



# **Implementación del diseño de la automatización de la ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena**

**Sergio Andrés Henríquez Medina  
Sergio David Montes Vargas**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Cartagena, Colombia  
2021

# **Implementación del diseño de la automatización de la ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena**

**Sergio Andrés Henríquez Medina**  
**Sergio David Montes Vargas**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director  
Ing. Juan Vicente Cajal Barros

Línea de Investigación:  
Automatización y control

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Cartagena, Colombia

2021

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Cartagena (2021)

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo implementar el diseño de una máquina ralladora de yuca automatizada para la agroindustria, en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena, mediante la instalación de los componentes del diseño antes propuesto por estudiantes de la misma institución en el segundo semestre del año 2019. De igual manera, se propone encontrar oportunidades de mejora, y con las pruebas funcionales con materia prima, realizar un análisis costo/beneficio de la máquina en estudio, la cual se encuentra ubicado en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena.

El alcance del presente proyecto está dado desde lo establecido en el diseño propuesto (automatizado, capacidad de producción, etc.) hasta el análisis costo/beneficio como parte de los estudios realizados por una institución educativa y limitada en tiempo para su ejecución.

Con este proyecto se pretende contar, al final de su realización, con una máquina automatizada para el rallado de yuca para fines agroindustriales y con una relación costo/beneficio favorable, todo esto al servicio de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena.

**Palabras clave:** tecnificación, implementación, mejoramiento, sistema de producción, agroindustria, aprovechamiento, automatización

## **Abstract**

The objective of this project is to implement the design of an automated cassava grating machine for agribusiness, at the Antonio Nariño University in Cartagena, by installing the components of the design previously proposed by students from the same institution in the second semester of the year 2019. In the same way, it is proposed to find opportunities for improvement, and with the functional tests with raw material, to carry out a cost / benefit analysis of the machine under study, which is located at the Antonio Nariño University in Cartagena.

The scope of this project is given from what is established in the proposed design (automated, production capacity, etc.) To the cost / benefit analysis as part of the studies carried out by an educational institution and limited in time for its execution.

The aim of this project is to have, at the end of its implementation, an automated machine for grating cassava for agro-industrial purposes and with a favorable cost / benefit ratio, all at the service of the Universidad Antonio Nariño Cartagena Headquarters.

**Key words: technification, implementation, improvement, production system, agroindustry, exploitation, automation**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>IX</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Generalidades.....</b>	<b>2</b>
1.1 Identificación del problema.....	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.3.1 Sistematización del problema.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
<b>2. Marco referencial.....</b>	<b>6</b>
2.1 Estado del arte.....	6
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	6
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	7
2.2 Marco teórico.....	7
2.2.1 Descripción del producto.....	7
2.2.4 Rallado de yuca.....	8
2.2.6 Circuitos.....	13
2.3 Contenido conceptual.....	16

---

2.4. Marco legal.....	23
<b>3. Metodología.....</b>	<b>25</b>
<b>4. Diseño ingenieril.....</b>	<b>28</b>
4.1 Diagnóstico inicial.....	28
4.2 Componentes de la máquina ralladora de yuca.....	28
4.3 Pruebas funcionales.....	36
4.4 Oportunidades de mejora para la ralladora de yuca.....	37
4.4.1 Reubicación y cambio de caja de mando y control.....	37
4.4.2 Diseño e instalación de tolva con su respectiva tapa.....	38
4.5 Análisis costo/beneficio.....	42
<b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.1 Conclusiones.....	55
5.2 Recomendaciones.....	58
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>46</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>48</b>
<b>A. Anexo: Check-list para deficiencias encontradas.....</b>	<b>62</b>
<b>B. Anexo: Diagrama de programación Ladder.....</b>	<b>64</b>
<b>C. Anexo: Imágenes del estado inicial de la máquina ralladora de yuca.....</b>	<b>66</b>
<b>D. Anexo: Imágenes del estado final de la máquina ralladora de yuca.....</b>	<b>67</b>

## Índice de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1:</b> Ejemplo de rallador impulsado con motor a gasolina (motor ACPM) .....	19
<b>Figura 2-2:</b> Rallador tradicional de raíces de yuca.....	20
<b>Figura 2-3:</b> Circuito eléctrico .....	24
<b>Figura 2-4:</b> Circuitos eléctricos en serie. ....	25
<b>Figura 2-5:</b> Circuito eléctrico mixto.....	26
<b>Figura 2-6:</b> Yuca .....	28
<b>Figura 2-7:</b> Partes del motor eléctrico .....	29
<b>Figura 2-8:</b> Poleas y correas .....	30
<b>Figura 2-9:</b> Tolva.....	31
<b>Figura 2-10:</b> Rallado de yuca .....	31
<b>Figura 2-11:</b> Rallo o Rallador .....	32
<b>Figura 2-12:</b> PLC .....	33
<b>Figura 3-1:</b> Pinza Amperimétrica.....	38
<b>Figura 4-1:</b> Esquemático de instalación correa de la máquina.....	45
<b>Figura 4-2:</b> Correa en V de construcción envuelta.....	46
<b>Figura 4-3:</b> Caja de controles.....	49
<b>Figura 4-4:</b> Diseño e instalación de tolva.....	50
<b>Figura 4-5:</b> Diseño completo de la ralladora de yuca.....	50
<b>Figura 4-6:</b> Diseño completo de la ralladora de yuca.....	51
<b>Figura 4-7:</b> Diagrama de flujo funcionamiento de máquina ralladora.....	52

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 4-1:</b> Componentes ralladora de yuca.....	40
<b>Tabla 4-2:</b> Datos de las pruebas de funcionamiento de la máquina ralladora.....	47
<b>Tabla 4-3:</b> Tabla comparativa de los modelos consultados.....	53

## Introducción

El origen de la yuca se encuentra ubicado en el Noroeste de Brasil y fue domesticada hace más de 8.000 años en la etapa Arcaica (Restrepo, 2012). La yuca es considerada de vital importancia dentro del grupo de plantas en las que sus raíces y tubérculos son de gran valor económico. La yuca posee varias funciones en la alimentación humana y animal, si bien, su follaje es usado para nutrir animales en zonas campestres y, en África, es empleada como un vegetal para ser ingerido por humanos (Ospina & Ceballos, 2002).

Desde hace algunos años la producción de yuca ha aumentado para su uso en diferentes industrias en Colombia; la producción aumentó de 1'949.443 toneladas en 2014 a 2'647.378 en el año 2017, con un terreno recolectado de 244.172 hectáreas solo por citar el caso de nuestro país de acuerdo con datos del Ministerio de Agricultura (Casa Tiempo, 2020).

Lo anterior genera la necesidad de crear máquinas que permitan una mayor velocidad de procesamiento del producto, puesto que antiguamente se hacía de una manera artesanal, y, por ende, cumplir con la demanda de productos derivados de la yuca (Por ejemplo, alimento para cerdos) (Suárez & Mederos, 2011).

Con base en lo anterior, este documento tiene como objetivo implementar el diseño de la automatización de la ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos, en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena. Por lo que ejecuta un estudio general de los conceptos y definiciones asociados a cada una de las partes y una revisión de los antecedentes teóricos relacionados al proyecto. En segunda instancia, realiza un estudio de la maquinaria, seguida de un diseño estructural en base a las deficiencias encontradas.

# 1. Generalidades

## 1.1 Identificación del problema

Es preciso afirmar que con la tecnificación del proceso de rallado de la yuca podría obtenerse mayor facilidad, rapidez y seguridad en la obtención del producto, minimización de esfuerzos y mejoras sustanciales en el nivel de trabajo. Por ello, este proyecto propone la implementación del diseño de la máquina ralladora de yuca automatizada propuesto en el primer semestre del 2020 por los compañeros Alex Enrique Suárez Bermúdez y Johan David González Díaz pertenecientes al programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena con el objetivo de producir alimentos a base de almidón de yuca.

La presente máquina presenta problemas de obstrucción ocasionados por la dureza de la cáscara y los trozos grandes de producto. Además, la máquina no permite controlar el proceso de rallado y molienda, debido a esto, resulta bastante complicado el cálculo de cantidades y controlar los problemas de seguridad del operario. Por lo tanto, es necesario disminuir el impacto de las falencias que actualmente tiene el prototipo de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena, lo que sustenta la pregunta que define claramente el proyecto y conceptúa la problemática.

## 1.2 Descripción del problema

El rallado de la yuca amarga no se elabora de manera cómoda o adaptada óptimamente entre el operario y la máquina. Por lo tanto, se necesita mucho trabajo para la meta diaria. La extracción de la yuca que ha sido rallada (para desechar el veneno que posee), se realiza de manera superficial y no asegura la eliminación total de dicha sustancia. Por esto, el objetivo del presente proyecto es el de implementar el diseño de la automatización de la ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos, en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena. Lo anterior tiene como consecuencia un aumento en la producción

y disminución en el esfuerzo humano, además requiere un cuidado sencillo, traslado, operatividad, comodidad y bajos gastos, gracias a que se encuentra pensado para sectores de estratos bajos (Suárez & González, 2019) (Inmegar, 2020).

## **1.3 Planteamiento del problema**

Actualmente está ubicada en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena, un rallador industrial de yuca para la producción de productos porcinos, con un diseño aprobado para su automatización, el cual no ha sido puesto en marcha debido a múltiples factores externos, entre ellos, la pandemia mundial del COVID-19.

### **1.3.1 Sistematización del problema**

De acuerdo con la situación expuesta, es necesaria la elaboración de una pregunta que oriente en la elaboración del presente proyecto, y así, encontrar los resultados de mayor beneficio para la comunidad estudiantil u otras personas que puedan favorecerse de este.

Por ende, podemos establecer que lo más beneficioso para la comunidad en general es buscar una forma de automatizar la ralladora existente. Entonces, teniendo en cuenta que la Universidad Antonio Nariño tiene un diseño aprobado para esta misma máquina, establecemos el siguiente interrogante:

¿Cómo implementar el diseño aprobado para la automatización de la máquina ralladora de yuca de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena?

## **1.4. Justificación**

En cualquier tipo de producción en el que se empleen maquinaria y equipos, se generan ocasionalmente deficiencias en estos que pueden traer como resultado demoras en dicho proceso. De acuerdo con Gómez (1977), también puede originarse inconvenientes relacionados con la calidad de los productos, ocasionando la repetición de procesos para solucionar los problemas presentados, ayudando así a elevar el uso/gasto de recursos de todo tipo.

Este proyecto se justifica por la necesidad de optimizar los recursos y componentes con los que opera esta máquina. Entre estos se encuentran el uso racional de energía eléctrica

(facturación), desgastes de sus materiales móviles (rodamientos, chumaceras, correas) y la necesidad de mejorar la seguridad al operar una máquina de este tipo (dispositivos de desactivación para evitar operaciones no deseadas de la máquina y/o heridas al personal quien la opera y mantiene). En consistencia con lo anteriormente mencionado, se puede afirmar que la implementación de mecanismos tales como la ralladora automatizada de yuca, disminuirá el tiempo de dicho proceso y, por ende, proporcionará menores costos en cualquier producto que utilice el rallado de la yuca como su materia prima.

