kg/m

Se determina el peso del eje utilizado en la banda transportadora, por lo tanto:

$$P_E = 3,85 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 0,35\text{m} = 1,3475 \text{ Kg}$$

La carga total del eje viene determinada por (ver ecuación 6):

$$F_T = T_T + P_E \text{ (Kg)} \quad (6)$$

Donde:

T_T : Tensión de Trabajo

P_E : Peso del eje

Reemplazando en la ecuación 6, se obtiene:

$$F_T = 1,9593 \text{ Kg}$$

Se halla la flexión de los ejes con dos soportes, la cual está determinada por (ver ecuación 7):

$$Y = \frac{5}{384} * \frac{F_T * L_E^3}{E * I} \text{ (mm)} \quad (7)$$

Donde:

L_E : Longitud del eje sin soporte

$$L_E = 160mm$$

Longitud del eje sin soporte $L_E = 160mm$

E : Módulo de elasticidad (ver anexo 8)

$$E = 19700 \frac{Kg}{mm^2}$$

I : Momento de inercia (ver anexo 9)

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} = 1917,80 \text{ mm}^4$$

Reemplazando los valores en la ecuación 7, se obtiene

$$Y = 0,0002 \text{ mm}$$

La deflexión no supera los 2,5mm, por lo que es válida la elección del eje.

Cálculo de la potencia del motor

La potencia del motor está determinada por la siguiente ecuación:

$$W = \frac{T_M * V * F_s}{6100} (KW) \quad (8)$$

Reemplazando los valores, se obtiene que:

$$W = 0,0020 \text{ KW}$$

Se calculan las perdidas en la transportadora por temas mecánicos según el anexo 10.

W_p : Perdidas

1% por rodamientos de bolas

2% reductor de engranajes o rectos de reducción simple

$$W_p = 3$$

Teniendo en cuenta las pérdidas por temas mecánicos, se calcula la potencia necesaria

$$W_N = 0,0021 \text{ KW}$$

Debido a que no es recomendable que el motor trabaje con un esfuerzo continuo mayor del 75%, se ajusta la potencia necesaria que el motor debe tener para un desempeño óptimo.

$$W_M = \frac{W_N * 25}{100} + W_N \text{ (KW)}$$

$$W_M = 0,0026 \text{ KW}$$

Dado que se tiene un motor de 3/4 HP que corresponde a 0,55 kW, se evidencia que la potencia requerida para el funcionamiento de la banda es mucho menor que la proporcionada por el motor, por ende, la utilización de este es adecuada.

Sistema de separado del plátano

Para el sistema de separación del plátano, se toma como principal requerimiento no afectar la modularidad y escalabilidad que proporciona una banda transportadora en la línea de producción de la empresa Agrocongelados del Quindío; para ello se idea la forma de separar el plátano verde del resto.

El sistema de separación del plátano se plantea poner en funcionamiento mediante una compuerta, la cual permanezca abierta y solo interrumpa el flujo de plátanos cuando se identifique entre este un plátano maduro o pintón, guiando fuera de la línea de producción los plátanos que no se estén aptos para continuar con los procesos posteriores como el pelado. La empresa Agrocongelados del Quindío cuenta con un compresor de aire, el cual es utilizado por el sistema de formado de patacones, según nos indicó el dueño de la empresa, se puede disponer de este compresor para diseñar el sistema de la compuerta.

Teniendo en cuenta lo anterior, el diseño de la compuerta se pone en marcha mediante una electroválvula y un cilindro neumático, para que una vez sean accionados, la compuerta se cierre, guiando el plátano pintón o maduro fuera del sistema.

Electroválvula Fluidtec.

Características (ver tabla 11)

Tabla 9.

Características electroválvula Fluidtec 4V110-06

Modelo	4V110-06
presión de trabajo	0.15 - 0.8 Mpa
Max. Presión	1.2 Mpa
Temperatura de operación	5 - 50 °C
Rango de voltaje	± 10 %
Consumo eléctrico	AC: 4.5VA DC: 3W
Aislamiento	IP65
Entrada Eléctrica	Cable conductor
Frecuencia de acción	5 ciclos/segundo
Tiempo de respuesta	0.005 segundos

Nota. Tomada del catálogo de Fluidtec

Cilindro neumático

Se utiliza un cilindro neumático de doble acción con características de trabajo similares a la electroválvula. Se toma como referencia un cilindro neumático de la misma marca que la electroválvula y se toman sus características principales

Tabla 10.

Características cilindro neumático de doble acción.

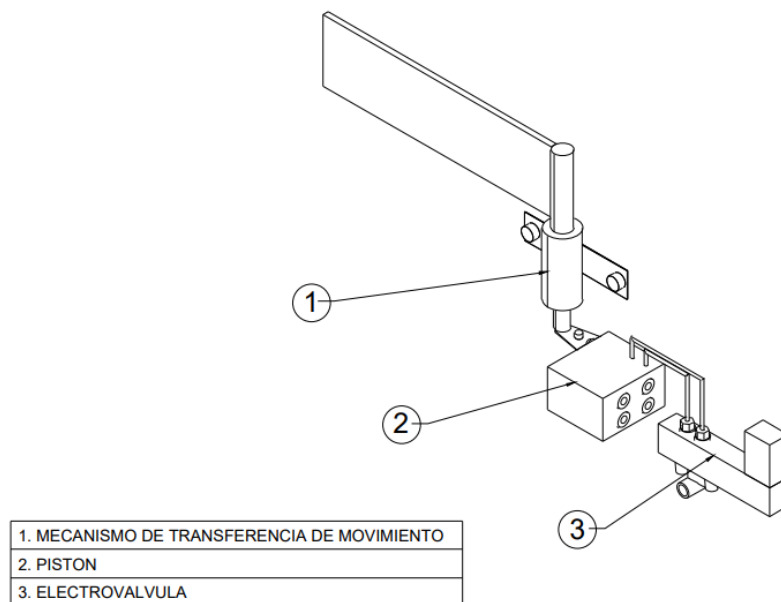
Presión	0.1 - 0.9 Mpa
Max. Presión	1.35 Mpa
Temperatura de operación	-5°C a 70°C
velocidad de acción	30 - 500mm/s

Nota. Tomada del catálogo de Fluidtec

Se diseña un mecanismo (ver figura 40) el cual permita transferir el movimiento horizontal del cilindro neumático a un movimiento rotacional el cual cambia el estado de la compuerta, de abierta a cerrada.

