

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA CLASIFICACION Y EMBOLSADO  
DE PAPAS POR PESO, TAMAÑO Y COLOR

JUAN SEBASTIAN DUARTE ROA

Proyecto de grado para optar el título de ingeniero electrónico

Asesores:

Ing. William Fernando Álvarez Castañeda

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA

TUNJA

2024

### **EXONERACION DE RESPONSABILIDADES**

Los conceptos, practicas, análisis, conclusiones y demás desarrollos llevados a cabo en este proyecto y plasmados en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y no representa de alguna manera la opinión de la Universidad Santo Tomas ni de ninguna de sus dependencias.

## ACEPTACION

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma director

---

Firma jurado

---

Firma jurado

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de grado a mi madre Blanca Mariela Roa y mi padre Hernando Duarte que gracias a su amor, sabiduría, esfuerzo y paciencia lograron darme la educación para poder cumplir una meta personal. También a mis hermanos Wilder Duarte Roa y Jhon Alexander Duarte Roa quienes estuvieron presentes en todo momento de formación dándome consejos y recomendaciones para complementar tanto mi personalidad como mi educación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres por la guía constante en todo mi proceso académico por su invaluable apoyo, también agradezco al ingeniero William Fernando Álvarez Castañeda por sus consejos, retroalimentación y por todo el tiempo que tomo, tanto en mi pregrado como en el desarrollo y escritura del proyecto.

Agradezco a la universidad tanto seccional Tunja como Bucaramanga por la preparación y acompañamiento en el ámbito académico teniendo en cuenta la prestación de materiales y ambientes aptos para la investigación, sin olvidar a la facultad de ingeniería electrónica para todos los ingenieros por prestar su vida de educadores para la formación de las nuevas generaciones de ingenieros todos ellos que hicieron parte para el desarrollo del proyecto.

## RESUMEN

El proyecto propuesto consiste en el diseño de un innovador sistema de clasificación y embolsado automático de papas mediante el uso de banda transportadora y tecnologías de automatización industrial. Busca dar solución a los procesos manuales actuales que presentan baja productividad, alta dependencia de mano de obra y falta de consistencia en la clasificación. El sistema consta de una banda transportadora equipadas con sensores infrarrojos, sensor de color y sensor de peso para la detección en tiempo real del tamaño, color y peso de cada papa. Mediante actuadores programables, las papas se separan en diferentes flujos según los parámetros establecidos. Al final del recorrido, el sistema cuenta con una estación de embolsado que agrupa las papas en lotes uniformes, listos para su distribución comercial. La lógica de control está integrada en un Controlador Lógico Programable que orquesta el movimiento sincronizado de la banda y la apertura de compuertas. Los datos de cada lote se almacenan, permitiendo saber e identificar características. Con un diseño accesible y de fácil mantenimiento, este sistema busca modernizar los procesos postcosecha, reduciendo costos operativos y agregando valor a la producción de pequeños y medianos agricultores de papa.

**TABLA DE CONTENIDO**

1. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA CLASIFICACION Y EMBOLSADO DE PAPAS POR PESO, TAMAÑO Y COLOR .....	1
2. <b>EXONERACION DE RESPONSABILIDADES</b> .....	2
3. <b>ACEPTACION</b> .....	3
4. <b>DEDICATORIA</b> .....	4
5. <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
6. <b>RESUMEN</b> .....	5
7. <b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	6
8. <b>LISTAS ESPECIALES</b> .....	7
9. <b>INTRODUCCION</b> .....	8
10. <b>PROBLEMA</b> .....	9
11. <b>FORMULACION DEL PROBLEMA</b> .....	9
12. <b>JUSTIFICACION</b> .....	10
13. <b>OBJETIVOS</b> .....	11
14. <b>MARCO TEORICO</b> .....	12
15. <b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	24
16. <b>DISEÑO METODOLOGICO</b> .....	27
17. <b>DESARROLLO DEL PROYECTO</b> .....	29
18. <b>ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	37
19. <b>DISCUSION</b> .....	39
20. <b>CONCLUSIONES</b> .....	40
21. <b>TRABAJOS FUTUROS</b> .....	41
22. <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	42
23. <b>ANEXOS</b> .....	44

**LISTAS ESPECIALES**

Ilustración 1 Celda de carga.....	17
Ilustración 2 Sensor infrarrojo .....	18
Ilustración 3 Sensor de color.....	19
Ilustración 4 Motor paso a paso con su kit .....	20
Ilustración 5 Motor trifásico .....	21
Ilustración 6 Educativa puente Wheatstone .....	24
Ilustración 7 Banda cosechadora .....	25
Ilustración 8 Banda transportadora con ángulo de inclinación.....	25
Ilustración 9 Primer diseño .....	31
Ilustración 10 Sensores .....	31
Ilustración 11 Segundo diseño .....	32
Ilustración 12 Panel de control .....	32
Ilustración 13 Diseño completo .....	33
Ilustración 14 Normalizar y escalar valor del sensor.....	33
Ilustración 15 Programación Ladder.....	34
Ilustración 16 Primera parte programación.....	34
Ilustración 17 Segunda parte programación .....	35
Ilustración 18 Segunda parte programación .....	35
Ilustración 19 Segunda parte programación .....	36
Ilustración 20 Tercera parte programación .....	36

## INTRODUCCION

La producción y comercialización de papa es una actividad económica relevante a nivel mundial. En países en vía de desarrollo como el nuestro, los agricultores representan un porcentaje significativo de esta producción. Sin embargo, estos productores enfrentan grandes desafíos en los procesos de postcosecha, particularmente en la etapa de clasificación y embolsado del producto.

Actualmente, la mayoría de los productores realiza estas tareas de forma manual, dando lugar a varios problemas que afectan su productividad y competitividad. Entre ellos, la alta dependencia de mano de obra, baja eficiencia, falta de uniformidad en la clasificación y dificultad para cumplir con los estándares de calidad exigidos por los mercados modernos.

En respuesta a esta problemática, el presente proyecto propone el diseño de un innovador sistema automatizado de banda transportadora para la clasificación y embolsado de papas. Mediante la integración de tecnologías como sensores y controladores lógicos programables, el sistema permitirá separar las papas por tamaño, peso color de forma consistente, con mínima intervención humana. Teniendo un impacto a nivel de desarrollo en el campo y bodegas de almacenamiento de papa mejorando su calidad en mercados como puede ser en tiendas o plazas, en este proyecto el tipo de investigación que se llevará a cabo o que será aplicada concretamente es la investigación por simulación ya que por medio de ésta se podrá realizar un análisis profundo de los sistemas de control adquiriendo así los conocimientos necesarios para dar solución al problema existente. Este tipo de estudio permite obtener información básica para realizar una planeación de la investigación de forma más amplia, se pueden explorar cada uno de los temas que son necesarios para el desarrollo de la aplicación.

La implementación de este sistema automatizado representa una oportunidad para que los pequeños y medianos productores de papa puedan modernizar sus procesos de postcosecha, reducir costos operativos y mejorar la calidad de su producción para alcanzar mayor competitividad. Al obtener lotes uniformes y embolsados de forma consistente, estarán en mejor posición para acceder a nuevos canales de comercialización como supermercados, centrales de abastos y cadenas de procesamiento industrial de alimentos. Además, la trazabilidad incorporada en el sistema permitirá rastrear el origen y características de cada lote, facilitando la implementación de buenas prácticas agrícolas. En resumen, este proyecto busca impulsar la productividad y rentabilidad de los pequeños agricultores a través de la automatización, contribuyendo así al desarrollo económico local y la seguridad alimentaria regional.

Para la divulgación efectiva del proyecto de la banda transportadora de papas con sistemas de clasificación y embolsado automático, se proponen varios métodos estratégicos. Primero, se utilizará una presencia activa en plataformas en línea, como redes sociales y un sitio web dedicado, para compartir regularmente actualizaciones, demostraciones visuales y beneficios del sistema.

## **PROBLEMA**

El principal problema que busca resolver este proyecto es la baja productividad, alta dependencia de mano de obra, falta de consistencia y capacidad limitada en la clasificación manual de papas realizada por pequeños y medianos agricultores. Al ser un proceso lento, tedioso y propenso a error humano resulta en baja capacidad de procesamiento de solo algunas toneladas por hora, elevados costos por la cantidad de operarios, clasificación inconsistente con variabilidad entre lotes, mezcla de diferentes tamaños y calidades en un mismo embolsado, dificultades para cumplir estándares de calibre, sanidad y limpieza que exigen ciertos compradores, escasa o nula trazabilidad de cada lote y la imposibilidad de obtener datos como peso promedio y distribución de tamaños. Estas limitaciones impiden a los productores acceder a canales modernos de comercialización, agregar valor a su producción y ser competitivos frente a clasificadoras automatizadas de mayor escala.