A nivel académico, el presente proyecto podría servir como referencia para futuras investigaciones que aborden temáticas similares a las mencionadas aquí. Adicionalmente, podría servir como una guía para los estudiantes que se encuentren desarrollando Trabajo Integral de grado (TIG) y otros alumnos que procuren la mejora de los procesos productivos a partir de la optimización de maquinarias como ésta. A nivel profesional, este proyecto representa la implementación de lo aprendido en el proceso de formación ingenieril de la Universidad Antonio Nariño.

Este proyecto es factible porque reduce las deficiencias detectadas a nivel general y permite la optimización del diseño en el prototipo de máquina de rallado de yuca de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena. Por último, la puesta en funcionamiento de esta máquina representa para el usuario final un standard de seguridad y de automatización alto. Esto se interpreta en ahorro en tiempo de uso de los componentes como en gastos de mantenimiento preventivo y correctivo, facturación por energía eléctrica, menores posibilidades de accidentes durante el uso y/o manejo de esta. Debido a lo anteriormente mencionado, la relación costos de operación / beneficio se va a reflejar de manera significativa en la inversión del poseedor de esta máquina.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Implementar el diseño de la automatización de la ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos, en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico del funcionamiento y estado actual de la máquina ralladora de yuca para lograr implementar un diseño de automatización propuesto previamente por alumnos de la universidad Antonio Nariño sede Cartagena.
- Instalar los componentes de acuerdo con el diseño propuesto.
- Hacer pruebas funcionales in situ con materia prima de la ralladora de yuca.
- Medir parámetros eléctricos básicos para determinar el consumo de energía del diseño propuesto contra el de la máquina ralladora de yuca inicial.
- Identificar oportunidades de mejora para la ralladora de yuca.
- Realizar un análisis de costo/beneficio del diseño implementado versus las máquinas similares en el comercio.

## 2. Marco referencial

### 2.1 Estado del arte

#### 2.1.1 Antecedentes nacionales

Márquez y Olarte (2017) sostienen que análisis de una cadena productiva necesita de distintas variables y para comprobar su efectividad se usan varias herramientas. En este análisis la herramienta principal fue el diagnóstico estratégico. Este diagnóstico pretende valorar los escenarios macro y micro del producto seleccionado, para lograr identificar sus fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) ha escogido a la yuca como uno de los productos alimenticios vitales para la sociedad porque ésta se habitúa rápida y óptimamente en el suelo y es altamente beneficiosa por sus vitaminas y proteínas. En Colombia, la yuca se considera como uno de los productos más plantados. Por lo tanto, es indispensable evaluar su proceso productivo y la maquinaria empleada.

Alarcón y Dafour (2005) proponen el sistema de máquinas para la mecanización o procesamiento de la yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) según las propiedades fenotípicas y físico-mecánicas de las variedades La Reyna y Paigua Negra. En el estudio se determinan: altura total del arbusto (Hta); altura de la aparición del follaje (Haf); longitud de la raíz máxima (Lrm); diámetro del conjunto de raíces (Dr); el peso total de la planta (Ptp), profundidad de las raíces (Pr); longitud de la raíz máxima (Lrm); diámetro del conjunto raíz (Dcr), la resistencia a la extracción (Re), la firmeza (F) y resistencia a la ruptura (Rr), entre otras. Los resultados muestran que la variedad Paigua Negra posee propiedades ligeramente superiores sobre la variedad La Reyna para la mecanización y/o procesamiento de su cultivo, sin embargo, La Reyna posee mayor resistencia a la compresión y a la ruptura de la corteza con valores superiores en un 30%.

En la “cartilla para la elaboración, operación y mantenimiento del rallo de yuca hidráulico” realizada por Unión Indígena de la Zona Acaricuara, Organización Indígena de la Zona Yapu Ricerca e Cooperazione de Colombia y el Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (2000) señalaron los componentes mecánicos que conforman el sistema, teniendo en cuenta todos los recursos y adaptando las particularidades del

proceso de este producto (luego de su recolección) para la fabricación de alimento para cerdos y casabe, a las piezas mecánicas similares en el mercado nacional. Con este estudio, se comprobó que por los rasgos fisicoquímico contemplados, los recursos usados en este diseño se acomodan a sus particularidades. Fueron analizados los distintos sometimientos que soportarían cada uno de los elementos de la máquina para que fueran considerados en su diseño, con el propósito de asegurar que la máquina no tenga dificultades ante esos sometimientos.

### **2.1.2 Antecedentes internacionales**

Por su parte, Mota y González (2004) proponen en el trabajo titulado “diseño de una máquina ralladora y exprimidora de yuca para la elaboración de casabe”, mejorar la función de corte recto en la elaboración de muebles en madera melamina por medio del uso de una máquina automatizada, que permita mitigar lesiones menores o altas gracias a las derrumbes del material y la manipulación de equipos por los operarios, también logra eliminar los tiempos muertos durante el corte, mejora la apariencia fragmentos partidos permitiendo lograr una similitud con lo que se ha planeado y eleva el rendimiento en esta función. El estudio de métodos posibilita valorar el procedimiento para encontrar mejoras y establecer una estrategia adecuada para realizar el trabajo. Es una investigación de tipo analítica – descriptiva donde hace una revisión de los distintos métodos funcionales en la medición de tiempo y movimientos para realizar ciertas actividades de producción en una empresa industrial.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Descripción del producto**

La yuca -*Manihot esculenta* Crantz- hace parte de la familia Euphorbiaceae, la cual se encuentra conformada por 7200 especies que son reconocidas por la generación de vasos laticíferos formados por células secretoras que brotan una secreción lechosa.

El nombre científico de la yuca fue creado por Crantz en el año 1766. Más adelante, fue catalogada en dos especies distintas: yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *M. aipi*. No obstante, Ciferri (1938) resaltó el trabajo de Crantz en el que se sugiere el nombre usado

hasta la fecha. Se han definido cerca de 98 especies del género *Manihot*, siendo únicamente la yuca, la que es fundamental a nivel económico (Pérez, 1997).

Ceballos & De la Cruz (2002) afirman que la reproducción alógama de la yuca y su formación genética de tipo heterocigótico permiten propagarla por estacas. La yuca es llamada de distintas formas dependiendo el lugar. Por citar algunos, en el norte de América del Sur, América Central y las Antillas se le dice yuca, en Argentina, Brasil y Paraguay se le conoce como mandioca y en Brasil se le llama aipi y macacheira.

La yuca crece en diferentes climas, desde los trópicos cálidos sobre el nivel del mar, aquellos trópicos que poseen altitud intermedia hasta los trópicos fríos con lluvias ocasionales. La yuca se destaca de otros cultivos por su habilidad para crecer en suelos tanto fértiles como poco fértiles, con lluvias esporádicas o ciclos de sequía. No obstante, no puede soportar inundaciones ni suelos con estados salinos.

#### **2.2.4 Rallado de yuca**

Las primeras ralladoras de yucas inventadas por el hombre fueron los indios de kayabi (Brasil) eran hechas de madera y tenían detalles de caminos gravados en los bordes de la madera dejando la parte central puntuaciones que hacia el trabajo de reducir la yuca en partes más pequeñas. Alarcón y Dufour (1998) aseguran que la ralladora utilizada en la cocina fue inventada por primera vez por François Boullier en el año 1540, ésta fue utilizada principalmente para rallar alimentos en trozos finos.

Hoy en día los ralladores son de gran importancia y de uso industrial. Por tal motivo, éstos son hechos de metal con motores y a corriente eléctrica como electrodomésticos de cocina, los de motores son usados en industrias dedicadas a la elaboración de productos derivados de alimentos como la yuca, papa, camote, naranja, etc., (Concade/Dai, 1998).

Artesanamente las yucas se lavan y, luego éstas son trasladadas al lugar donde se va a realizar el proceso de rallado. En el presente, en varias partes del país utilizan molinos conocidos como cigüeñas para reducir la yuca en trozos más pequeños, ésta no es una máquina grande, solo posee dos partes fundamentales: una que realiza el rallado a través de una lámina de hojalata tamizada con huecos que tienen orillas afiladas, envuelta de un rodillo o tubo de 15 centímetros de diámetro y 40 centímetros de longitud y en el centro se

cruceta por un eje de metal. La otra se trata de un motor de gasolina o un motor que funciona con energía eléctrica que genera la energía mecánica indispensable para funcionar todo el aparato (ver Figura 2-1). El eje del motor se encuentra ensamblada al eje de hierro del tubo que se encarga de triturar a través de una polea. Una cigüeña es capaz de rallar 1,7 toneladas por hora (Concade/Dai, 1998).

**Figura 2-2:** Ejemplo de rallador impulsado con motor a gasolina (motor ACPM).



Fuente: Tomado de <http://www.agromundo.co/files/classifieds/2792-11869.png>

### ▪ Rallado de las raíces

Se trata de soltar el almidón de la raíz usando alguna estrategia. A la eficacia de esta operación se le conoce como efecto rallador (ER), la cual se valora por medio de la ecuación a continuación (Alarcón, 1989):

$$ER = \left(1 - \frac{A_A * F_R}{A_R * F_A}\right) * 100$$

Dónde:

$A_A$  = almidón recuperado en el afrecho (%)

$F_R$  = fibra cruda en las raíces frescas (%)

$A_R$  = almidón en las raíces frescas (%)

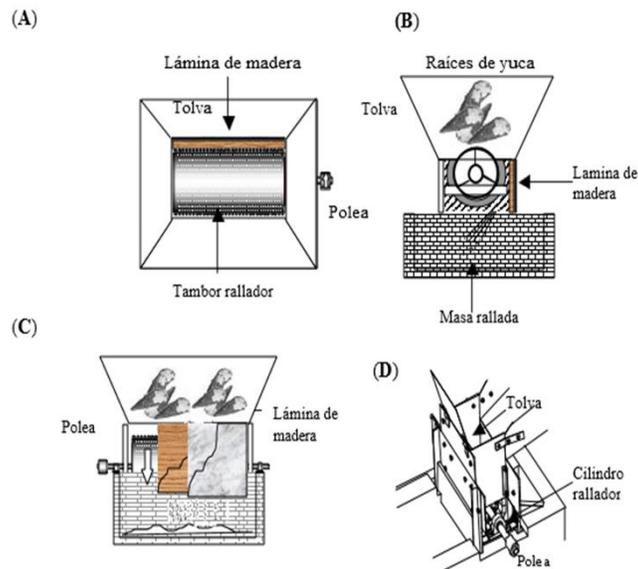
$F_A$  = fibra cruda en el afrecho (%)

En el proceso de rallado se sacan los gránulos de almidón que se encuentran en las células de la raíz. Esta operación realizada de forma óptima define, en gran medida, el provecho completo de almidón en la extracción.