Figura 40

Ilustración compuerta de seleccionadora de plátano (mecanismo de transferencia de movimiento, pistón y electroválvula)



Nota. Ilustración extraída de los planos del sistema electromecánico de selección de plátano por visión artificial

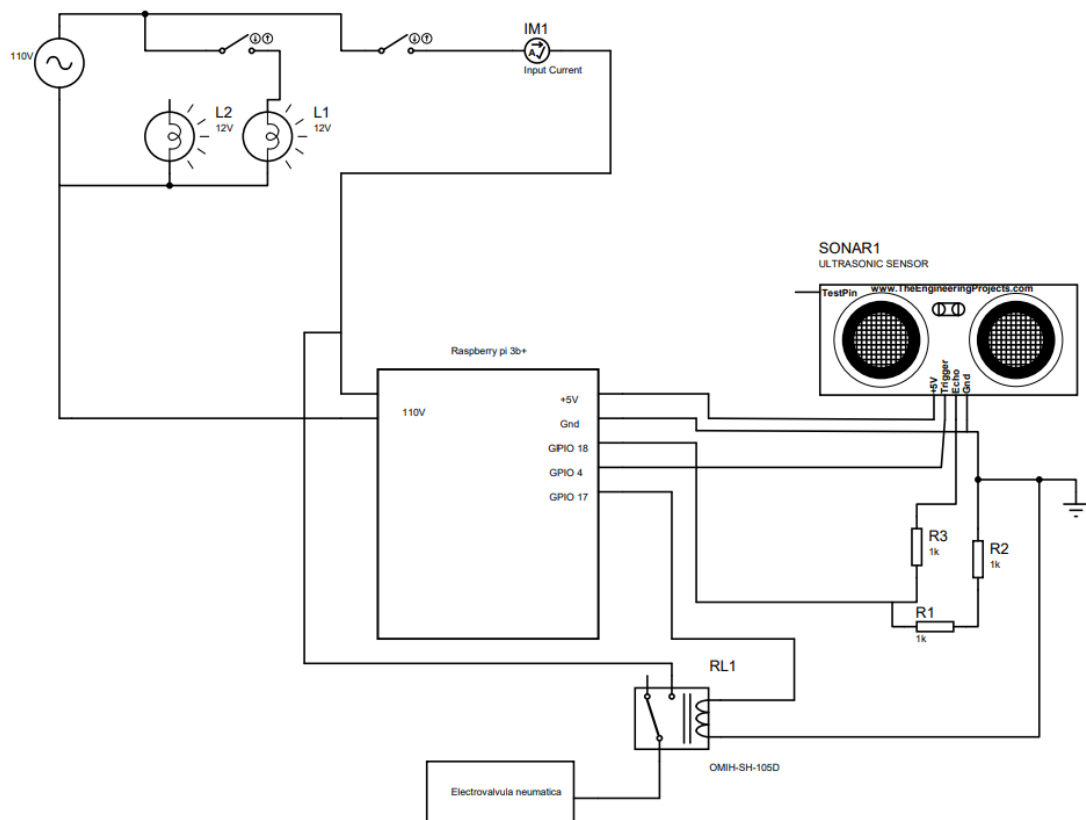
Etapa de acople

Para el funcionamiento conjunto entre el sistema mecánico de selección del plátano y el sistema de reconocimiento de madurez, fue necesario idear una forma de detectar la entrada de un plátano al sistema, el cual iniciara todo el proceso de reconocimiento de madurez y posteriormente su selección mediante el sistema mecánico, para ello se implementó el sensor de distancia SRF05, el cual mediante ultrasonido detectara un cambio en la distancia de referencia, indicando la entrada de un plátano al sistema. Para la señal de activación de la electroválvula, se implementó un relé que permitiese traducir la señal de

salida de la Raspberry pi al voltaje requerido por la electroválvula; el esquema del montaje se puede observar en la figura 41, donde también se observa el acople con la iluminación del sistema

Figura 41.

Esquemático circuito de conexión sensor SRF05, Raspberry pi 3 b+, sistema de iluminación y electroválvula.



Por último, se ajusta el tiempo requerido para la captura de la imagen y el tiempo necesario para la activación de la compuerta de selección, estos tiempos son sujetos a calibración una vez el sistema se encuentre implementado en la empresa Agrocongelados del Quindío.

Verificación de funcionamiento del sistema

Una vez el prototipo se encuentra completamente funcional y se haya instalado en la empresa Agrocongelados del Quindío, se plantean las siguientes pruebas de funcionamiento.

Prueba de calibración

En primer lugar se busca determinar qué modelo de segmentación, RGB o HSV, es más adecuado o presenta menores inconvenientes para el reconocimiento de madurez del plátano, en las condiciones que presenta la empresa Agrocondelado del Quindío; para ello se selecciona una cantidad de plátanos con los tres niveles de madurez, cada grupo de plátanos es pasado por el sistema de selección en pleno funcionamiento para observar el comportamiento de cada modelo de segmentación, analizando el valor de sus componentes. Por último, es necesario ajustar el tiempo que el sistema debe esperar para capturar la imagen, una vez el plátano haya ingresado a la banda transportadora y el sensor de distancia lo haya detectado; se debe ajustar el tiempo que requiere el plátano para pasar por la compuerta separadora, para que esta se active o no en el momento adecuado. Estos tiempos permiten ser ajustados mediante ensayo y error, ya que, la banda transportadora mantiene una velocidad constante.

Prueba de precisión y funcionamiento constante.

En esta prueba se busca verificar el porcentaje de error que presenta el sistema; se catalogan los errores del sistema en dos principales: error mecánico y error del algoritmo, el primero ocurre cuando el fruto se atasca en la banda transportadora o se cae de esta, también cuando la compuerta separadora no cumple su función al ser activada, dejando pasar el plátano o atascándolo; el segundo error ocurre cuando el sistema de reconocimiento de madurez falla en la captura de la imagen, o en el correcto reconocimiento del estado de madurez del plátano, enviando señales de activación a la electroválvula cuando no debería, o al contrario, no enviando la señal cuando debería hacerlo.