## **FORMULACION DEL PROBLEMA**

- **Formulación de preguntas**

¿Cómo desarrollar un diseño de un sistema automatizado de banda transportadora para la clasificación y embolsado de papas por peso, tamaño y color?

¿Qué características de tipo mecánico y tecnológico se deben tener en cuenta en el desarrollo del diseño de un sistema automatizado de banda transportadora?

¿Cómo lograr una correcta sincronización entre las partes mecánicas y los dispositivos electrónicos para realizar tareas como: medición de peso, embolsado de papas, verificación de tamaño e identificación de color?

¿Qué riesgos se pueden llegar a producir por la automatización en la separación por peso, tamaño, color y embolsado de papas?

## JUSTIFICACION

- **Descripción**

A través del tiempo se ha logrado comprobar los grandes beneficios que puede llegar a aportar a la humanidad los avances tecnológicos, así como se representa en las empresas donde procesos con desarrollo manual se pueden llegar a automatizar, ya que con esto se puede llegar a reducir tiempos de producción y esfuerzo en la ejecución del mismo, proporcionando mayor eficiencia y garantizando mejorar la calidad del producto, con el fin de lograr una relación costo beneficio favorable para la empresa u organización.

Uno de los principales problemas actuales en la separación y clasificación de papas es la falta de automatización y modernización de los procesos. La mayoría de los pequeños y medianos productores aún realizan la clasificación de forma manual, lo cual es lento, inconsistente e incrementa los costos por mano de obra. Esto limita su capacidad para obtener lotes de calidad uniforme y acceder a nuevos canales de comercialización más exigentes.

La implementación de soluciones tecnológicas como clasificadoras ópticas o por peso permite automatizar en gran medida los procesos de separación por tamaño, forma y calidad. Sin embargo, muchos agricultores no adoptan estas tecnologías por los altos costos de los equipos disponibles actualmente en el mercado. Existe una necesidad de desarrollar soluciones de clasificación automatizada de bajo costo y fácil operación, que sean accesibles para los pequeños y medianos productores de papa en la región.

La propuesta de la banda transportadora de papas con sistemas de clasificación surge como una solución innovadora y eficiente para abordar el problema latente en la separación de papas. el proyecto proporcionaría una solución integral, agilizando la cadena de producción y mejorando la competitividad de las instalaciones de procesamiento de papas en la industria alimentaria. Este enfoque innovador no solo busca abordar las deficiencias actuales en la separación manual, sino que también tiene el potencial de transformar y modernizar el sector, mejorando la calidad y uniformidad de los productos finales.

## OBJETIVOS

- **Objetivo general**

Diseñar un sistema de control mediante controladores lógicos programables que permita la clasificación y embolsado de papas por peso, tamaño, color por medio de una banda transportadora buscando mejorar la eficiencia y precisión.

- **Objetivos específicos**

Determinar los sensores infrarrojos para el tamaño, el sensor de color, la celda de carga para el peso y el autómata programable más eficiente, para diseñar un sistema de control que permita la clasificación y embolsado de papas por medio de una banda transportadora.

Establecer un sistema de control que permita integrar procesos de medición de peso, tamaño y color para separación de papa dentro de una banda transportadora logrando una clasificación precisa y eficiente de las papas según sus características.

Realizar el diseño y simulación de un sistema SCADA que permita el control del proceso de separación y embolsado de papa, con un entendimiento simple para el operario.

## MARCO TEORICO

- **Sistema de control**

Consiste en un conjunto de subsistemas que deben trabajar de forma coordinada para lograr un objetivo común, una de las principales características de estos sistemas es que sus elementos deben ser lo suficientemente sensitivos y rápidos para suplir los requisitos en cada función de control

En esencia, su función principal es regular o gestionar las variables de entrada, salida y/o estado de un sistema para que este responda de acuerdo con ciertos criterios o especificaciones deseadas. Los sistemas de control se encuentran en una amplia variedad de aplicaciones, desde la automatización industrial hasta el control de procesos, la ingeniería de sistemas, la robótica y la electrónica, entre otros.

- **Lenguaje de programación Ladder**

El lenguaje Ladder, también conocido como diagrama de escalera, diagrama de contactos o diagrama en escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a su similitud con los esquemas eléctricos clásicos. Está diseñado para programar la lógica de control secuencial y combinacional en los controladores lógicos programables. Se basa en una representación gráfica que imita los diagramas de circuitos de control de relés, lo que lo hace intuitivo y fácil de entender para los electricistas e ingenieros familiarizados con los esquemas eléctricos convencionales.

### **Características:**

1. Representación gráfica: Los programas se crean utilizando símbolos gráficos que representan elementos eléctricos como contactos, bobinas, temporizadores y contadores.
2. Fácil de aprender: Su similitud con los esquemas eléctricos lo hace intuitivo para técnicos electricistas e ingenieros con experiencia en control eléctrico.
3. Intuitivo: La lógica del programa se lee de izquierda a derecha, similar al flujo de la corriente eléctrica en un circuito.
4. Flexible: Permite crear programas complejos con una gran variedad de funciones y operaciones.
5. Versátil: Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones industriales, desde control de máquinas simples hasta sistemas de automatización complejos.

### **Elementos del lenguaje Ladder:**

1. Contactos: Simulan interruptores que abren o cierran el circuito eléctrico.
2. Bobinas: Simulan relés que se activan o desactivan en función del estado de los contactos.

3. Temporizadores: Permiten controlar el tiempo durante el cual se ejecuta una acción.
4. Contadores: Permiten registrar el número de veces que ocurre un evento.
5. Funciones lógicas: Permiten realizar operaciones lógicas como AND, OR y NOT.

#### **Desventajas del lenguaje Ladder:**

1. Puede ser difícil de usar para programas complejos.
2. No es tan eficiente como otros lenguajes de programación para algunas aplicaciones.
3. Puede ser difícil de depurar.

- **Técnica de programación para controlador lógico programables**

GRAFCET (Gráfico de control funcional de etapas y transiciones) es un método gráfico para programar y modelar sistemas de eventos discretos. Fue desarrollado en Francia a mediados de los años 1970 y posteriormente se convirtió en un estándar internacional (IEC 60848). La representación gráfica de GRAFCET se compone de dos elementos principales:

La representación gráfica del GRAFCET consta de dos elementos principales:

1. **Etapas:** Representadas por cuadrados, cada etapa representa un estado o situación del sistema de control.
2. **Transiciones:** Representadas por líneas horizontales, las transiciones conectan las etapas y definen las condiciones que deben cumplirse para pasar de una etapa a otra.
3. **Acciones:** Son las tareas que se ejecutan cuando una etapa está activa. Pueden ser salidas del Autómata programable, cálculos, temporizadores.

Un GRAFCET describe el comportamiento de un sistema a través de una serie de etapas y transiciones, al iniciar el sistema, se activa la fase inicial y el sistema realiza las acciones correspondientes. Cuando se cumple la condición de transición, el control pasa al siguiente paso, y así sucesivamente, este enfoque permite visualizar y gestionar procesos secuenciales de forma clara y lógica. (AUTYCOM, 2022)

- **Controlador lógico programable**

#### **Siemens**

Siemens es una empresa alemana líder en tecnología y electrónica con una destacada presencia en el ámbito de la automatización industrial. Su línea de controladores lógicos programables, especialmente la serie SIMATIC, es reconocida por su calidad, versatilidad y aplicaciones en diversos sectores industriales. Siemens destaca por su innovación tecnológica, ofreciendo soluciones integrales en la automatización de procesos y fabricación, con un software de programación avanzado como el TIA Portal (Totally Integrated Automation). Con sede en Múnich

y presencia global, Siemens continúa siendo una referencia en el ámbito de la automatización y la tecnología industrial.

### **Rockwell Automation**

Allen-Bradley es la marca de automatización industrial de Rockwell Automation, compañía estadounidense líder en este campo. Es reconocida por sus controladores lógicos programables de las familias ControlLogix y CompactLogix, el software de programación RSLogix 5000, interfaces de operador PanelView, variadores de velocidad PowerFlex, sistemas de seguridad integrada GuardLogix, redes de comunicación industrial Ethernet/IP y su plataforma de control PlantPAx. Sus productos están especialmente enfocados en soluciones de automatización para aplicaciones discretas de manufactura y procesos por lotes como empaquetado, manejo de materiales, ensamblaje y otros. Sus soluciones son ampliamente adoptadas en industrias como alimentos y bebidas, automotriz, farmacéutica, semiconductores, entre otras. (Allen-Bradley (s.f). Rockwell Automation, 2024)

- **Software de programación**

TIA Portal que significa "Totally Integrated Automation Portal" (Portal de Automatización Totalmente Integrada), es un entorno de ingeniería de software desarrollado por Siemens. TIA Portal proporciona una plataforma unificada para la programación y configuración de una amplia gama de productos de automatización industrial de Siemens, incluyendo controladores lógicos programables, sistemas de control distribuido, dispositivos de interfaz hombre-máquina, y más. (reservados, 2023)

RSLogix 5000 es un software de programación utilizado en el entorno de automatización industrial, específicamente asociado con los controladores lógicos programables de Allen-Bradley, como la familia ControlLogix y CompactLogix. Este software, desarrollado por Rockwell Automation, proporciona una plataforma integral para la creación, edición y mantenimiento de programas de control para sistemas automatizados.