### ▪ Operación del rallo

La superficie ruda y afilada del tambor, formada por las orillas filosas de varios huecos, determina una línea de corte (un rayo) con el lado interno de una tabla ubicada delante del tambor (ver Figura 2-2). Ese rallo genera una masa de ralladura de yuca, delgada o espesa de acuerdo con el ancho entre el tambor y la orilla de madera (Cosio & Asociados, 1990).

**Figura 2-2:** Rallador tradicional de raíces de yuca en que la superficie externa del cilindro es una lámina perforada.



**Características:**

Capacidad: 1500 kg de raíces por hora  
 Agua: 90 lt/100 kg de raíces  
 Velocidad de rotación: 1200 a 1300 r.p.m.

Fuente: Reyes, Toledo & Quiroga (2014)

La función de rallado de yuca normalmente se realiza en seco. En casos excepcionales se emplea con agua, se puede citar como ejemplo, en el momento que la maquinaria es

instalada beneficiándose de la pendiente del terreno. El agua utilizada de esa forma logra fluir sencillamente para la operación que sigue o para el depósito de aguas residuales para ser purificada. La cantidad de extracción de almidón depende del rallado (Fellows, 1994). Figueroa (1985) sugiere que, si esta operación no descompone correctamente el tejido de la raíz para dividir las pequeñas piezas de almidón de las fibras, se aprovecha muy poco la extracción y se desperdicia en gran manera el almidón en el afrecho descartado.

El resultado del proceso de rallado no debe ser extremadamente delgado debido que los las pequeñas piezas de almidón experimentarían daños en su apariencia y, luego, en sus enzimas. Bajo estas circunstancias, estas piezas reducen su densidad y se conformarían más manchas.

## ▪ **Automatización**

Sepúlveda (s.f) expresa en su artículo denominado “Automatización: evolución industrial posible” para la revista M&M, que esta palabra proviene del término griego ‘auto’ (manejado por sí mismo) y apunta a la implementación componentes o piezas electrónicas, mecánicas y computarizadas para supervisar procesos industriales, que sustituyen de forma parcial a operarios humanos.

La automatización industrial se explica como el empleo de tecnologías con el fin de controlar y monitorear procesos industriales, aparatos, maquinaria, robots y softwares. Normalmente, se encarga de funciones reiterativas y es poca participación de humanos en estas labores, por tanto, se ejecutan automática y autónomamente (Farfán & Mónico, 1989).

Se puede explicar dos contextos diferentes en los que efectúa la automatización industrial: unos de tipo operativo (OT), en estos que se hacen tareas de manufactura de forma tradicional; y otros de información (IT), enfocados más que todo en los ordenadores y su software. Un sistema automatizado se puede clasificar en dos secciones: una operativa que abarca los elementos permiten que una máquina ejecute una tarea, tales como sensores, actuadores, motores, cilindros, sistemas de visión, células o compresores neumáticos. Figueroa (1985) y Farfán y Mónico (1989) explican que la otra sección se enfoca en controlar estos componentes a través de un autómeta programable, API, PLC o estaciones de automatización.

Es preciso recordar la importancia del software de control que incorpora sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) o software de gestión como MES o ERP. Si se refieren a la automatización industrial en los contextos IT, recientemente está ganando reconocimiento la tecnología RPA (Robotic Process Automation) que posibilita sustituir tareas de tipo artesanal por aquellas automatizadas sin tener que cambiar los procesos. De acuerdo con lo anterior, la automatización tiene un rol fundamental debido a que disminuye los pagos de mano de obra directa y eleva la calidad de producción. En otras palabras, las máquinas automáticas son más exactas, los tiempos de producción son más cortos y esto reduce los incidentes laborales. Todo lo expresado también son beneficios de tipo económico, social, y tecnológico, porque permite a las empresas crecer competitivamente en su entorno (Farfán & Mónico, 1989).

### ▪ **Objetivos de la automatización**

- Aumentar la productividad de la compañía, bajando los costos de la producción y acrecentar la calidad de ésta.
- Cambiar las características de labor del personal, eliminando las tareas riesgosas y aumentando la seguridad.
- Ejercer las operaciones difíciles de manejar intelectual o manualmente.
- Acrecentar la existencia de los productos, logrando abastecer las cantidades requeridas en el momento exacto.
- Facilitar el mantenimiento de manera que el operario no necesite mucha preparación para encargarse del proceso de producción.
- Incorporar la gestión y producción.

### ▪ **Tipos de automatización industrial**

#### ▪ **Automatización fija**

Es utilizada para altos volúmenes de producción, por lo que el diseño de estos equipos especializados justifica su elevado costo, debido a su gran producción para elaborar un producto y ofrece rendimientos y tasas de producción altas. Una ejemplificación de este tipo de automatización sería en las compañías fabricantes de puertas o marcos, en las que las producciones son altas y las líneas de producción comprenden diseños complicados, en esta producción las máquinas ocupadas del corte, ensamble, pintura o laca, entre otras, se

programan para que realicen labores de movimientos reiterativos y optimicen el tiempo para así homogeneizar los productos y disminuir errores humanos (Farfán & Mónico, 1989).

### ▪ **Automatización programable**

Se implementa en volúmenes de producción relativamente baja, es importante resaltar que este equipo produce diversidad en las referencias de producto. Por lo que, el equipo de producción está diseñado para que pueda adaptarse a las configuraciones cambiantes del producto; adaptación que se efectúa mediante un software. Por ejemplo, una empresa empacadora de leche en polvo implementa este tipo de automatización, porque sus máquinas de producción en la operación y en el mando posibilitan su programación, esto quiere decir que cada cincuenta bolsas de leche empacada varíen la referencia según sea el tamaño de la bolsa. De acuerdo con Farfán & Mónico (1989), lo que conlleva que los dispensadores de leche durante el proceso permitan transitar la cantidad de granos de leche en polvo que se requieran, dependiendo del caso, las bolsas varíen, y las bandas transportadoras retrasen el tiempo durante el llenado de la bolsa.

### ▪ **Automatización flexible**

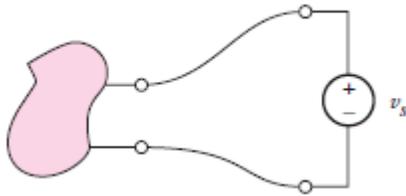
Este sistema es acorde en un rango de producción intermedio, ya que posee rasgos de automatización fija y de la programada, la cual la conforman una cadena de estaciones de tareas enlazadas entre sí a través de sistemas de almacenaje y manejo de recursos, guiados en su conjunto por un software. En el momento que la empresa decida implementar la automatización en su proceso de producción, es necesario que conozcan los dos elementos que este sistema necesita para efectuarse apropiadamente: la sección operativa y la sección de mando.

#### 2.2.6 Circuitos

Un circuito eléctrico lo conforman un grupo de componentes eléctricos unidos entre sí, de tal manera que para tener una potencia eléctrica, el circuito tendrá que ser cerrado (ver Figura 2-3). Se llaman elementos eléctricos a aquellos aparatos eléctricos que funcionan en el circuito, tales como un interruptor, un conmutador, una bombilla, un motor, cable, etc. De igual manera, en un circuito eléctrico se logran ver elementos electrónicos que intervienen conjuntamente con aquellos eléctricos.

Se puede afirmar que un circuito eléctrico es cerrado en el momento que la corriente eléctrica logra transitar de forma ininterrumpida. En la imagen a continuación la corriente eléctrica o electrones transitarían mediante el cable desde el polo positivo hasta el polo negativo de la pila transportándose por la fibra metálica de una bombilla de incandescencia (Farfán & Mónico, 1989).

**Figura 2-3:** Circuito eléctrico.



Fuente: Hayt, H. (2012).

### ▪ **Clasificación según el tipo de configuración de un circuito eléctrico**

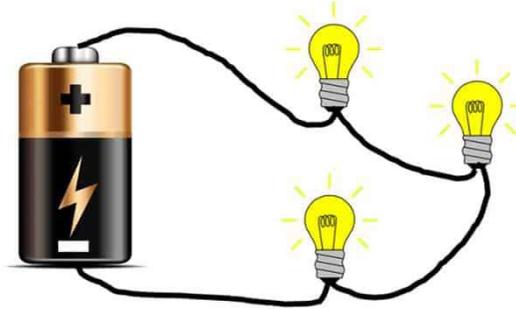
Hay tres clases de circuitos eléctricos de acuerdo con los ajustes de conexión de los aparatos que lo conforman:

- Circuito eléctrico en serie
- Circuito eléctrico en paralelo
- Circuito eléctrico mixto

### ▪ **Circuitos eléctricos en serie**

En este tipo de circuitos, los aparatos se encuentran están unidos de forma secuencial, uno a después del otro (ver Figura 2-4).

**Figura 2-4:** Circuitos eléctricos en serie.

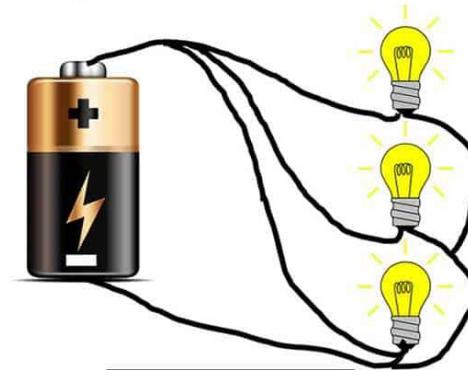


Fuente: Tomado de <https://electromundo.pro/5-clases-de-circuitos-electricos/>

### ▪ Circuitos eléctricos en paralelo

Estos son aquellos en el que la alimentación de los distintos aparatos es igual para todos, así también como para la salida de sus terminales (ver Figura 2-5).

**Figura 2-5:** Circuito eléctrico mixto



Fuente: Tomado de <https://electromundo.pro/5-clases-de-circuitos-electricos/>

### ▪ Conceptos de un circuito eléctrico

En el momento de analizar un circuito eléctrico, hay tres definiciones que se tienen que entender. Estos son: nodo, malla y rama.

- **Nodo:** Este es el punto donde se unen dos o más componentes de un circuito eléctrico.
- **Malla:** Es aquel circuito eléctrico cerrado conformado por ramas con el requisito de que internamente no haya otro circuito cerrado.
- **Rama:** Es todo componente con sus puntos de unión incorporados.