Para esta prueba se pone en funcionamiento el prototipo correctamente calibrado, posteriormente se procede a seleccionar diez canastillas con plátanos, en sus tres estados de

madurez, utilizando el prototipo; una vez finalizado el proceso se determinan los plátanos en los que se incurrió un error, ya sea por error mecánico o error de reconocimiento de madurez.

RESULTADOS

Siguiendo la metodología planteada en la etapa de diseño, en la cual también se define el escenario a ser analizado que permita determinar la elección del modelo de segmentación a utilizar en el prototipo final del proyecto, se procede a realizar el análisis de los resultados obtenidos en dichas pruebas.

Los resultados fueron obtenidos en las instalaciones de la empresa Agrocongelados del Quindío, se realizaron las pruebas con el sistema de reconocimiento de madurez acoplado a la banda transportadora, permitiendo analizar el comportamiento del sistema de reconocimiento de madurez en las condiciones de uso más reales posibles.

Las pruebas se ejecutaron seleccionando 15 plátanos de cada nivel de madurez, generando una tabla comparativa entre el modelo HSV y el modelo RGB para cada nivel de madurez (verde, pintón, maduro); para un total de 45 plátanos analizados.

Comparativa modelo de segmentación HSV y RGB.

Con el análisis de los datos obtenidos (ver anexo 1, 2, 3), se pueden determinar los factores a tener en cuenta en la elección del modelo de segmentación a utilizar en el prototipo final. En primer lugar, se busca precisar cuál de los dos modelos presenta menor susceptibilidad a los cambios de iluminación y movimientos mecánicos como vibraciones; para ello se realiza un análisis estadístico de la variación de los datos, lo que en otras palabras es el cálculo de la desviación estándar para cada modelo de segmentación (ver tabla 13).

Tabla 11.

Desviación estándar resultados modelo HSV y RGB

nivel de madurez	Desviación estándar			
	H	R	G	dif(%RG)
1	0,01122976	4783,69777	5149,47341	4,50805091
2	0,01685092	3386,38558	3070,57807	3,18616301
3	0,00826051	6362,86443	5692,27967	7,06794176

Como se puede observar en la tabla de la desviación estándar, los valores que presenta el modelo RGB, en las componentes R y G, comparado con el modelo HSV, en la componente H, son considerablemente mayores, indicando una gran dispersión de las medidas al utilizar el modelo de segmentación RGB; esto es un indicativo que el modelo RGB se ve considerablemente más afectado por cambios en la captura de la imagen, producidos principalmente por variaciones en la iluminación, posición del plátano y la misma vibración de la banda transportadora.

También se observa (ver anexo 1, 2, 3) que a pesar de que el modelo RGB es más susceptible a cambios ambientales, la diferencia de valores entre las componentes R y G, el cual permite determinar el estado de madurez del plátano, se mantiene constante, indicando que el modelo puede ser usado para la detección de madurez del plátano, pero se deben tener condiciones ambientales muy controladas para evitar cambios abruptos en la lectura de sus componentes, desventaja que no posee el modelo HSV, que como se puede observar en las tablas de resultados (ver anexo 1, 2, 3) existen unos rangos (ver tabla 14) muy definidos en la componente H, que determinan el estado de madurez del plátano; estos rangos a pesar de estar bien definidos, pueden variar por efectos de calibración.

Tabla 12.

Rangos componente H (modelo HSV) según grado de madurez del plátano.

Nivel de madurez	H		
	Min	Max	Rango
1	0,2046	0,2516	0,047
2	0,1147	0,1721	0,0574
3	0,0921	0,1163	0,0242

Prueba sistema de selección de plátano por visión artificial

Para probar de forma constante el funcionamiento del prototipo, se seleccionaron diez canastillas con plátanos en estado de madurez aleatorio, una vez concluida la prueba de funcionamiento se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla 15)

Tabla 13

Resultados prueba de funcionamiento del sistema electromecánico de selección de plátano por visión artificial.

CANASTILLA	CANTIDAD DE PLÁTANOS	ERROR MECANICO	ERROR DE RECONOCIMEINTO DE MADUREZ	ERROR TOTAL
1	92	4	0	4
2	58	7	1	8
3	99	0	0	0
4	62	5	1	6
5	93	0	0	0
6	55	1	1	2
7	100	0	0	0
8	52	6	4	10
9	86	0	5	5
10	103	0	4	4
TOTAL	800	23	16	39

Se realiza el análisis de porcentaje de error para los dos casos: errores mecánicos, los cuales pertenecen a errores en el sistema de separación, ya sea la banda transportadora o la compuerta de separación; y errores de reconocimiento de madurez, los cuales se presentan cuando se determina de forma errónea el grado de madurez del plátano.

Tabla 14

Resultados porcentaje de error prueba de funcionamiento del sistema electromecánico de selección de plátano por visión artificial.

%ERROR	%ERROR MECANICO	%ERROR DE RECONOCIMEINTO DE MADUREZ
4,875	2,875	2

El porcentaje de error se puede extrapolar directamente con la cantidad de plátanos que recibe la empresa Agrocongelados del Quindío, que, según el personal, ronda entre 20.000 y 40.000 kilogramos por semana, teniendo en cuenta que cada plátano en promedio tiene un peso de 300 gramos, se tiene que: para un cargamento de 40.000 kilogramos equivalentes aproximadamente a 133.333 plátanos, se pueden rechazar erróneamente un aproximado de 6.476 plátano asumiendo una tendencia lineal.

Tiempos de selección

Uno de los parámetros a tener en cuenta a la hora de realizar la prueba de funcionamiento del prototipo del sistema electromecánico de selección de plátano por visión artificial fue el tiempo estimado que se tarda en realizar la selección de diez canastillas, para realizar una comparativa con la selección manual (ver tabla 17). Se debe tener en cuenta que la selección manual se realizó con ayuda de tres obreros en condiciones normales de trabajo, mientras que la selección mediante el prototipo del sistema electromecánico de selección de plátano por visión artificial solo requirió de un operario.

Tabla 15

Comparativa tiempo de selección manual y tiempo de selección mediante el prototipo del sistema de selección de plátano por visión arterial.