En general, TIA Portal y RSLogix 5000 son dos softwares de automatización industrial completos y potentes. La elección de uno u otro dependerá de las necesidades específicas del proyecto, las preferencias del usuario y la disponibilidad de soporte técnico.

*Tabla 1 Comparación de los softwares de programación*

Característica	TIA Portal	RSLogix 5000
Fabricante	Siemens	Rockwell Automation
Plataformas de PLC	Simatic S7-300, S7-400, S7-1200, S7-1500	ControlLogix, CompactLogix
Lenguajes de programación	Ladder, FBD, SCL, Graph	Ladder, FBD, SCL
Herramientas de simulación	Simulación integrada en el software	RSLogix Emulate 5000 (software adicional)
Soporte para redes industriales	PROFINET, PROFIBUS, Ethernet/IP	EtherNet/IP, DeviceNet, ControlNet

**Fuente de la tabla:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

La importancia de estudiar y comprender a profundidad la mecánica del material a utilizar y su forma de comportamiento frente a las condiciones particulares del proyecto radica en varios aspectos medulares que determinan el éxito del diseño. Implica la capacidad de dimensionar estructuras y componentes que resistan los esfuerzos operativos sin fallar, seleccionar óptimamente los materiales según requerimientos de resistencia, costo y manufactura. (IEEE Xplore, 2019)

- **Mecánica de sólidos redondos**

La mecánica del comportamiento de un sólido redondo está gobernada por las leyes de la mecánica clásica, principalmente por la estática y la dinámica. Estas leyes describen cómo un sólido redondo se deforma, se mueve y reacciona a las fuerzas y momentos que actúan sobre él.

Factores que influyen en el comportamiento:

1. **Material:** Las propiedades del material del que está hecho el sólido, como su módulo de elasticidad, módulo de Poisson y densidad, determinan cómo se deforma y resiste las fuerzas.
2. **Forma:** La forma del sólido, como su radio, altura y centro de masa, influyen en su distribución de masa y momento de inercia, lo que afecta su movimiento.

3. **Fuerzas y momentos:** Las fuerzas y momentos que actúan sobre el sólido, como la gravedad, la fricción y las fuerzas de contacto, determinan su estado de deformación y movimiento. (YARA , 2024)

- **PAPA**

La papa es un tubérculo comestible que se obtiene de la planta *Solanum tuberosum*. Algunas de sus principales características son:

1. **Forma:** Por lo general tiene forma ovalada o redonda, con múltiples protuberancias u ojos en la piel. El tamaño puede variar desde unos pocos centímetros hasta 15 cm de diámetro aproximadamente.
2. **Crecimiento:** La planta de papa desarrolla tallos aéreos y raíces. Debajo del suelo crecen los tubérculos (papas) a partir de los estolones de la planta. La cosecha se realiza una vez que los tubérculos alcanzan el tamaño adecuado.
3. **Tipos:** Existen cientos de variedades, las más comunes son la papa blanca, la papa amarilla, la papa roja y la papa morada.
4. **Plantación:** La papa se cultiva principalmente en zonas de clima frío como los Andes, norte de Europa, norte de Asia y norte de América. Los principales países productores a nivel mundial son China, India, Rusia, Ucrania, Estados Unidos, Polonia, entre otros. En Suramérica destacan Perú, Brasil, Argentina y Colombia. (Creative Commons Attribution-Share-Alike License 3.0., 2008)

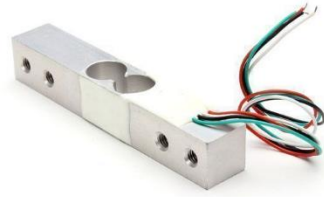
- **Sensores**

Un sensor es un dispositivo diseñado para detectar algún tipo de entrada física desde el entorno y convertirla en una señal eléctrica que pueda ser medida y procesada. Detectan variables como temperatura, movimiento, presión, humedad, etc. y las transforman en magnitudes eléctricas como voltaje o corriente. Proporcionan la interfaz entre el mundo físico y los sistemas electrónicos de medición y control.

1. **Sensor de peso**

Un sensor de peso es un dispositivo que mide la fuerza que ejerce un objeto sobre una superficie. La fuerza se convierte en una señal eléctrica que puede ser procesada por un instrumento o un sistema de control.

- A. Mide la fuerza: Un sensor de peso mide la fuerza que ejerce un objeto sobre una superficie.
- B. Convierte la fuerza en una señal eléctrica: La fuerza se convierte en una señal eléctrica que puede ser procesada por un instrumento o un sistema de control.
- C. Indica el peso del objeto: La señal eléctrica se puede utilizar para indicar el peso del objeto.



*Ilustración 1 Celda de carga*

**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (Naylamp Mecatronic, 2023)

**2. Sensor Infrarrojo**

Un sensor infrarrojo es un dispositivo que detecta la radiación infrarroja emitida por un objeto. La radiación infrarroja es invisible para el ojo humano, pero todos los objetos emiten radiación infrarroja en función de su temperatura.

- A. Detecta la radiación infrarroja: Un sensor infrarrojo detecta la radiación infrarroja emitida por un objeto.
- B. Convierte la radiación en una señal eléctrica: La radiación infrarroja se convierte en una señal eléctrica que puede ser procesada por un instrumento o un sistema de control.
- C. Indica la temperatura del objeto: La señal eléctrica se puede utilizar para indicar la temperatura del objeto.



*Ilustración 2 Sensor infrarrojo*

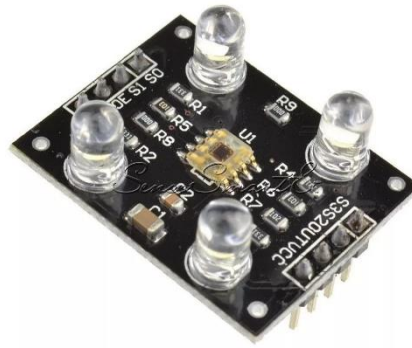
**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (Blogger, 2017)

### **3. Sensor de color**

Un sensor de color es un dispositivo que detecta la luz reflejada por un objeto y determina su color. La información del color se convierte en una señal eléctrica que puede ser procesada por un instrumento o un sistema de control. (IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore, 2020)

- A. Detecta la luz reflejada: Un sensor de color detecta la luz reflejada por un objeto.
- B. Determina el color del objeto: La información del color se determina analizando la intensidad de la luz reflejada en diferentes longitudes de onda.
- C. Convierte la información en una señal eléctrica: La información del color se convierte en una señal eléctrica que puede ser procesada por un instrumento o un sistema de control.
- D. Indica el color del objeto: La señal eléctrica se puede utilizar para indicar el color del objeto.



*Ilustración 3 Sensor de color*

**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (Robot , 2024)

- **Motores**

Un motor es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica en forma de movimiento rotatorio. Funciona aplicando fuerzas electromagnéticas entre el estator y el rotor para hacer girar un eje. Existen diferentes tipos de motores eléctricos, pero todos constan esencialmente de dos partes principales:

- A. Estator: Es la parte fija compuesta de laminaciones metálicas con bobinas que generan un campo magnético alternante al ser energizadas.
- B. Rotor: Es la parte móvil ubicada dentro del estator, que rota al interactuar con el campo magnético. Puede tener devanados, imanes permanentes o jaula de ardilla

- **Motor paso a paso**

Un motor paso a paso es un tipo de motor eléctrico que convierte pulsos eléctricos en movimientos angulares discretos, conocidos como "pasos". Cada pulso eléctrico hace que el motor avance una cantidad específica de pasos, proporcionando un control preciso sobre la posición angular.



*Ilustración 4 Motor paso a paso con su kit*

**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (MotionKing, 2023)

- **Motor trifásico**

Un motor trifásico es un tipo de motor eléctrico que funciona con un suministro de energía de tres fases. A diferencia de los motores monofásicos, que utilizan una sola corriente alterna, los motores trifásicos operan con tres corrientes alternas desfasadas entre sí en 120 grados eléctricos. Este desfase crea un campo magnético giratorio que impulsa el movimiento del motor.