- **Definición de las partes que componen un esquema eléctrico**
- **Generador:** Es todo aparato que está en la capacidad de producir y sostener una tensión de potencial entre dos puntos.
- Hay dos clases de generadores eléctricos: Generador de corriente continua y generador de corriente alterna.
- **Generadores de corriente continua:** Este sostendrá una tensión entre dos puntos y la corriente eléctrica transportará en un único sentido del circuito eléctrico. Los electrones se movilizarán del polo negativo hasta el polo positivo. Un tipo de generadores de corriente continua son las baterías: podemos ver algunas de 1.5, 6, 9 Voltios y mayores.
- **Generador de corriente alterna:** Es un aparato que se encuentra en la capacidad de producir y sostener tensión entre dos puntos, de tal manera que la corriente irá en los dos sentidos. Puede cambiar de sentido de acuerdo con la frecuencia que el generador de corriente genera, tal como 50 Hercios, 60 Hercios, etc.
- **Transporte:** La circulación de la corriente eléctrica generalmente se efectúa por medio de cables, es importante anotar que el cableado puede ocasionar que el aparato cuente con mucha o poca eficiencia. Una probable disminución de eficiencia sucede más que todo a la resistencia eléctrica que muestra al cable como forma física a la circulación de la energía, se debe considerar algunas circunstancias como caída de tensión, temperatura, etc.
- **Receptores o dispositivos eléctricos:** Son aquellos delegados para cambiar la energía eléctrica en otro tipo de energía para la que ha sido creado el receptor. Por ejemplo: energía lumínica, energía calorífica, energía mecánica, etc.
- **Elementos de maniobra:** Estos interactúan con los circuitos eléctricos para conseguir distintos efectos de los receptores.

## 2.3 Contenido conceptual

### 2.3.1 Mecanismo multiplicador

Es aquel que cambia la velocidad obtenida de un motor (velocidad de entrada) en una velocidad mayor (velocidad de salida).

### 2.3.2 Reductor de velocidad

De acuerdo con TERCESA S.L (2016), son sistemas conformados por acoplamientos que permiten que los motores eléctricos trabajen bajo velocidades menores. Los reductores son indispensables para todo tipo de aparatos industriales que buscan disminuir de manera precisa su rapidez.

Por lo general la mayoría de los sistemas de transmisión hay dos ejes: eje motriz y eje conducido o arrastrado. De acuerdo con Farfán & Mónico (1989), el eje motriz produce el movimiento y puede estar conectado a un motor o ser funcionado de forma manual a través de una manivela. El eje arrastrado es aquel que obtiene el movimiento realizado por el eje motriz. La rapidez de giro de los ejes se mide de dos maneras: una es la velocidad circular ( $n$ ) en revoluciones o vueltas por minuto (r.p.m.). La otra forma es la velocidad angular ( $w$ ) en radianes por segundo (rad/seg). La expresión matemática que hace pasar de r.p.m. a rad/seg es:  $w = ((2 \pi n)) \times (1 \text{ min}/60\text{seg})$ .

### 2.3.2 Yuca

La Real Academia española (RAE) indica que la yuca es una planta perteneciente a la familia de las liliáceas, tiene un tallo arborescente, de forma cilíndrica, con cicatrices y hojas alargadas, abultadas y duras (ver Figura 2-6). Sus flores son blancas y su raíz es gruesa, de esta se obtiene harina alimenticia.

**Figura 2-6:** Yuca.

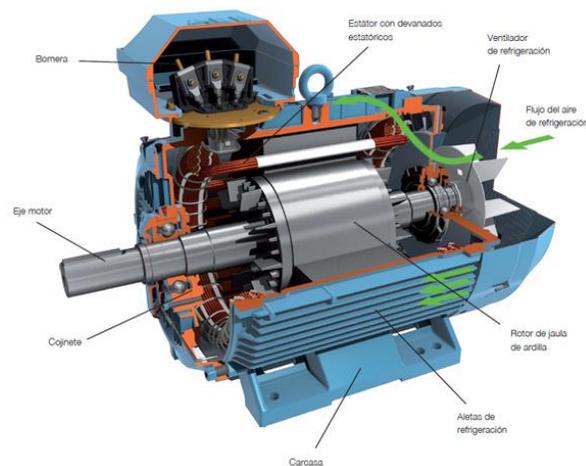


Fuente: Tomado de <https://elpoderdelconsumidor.org/2017/02/el-poder-de-la-yuca/>

### 2.3.3 Motor Eléctrico

Es una máquina eléctrica que cambia energía eléctrica en mecánica a través de intercambios electromagnéticos (ver Figura 2-7). Ciertos motores eléctricos son todo lo contrario, pueden cambiar energía mecánica en energía eléctrica actuando como generadores.

**Figura 2-7:** Partes del motor eléctrico.



Fuente: Tomado de <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/velocidad-del-motor-electrico-como-herramienta-de-diagnostico>

Los motores eléctricos de tracción utilizados en locomotoras ejecutan frecuentemente las acciones. Este tipo de motores son usados por lo general en montajes de carácter industrial, comercial y particular. Estos pueden actuar unidos a una red de abastecimiento eléctrico o a baterías (Montaldo, 1998).

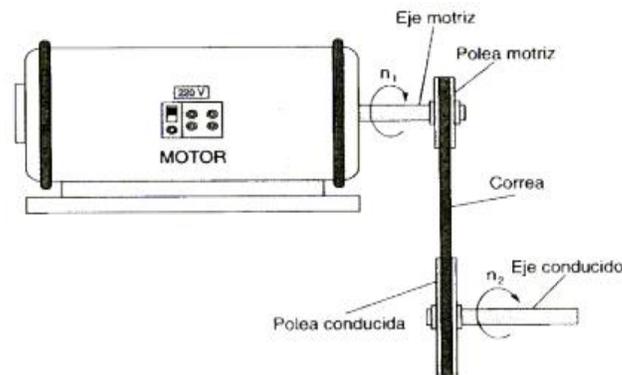
### 2.3.4 Poleas, Correas y Ejes

Los sistemas de transmisión de poleas y correas permiten transmitir potencia mecánica ejercida por el eje del motor, y entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia (ver Figura 2-8). La transmitir movimiento a través de correas se debe al rozamiento de éstas sobre las poleas, de tal forma para que sólo sea posible cuando el movimiento retórico y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. El valor del rozamiento depende, de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; ósea que depende del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos

metálicos recubiertos de goma, etc.) y de sus dimensiones. Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras en la llanta, sobre las cuales se apoyan las correas. De acuerdo con Montaldo (1998), las correas son cintas cerradas de cuero y otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes generalmente paralelos.

Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada. Este sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias de un eje a otro. Por lo general para evitar el desgaste de las correas, se puede utilizar una correa dentada, que aumenta la sujeción.

**Figura 2-8:** Poleas y correas.



Fuente: Soto, Toledo y Quiroga, (2014).

En el proceso de operación, para prevenir que las correas se salgan de las poleas, será necesario que las primeras se mantengan lo suficientemente tensas para que sean capaces de transmitir la máxima potencia entre ejes sin llegar a salirse ni romperse. Para evitar este problema se emplean rodillos tensores, estos ejercen sobre las correas la presión necesaria para mantenerlas en tensión (Montaldo, 1998).

### 2.3.5 Tolva

Es un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros (alimentos como yucas, papas, etc.) (ver Figura 2-9).

**Figura 2-9:** Tolva (continuación).



Fuente: Tomado de <https://www.directindustry.es/prod/novatec-inc/product-74452-1752221.html>

En algunos casos esta tolva se monta sobre un chasis que transporta alimentos agrícolas u otros materiales, por lo general es de forma cónica y hechos de acero inoxidable u otros y siempre es de paredes inclinadas como las de un gran cono, por lo que la carga se efectúa por la parte superior y forma un cono, donde dicha descarga se realiza por una compuerta inferior (Montaldo, 1998).

### 2.3.5 Rallado

La superficie áspera y cortante del tambor, constituida por los bordes filudos de múltiples agujeros, establece una línea de corte con la cara interior de acero inoxidable. Ese rallo produce una masa de ralladura de yuca, que será fina o gruesa según el espacio (o “luz”) dejado entre el tambor y el borde de acero inoxidable (Yufera, 1998) (ver Figura 2-10).

**Figura 2-10:** Rallado de yuca.



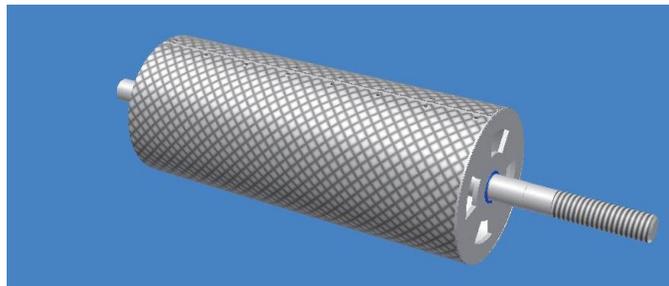
Fuente: Soto, Toledo y Quiroga (2014).

### 2.3.6 Rallador o rallo

Es un cilindro en algunos casos es de madera que va montado en un eje de hierro. El cilindro está recubierto por fuera por una lámina de hierro galvanizado que se perfora manualmente con un clavo (o con punzón) en toda su área (ver Figura 2-11). Tiene una velocidad de rotación del cilindro varía de 300 a 400r.p.m. El rendimiento promedio del equipo es de 400 kg de raíces por hora (Yuferá, 1998).

La velocidad de rotación del cilindro varía de 1200 a 1300 r.p.m. El rendimiento promedio del equipo es de 1500 kg de raíces por hora. Según Cosío & Asociados (1990), cuando éste se ralla con agua, consume 90 lt. por cada 100 kg de raíces.

**Figura 2-11:** Rallo o rallador.



Fuente: Mota & González (2004)

#### ▪ **Tipos o clasificación de ralladores**

Se clasifican en ralladores de:

- Metal
- Plástico
- Madera
- Metal – madera
- Madera: Fueron los primeros inventados por el hombre por los indios kayabi (Brasil) (Fellows, 1994).

### 2.3.7 PLC (Controlador Lógico Programable)

PLC o Controlador Lógico Programable son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial (ver Figura 2-12).

Figura 2-12: PLC.



Fuente: Tomado de

[https://www.boschrexroth.com/ics/cat/content/assets/Online/im/EL\\_XM22\\_PST3282\\_02\\_17R\\_20200127\\_102821.big.jpg](https://www.boschrexroth.com/ics/cat/content/assets/Online/im/EL_XM22_PST3282_02_17R_20200127_102821.big.jpg)

Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control (Leniz, 1993).

### 2.3.8 Circuito

Un circuito se define como un camino completo y cerrado alrededor del cual puede circular una corriente eléctrica. También puede significar un sistema de conductores y componentes eléctricos que forman tal camino. Montaldo (1998) explica que cada vez que acciona un interruptor (en funcionamiento), está completando un circuito y dejando que las corrientes eléctricas hagan lo suyo.

### **2.3.9 Automatización**

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos (Yufera 1998). Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

## **2.4. Marco legal**

Resolución 2013 de junio 6 del año 1986: Por la cual se reglamenta la organización y funcionamiento de los comités de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial en los lugares de trabajo (conformación del Copasst).

Ley 100 de diciembre 23 del año 1993: Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones.

Decreto Ley 1295 de junio 22 del año 1994: Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Decreto 1530 de agosto 26 del año 1996: Accidente de Trabajo y Enfermedad Profesional con muerte del trabajador.