	Tiempo (min)
Selección manual	13
Selección prototipo	40

CONCLUSIONES

La tecnología pone a disposición de la agroindustria herramientas muy beneficiosas que pueden simplificar muchos procesos que se han hecho de la misma manera por generaciones. Pero la sola tecnología no sugiere su uso, es necesario un entorno de innovación y creatividad para implementar el uso de tecnologías en la industria del agro. Agrocongelados del Quindío, es una entre muchas empresas que requieren procesos de clasificación rigurosos que permitan garantizar la calidad de los productos ofrecidos; el sistema de selección de plátano que hemos diseñado es una herramienta que, aunque se encuentre en un nivel de desarrollo de prototipo, permite visionar la automatización de procesos que hoy son realizados por operarios y perfectamente pueden ser reemplazados por dispositivos simples pero eficientes.

Se construyó e implementó un prototipo funcional en la empresa Agrocongelados del Quindío para el proceso de selección de plátano, el cual permite la identificación y clasificación del plátano mediante un sistema de visión artificial, que determina el grado de madurez del fruto, para posteriormente accionar un mecanismo que separa el plátano de la línea de producción. La implementación del prototipo le permite a la empresa Agrocongelados del Quindío iniciar su proceso de tecnificación, el cual es un primer paso para lograr la automatización y optimización de otros procesos como lo son: el rocío de acelerante de maduración y el proceso de pelado de plátano.

Se realizaron pruebas concluyentes que permitieron determinar el porcentaje de acierto del sistema de selección de plátano por visión artificial, de las cuales arrojaron una precisión mayor al 95%, también se evidenciaron aspectos a mejorar en el sistema mecánico de selección de plátano, cuyo desempeño se vio mayormente afectado por el sistema de alimentación, que se realiza de forma manual, lo que ocasiona un aumento considerable en el porcentaje de errores; aspectos como la mala colocación del fruto por parte del operador

puede producir atascos en la banda transportadora o la activación tardía de la compuerta separadora.

Respecto a los errores causados por el sistema de reconocimiento de madurez, se concluyó que mayormente se presentan cuando el fruto se encuentra en un estado de madurez difícil de catalogar, ya sea porque su color predominante es el verde y posea un degradado en amarillo, esto puede ocasionar que el sistema lo reconozca como un plátano pintón, cuando realmente aún se encuentra en su primera fase de maduración.

También se puede observar que los tiempos de selección por parte del sistema de selección de plátano pueden ser mayores que los tiempos logrados por medio de la selección manual, esto ocurre principalmente porque el sistema debe seleccionar el plátano uno por uno, y no permite la evaluación de múltiples frutos mientras se está ejecutando todo el proceso de selección, desde la detección del sensor de distancia, hasta la activación o no activación de la electroválvula.

Se lograron cumplir con los requerimientos establecidos a la hora de realizar el análisis de procesos y condiciones de la empresa Agrocongelados del Quindío, de los cuales se alcanzó con satisfacción la implementación de un prototipo robusto que permite seleccionar el plátano de forma autónoma, cuantificando y estandarizando el grado de madurez del fruto. El prototipo también cuenta con la capacidad de ajustarse a futuros proyectos de la empresa como la adecuación de más bandas transportadoras para automatizar o agilizar el proceso de pelado de fruto.

Finalmente queda por decir, que poner al servicio de nuestro departamento la aplicación de tecnología y proponer el aprovechamiento de esta, es contribuir al mejoramiento de la competitividad del Quindío, que, aunque en una profunda crisis, podemos ver en el agro una de las formas más poderosas de salir adelante como región. Poner la ingeniería al servicio del campo parece una contradicción, pero este trabajo es una muestra

más que la academia y el campo deben dialogar, pues el mundo entero está en la dirección de la ciencia y la tecnología. Hoy innovar en el agro más que un lujo se ha convertido en una necesidad apremiante.

TRABAJOS FUTUROS

El proyecto a pesar de cumplir los objetivos propuestos y lograr satisfacer los requerimientos establecidos, tiene varios puntos de mejora; el primero de todos tiene que ver con la forma en como el plátano ingresa al sistema, con el alcance del proyecto se estableció que este sistema de alimentación se realizara de forma manual, pero con la plena conciencia que se puede desarrollar un sistema autónomo que organice y distribuya los plátanos de forma tal, que el ingreso al sistema de selección se realice de forma constante y estandarizada, lo cual evitaría problemas como atascos en la banda transportadora, o un mal cálculo en la activación de la electroválvula.

En las reuniones que se tuvieron con el personal de la empresa Agrocongelados del Quindío, se barajó la posibilidad que el prototipo tuviese la capacidad para seleccionar varios grados de madurez y no solo separar los verdes del resto, ya que en ocasiones también es necesario discriminar los plátanos maduros que se encuentran en el estado perfecto para ser dispuestos a fritura, esta posibilidad quedo descartada debido al alcance del proyecto, pero bien queda como un trabajo a futuro, donde se pueda desarrollar una interfaz de usuario, que permita seleccionar entre diferentes grados de madurez, y proporcionar mayores opciones como autodiagnóstico del sistema, conteo de frutos, etc.

Uno de los inconvenientes del sistema de selección de plátano actualmente es el tiempo que tarda en seleccionar una gran cantidad de fruto, eso se puede solucionar, ya sea aumentando o escalando el sistema actual para que funcione en paralelo con varios módulos de reconocimiento de madurez y selección de plátano, o bien proporcionar la capacidad al sistema para poder ejecutar el proceso de reconocimiento de madurez y selección de plátano de forma simultánea.