Los motores trifásicos son fundamentales en la industria y en muchas aplicaciones donde se requiere un rendimiento robusto y eficiente. Su diseño trifásico proporciona ventajas significativas en términos de potencia y rendimiento en comparación con los motores monofásicos.



*Ilustración 5 Motor trifásico*

**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (Exhibir , 2024)

- **Banda transportadora**

Una banda transportadora es un sistema mecánico que utiliza una cinta continua para transportar objetos de un punto a otro en una línea de producción, almacén, o cualquier entorno industrial. La cinta transportadora se mueve mediante la rotación de poleas o tambores, y puede estar impulsada manualmente o mediante motores eléctricos. Aquí hay algunas características y tipos de bandas transportadoras:

Características Principales:

- A. Cinta Continua: Consiste en una banda flexible y continua, generalmente hecha de goma, PVC, uretano, o materiales similares, que se desplaza sobre rodillos o tambores.
- B. Capacidad de Carga: Las bandas transportadoras están diseñadas para manejar diferentes capacidades de carga, desde productos livianos hasta objetos pesados en aplicaciones industriales.
- C. Versatilidad: Son versátiles y pueden adaptarse para transportar una variedad de productos, desde cajas y paletas hasta materiales a granel.
- D. Eficiencia: Mejoran la eficiencia y productividad en operaciones industriales al automatizar el transporte de materiales, reduciendo la necesidad de manipulación manual. (IEEE Xplore, 2023)

- **Factory I/O**

Factory IO ofrece herramientas de simulación muy útiles para diferentes aspectos de los sistemas de automatización industrial. Una de las aplicaciones clave en este ámbito es la simulación de controladores y sistemas de control.

Esta aplicación permite simular el comportamiento de controladores lógicos programables, sistemas de control distribuido y otros controladores de automatización programables sin necesidad de tener el hardware físico real.

Algunas de las principales características y capacidades de la simulación de controladores en Factory IO incluyen:

1. Emulación de CPU de controladores: Se puede simular la CPU y el firmware de diferentes modelos y marcas de PLC, DCS y PAC, lo que permite probar y depurar programas de control sin el equipo real.
2. Simulación de entradas/salidas: Permite simular las entradas digitales, analógicas y especiales, así como las salidas conectadas al controlador. Esto facilita la prueba de la lógica de control y las rutinas de manejo de E/S.
3. Visualización y monitoreo: Se pueden visualizar y monitorear en tiempo real el estado de las variables, memorias, temporizadores, contadores y otros elementos del programa de control durante la simulación.

- **Puente de Wheatstone**

El puente de Wheatstone es un circuito eléctrico ampliamente utilizado en sistemas de medición e instrumentación industrial. Su finalidad es determinar con gran precisión el valor de una resistencia desconocida o variable. A continuación, se explica su principio de funcionamiento de una manera sencilla y práctica.

- A. Imaginemos el puente de Wheatstone como dos divisores de voltaje conectados en paralelo. Cada divisor está compuesto por dos resistencias, una de valor conocido y otra desconocida o que puede variar. Al aplicar un voltaje de alimentación, si las cuatro resistencias son iguales, los voltajes en los puntos medios de ambos divisores estarán equilibrados y no circulará corriente entre ellos. Sin embargo, si una de las resistencias cambia de valor debido a algún fenómeno físico como deformación, temperatura, entre otros, se producirá un desbalance de voltajes. Este desbalance hará que fluya una pequeña corriente que puede ser detectada por un instrumento de medición conectado entre los puntos medios. Ajustando una de las resistencias conocidas hasta que el medidor indique nuevamente cero de corriente, se puede determinar fácilmente el valor de la resistencia desconocida aplicando una sencilla ecuación que relaciona los valores de las cuatro resistencias.

Esta capacidad de medir resistencias variables con alta precisión convierte al puente de Wheatstone en un circuito fundamental para el diseño de sensores y transductores en aplicaciones industriales como celdas de carga, galgas extensométricas, detectores de deformación, entre otros.

- **Ecuaciones:**

Entre los puntos a y b existen dos divisores de voltaje que son c y d buscando que el voltaje sea equilibrado, en este caso que el voltaje entre c y d sea 0, si aplicamos esta lógica el voltaje de c debe ser igual al voltaje en d para que se cumplan las condiciones, con esto claro podemos afirmar la siguiente ecuación:

$$\frac{R2}{R2 + R1} V_{in} = \frac{Rx}{R3 + Rx} V_{in}$$

Al tener  $V_{in}$  en lo podemos simplificar:

$$\frac{R2}{R2 + R1} = \frac{Rx}{R3 + Rx}$$

Se multiplica cruzado para obtener el siguiente paso:

$$R2(Rx + R3) = Rx(R2 + R1)$$

Realizamos la distributiva y aplicamos matemática para simplificar a su termino mas simple para la ecuación obteniendo lo siguiente:

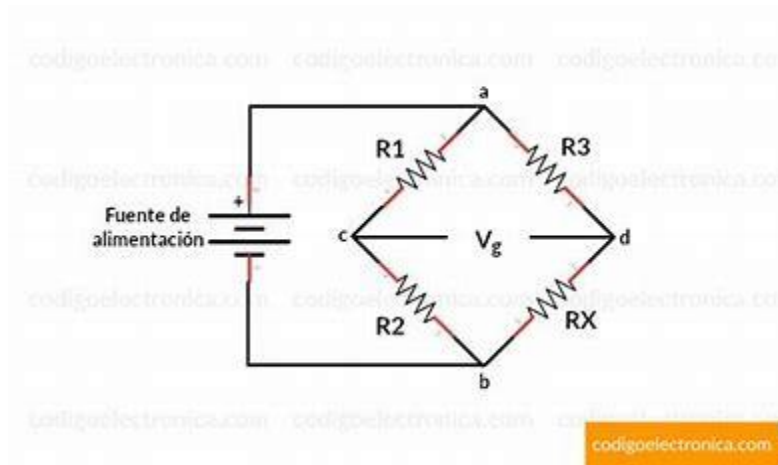
$$R2 * R3 = Rx * R1$$

Despejamos  $Rx$  que en este caso es un valor desconocido,  $R3$  es una resistencia variable que se usa para buscar el equilibrio y finalizando donde  $R1$  y  $R2$  son iguales.

$$Rx = R3(R2/R1)$$

Dando valores a cada una de estas da un resultado de

$R1 = 20 \text{ ohm}$ ,  $R2 = 20 \text{ ohm}$ ,  $R3 = 30 \text{ ohm}$ ,  $Rx = 30 \text{ ohm}$ .



*Ilustración 6 Educativa puente Wheatstone*

**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (Electronica Basica, 2023)

**ESTADO DEL ARTE**

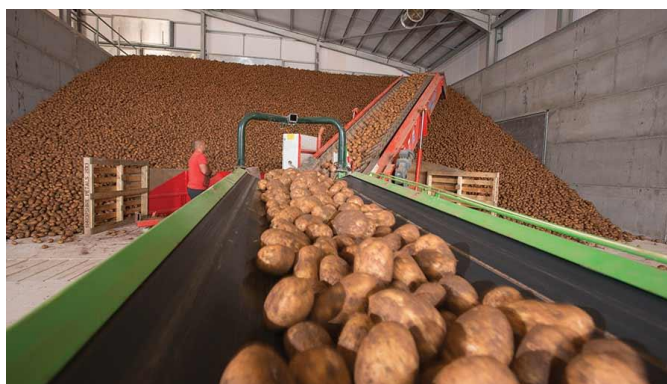
Se identifica en proyectos anteriores y ya existentes que la clasificación ha sido implementada en diferentes funciones ya sea para bases datos o elementos físicos como puede ser alimentos en la industria, entre otros, identificando que tiene diferentes posibilidades como ya viene ser la separación de dichos elementos en este caso que se habla de la papa una banda transportadora se usa para ayudar al transporte del producto, pero en este caso se evidencia ser un método rudimentario que la separación de la papa es de manera manual aun, donde es usado permanentemente en industria agrícolas o fincas de dueño particulares, por lo cual se identifica en este caso bandas transportadoras como en tractores para la ayuda de poder transportar gran cantidad de material y otro tipo de dicha función es una banda transportadora para la papa es con un ángulo de inclinación para transportarla únicamente. Se ve evidencia a continuación por medio de ilustraciones:



*Ilustración 7 Banda cosechadora*

**Fuente de la ilustración:**

Tomado de (Agriceres, 2018)



*Ilustración 8 Banda transportadora con ángulo de inclinación*

(Agronegocios, 2024)

**Fuente de la ilustración:**

Tomada de (AgriExpo, 2024)

En el departamento de Boyacá y Colombia el conocimiento de un proyecto similar al sistema automatizado de clasificación y embolsado no es evidente. Sin embargo, sí existen algunos desarrollos e iniciativas relacionadas:

- El Centro de Investigación de la Industria Alimentaria de la Universidad del Valle ha trabajado en sistemas de visión artificial para la clasificación automática de frutas y hortalizas, incluyendo la papa, principalmente enfocado en procesadoras agroindustriales de gran escala.