Ley 776 de diciembre 17 del año 2002: Por la cual se dictan normas sobre la organización, administración y prestaciones del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Decreto 1607 de Julio 31 del año 2002 Por el cual se modifica la Tabla de Clasificación de Actividades Económicas para el Sistema General de Riesgos Profesionales y se dictan otras disposiciones.

Ley 1562 de Julio 11 del año 2012: Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de Salud Ocupacional.

Resolución 2400 del año 1979: Riesgo de Máquinas, herramientas y máquinas industriales, Electricidad continua y estática.

Decreto 591 del 26 de febrero de 1991: por el cual se regulan las modalidades específicas de contratos de fomento de actividades científicas y tecnológicas. El artículo 2º Para los efectos del presente Decreto, entiéndase por actividades científicas y tecnológicas las siguientes:

1. Investigación científica y desarrollo tecnológico, desarrollo de nuevos productos y procesos, creación y apoyo a centros científicos y tecnológicos, y conformación de sedes de investigación e información.
2. Difusión científica y tecnológica, esto es, información, publicación, divulgación y asesoría en ciencia y tecnología.
3. Servicios científicos y tecnológicos que se refieren a la realización de planes, estudios, estadísticas y censos de ciencia y tecnología; a la homologación, normalización, metrología, certificación y control de calidad; a la prospección de recursos, inventario de recursos terrestres y ordenamiento territorial; a la promoción científica y tecnológica; a la realización de seminarios, congresos y talleres de ciencia y tecnología, así como la promoción y gestión de sistemas de calidad total y de evaluación tecnológica.
4. Proyectos de innovación que incorporen tecnología, creación, generación, apropiación y adaptación de la misma, así como la creación y el apoyo a incubadoras de empresas, a parques tecnológicos y a empresas de base tecnológica.
5. Transferencia tecnológica que comprende la negociación, apropiación, desagregación, asimilación, adaptación y aplicación de nuevas tecnologías nacionales o extranjeras.
6. Cooperación científica y tecnológica nacional o internacional.

Resolución 2674 de 2013: el artículo 126 del Decreto-ley 019 de 2012, establece que los alimentos que se fabriquen, envasen o importen para su comercialización en el territorio nacional, requerirán de notificación sanitaria, permiso sanitario o registro sanitario, según el riesgo de estos productos en salud pública, de conformidad con la reglamentación que expida el Ministerio de Salud y Protección Social.

### 3. Metodología

La presente es una investigación tecnológica que tiene como objetivo la solución de problemas prácticos, lo cual implica la intervención o transformación de la propia realidad, que se manifiesta en el diseño de nuevos productos, nuevos procedimientos, nuevos métodos, o la mejora de ellos, etc. (Hernández, Fernández & Baptista, 2006).

La metodología empleada en el desarrollo de este proyecto contiene las siguientes etapas:

#### Fase 1: Diagnóstico

Al realizar un diagnóstico del funcionamiento y estado actual de la máquina ralladora de yuca se encontraron las siguientes deficiencias de acuerdo con el literal 4.1. Cabe anotar que este diagnóstico se realiza con una CHECK LIST (ver Anexo A) establecida desde el diseño propuesto en el primer semestre del año 2020 por los compañeros Alex Enrique Suárez Bermúdez y Johan David González Díaz pertenecientes al programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena.

#### Fase 2: Ensamble de componentes

El ensamble de los componentes de acuerdo con el diseño propuesto se desarrolla en dos etapas. Por un lado, en la etapa inicial se realizan reparaciones y ensambles en la parte estructural de la máquina ralladora de yuca. Cabe resaltar que la mayor parte de esta fase es llevada a cabo en casa (debido a la situación actual relacionada con la pandemia del COVID-19). Por otro lado, en la segunda etapa se procede con la conexión de la parte de mando y control con la parte estructural y mecánica de la máquina; teniendo en cuenta que dicha tarea se hace bajo un plano eléctrico que ha sido elaborado y probado en programas de simulación previos. En la presente fase es indispensable el uso de los recursos físicos indicados a continuación:

- Prototipo de la ralladora industrial de yuca es suministrada por la Universidad Antonio Nariño
- PLC (REF. XINJE XC3-14R-E)
- HMI (Pantalla OP 320 AS XINJE 3.7)
- Computadora portátil Hp de 14 pulgadas
- Botonera de pulsadores con marcha parada y emergencia IP65
- Contactor de 18 A con bobina a 110V (REF. NC1-12)
- Relay térmico (REF. ETR2N)
- Luz de piloto de 22mm de color rojo, amarillo y verde.
- 10 metros de cable número 18
- 3 metros de cable encauchetado 3x10
- 1 sensor capacitivo (REF. XUB0BPSNL2)
- 1 caja de control para tablero eléctrico 40x40x20 metal intemperie
- 1 microswitch (REF. Z-15GW2-B)

#### Fase 3: Pruebas funcionales

En esta fase se realizan dos tipos de pruebas, unas se encuentran relacionadas con las conexiones eléctricas y otras asociadas con las entradas y salidas del PLC. En virtud de los sensores para calibrar y probar, estos procesos deben hacerse de manera precisa, esto debido a que son la seguridad del operador. Este paso de prueba y calibración debe ser establecido y ejecutado mediante un computador a través de programas especiales (Por ejemplo, XCPPro, entre otros). Por tal motivo, este algoritmo establecido debe ser preciso y ciento por ciento confiable. Después de verificar el funcionamiento de la parte eléctrica, se comprueba el funcionamiento correcto de la parte mecánica de la máquina en su totalidad, la cual es ensamblada de acuerdo con el diseño propuesto. Esta fase es fundamental ya que permite hacer un diagnóstico completo post-instalación lo cual más adelante permitirá identificar las opciones de mejora que dé a lugar en el proyecto.

#### Fase 4: Consumo eléctrico

En esta fase se comparará el consumo que ya está sentado en los trabajos anteriores junto con el ensamble que se realizará en este proyecto. Se propenderá por tomar valores de corriente con el cual se permitirá calcular la potencia consumida por la máquina; esto con el fin de tener un valor promedio de consumo eléctrico de la ralladora. Se utilizará como herramienta de medición una pinza amperimétrica similar a la de la Figura 3-1. En proyectos previos, se midió un valor de corriente de 9.1A.

**Figura 3-1:** Pinza Amperimétrica.



Fuente: Tomado de <https://www.fluke.com/es-co>

#### Fase 5: Identificación de oportunidades de mejora

La identificación de oportunidades de mejora para la ralladora de yuca se hará luego de las pruebas realizadas durante las anteriores fases y se encuentran en el literal 4.3. La implementación de los resultados de esta fase permitirá una mayor eficiencia de la máquina y una maximización de la materia prima.

#### Fase 6: Análisis costo/beneficio

Luego de realizar un análisis de costo/beneficio del diseño implementado, debemos tener en cuenta dos factores fundamentales tales como la higiene y la eficiencia de trabajo que brinda cada máquina, sea ésta construida o adquirida en el comercio. Esto nos permitirá deducir y comparar los costos de la calidad brindada por cada productor y la rentabilidad de construir una máquina desde sus principios o comprarla en el mercado.

## 4. Diseño ingenieril

### 4.1 Diagnóstico inicial

Después del análisis diagnóstico se determinó que el estado actual de la máquina ralladora es operativa, a la espera de la instalación de los componentes que se especifican dentro del diseño. Después de la implementación de una CHECK LIST (Ver Anexo A), se determinó cuáles eran los puntos por mejorar, en el diseño se hace la salvedad para realizar las siguientes actividades para su puesta en funcionamiento:

- El motor eléctrico requiere limpieza con limpiador electrónico, para garantizar que no ocurra un cortocircuito en la bornera.
- El Tablero de Mando y Control (tablero elaborado en acero inoxidable) requiere una limpieza con removedor de mugre líquido para que tenga mejor apariencia física.
- El sistema eléctrico requiere de limpieza con limpiador de contacto eléctrico para evitar posibles cortos circuitos.
- El sistema de rodamiento requiere limpieza y lubricación con grasa multipropósito, este proceso de lubricación puede variar dependiendo del uso del equipo.
- El tambor rallador requiere de mejoras en la parte donde se encuentra la unión con soldadura.
- El cable de alimentación requiere de cambios, dado que se encuentra deteriorado y cristalizado.
- Las correas en este equipo se observan en buen estado.

No obstante, se identificó que el resto de las partes de esta máquina se observa en buen estado. Este diagnóstico permitirá hacer un mantenimiento inicial debido que se desconoce el tiempo de almacenamiento en el cual la máquina estuvo sin operar (recordemos que no hubo asistencia al campus universitario debido a la pandemia del COVID 19).

### 4.2 Componentes de la máquina ralladora de yuca

A continuación, se describen las partes y componentes en la Tabla 4-1:

**Tabla 4-1:** Componentes ralladora de yuca.

<b>Partes</b>	<b>Descripción</b>
Tolva	Es una bandeja de alimentación de acero inoxidable, tiene una inclinación de 37°, que permitirá que la materia prima se deslice libremente por su propio peso. 6 cm de ancho y de largo tiene 49 cm, el peso es de alrededor de 1200grs.
Polea conducida	Es la rueda que va anclada al eje del tambor rallador y permite el giro del tambor a través de la correa que va con la polea anclada al motor.
Clavija macho	Es el enchufe que se conectan al tomacorriente para establecer una conexión que permita el paso de la corriente eléctrica.
Guarda motor	Es un interruptor magneto térmico, para la protección del motor de la máquina ralladora eléctrica. "este que el dispositivo al recibir la carga eléctrica sea más robusto frente a las sobre intensidades transitorias de los arranques de los motores."
Chumacera en forma omega	Es una pieza de metal con una muesca en que descansa y gira el eje del motor y del tambor rallador.
Poleas	Son las ruedas con una o varias hendiduras en la llanta sobre las cuales se apoyan las correas para hacer girar el tambor rallador, a través de la fuerza que ejerce el motor.
Correas	Es la cinta cerrada de cuero y caucho que se utiliza para transmitir movimiento de rotación entres dos ejes paralelos, son de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada, se emplea transmitir grandes potencias de un eje a otro.
Tambor rallador y eje	Es un cilindro que va montado en un eje de hierro. Este cilindro está recubierto por fuera por una lámina de acero inoxidable que se perfora en toda su área, lo que permitirá ejercer el rallado de la materia prima.
Estructura	Es el soporte metálico que sostiene todas las partes de la máquina ralladora de yuca, y que le da la figura en general de la máquina.
Guarda de transmisión por correas	Se utiliza para la protección de la correa para evitar accidentes del operador de la máquina, la utilizada en este caso la característica es que es de mallas metálicas o rejillas metálicas.
Coraza de ½ PVC verde	Es una tubería flexible en PVC que permite guardar el cableado de la máquina.
Cable AWG 12	Es el cableado eléctrico, que permite armar el sistema eléctrico de toda la máquina.
Motor	Es la máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica a través de su eje, el cual es conectado a un sistema de poleas que se encarga de transmitir el movimiento del eje del motor.