REFERENCIAS

- BENAR & CIA. (10 de 2020). *Cadenas Table - Top*. Obtenido de <http://www.benar.com.co/table-top-bandas-modulares.html>
- 333ohms. (01 de 2021). *333ohms*. Obtenido de <https://www.330ohms.com/products/camara-para-raspberry-pi>
- Aceros Levinson. (10 de 2020). *UHMW-PE Polietileno de ultra alto peso molecular*. Obtenido de <https://www.aceroslevinson.com/plasticos/uhmw-pe/>
- Africano P, K. L., Almanza-Merchán, P. J., & Balaguera-López, H. E. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 161-172.
- Alegre Gutiérrez, E., Sánchez González, L., Fernández Díaz, R. Á., & Mostaza Antolín, J. C. (2003). *Procesamiento digital de imagen: fundamentos y prácticas con MATLAB*. León: Universidad de León.
- Amador, Y., Padilla, A., Barranco, A., & Barranco, A. (S.f). *Umbralado Gaussiano de segundo orden de imágenes a color*. México .
- Autycom. (02 de 2021). *Autycom*. Obtenido de ¿Qué es un sensor ultrasónico?: <https://www.autycom.com/que-es-un-sensor-ultrasonico-y-para-que-sirve/>
- AVE Transmisiones Mecánicas. (2016). *avetm*. Obtenido de Catálogo Bandas: <http://www.avetm.com/Documentacion/Default.aspx>
- AVE Transmisiones Mecánicas. (2020). *avetm*. Obtenido de Catálogo General 2020: <http://www.avetm.com/Documentacion/Default.aspx>
- Barrera, J. L., Segundo, G., & Cayón, D. G. (2010). Caracterización fisiológica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta agronómica*, 20-29.
- Bodoya Duque, S. M. (2015). *Estandarización de parámetros de calidad en la recepción y almacenamiento de*. Corporación Universitaria Lasallista, Antioquia. Caldas: Programa Ingeniería de alimentos.
- Bozal, J. F. (2004). Fotografía digital: ventajas e inconvenientes. *Esp Ortod*, 335-341.
- El jianguo, X. Z. (28 de 01 de 2009). *china Patente nº CN201186270Y*.
- FHA. (s.f). Plátano FHIA-21. *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola*, 1-4.
- Figueredo Avila, G. A., & Ballesteros Ricaurte, J. A. (2016). Identificación del estado de madurez de las frutas con redes neuronales artificiales, una revisión. *Cienc. Y Agric*, 13(1), 117.
- Food, T. S. (18 de 02 de 2019). *BLIZZARD SORTING MACHINE BY TOMRA*. Obtenido de <https://www.tomra.com/en/sorting/food/sorting-equipment/blizzard>

- Food, T. S. (18 de 02 de 2019). *SENTINEL II SORTING MACHINE BY TOMRA*. Obtenido de <https://www.tomra.com/en/sorting/food/sorting-equipment/sentinel>
- Food, T. S. (s.f.). *HELIUS OPTICAL SORTER. Brochure Helius*.
- FotoNostra. (S.f). *FotoNostra*. Obtenido de FotoNostra: <https://www.fotonostra.com/grafico/rgb.htm>
- Fruits, G. (Julio de 2018). *Gea Fruits*. Obtenido de <http://geafruits.com/platano-harton/>
- Gergoff Grozeff, G. E. (2016). Maduración del conocimiento: una nueva forma de enseñar índices de cosecha en fruticultura. *Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública. Transformaciones actuales y desafíos para los procesos de formación* (págs. 81-87). La Plata: Secretaría de Asuntos Académicos.
- GoodFellow. (10 de 2020). *Polierileno - U.HM.W. Informacion sobre el material*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-UHMW.html>
- Gutierrez R, J. C. (2009). *Aplicabilidad de las metodologías de diseño de producto en el desarrollo y creación de páginas web y diseños gráficos*. Medellín: Universidad EAFIT, escuela de ingeniería, departamento de ingeniería de diseño de producto.
- Léon Agatón, L., Mejía Gutiérrez, L. F., & Montes Ramírez, L. M. (2015). Caracterización Socioeconómica y Tecnológica de la Producción del Plátano en el Bajo Occidente del Departamento de Caldas. *Luna Azul*(41), 184-200.
- Maldonado Guzmán, G., Martínez Serna, M., Hernández Castorena, O., & García Pérez de lema, D. (2011). El impacto de los procesos de producción en el rendimiento de la pyme manufacturera de México: un estudio empírico. *Tec Empresarial*, 5(1), 21-30.
- Montoya Holguin, C., Cortés Osorio, J. A., & Chaves Osorio, J. A. (2014). Sistema automático de reconocimiento de frutas basado en visión por computador. *Ingeniare. Rev. chil. ing*, 22(4), 504-516.
- Morton, J. F. (1987). *Fruits of warm climates*. Miami: Creative Resource Systems, Inc.
- Pérez, J. A., & Medina, C. (2017). Diseño de un sistema que determine el estado de madurez del Mango Hilacha (Magdalena River), usando visión artificial por computador. *CECAR*, 1-90.
- Pipette. (S.f). *Stefan Trost Media*. Obtenido de Stefan Trost Media: <https://es.sttmedia.com/modelo-de-color-hsv>
- prospectiva, E.-o. d. (18 de 02 de 2019). *Evaluaciones agropecuarias municipales*. Obtenido de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Python. (2020). *Python*. Obtenido de Python: <https://www.python.org/doc/>
- Raffino, M. E. (24 de Junio de 2020). *Concepto*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/fotografia-digital/>

- Romero Acero, Á., Marín Cano, A., & Jiménez Builes, J. A. (2015). Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy. *UIS Ing*, 14(1), 21-31.
- Ruge Ruge, I. A., Pinzon Arias, A. S., & Moreno Ochoa, D. E. (2012). Sistema de selección electrónico de café excelso basado en el color mediante procesamiento de imágenes. *Tecnura*, 16(34), 84-93.
- Rural, M. d. (2014). Cadena de Plátano. *Sist. Inf. Gestión y Desempeño Orgn. Cadenas*(571), 28.
- S.L, I. (28 de Octubre de 2019). *Infaimon S.L.* Obtenido de Infaimon S.L: <https://blog.infaimon.com/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/>
- Saad, H., Ismai, A. P., Othman, N., Jusoh, M. H., Naim, N., & Ahmad, N. A. (2009). Recognizing the ripeness of bananas using artificial neural network based on histogram approach. *IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*, 536-541.
- Salamanca Gutiérrez, F. A., Balaguera López, H. E., García, J. C., & Herrera Árevalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302-313. Obtenido de <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>
- Salgado Yoshemart, A., Amador Salgado, Y., Padilla Medina, A., Barranco Gutiérrez, A., & Barranco Gutiérrez, A. (2015). Umbralado Gaussiano de segundo orden de imágenes a color. *Congreso Internacional de Robótica y Computación*. Los Cabos.
- Sigma Electrónica. (01 de 2021). *Sigma Electrónica*. Obtenido de <https://www.sigmaelectronica.net/producto/hy-srf05/>
- Soloaga, A. (19 de Octubre de 2018). *Akademus*. Obtenido de Akademus: <https://www.akademus.es/blog/programacion/principales-usos-python/>
- Suraya Prabha, D., & Satheesh Kurma, J. (2015). Assessment of banana fruit maturity by image processing technique. *J Food Sci Technol*, 52(3), 1316-1327.
- tecnología, A. (21 de Julio de 2013). *ABC tecnología*. Obtenido de ABC tecnología: <https://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20130716/abci-raspberry-como-201307151936.html>
- Valencia López, J. M., & Abril Caás, M. (2017). *Registro de transeúntes en tiempo real utilizando un sistema de vision artificial sobre un ambiente controlado*. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, programa de ingeniería electrónica.
- Velasco, R. (02 de Julio de 2018). *Hard Zone*. Obtenido de Hard Zone: <https://hardzone.es/reviews/perifericos/analisis-raspberry-pi-3-modelo-b/>
- Venmir. (10 de 2020). *Bandas transportadoras table-top: ¡Transportando a toda la industria!* Obtenido de <https://venmir.com/bandas-transportadoras-table-top-transportando-a-toda-la-industria/>
- Wang Xiaojun, S. X. (15 de 08 de 2012). *China Patente n° CN202374719U*.