- El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agroindustrial de Nariño desarrolló un prototipo semiautomatizado de clasificadora de papas por tamaño utilizando bandas transportadoras.
- La Universidad Nacional sede Medellín ha realizado investigaciones sobre el uso de sensores no destructivos para determinar propiedades físicas de los tubérculos de papa durante la postcosecha.
- Algunas empresas privadas colombianas como Induambiental y Nyslar Ingeniería han diseñado máquinas clasificadoras de papas industriales destinadas al sector procesador y a la exportación.

## DISEÑO METODOLOGICO

- **Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se llevará a cabo o que será aplicada concretamente es de investigación por simulación antes de la implementación física, se desarrollarían modelos computacionales detallados del sistema para análisis y optimización mediante técnicas como dinámica de sistemas, elementos finitos, realidad virtual. Esto reduciría costos previos a la construcción, ya que por medio de ésta se podrá realizar un análisis profundo de los sistemas de control adquiriendo así los conocimientos necesarios para dar solución al problema existente.

- **Método y estrategias particulares**

Para la elaboración de un sistema de control que permita la separación por peso, tamaño, color y embolsado de papas por medio de una banda transportadora, la metodología de desarrollo que se va a aplicar es una integración entre el sistema de prototipos y el modelo secuencial o modelo de ciclo de vida en el que se encuentran las siguientes etapas: análisis, diseño, desarrollo. Los prototipos corresponden a la primera versión de un sistema los cuales se convierten en una prueba que a través del tiempo se van perfeccionando aquellos aspectos que no se tuvieron en cuenta en el momento del desarrollo, este tipo de modelos se aplica especialmente para el desarrollo de la parte electrónica del proyecto.

Es importante la utilización de la metodología de prototipos ya que permite llevar a cabo la realización de un sistema de control nuevo las veces que sea necesario, hasta llegar a un estado final óptimo que cumpla con los objetivos propuestos. Se debe hacerse un estudio para determinar que dispositivos electrónicos son necesarios para la elaboración del proyecto, debe realizarse un prototipo inicial que permita verificar si se cumplen los objetivos propuestos, sino se cumple debe modificarse el prototipo cuantas veces sea necesario, deben integrarse y acoplarse de tal forma que su funcionamiento sea óptimo.

Los pasos para seguir en el proceso de desarrollo de un prototipo son los siguientes: Identificar los requerimientos de información que el usuario conoce junto con las características necesarias del sistema, desarrollar un prototipo inicial, realizar varios prototipos hasta obtener un sistema de control que cumpla con el objetivo propuesto.

Las etapas correspondientes al ciclo de vida se describen de una forma más detallada a continuación:

**Análisis:** en esta etapa se recolecta y se organiza toda la información que es esencial para el desarrollo del sistema.

Diseño: en esta etapa se hace uso de toda la información recolectada en la etapa de análisis y se tienen en cuenta los siguientes pasos: estructura de datos, diseño arquitectónico, diseño de interfaz lenguaje de programación en el cual se va a desarrollar el sistema, diseño procedimental.

Desarrollo: es la traducción de lo realizado en la etapa de diseño a código; programación en el lenguaje escogido, el éxito de esta etapa consiste en haber realizado correctamente la etapa de diseño.

- **Herramientas metodológicas**

Es necesario aplicar una herramienta metodológica que permita adquirir información y manejarla de forma adecuada, las herramientas que se van a utilizar para la recolección de información correspondiente al sistema de control para la separación y embolsado de papa en la banda transportadora como: Uso de foros en internet para adquirir información sobre problemas latentes y críticas a la industria de la papa que proporcionen información de como se debe abordar el problema.

Se hará uso de otro método como la observación e intuición personal para ver el desarrollo que se implementa actualmente en las fincas o partes rurales de la región y también el uso de artículos, sitios web y entre otros para recopilar información y tener su respectiva posterior consulta.

## DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el diseño de un sistema de control para la clasificación y embolsado de papa por tamaño, color y peso, se contemplan varias etapas fundamentales especificadas en la metodología del proyecto iniciando con una investigación de procesos automatizados y realizar análisis profundos de sistemas de control, especificando los objetivos a lograr lo cual se lleva al detalle de los requerimientos para el proceso.

Segunda etapa: Posteriormente en esta etapa gracias a la investigación anterior se toma decisiones como la selección de Ladder como lenguaje de programación y TIA PORTAL como software, se procede con la elección de sensores con características específicas tales como:

**Sensor de peso:** Consiste en un elemento deformable, típicamente de acero, con galgas extensométricas adheridas. Cuando se aplica una fuerza sobre la celda, el elemento se deforma ligeramente. Las galgas extensométricas son resistencias eléctricas que cambian su valor óhmico al deformarse por la fuerza aplicada sobre ellas. Este cambio en la resistencia de las galgas genera una pequeña variación en el voltaje de salida, que es proporcional a la fuerza aplicada. La celda de carga contiene un circuito interno que amplifica y acondiciona esta señal de voltaje para poder medirla y determinar el peso o fuerza detectada.

Su diseño compacto, alta precisión, amplio rango de medición y compatibilidad con sistemas electrónicos las hacen ideales para aplicaciones de pesaje industrial, robótica, control de procesos, etc.

Características para el proyecto:

- Voltaje de Operación DC: 3V ~ 12V
- Rango de medida Max: 1 kg
- Salida de Cero: 0.05%
- Sobrecarga de seguridad: 150%.

**Sensor infrarrojo:** Un sensor infrarrojo que combina emisor y receptor en un mismo componente funciona de la siguiente manera:

Consta de un LED infrarrojo y un fotodiodo receptor integrados en el mismo encapsulado. El LED emite un haz de luz infrarroja hacia el exterior. Cuando un objeto se coloca frente al sensor, refleja parte del haz infrarrojo de vuelta hacia el fotodiodo. El fotodiodo detecta este aumento en la intensidad de luz infrarroja reflejada.

La electrónica interna del sensor convierte esta variación de intensidad en un cambio de salida eléctrica.

Características para el proyecto:

- Voltaje de Operación DC: 3V ~ 5V
- Distancia: 2 cm ~ 8 cm
- Angulo de detección: 35 grados

Sensor de color: El sensor de color TCS3200 es un dispositivo que convierte la luz en una señal de frecuencia. Combina fotodiodos de silicio reconfigurables y una corriente de frecuencia en un solo circuito integrado. Este sensor es ideal para aplicaciones como líneas de producción, domótica y robótica, ya que permite detectar colores y trabajar con ellos.

Características para el proyecto:

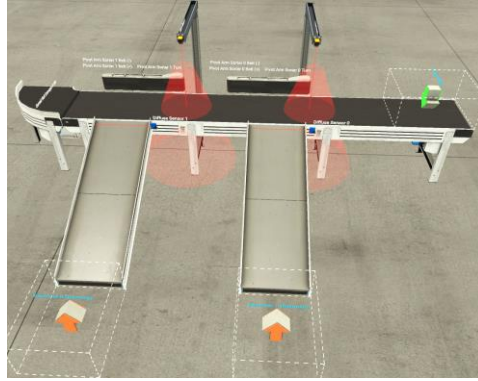
- Voltaje de Operación DC: 3V ~ 5V
- Mejor rango de detección: 10 mm

Motor trifásico: Un motor trifásico opera mediante el uso de tres corrientes alternas desfasadas eléctricamente en 120 grados entre sí. Estas corrientes alimentan bobinas en el estator del motor, creando un campo magnético giratorio. Este campo magnético interactúa con el rotor del motor, generando un par electromagnético que impulsa el movimiento rotativo del eje del motor. Este principio de inducción electromagnética permite que el motor convierta la energía eléctrica en energía mecánica, lo que lo hace útil en una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales.

Características para el proyecto:

- Voltaje de Operación DC: 3V ~ 220V
- Potencia: 1.5 Hp
- Corriente nominal: 4,11 / 2,06 amperios

Tercera etapa: En esta etapa por medio de Factory I/O se da desarrollo al diseño en simulación a la banda transportadora que en las siguientes ilustraciones se da a conocer el paso a paso. En la siguiente ilustración se representa el inicio del diseño de la banda transportadora.