Fuente: Elaboración propia

La bandeja de alimentación o tolva de acero inoxidable, debido al contacto directo con la materia prima, ésta tiene una inclinación de  $37^\circ$ , que permitirá que la materia prima se deslice libremente por su propio peso. También tiene un sistema de rallado con una fuerza mínima que se necesita para rallar la yuca, éste tiene 6cm de diámetro en su parte ancha y de largo tiene 49 cm, el peso tiene alrededor de 1200 g, obteniéndose un volumen de yuca que se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi * r^2 * L}{3} \quad V = \frac{A * L}{3}$$

Dónde:

$$\pi = 3,1416$$

$$D = \text{diámetro} = 0,06\text{m}$$

$$R = \text{radio} = \frac{D}{2} = \frac{0,06\text{m}}{2} = 0,03\text{m}$$

$$L = \text{Longitud} = 49\text{cm} = 0,49\text{m}$$

$$A = \text{Área} = A = \pi * r^2 = 3,1416 * (0,03)^2 = 0,0028\text{m}^2$$

Para el cálculo de la fuerza de rallado se empleó la siguiente ecuación.

$$Fr = W * \mu k$$

Fr = Fuerza de rallado

$\mu k$  = Coeficiente de fricción

$$Fr = 35,28\text{N} * 0,6 = 21,17\text{N}.$$

Para el cálculo del Torque de rallado se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Trallado} = Tr = (Fr) * b$$

Fr = Fuerza de rallado

b=longitud de manivela con la que se gira el tambor rallador.

$$\text{Trallado} = Tr = (21,17N) * (0,3m) = 6,351N.m.$$

Para calcular la potencia de rallado se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Prallado} = Pr = \omega * Tr$$

$\omega$ = Velocidad angular

$$\omega = \frac{2\pi * \eta}{60}$$

$\eta$ = número de rpm a las que gira.

$$\eta = 360 \text{ rpm}$$

$$\omega = \frac{2\pi(360\text{rpm})}{60} = 37,7\text{rad/s}$$

$$Pr = Pr = (37,7\text{rad/s}) * (6,351N.m) = 186,2W$$

Los cálculos realizados permitieron garantizar el rallado de la yuca de acuerdo con el diseño de la máquina, a través del siguiente resultado:

$$P \text{ diseño} = Pd = 0,5Hp = 372.85W$$

### Descripción del tambor rallador

$$\text{Espesor } t = 2mm = 0,002m$$

$$\text{Diámetro del tambor rallador } D = 0,2m$$

$$d=\text{diámetro interno} = d = (D - 2t) \quad d = 0,2m - 2(0,002m) \quad d = 0,0196m$$

$$\eta = 360 \text{ rpm}$$

### Peso y volumen del tambor rallador

$$L = 0,49m \quad s=\text{longitud circular } s = 2\pi \frac{0,2m}{2} = 0,6238m$$

$$D = 0,2m \quad V = L * s * e \quad V = (0,5m)(0,6283m)(0,00198m) = 622cm^3$$

Acero AISI 304.  $m = P * Vol \quad m = (7.7 \text{ g/cm}^3)(622\text{cm}^3) = 4784,4\text{g} = 4,80\text{kg}.$

$p = 7,7 \text{ g/cm}^3 \quad W = m.g \quad W = (4,7894\text{kg})(9,80665\text{m/s}^2) = 46,97\text{N}$

$$e = 1,98\text{mm}$$

### Peso de los volantes

Volante de acero AISI 316

$p = 7,937 \text{ g/cm}^3 \quad e = 6,35\text{mm}$  (Espesor de la lámina)

$$m = p * V \quad m = p * e * A \quad m = p * em \frac{\pi D^2}{4}$$

$$m = (7937 \text{ kg/m}^3)(0,00635\text{m}) \frac{\pi(0,4)^2}{4} = 6,3\text{kg}$$

$$W = m.g \quad W = (6,3\text{kg})(9,80665\text{m/s}^2) = 62,1\text{N}$$

El tallado de la lámina de acero del tambor rallador, tiene entre cada tallado 1 cm, y de altura del tallado es de 1 mm, ya que se ralla la yuca con mayor rapidez y da un granulado de yuca óptimo para ser utilizado como ingrediente en la fabricación del concentrado.

### Diseño, peso y dimensiones del eje

Eje: es de acero AISI de 1045

Peso teórico  $L = (7,51\text{Km/m})(0,65\text{m}) = 4,9\text{kg}$

$$W = m.g \quad W = (4,9\text{kg})(9,80665\text{m/s}^2) = 48,05\text{N}$$

Sy= propiedades del acero = 310 MPa y Sut = 570 MPa.

V= 35,28N fuerza de corte a lo largo de la longitud total del tambor rallador.

El eje gira a 360 rpm.

Dicho eje tiene una polea para que este pueda ser girado a través de una correa que está unida a otra polea que tiene el eje del motor.

### Diámetros de polea acanalada que va unida al eje del tambor rallador

Este diámetro se calculó para proveer el torque necesario al eje del tambor rallador de manera que el Eje no falle.

Motor: 0,5 Hp= 372,85W

$\eta_{\text{motor}} = \eta_e = 1800$

Diámetro polea en el eje del motor = de 3"

$\eta_{\text{eje rallador}} = \eta_s = 360$

Ds = diámetro de la polea en el eje del tambor.

$$\frac{D_s}{D_e} = \frac{n_e}{n_s} = D_s = \frac{n_e}{n_s} = D_e \quad D_s = \frac{1800}{360} \times 3" = 15" = 0,381\text{m}$$

De acuerdo con las operaciones y cálculos realizados se seleccionó un diámetro nominal de 15 pulg. (0.381m) y se verificó que con el diámetro seleccionado se suministró el torque y la potencia necesaria de rallado.

$$T = \frac{Pot. * 9,55}{n_s} = \frac{(186,2) * 9,55}{360} = 4,94\text{N.m.}$$

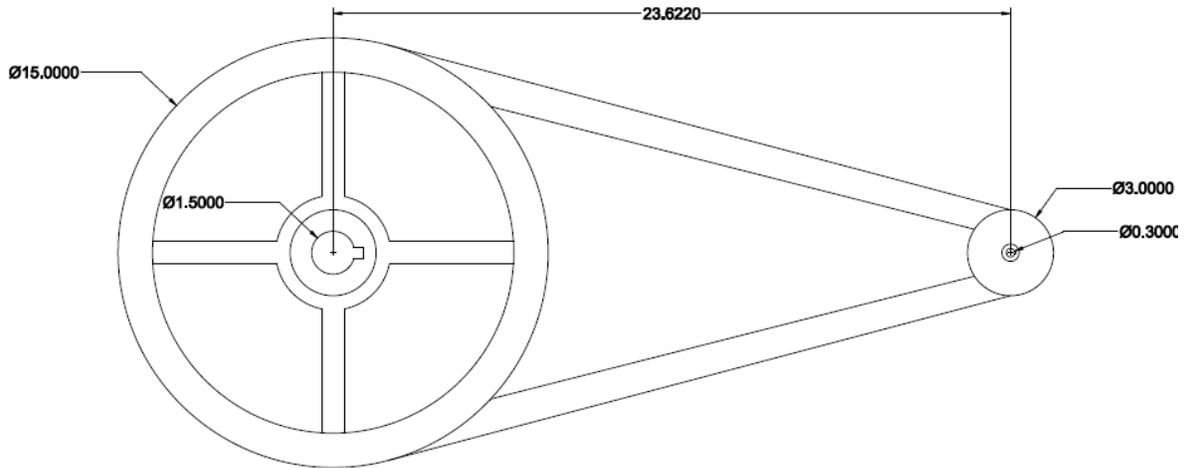
$$F = \frac{2T}{D_s} = \frac{2(4,94\text{N.m})}{0,381\text{m}} = 25,93\text{N}$$

Fe= 270,6N.

### **Selección de la correa de transmisión o banda de potencia mecánica**

En la siguiente figura se puede observar la forma en que luce la correa tras su instalación.

**Figura 4-1:** Esquemático de instalación correa de la máquina.



Fuente: Elaboración propia (Software SolidWorks)

Se calculó el ángulo que forma la correa con el plano horizontal:

$$T_{a\theta} = \frac{0,7}{1,3} \quad \theta = \left( \frac{0,7}{1,3} \right) \quad \theta = 28,30''$$

$$\text{Potencia de diseño} = 1,3(0,5) = 0,65\text{hp}$$

La distancia en centros nominal es:

$$L = 2C + 1,57 (D_s + D_e) + \frac{(D_s - D_e)^2}{4C}$$

$$L = 2(23,62) + 1,57 (15 + 3) + \frac{(15 - 3)^2}{4(23,62)} = 77.02 \text{ pulg.}$$

La velocidad de desplazamiento de la banda es:

$$V = \frac{\pi D n}{12} = \frac{\pi(3\text{pulg})(1800)}{12} = 1413,72\text{pie/min.}$$

$$V = 1413,72\text{pie/min.}$$

Potencia nominal de la banda es 0,46Hp.

La banda o correa seleccionada es de tipo V de construcción envuelta (ver Figura 4-2). De acuerdo con los cálculos realizados esta es la correa o banda que se ajusta a las necesidades de construcción de la máquina.

**Figura 4-2:** Correa en V de construcción envuelta.



Fuente: Mott (1995)

### Cálculo y longitud de la cuña

$$d = 25,4 \text{ mm} = 1''$$

Para el material de la cuña se utilizó un acero AISI 1020 HR, es un acero rolado en caliente, el cual posee resistencia máxima a la tracción  $S_{ut} = 380 \text{ MPa}$  y una resistencia a punto cedente  $S_y = 210 \text{ MPa}$ , la cual es una resistencia y ductilidad adecuada.