GLORARIO

Siglas

Hp: caballos fuerza

°C: Grados centígrados

FDA: Food and Drug Administration (Administración de Medicamentos y Alimentos)

mm: Milímetros

kg: Kilogramos

m: Metros

U.H.M.W.-PE: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (polietileno de ultra alto peso molecular).

RPM: Revoluciones Por Minuto

kW: Kilowatts

S.A: Sociedad Anónima.

SIOC: Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas Colombia.

RGB: Red, Green, Blue (Rojo, Verde, Azul).

HSV: Hue, Saturation, Value (Matiz, Saturación, Brillo).

P_{Pl} : peso máximo del plátano

L: longitud de la banda

k: ancho de la banda

P_B : peso de la banda

C_P : carga del producto

P_P : peso del producto por metro

T_M : Tensión motriz

F_V : Factor de velocidad

F_S : Factor de servicio

P_P : Peso del producto en la banda por metro

μ_{BG} : Coeficiente de fricción de la banda con la guía superior.

μ_{BR} : Coeficiente de fricción de la banda con la guía inferior.

T_{ML} : tensión motriz por ancho de banda

V : Velocidad banda transportadora

T_T : tensión de trabajo

T_{TL} : tensión de trabajo por ancho de banda

P_E : peso del eje

F_T : carga total del eje

L_E : Longitud del eje sin soporte

Definiciones técnicas

Píxeles: Es la unidad visual más pequeña de una imagen, este contiene valores que determinan su color, luminosidad y profundidad (Pérez & Medina, 2017)

Obturación variable: Hace referencia a la capacidad que tiene la cámara digital de controlar la velocidad de obturación, que es el tiempo de exposición del sensor a la luz.

Sensor ultrasónico: los sensores ultrasónicos tienen la capacidad de medir distancias a partir del uso de ondas ultrasónicas, calculando el tiempo que tarda la onda emitida en ser reflejada y captada. (Autycom, 2021)

Electroválvula: Es una válvula controlada eléctricamente la cual permite o no el paso de un fluido.

Pistón o cilindro neumático: es un dispositivo mecánico que permite transformar la energía potencial acumulada por el aire comprimido en energía cinética, generando un movimiento.

Relé: Es un dispositivo que funciona como interruptor entre dos circuitos independientes.

Visión Artificial: Se define como visión artificial a un sistema automático de adquisición y análisis de imágenes, cuyo fin es proporcionar datos necesarios para el control de procesos o actividades. (Valencia López & Abril Caás, 2017).

Frutos climatéricos: Son aquellos frutos que presentan un aumento en la respiración, debido a la producción endógena de etileno, produciendo inevitablemente la maduración del fruto (Africano P, Almanza-Merchán, & Balaguera-López, 2015) (Salamanca Gutiérrez, Balaguera López, García, & Herrera Árevalo, 2014).

ANEXOS

Anexo 1.

Resultados prueba de funcionamiento sistema de reconocimiento de madurez de plátano por visión artificial para plátano verde.

Estado de madurez 1	HSV	RGB						
No. Plátano	H	R	G	RG	%R	%G	%dif	dif
1	0,2191	8888	8056	16944	52,4551464	47,5448536	4,91029273	4,91029273
2	0,2286	10813	11689	22502	48,0535064	51,9464936	3,89298729	-3,89298729
3	0,2329	10476	10803	21279	49,2316368	50,7683632	1,53672635	-1,53672635
4	0,2358	11675	12379	24054	48,5366259	51,4633741	2,92674815	-2,92674815
5	0,2516	11826	12277	24103	49,0644318	50,9355682	1,87113637	-1,87113637
6	0,2332	12228	13078	25306	48,3205564	51,6794436	3,35888722	-3,35888722
7	0,2449	8581	9031	17612	48,722462	51,277538	2,55507608	-2,55507608
8	0,2398	7994	8314	16308	49,0188864	50,9811136	1,96222713	-1,96222713
9	0,227	3861	4003	7864	49,0971516	50,9028484	1,80569685	-1,80569685
10	0,2295	7	8	15	46,6666667	53,3333333	6,66666667	-6,66666667
11	0,2299	79	92	171	46,1988304	53,8011696	7,60233918	-7,60233918
12	0,2187	206	260	466	44,2060086	55,7939914	11,5879828	-11,5879828
13	0,2046	61	76	137	44,5255474	55,4744526	10,9489051	-10,9489051
14	0,2341	2888	3536	6424	44,9564134	55,0435866	10,0871731	-10,0871731
15	0,2266	1297	1560	2857	45,3972699	54,6027301	9,20546027	-9,20546027
Promedio	0,23042	6058	6344	12402	48,8469602	51,1530398	2,30607966	-2,30607966

Anexo 2.

Resultados prueba de funcionamiento sistema de reconocimiento de madurez de plátano por visión artificial para plátano pintón.