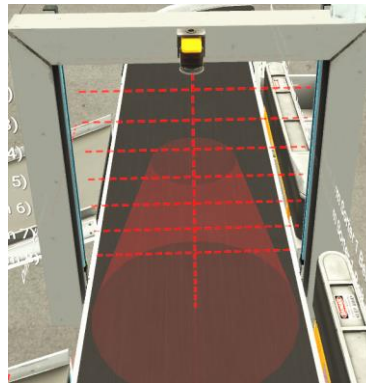


*Ilustración 9 Primer diseño*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

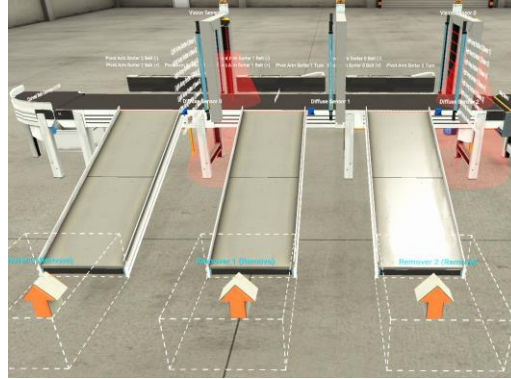
A continuación, gracias a software de Factory I/O se puede agregar en la simulación los sensores tanto infrarrojo como de color a la banda transportadora y luego de agregar los sensores se implementa el tercer carril para separación de la papa que se evidencia en la ilustración 11 con esto pasando al siguiente paso.



*Ilustración 10 Sensores*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024



*Ilustración 11 Segundo diseño*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

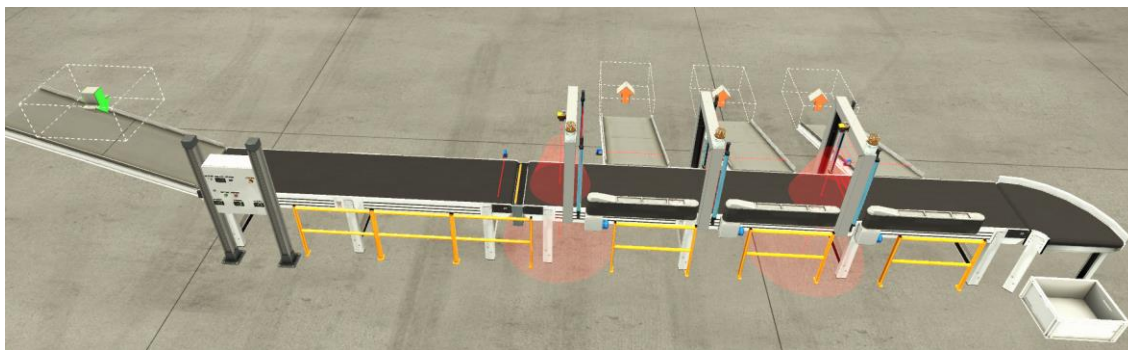
En este paso se da el desarrollo de un panel de control para la banda transportadora de fácil entendimiento y con luces indicadoras para el proceso que se esta ejecutando, al igual que se implementan luces de peligro y advertencia cuando se presiona la parada de emergencia y al final agregando una canastilla de representación para residuos o material no deseado ni seleccionado y con esto se puede completar el diseño en simulación de la banda que se muestra en la ilustración 13.



*Ilustración 12 Panel de control*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024



*Ilustración 13 Diseño completo*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Cuarta etapa: Con el software de TIA PORTAL por medio del lenguaje Ladder se genera líneas de código para la celda de carga ya que es un sensor que nos da un valor analógico por lo cual se debe normalizar y escalar para tener una salida con el valor deseado y resultante del sensor de peso valido para la lectura en el Controlador lógico programable.

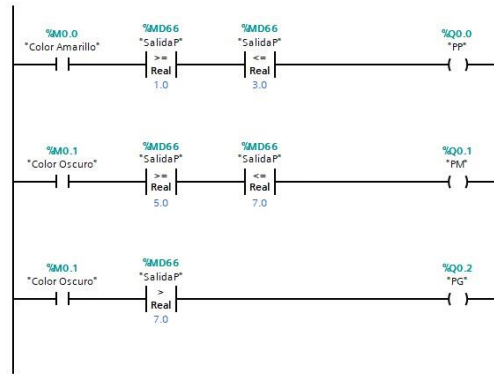


*Ilustración 14 Normalizar y escalar valor del sensor*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Para la continuación de la programación se aplicó una lógica donde cumpla las igualaciones establecidas con esto se observa que valores entre 1 gramo y 3 gramos son equivalentes a papa pequeña, para valores mayores de 3 gramos y menores o iguales a 6 gramos son papa mediana y claramente para la papa grande son valores mayores de 6 gramos y así se cumple la clasificación de esta.

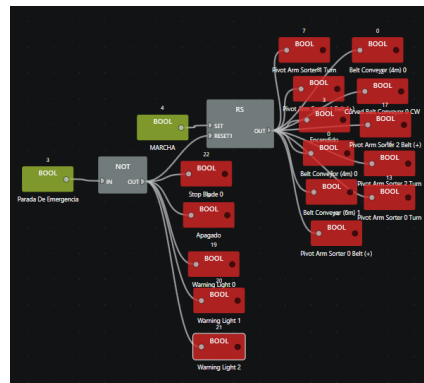


*Ilustración 15 Programación Ladder*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Quinta etapa: En el software Factory I/O con sus funciones se logra implementar la lógica de programación por bloques para el funcionamiento del diseño (Ilustración 13) para su simulación. Se comienza por Marcha y parada de emergencia donde se programa la cinta transportadora sus luces indicadoras y cuando se presiona la parada de emergencia se da activación de luces de emergencia y un indicador de luz que represente que esta parada y apaga la cinta transportadora.



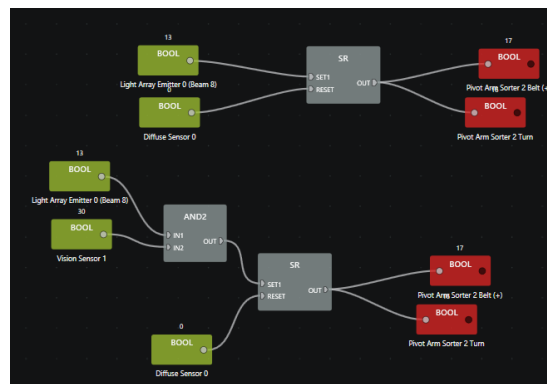
*Ilustración 16 Primera parte programación*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Para la segunda parte de la programación se procede con los sensores y gracias a compuertas analógicas ya sea AND y OR se logró generar una lógica donde cumpla la separación, si se cumple

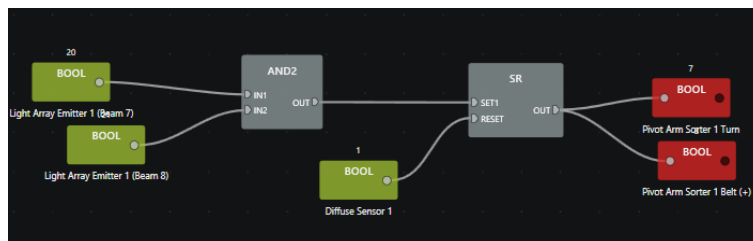
la condición del sensor de color y la condición de tamaño activando el sensor infrarrojo se están cumpliendo la condición para que la compuerta AND envíe una señal de salida para la activación de su carril correspondiente para la clasificación y la compuerta OR según la programación cumple la función de tener la decisión que si cumple el color elegido o el tamaño que se requiere active su carril correspondiente.



*Ilustración 17 Segunda parte programación*

**Fuente de la ilustración:**

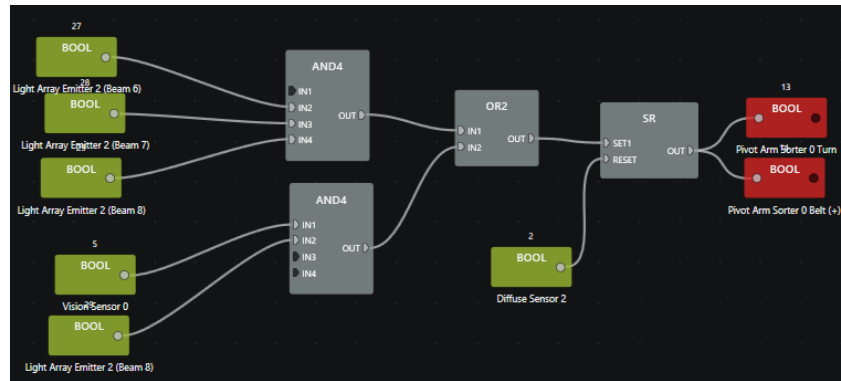
Juan Sebastian Duarte Roa, 2024



*Ilustración 18 Segunda parte programación*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

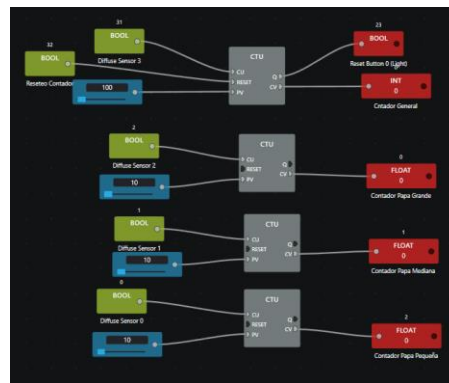


*Ilustración 19 Segunda parte programación*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Por último, se programa los contadores y censo de cantidad de material que trascurre por la banda transportadora. Colocando el display digital en el panel de control para la evidencia visual para tener el valor siempre presente.