La cuña cuadrada y el material con que está hecha tiene la resistencia más baja, entonces la longitud mínima que se requirió para la cuña fue:

$$L_c = \frac{4TN}{DW_c S_y}$$

$$T = 9,89 \text{ N.m.}$$

$$N = 3 \text{ (para aplicaciones industriales típicas)}$$

$$D = 0,00254 \text{ m}$$

$$W_c = \frac{1}{4}'' = 0,00635 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{4(9,89 \text{ Nm})(3)}{(0,0254 \text{ m})(0,00635 \text{ m})(210 \text{ Mpa})} = 3,504 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,504 \text{ mm.}$$

$$L_c = \text{seleccionado} = 3,6 \text{ mm.}$$

### 4.3 Pruebas funcionales

De acuerdo con el proyecto de grado expuesto por los estudiantes Jhon Andrés García Guevara y Jairo Alberto Pión Quintana pertenecientes al programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena, se realizaron tres pruebas en la cual se obtuvieron los siguientes resultados explicados en la Tabla 4-2:

**Tabla 4-2:** Datos de las pruebas de funcionamiento de la máquina ralladora.

Nro. DE PRUEBA	PESO DE YUCA (gr)	TIEMPO DE RALLADO (s)	VELOCIDAD DE RALLADO (gr/s)
1	3.000	32	93,75
2	7.000	71	98,59
3	10.000	101	99

Fuente: García & Pión (2014)

Con base en lo anterior, la velocidad se calculó de la siguiente manera:

$$V = \frac{w}{t}$$

Donde:

v= velocidad de rallado (gr/s)

w= peso de la yuca (gr)

t= tiempo de rallado (s)

$$V = \frac{(V1 + V2 + V3) \text{ gr/s}}{3}$$

$$V = \frac{(93,75 + 98,59 + 99) \text{ gr/s}}{3}$$

$$V = \frac{(291,34) \text{ gr/s}}{3}$$

$$V = 97,11 \text{ gr/s} = 5,82 \text{ kg/min}$$

Durante estas pruebas se pudo comprobar los datos previamente obtenidos en el proyecto realizado por los estudiantes Alex Enrique Suárez Bermúdez y Johan David González Díaz pertenecientes al programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena. El funcionamiento de la máquina fue como se esperaba; sin embargo, se encontraron una serie de inconvenientes que se tomaron como oportunidades de mejora en aras de entregar un producto de excelente calidad al usuario final. Estos contratiempos fueron el hallazgo de vibración moderada y el desperdicio de materia prima procesada la cual es expulsada de la máquina en la tolva de entrada.

#### **4.3.1 Mediciones eléctricas**

Se realizó la medición de parámetros eléctricos básicos; obteniendo a través del dispositivo de medición (pinza voltiamperimétrica) un dato de 9.1A de corriente promedio de consumo. Con este dato también obtenemos la potencia eléctrica de la máquina la cual se obtiene al multiplicar el voltaje de funcionamiento del motor (110V) por la corriente promedio de consumo (9.1A) lo cual nos da como resultado un valor de potencia eléctrica 1001W.

### **4.4 Oportunidades de mejora para la ralladora de yuca**

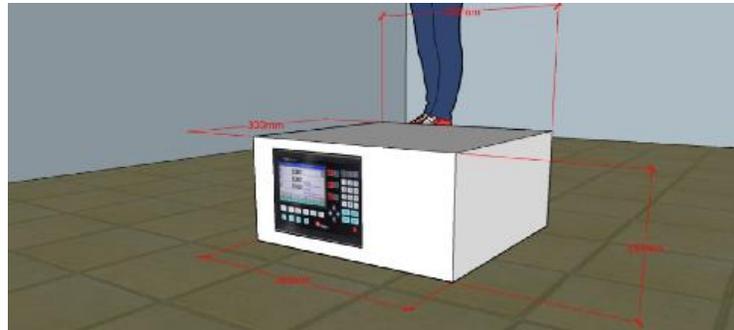
Luego de valorar todos los aspectos fundamentales para el funcionamiento de la máquina ralladora de yuca, se encontraron varios ítems que pueden ser mejorados de acuerdo con las dificultades halladas los cuales se describen a continuación:

#### **4.4.1 Reubicación y cambio de caja de mando y control**

Esta oportunidad de mejora nace debido a la vibración generada durante la operación de la máquina lo cual podría generar daños a la misma caja de mando y control y a sus componentes internos con el pasar del tiempo. En el diseño original la caja de mando y control debía ir adosada al cuerpo de la máquina para mitigar los daños por vibraciones se decide ubicarla a un lado de la máquina conectada a esta mediante un brazo. Cuya medida es de 60 cm de longitud en tubo galvanizado de 1¼, para darle resistencia al momento de colocar la caja de elementos electrónicos.

También se decide cambiar la caja con medidas de profundidad 300 mm de ancho 300 mm y altura 150 mm debido a la instalación del nuevo brazo. De igual manera, podemos observar cómo quedaría instalada por medio del diseño en la Figura 4-3.

**Figura 4-3** Caja de controles.



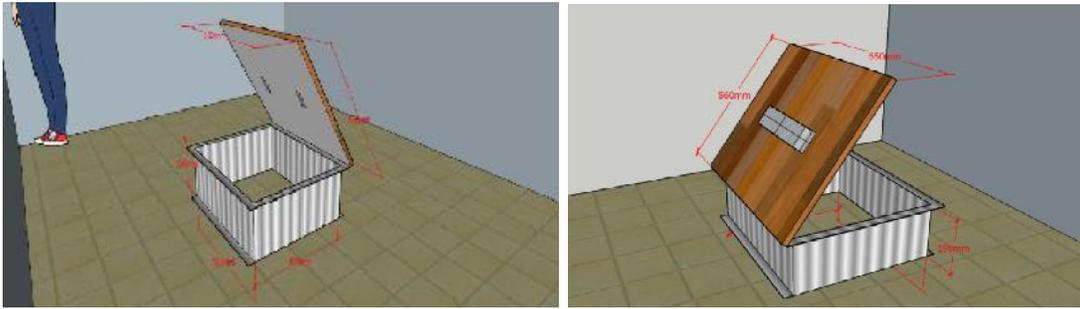
Fuente: Elaboración propia

#### **4.4.2 Diseño e instalación de tolva con su respectiva tapa**

Al operar la máquina ralladora de yuca con materia prima se evidencia que, durante el rallado, se alcanza a salir del proceso parte del producto terminado por donde se ingresa la materia prima, en sí no es mucha la cantidad, pero la idea es aprovechar al máximo la materia prima y maximizar la cantidad de producto terminado. Debido a esto se realiza un diseño de una tolva con su respectiva tapa con dos finalidades, las cuales son: permitir el ingreso de la materia prima sin generar desperdicios y en aras de la seguridad del operario que la tapa como mecanismo de cierre, la cual no permitirá la operación de la máquina si esta está abierta, para esto con la tapa va instalado un microswitch (REF. Z-15GW-B) quien será el encargado de enviar la señal para la operación del motor de la máquina junto con un sensor de tipo inductivo (REF. XUB0BPSNL2) (ver Figura 4-4). La tapa se construyó respecto a las medidas de la estructura de la máquina ralladora de yuca con medidas de: altura 198mm, profundidad 485mm, ancho 589mm sujeta a la tolva a la cual se le construyó una tapa con las medidas de 650mm x 580mm en acero inoxidable 304 austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templeable ni magnético y por sus propiedades fue escogido

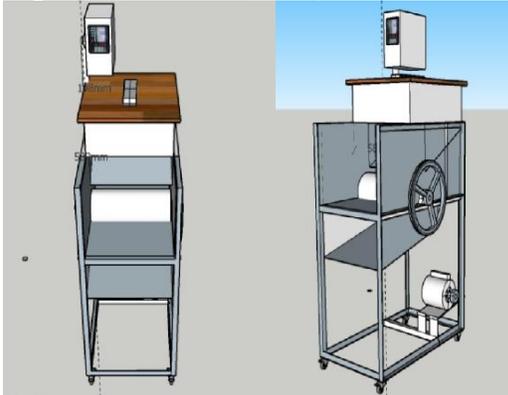
por condiciones higiénicas. En la Figura 4-5 se puede observar la tolva junto con el diseño completo de la máquina ralladora de yuca.

**Figura 4-4:** Diseño e instalación de tolva.



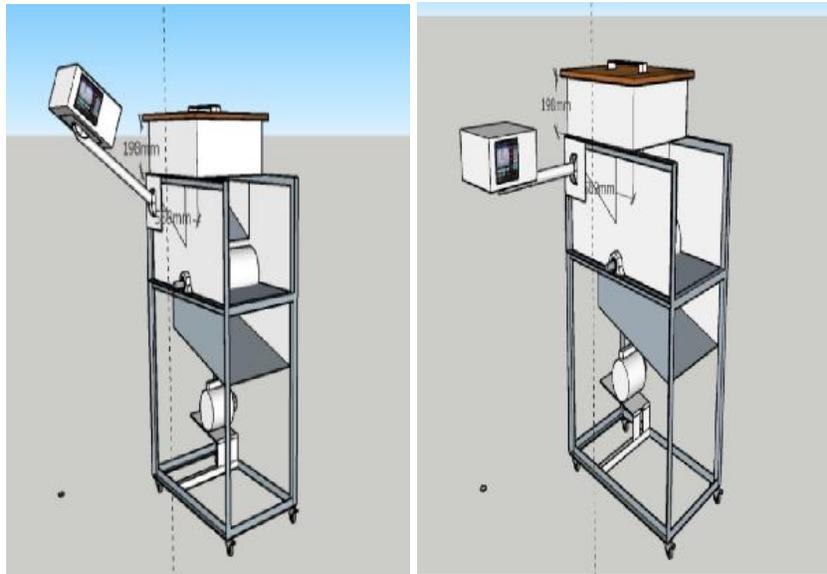
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-5:** Diseño completo de la ralladora de yuca.



Fuente: Elaboración propia

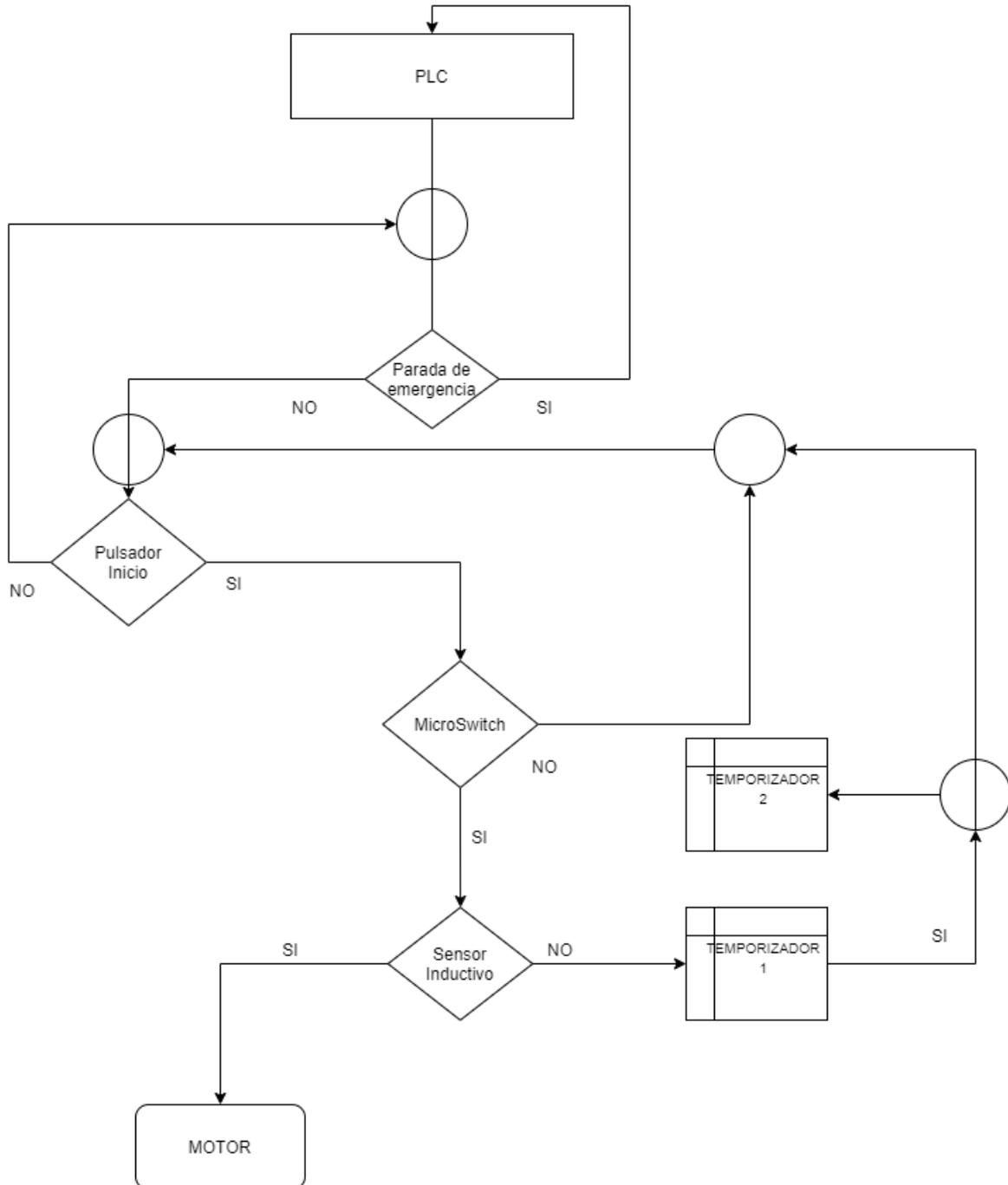
**Figura 4-6:** Diseño completo de la ralladora de yuca.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la implementación de estas mejoras, fue necesaria una reprogramación del PLC lo cual se representa de la siguiente manera (ver Figura 4-7). De igual manera, se realiza la programación LADDER con los sensores y el microswitch (ver Anexo B).