Estado de madurez 2	HSV	RGB						
No. Plátano	H	R	G	RG	%R	%G	%dif	dif
1	0,12	7527	6483	14010	53,7259101	46,2740899	7,45182013	7,45182013
2	0,1262	3037	2665	5702	53,2620133	46,7379867	6,52402666	6,52402666
3	0,1375	4642	4298	8940	51,9239374	48,0760626	3,84787472	3,84787472
4	0,1147	5040	4226	9266	54,3924023	45,6075977	8,78480466	8,78480466
5	0,1178	7423	6106	13529	54,867322	45,132678	9,7346441	9,7346441
6	0,1328	12004	10742	22746	52,7741141	47,2258859	5,54822826	5,54822826
7	0,1622	8621	8014	16635	51,8244665	48,1755335	3,64893297	3,64893297
8	0,1313	8936	8248	17184	52,0018622	47,9981378	4,00372439	4,00372439
9	0,1721	8320	7884	16204	51,3453468	48,6546532	2,69069366	2,69069366
10	0,138	10476	9793	20269	51,6848389	48,3151611	3,36967783	3,36967783
11	0,1495	5920	5731	11651	50,8110892	49,1889108	1,62217835	1,62217835
12	0,1357	3476	3231	6707	51,82645	48,17355	3,65289996	3,65289996
13	0,1312	1829	1694	3523	51,9159807	48,0840193	3,8319614	3,8319614
14	0,1597	1198	1234	2432	49,2598684	50,7401316	1,48026316	-1,48026316
15	0,1474	1433	1470	2903	49,3627282	50,6372718	1,27454358	-1,27454358
Promedio	0,1384	5992	5454	11446	52,350166	47,649834	4,70033199	4,70033199

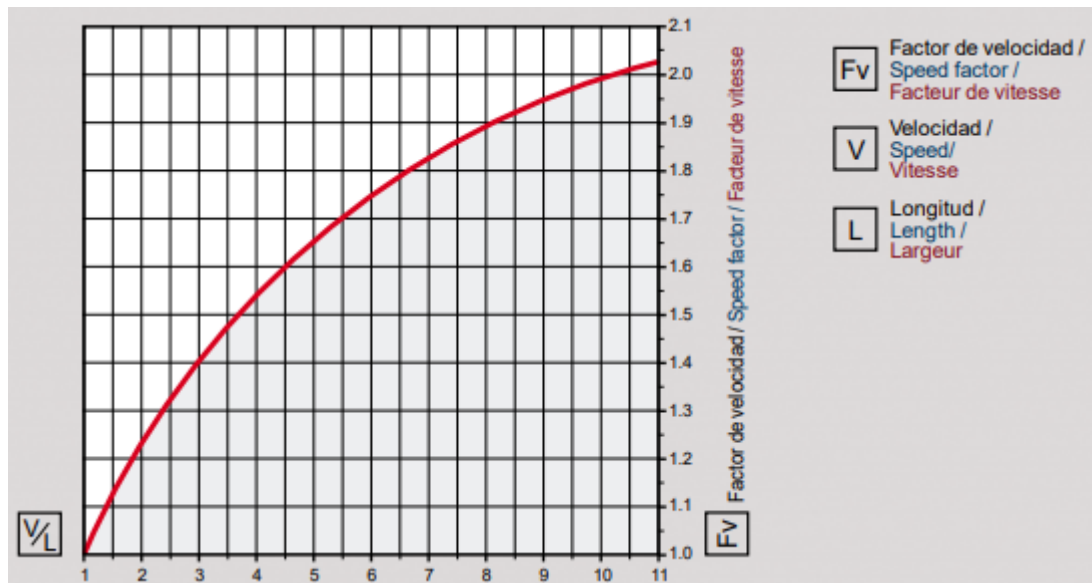
Anexo 3.

Resultados prueba de funcionamiento sistema de reconocimiento de madurez de plátano por visión artificial para plátano maduro.

Estado de madurez 3	HSV	RGB						
No. Plátano	H	R	G	RG	%R	%G	%dif	dif
1	0,1129	2367	2086	4453	53,1551763	46,8448237	6,31035257	6,31035257
2	0,1092	1829	1635	3464	52,8002309	47,1997691	5,60046189	5,60046189
3	0,1163	22345	19707	42052	53,1365928	46,8634072	6,27318558	6,27318558
4	0,1018	11697	9875	21572	54,2230669	45,7769331	8,44613388	8,44613388
5	0,0968	2209	1998	4207	52,5077252	47,4922748	5,01545044	5,01545044
6	0,0921	10199	8998	19197	53,1280929	46,8719071	6,25618586	6,25618586
7	0,104	14421	12554	26975	53,4606117	46,5393883	6,92122335	6,92122335
8	0,0983	8665	7432	16097	53,8299062	46,1700938	7,65981239	7,65981239
9	0,0973	11283	5571	16854	66,9455322	33,0544678	33,8910644	33,8910644
10	0,1141	20969	18532	39501	53,084732	46,915268	6,16946406	6,16946406
11	0,0966	10383	8948	19331	53,7116549	46,2883451	7,42330971	7,42330971
12	0,0934	9234	8141	17375	53,1453237	46,8546763	6,29064748	6,29064748
13	0,1114	17150	14704	31854	53,8393922	46,1606078	7,67878445	7,67878445
14	0,1086	15089	12936	28025	53,8412132	46,1587868	7,6824264	7,6824264
15	0,1129	16697	14610	31307	53,3331204	46,6668796	6,66624078	6,66624078
Promedio	0.1043	11635	9848	21483	54,1591025	45,8408975	8,31820509	8,31820509

Anexo 4.

Relación factor de velocidad (F_v).



Nota. Tomado de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Anexo 5

Tabla Factor de servicio (F_s).

Factor de servicio F_s	
Condiciones de arranque	F_s
Arranques sin carga a menos de 6 metros por minuto.	1.0
Arranques infrecuentes (uno por hora) bajo carga a menos de 6 metros por minuto.	1.2
Arranques frecuentes (más de uno por hora) bajo carga a menos de 6 metros por minuto.	1.3
Arranques infrecuentes (uno por hora) bajo carga a más de 6 metros por minuto.	1.4
Arranques frecuentes (más de uno por hora) bajo carga a más de 6 metros por minuto.	1.5

Nota. Tomado de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Anexo 6.