*Ilustración 20 Tercera parte programación*

**Fuente de la ilustración:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Quinta etapa: Se realizan pruebas de funcionamiento observando si hay fallas evidentes en la programación o la simulación colocando en varias condiciones para su prueba y mejorando detalles estéticos de la banda y colocación en lugares óptimos los sensores para mejor captación de señales.

## ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados revelan una correlación directa entre tamaño y peso identificando cosas como el tamaño y el peso son directamente proporcionales, gracias al patrón observado en la simulación se identifica comportamientos como el mejoramiento del trabajo manual ya existente y presente en la clasificación de papas ya que según la observación que se realizó en un minuto clasifica entre 20 y 22 papas eso quiere decir que en 8 horas de trabajo de la máquina o banda transportadora separa entre 9,600 a 10,560 papas por día y esto haciendo comparativa de pesos es equivalente a sacar entre 3 a 4 toneladas de peso, y según investigación en un pueblo cercano llamado belén que es cosechador de papa en un día de trabajo pueden llegar a clasificar y separar entre 1 tonelada a 2 toneladas de papa lo cual quiere decir que mejora la productividad de cosecha, la explicación plausible de este fenómeno es el trabajo continuo y uniforme de la banda transportadora sin descanso durante el horario laboral, desde un punto de vista técnico la facilidad de funcionamiento y su cantidad de tiempo operativo es factible para su fabricación e implementación y se tiene en cuenta su tabla de costos estimados a continuación.

*Tabla 2 Presupuesto estimado SIEMENS*

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
PLC SIEMENS	1	\$1.200.000	\$1.200.000
SENSOR DE PESO	1	\$25.000	\$25.000
SENSOR INFRARROJO	1	\$4.700	\$4.700
SENSOR DE COLOR	1	\$25.000	\$25.000
MOTOR PASO A PASO	1	\$100.000	\$100.000
MOTOR PASO A PASO CON KIT	1	\$500.000	\$500.000
MOTOR TRIFASICO	1	\$1.200.000	\$1.200.000
ESTRUCTURA DE SOPORTE	1	\$100.000	\$100.000
CABLES	1	\$5.000	\$5.000
COMPUTADOR	1	\$2.000.000	\$2.000.000
BAQUELA	1	\$3.000	\$3.000
CAUTIN, ESTAÑO, CREMA, ACIDO	1	\$15.000	\$15.000
		<b>Total</b>	<b>\$ 5.172.700,00</b>

### Fuente de la tabla:

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

Con esto se debe tener en cuenta si se usa Allen bradley o siemens en este caso por economía se busca el siemens, pero por sus solo dos entradas analógicas limita el proceso a tener solo dos sensores de peso eso quiere decir que la banda solo puede leer dos papas a la vez, pero en Allen bradley tiene 4 entradas analógicas lo que permite leer 4 papas a la vez y con Allen bradley el precio estimado seria:

*Tabla 3 Presupuesto estimado ALLEN-BRADLEY*

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
PLC ALLEN-BRADLEY	1	\$4.500.000	\$4.500.000
SENSOR DE PESO	1	\$25.000	\$25.000
SENSOR INFRARROJO	1	\$4.700	\$4.700
SENSOR DE COLOR	1	\$25.000	\$25.000
MOTOR PASO A PASO	1	\$100.000	\$100.000
MOTOR PASO A PASO CON KIT	1	\$500.000	\$500.000
MOTOR TRIFASICO	1	\$1.200.000	\$1.200.000
ESTRUCTURA DE SOPORTE	1	\$100.000	\$100.000
CABLES	1	\$5.000	\$5.000
COMPUTADOR	1	\$2.000.000	\$2.000.000
BAQUELA	1	\$3.000	\$3.000
CAUTIN, ESTAÑO, CREMA, ACIDO	1	\$15.000	\$15.000
		<b>Total</b>	<b>\$ 8.472.700,00</b>

**Fuente de la tabla:**

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024

En cuanto al sistema de embolsado automático, los resultados indican un óptimo desempeño, con una tasa de llenado uniforme por la programación y su lógica que garantiza que en las bolsas solo estarán la papa elegida o de preferencia. Esto se atribuye al control de lazo cerrado implementado mediante celdas de carga y al mecanismo de compuerta dinámica para regular el flujo de papas.

En general, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad técnica del sistema desarrollado, sentando las bases para un escalamiento a nivel industrial. Sin embargo, se recomienda realizar pruebas más extensas con diferentes variedades y calibres de papas para evaluar su desempeño en una gama más amplia de condiciones.

## DISCUSION

La precisión y consistencia en la clasificación de papas sugiere una efectividad significativa del sistema implementado. La desviación estándar limitada en la medición de peso indica una alta fiabilidad en la determinación del peso de las papas, sin embargo, se evidencia ciertas limitaciones relacionadas con la precisión en la detección de defectos leves o cambios sutiles de coloración en las papas. Esto sugiere la necesidad de mejorar la clasificación por color y contemplar la incorporación de técnicas de visión artificial para una evaluación más robusta de la calidad interna del tubérculo. Llevar a cabo pruebas de campo más amplias y en diferentes condiciones para evaluar el rendimiento del sistema en situaciones reales e identificar posibles mejoras o ajustes necesarios otro aspecto importante para considerar sería la interacción del sistema con los operadores humanos en condiciones reales de producción. Las pruebas de campo ayudarían a identificar posibles mejoras en la interfaz de usuario, la facilidad de uso y la integración del sistema con los procesos existentes en las plantas de procesamiento de papas.

También explorar otras opciones de software de simulación más avanzadas y flexibles que permitan realizar pruebas más específicas y detalladas, superando las limitaciones del software. se identificó por la limitación del software Factory I/O no se puede tener una simulación 100% fiel a modelo ya que tiene elementos limitados de programación y simulación lo cual dificulta general pruebas más específicas.

## CONCLUSIONES

El presente proyecto tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de control que permita la clasificación y embolsado de papas por peso, tamaño, color por medio de una banda transportadora buscando mejorar la eficiencia y precisión, para abordar los desafíos que enfrentan los pequeños y medianos productores de papa en los procesos de postcosecha. Después de una exhaustiva investigación, diseño y pruebas, se puede concluir lo siguiente:

Se logró implementar con éxito un diseño funcional que integra tecnologías de sensores de peso, color y tamaño, controladores lógicos programables y actuadores para la clasificación y embolsado automático de papas. Los resultados experimentales demostraron un notable incremento del 100% en la tasa de procesamiento con respecto a los métodos manuales tradicionales. Además, se lograron identificar elementos, dispositivos y mecanismos que permiten la clasificación de la papa, gracias al análisis exhaustivo de fuentes se contempló que el sistema de lazo cerrado para la celda de cargas es un sistema de control óptimo y garantiza el funcionamiento.

Se logró con el panel de control de la banda transportadora una interacción simple por lo cual la persona necesitaría una capacitación simple para el entendimiento de la banda y ser interactiva con el usuario.

La alta productividad, consistencia y trazabilidad que ofrece el sistema desarrollado representan una solución robusta para que los productores puedan acceder a nuevos canales de comercialización con lotes de calidad superior y uniformidad controlada. Esto contribuiría a mejorar su competitividad y rentabilidad en un mercado cada vez más exigente.

## TRABAJOS FUTUROS

Si bien los resultados obtenidos en este proyecto son prometedores, existen diversas oportunidades para mejorar y expandir las capacidades del sistema en trabajos futuros:

En primer lugar, se recomienda incorporar técnicas de espectroscopia de ilustración para una evaluación más robusta de la calidad interna de las papas. Mediante el análisis de la reflectancia y absorbancia en distintas longitudes de onda, sería posible detectar con mayor precisión defectos como pudriciones, daños por frío, decoloraciones y desórdenes fisiológicos que no son fácilmente identificables por inspección visual externa.

Otra línea de mejora sería la implementación de algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales para el procesamiento de imágenes. Esto permitiría un reconocimiento de patrones más avanzado, adaptándose a diversas variedades de papa, condiciones de iluminación y detectando incluso defectos sutiles con gran precisión.