Tabla de peso del eje para acero inoxidable según su diámetro.

Peso del eje PE (Acero inoxidable)		
Tipo de eje	Diámetro o Lado	Peso del eje por unidad de longitud (Kg/m lin.)
Sección redonda	Ø25	3.85
	Ø30	5.55
	Ø35	7.55
	Ø40	9.87
	Ø50	15.40
	Ø65	26.00
	Ø90	49.90
Sección cuadrada	Ø25	4.91
	Ø30	7.07
	Ø35	9.62
	Ø40	12.56
	Ø50	19.63
	Ø65	33.12
	Ø90	63.50
	Ø120	112.89

Nota. Tomado de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Anexo 7.

Tabla Coeficiente de fricción de la banda con las guías del transportador.

Coeficiente de fricción de la banda con las guías del transportador.						
Mat. Banda Mat. Guía	PP		Acetal		KEVLAR	
	Con lubricante	Sec o	Con lubricante	Sec o	Con lubricante	Sec o
U.H.M.W. - PE (DESLIDUR)	0.14	0.15	0.11	0.14	0.09	0.11
Acero inox o al carbono	0.25	0.30	0.14	0.19	0.11	0.16
NILATRÓN	0.20	0.22	0.13	0.15	0.10	0.11
RODILLOS µBR	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Nota. Tomado de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

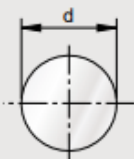
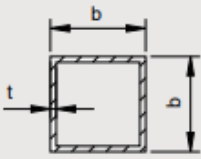
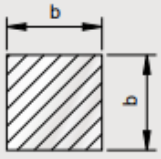
Anexo 8.*Tabla E Módulo de elasticidad*

E Módulo de elasticidad		
Material	Kg/mm ²	Lbs/pulg ²
Acero inoxidable	19.700	28.000.000
Acero al carbono	21.000	30.000.000

Nota. Tomado de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Anexo 9.

Calculo momento de inercia y momento torsor según forma del eje.

Eje Spindle Axe			
Cálculo momento de inercia mm ⁴ Moment of inertia calculation mm ⁴ Calcule du moment d'inertie mm ⁴	$I = \frac{\pi \times d^4}{64}$	$I = \frac{b^4 - (b - 2t)^4}{12}$	$I = \frac{b^4}{12}$
Cálculo momento torsor mm ⁴ Torsion torque calculation mm ⁴ Calcule du moment de torsion mm ⁴	$I = 0,1 \times d^4$	$I = t \times b^3$	$I = 0,141 \times b^3$

Nota. Tomada de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Anexo 10.*Tabla Promedio de pérdidas mecánicas de potencia WP.*

Promedio de pérdidas mecánicas de potencia WP	
Elementos del transportador	Porcentaje de pérdida de potencia
Bandas en V	2% a 4%
Bandas de rodillos	2% a 5%
Rodamientos comunes de camisa	2% a 5%
Rodamientos de bolas	1%
Reductores de engranajes helicoidales o rectos de reducción simple	2%
Reductores de engranajes helicoidales o rectos de reducción doble	4%
Reductores de engranajes helicoidales o rectos de reducción triple	5%
Engranajes de tornillos sin fin de reducción simple	5%
Engranajes de tornillos sin fin de reducción doble	10% a 20%
Sistema de energía hidráulica	Consulte al fabricante

Nota. Tomado de (AVE Transmisiones Mecánicas, avetm, 2016)

Anexo 11.

Planos sistema electromecánico de selección de plátano basado en visión artificial

Anexo 12.

Manual de funciones y recomendaciones del sistema electro mecánico de selección de plátano basado en visión artificial

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Gráfico área cosechada y producción de plátano, entre el 2007 hasta el 2008.	11
Figura 2 Comparación entre la forma transversal de un plátano verde y uno maduro.	16
Figura 3 Área de carga y descarga de materia prima.	20
Figura 4 Almacenamiento de plátano en canastillas.	21
Figura 5 Almacenamiento de plátano en racimo.	21
Figura 6 Plátano en proceso de maduración artificial.	22
Figura 7 Área de pelado de yuca o plátano.	23
Figura 8 Área de triturado.	24
Figura 9 Almacenamiento de harina para abono.	24
Figura 10 Freidora industrial.	25
Figura 11 Sección de formado y corte de patacón.	26
Figura 12 Trituradora industrial.	27
Figura 13 Mescladora industrial.	27
Figura 14 Extrusora industrial.	28
Figura 15 Personal empacando patacón.	29
Figura 16 Cuarto frio #1.	30
Figura 17 Cuarto frio #2.	30
Figura 18 Cuarto de choque.	31
Figura 19. Área de lavado de canastillas.	31
Figura 20 Diagrama de bloques fundamental de un sistema de procesamiento de imágenes.	36
Figura 21 Cono descriptor del modelo HSV.	37
Figura 22 Fotografía Raspberry Pi 3 b+ parte superior.	39
Figura 23 Plátanos organizados por niveles de madurez.	40
Figura 24 Diagrama de flujo sistema de reconocimiento de madurez de plátano por visión artificial.	42
Figura 25 Sensor de distancia ultrasónico SRF05.	43
Figura 26 Módulo de cámara Raspberry pi, Camera V2.1.	44
Figura 27 Prototipo de pruebas sistema de reconocimiento de madurez por visión artificial.	44
Figura 28 Diagrama de flujo captura y selección de plátano.	46
Figura 29 Banda TableTop KV820 400.	48
Figura 30 Guía superior para banda transportadora en material U.H.M.W.-PE.	49
Figura 31 Motorreductor relación 1/40.	50
Figura 32 Banda transportadora fuera de uso.	51
Figura 33 Ilustración eje del motor.	52
Figura 34 Piñón Z 21 referencia 6321077.	53
Figura 35 Ilustración banda transportadora con retorno libre.	54
Figura 36 Ilustración banda transportadora con retorno con rodillo.	54
Figura 37 Plataforma de plástico con perfiles entrelazados.	55
Figura 38 Ilustración banda transportadora con retorno con plataforma.	55

Figura 39 Ilustración banda transportadora con retorno mixto.....	56
Figura 40 Ilustración compuerta de seleccionadora de plátano (mecanismo de transferencia de movimiento, pistón y electroválvula).....	64