Desde el punto de vista mecánico, sería conveniente evaluar configuraciones modulares más compactas que reduzcan el área de planta requerida, así como el desarrollo de mecanismos y actuadores de bajo costo fabricados mediante impresión 3D u otras técnicas.

En general las líneas de trabajo futuro apuntan a perfeccionar las capacidades de inspección de calidad, incorporar técnicas de inteligencia artificial, optimizar el diseño mecánico y ampliar las pruebas para llevar el sistema a su máximo potencial.

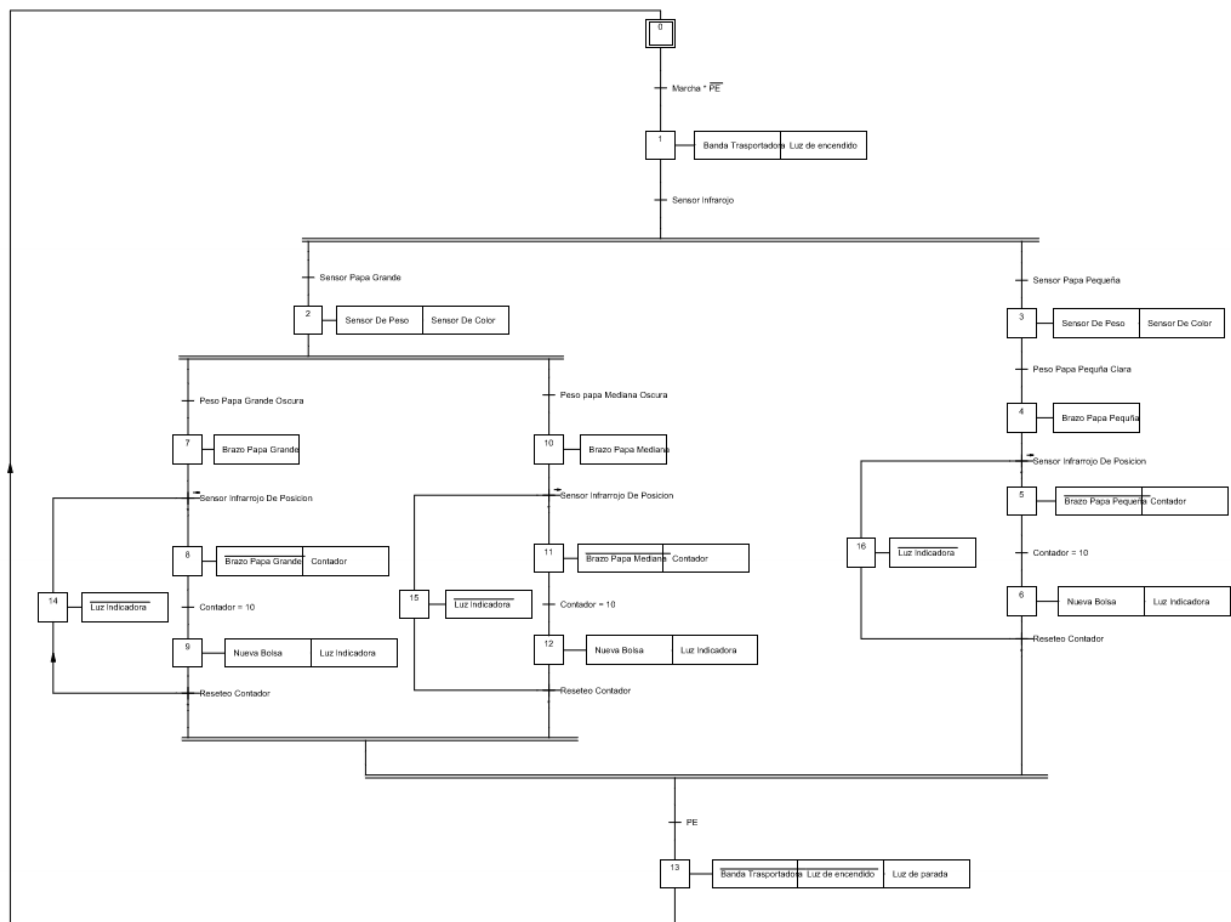
## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agriceres. (2018). *Banda cosechadora [Ilustración]*. Obtenido de Agriceres: <https://www.agriceres.com/maquinaria-agricola/banda-transportadora>
- AgriExpo. (2024). *Transportador de patatas [Ilustración]*. Obtenido de AgriExpo: <https://www.agriexpo.online/es/fabricante-agricola/transportador-patatas-2039.html>
- Agronegocios. (15 de Abril de 2024). *Detrás de la producción de papas Margarita está la labor de cientos de agricultores*. Obtenido de Detrás de la producción de papas Margarita está la labor de cientos de agricultores: <https://www.agronegocios.co/agricultura/detras-de-la-produccion-de-papas-margarita-esta-la-labor-de-cientos-de-agricultores-colombianos-2889197>
- Allen-Bradley (s.f). Rockwell Automation. (2024). *Controladores programables de PLC*. Obtenido de Controladores programables de PLC: <https://www.rockwellautomation.com/es-mx/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers.html>
- AUTYCOM. (2022). *¿Qué es GRAFCET y para qué sirve?* Obtenido de AUTYCOM: <https://www.autycom.com/que-es-grafcet/>
- Blogger. (5 de Noviembre de 2017). *Programacion y robotica [ilustración]*. Obtenido de Blogger: <https://nosinmiarduino.blogspot.com/2017/11/sensor-de-infrarrojos.html>
- Creative Commons Attribution-Share-Alike License 3.0. (2008). *iNaturalist Ecuador*. Obtenido de iNaturalist Ecuador: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/53858-Solanum-tuberosum>
- Electronica Basica. (2023). *¿Que es un puente de Wheatstone? [Ilustración]*. Obtenido de Electronica Basica: <https://electronica-basica.com/puente-de-wheatstone/>
- Exhibir . (2024). *Motor Trifasico [Ilustración]*. Obtenido de Exhibir : [https://exhibirequipos.com/producto/motor-trifasico-1-5hp-3600rpm-weg-w21-carcasa-aluminio/?utm\\_source=Google+Shopping&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Productos+EXH&utm\\_term=&utm\\_campaign=Productos+Exhibir+Equipos&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=290](https://exhibirequipos.com/producto/motor-trifasico-1-5hp-3600rpm-weg-w21-carcasa-aluminio/?utm_source=Google+Shopping&utm_medium=cpc&utm_campaign=Productos+EXH&utm_term=&utm_campaign=Productos+Exhibir+Equipos&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=290)
- IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore. (2020). Un novedoso método de evaluación de la calidad de la carne de pollo basado en la localización de tarjetas de color y la corrección de color. *IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore*, págs. 1-15.
- IEEE Xplore. (1 de Octubre de 2019). Sistemas de control de supervisión y adquisición de datos de bajo costo. *IEEE Xplore*, págs. 10-30.

- IEEE Xplore. (2022). Desarrollo de PLC y HMI con Siemens TIA Portal: Desarrollo de programas de PLC y HMI utilizando métodos estándar y enfoques estructurados con TIA Portal V17. *IEEE Xplore*, págs. 20-30.
- IEEE Xplore. (14 de Diciembre de 2023). Automatización de clasificación basada en altura: integración de PLC y E/S de fábrica. *IEEE Xplore*, págs. 3-15.
- MotionKing. (2023). *Motor paso a paso con kit de control [Ilustración]*. Obtenido de MotionKing: [https://www.motionking.com/Products/Hybrid\\_Stepper\\_Motors/index.htm](https://www.motionking.com/Products/Hybrid_Stepper_Motors/index.htm)
- Naylamp Mecatronic. (2023). *Celda de carga [Ilustración]*. Obtenido de Naylamp Mecatronic: <https://shre.ink/8GZ3>
- reservados, T. I. (5 de mayo de 2023). *Aula 21 Centro de formacion tecnica para la industria*. Obtenido de Aula 21 Centro de formacion tecnica para la industria: <https://www.cursosaula21.com/tia-portal/>
- Roa, J. S. (s.f.). *Diseño de modelo*. Duitama.
- Robot . (2024). *ensor De Color Rgb Tcs3200 [Ilustración]*. Obtenido de Robot: <https://robot.com.ve/product/sensor-de-color-rgb-tcs3200-tcs230-arduino/>
- YARA . (2024). *Yara Colombia*. Obtenido de Mejorar la calidad de la papa: <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/papa/mejorar-la-calidad-de-la-papa/#:~:text=Existen%20tres%20criterios%20principales%20que%20definen%20la%20calidad,es%20importante%20para%20poder%20gestionar%20todos%20estos%20criterios>

## ANEXOS

### GRAFNET:



*Ilustración 21 Grafcet usado*

### Fuente de la ilustración:

Juan Sebastian Duarte Roa, 2024