**Figura 4-7:** Diagrama de flujo funcionamiento de máquina ralladora con la nueva programación del PLC (continuación).



Fuente: Elaboración propia

## 4.5 Análisis costo/beneficio

Al realizar un análisis de mercado, se encontraron varios proveedores a nivel nacional e internacional (ver Tabla 4-3). En el primer caso, se puede citar a Maquinaria Agroindustrial Indutornometal Jr., empresa especialista en el diseño y la producción de maquinaria agrícola. En el segundo caso, se halló la empresa ecuatoriana Inmegar que se encarga de fabricar dichas máquinas de acuerdo con las necesidades del comprador. Se solicitó a esta la cotización de la ralladora de yuca modelo RP-2 debido que por sus características es la más cercana a la referida en este proyecto. De igual manera, fue complejo realizar cotizaciones de tipo presencial debido a la situación actual relacionada con el COVID-19. No obstante, hallamos varias opciones de compra en mercados virtuales internacionales que se ajustan a las especificaciones que presta la máquina ralladora de yuca que se encuentra en la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena.

**Tabla 4-3:** Tabla comparativa de los modelos consultados.

CARACTERISTICAS	MODELO 1 RP-2 (INMEGAR)	MODELO 2 B07GPJ8NJ6 (AMAZON)	MODELO 3 UAN ELABORACIÓN PROPIA	MODELO 3
Potencia	2.0KW	2.2KW	1.001KW	
Capacidad	300KG/H	300 - 400KG/H	350KG/H	
Automatización	No	No	Si	
Alimentación	110V	110/220V	110V	
Seguridad industrial	Reducida/poca	Reducida/poca	Alta	
Precio COP	\$ 3.040.560,00	\$ 4.750.622,39	\$ 11.000.000	
	Valor aproximado al cambio del día 29 de mayo de 2021	Valor aproximado al cambio del día 15 de mayo de 2021		

Fuente: Elaboración propia

En relación con el campo de automatización, no se encontró con ninguna máquina similar a la expuesta en este proyecto; lo que supondría una modernización en la industria de procesamiento de alimentos.

Si bien el costo de esta máquina ralladora es alto, cabe anotar que esta implementación de diseño propende elevar los estándares de procesamiento, seguridad industrial y automatización de la ralladora en cuestión.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1 Conclusiones

En el presente proyecto se expuso la implementación del diseño de automatización de una ralladora de yuca con el propósito de mejorar la producción de concentrados porcinos en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena.

Podemos concluir que pese a las dificultades sanitarias actuales causadas por el virus COVID-19, fue posible establecer un plan de trabajo idóneo. Este fue diseñado a partir de las oportunidades de mejora que presentaba la máquina ralladora de yuca existente en la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena. Lo anterior permitió cumplir el objetivo general planteado dentro del trabajo de investigación el cual fue: implementar el diseño de la automatización de la máquina ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos en la misma institución educativa. El diseño fue instalado de forma fructífera, permitiendo la optimización de la producción de los concentrados y, a su vez, minimizando la intervención humana, la cual permite una mayor seguridad para el operario.

Los objetivos específicos diseñados para el presente trabajo permitieron el enfoque inicial en la realización de un diagnóstico del funcionamiento actual de la máquina. Cuando se empezó este proyecto, el cual involucraba realizar mejoras o modificaciones sobre una máquina o estructura ya construida, se consideró importante ejecutar un diagnóstico inicial para tener una idea actualizada del estado de la máquina en el momento y de lo que se quiere realizar sobre ella para así no tener imprevistos al final que generaran contratiempos. Este objetivo en particular concedió la oportunidad de centrarse en los aspectos de mejora de la máquina, los cuales fueron significativos para que el diseño del nuevo sistema pudiera ser puesto en marcha en condiciones más favorables. Una vez finalizada la instalación de los recursos faltantes o requeridos para su reemplazo, se procedió a realizar pruebas funcionales con materia prima para establecer si el diseño era el adecuado para la máquina, los resultados de las pruebas fueron los esperados. En otras palabras, la máquina estaba operativa y funcional de forma manual, generando el proceso de rallado sin ningún tipo de novedades tales como trabamientos y pérdida del producto ni fallas eléctricas y mecánicas, etc.

Al realizar la instalación de los componentes de este proyecto, se tuvo en cuenta que existía un diseño previo, en el cual se deben respetar las indicaciones del diseñador. Como resultado, se generaron pocos inconvenientes durante su ensamble.

Por otra parte, la implementación del diseño en cuestión permitió investigar las diferentes opciones de máquinas parecidas en el comercio. El análisis de costo/beneficio permitió visualizar que automatizar una máquina ya existente puede resultar costoso, que para este caso si lo fue; el costo en este proyecto fue en promedio casi el triple en comparación con los valores encontrados en el mercado. Por lo tanto, dependerá del usuario final de la máquina y de la finalidad de esta, que tipo de máquina es la que se ajusta mejor a su tipo de operación sea la totalmente manual o la automatizada. Cabe anotar que el costo fue elevado por ser la implementación del primer diseño, si en proyectos futuros se decide construir ralladoras a partir de este diseño, se infiere que el gasto económico se reduciría gracias a que algunas variables no entrarán en la ecuación final del costo total, entre ellas podemos mencionar las horas de asesoría académica. Por último, se puede destacar que este diseño se caracteriza por su alto nivel de seguridad industrial y, si se decide seguir implementando este diseño en futuros proyectos, se podrá llegar a una máquina ralladora de yuca de precio asequible. Se pudo concluir que con la puesta en marcha de este diseño se obtiene una ralladora completa en funcionalidad. Los materiales y elementos instalados son de alta calidad, así que se puede ratificar que estos cumplen en su totalidad con las expectativas y exigencias del mercado actual. Se pueden apreciar varios cambios en relación con la apariencia de la máquina sin automatizar y la misma que ha pasado por el proceso descrito en este trabajo (ver Anexos C y D). Así también, al utilizar dicha máquina se pueden encontrar esos ajustes que la benefician así misma y al operador de esta.

La realización de pruebas funcionales fue el paso que, por excelencia, nos llevó a verificar la correcta instalación de los componentes y que estos cumplieran la función específica para la cual fueron incluidos en el diseño. Para el caso de este proyecto, la parte de control se pudo probar previamente antes de acoplarse a la parte mecánica, lo cual permitió una redundancia en las pruebas tanto a las partes nuevas (automatización) y a las construidas anteriormente (parte mecánica).

La medición de parámetros eléctricos permitió tener una idea del consumo energético de la ralladora de yuca en cuestión. Al ser esta modificada de su diseño inicial (sin automatizar), se esperaba un aumento en su consumo energético, pero no se evidenció, por lo que podemos afirmar que para los casos de máquinas de operación simple (ralladoras, molidoras, peladoras, etc.), la automatización no representa gasto energético apreciable.

La realización de retroalimentaciones en este proceso permitió identificar oportunidades de mejora para mantener en una máquina de ralladora óptima. Hasta este punto se observaron falencias que llevaron a hacer optimizaciones que elevaron su nivel de seguridad de operación; esto permite concluir que siempre que se hagan retroalimentaciones se podrán identificar aspectos a mejorar.

De acuerdo anterior párrafo, se pudieron concluir varias ideas esenciales:

- La realización de procesos de mejora continua en cualquier nivel de industria permitirá la operación de la maquinaria de forma eficiente, óptima y segura.
- En los procesos de mejora continua siempre existirán puntos por perfeccionar.
- Todos los actores de la industria (operarios, diseñadores y dueños de maquinaria) son fundamentales en las retroalimentaciones para que el proceso de mejora sea lo más oportuno posible.

Se considera que el desarrollo de este proyecto ha sido de vital importancia tanto para la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena como para los participantes de este trabajo. Por una parte, el establecimiento académico tiene a su disposición una máquina ralladora de yuca más eficiente para sus usos, y, por ende, la facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica ha sido enriquecida por los datos provistos en el presente documento. Así también, sus estudiantes podrán beneficiarse de la información expuesta aquí para proyectos similares en el futuro. Por otra parte, los alumnos que participaron en este proyecto, quienes serán futuros egresados del programa de Ingeniería Electromecánica han sido favorecidos por el impacto que los conocimientos adquiridos a través de este trabajo han generado en su crecimiento profesional. A pesar de que se cuenta con poca experiencia en este campo, se debe reconocer que la mayoría de la información encontrada aquí será de gran utilidad a nivel laboral en el momento que se trabaje con máquinas similares a la perteneciente a este proyecto.

## **5.2 Recomendaciones**

En esta sección, se ofrecen diferentes ideas acerca de la forma en que este proyecto podría extenderse a líneas de investigación futuras o consolidar el trabajo realizado durante los últimos años por los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena que hayan estado conectados con la ralladora de yuca.

Una forma estaría relacionada con una de las limitaciones de este trabajo, ésta fue la cantidad de recursos disponibles. Sería interesante implementar el diseño y ensamble de la máquina ralladora de yuca con materiales de mejor calidad después de realizar procesos de mejora continua. Lo anterior con el fin de mantener un alto estándar de seguridad y operación de la máquina en cuestión.

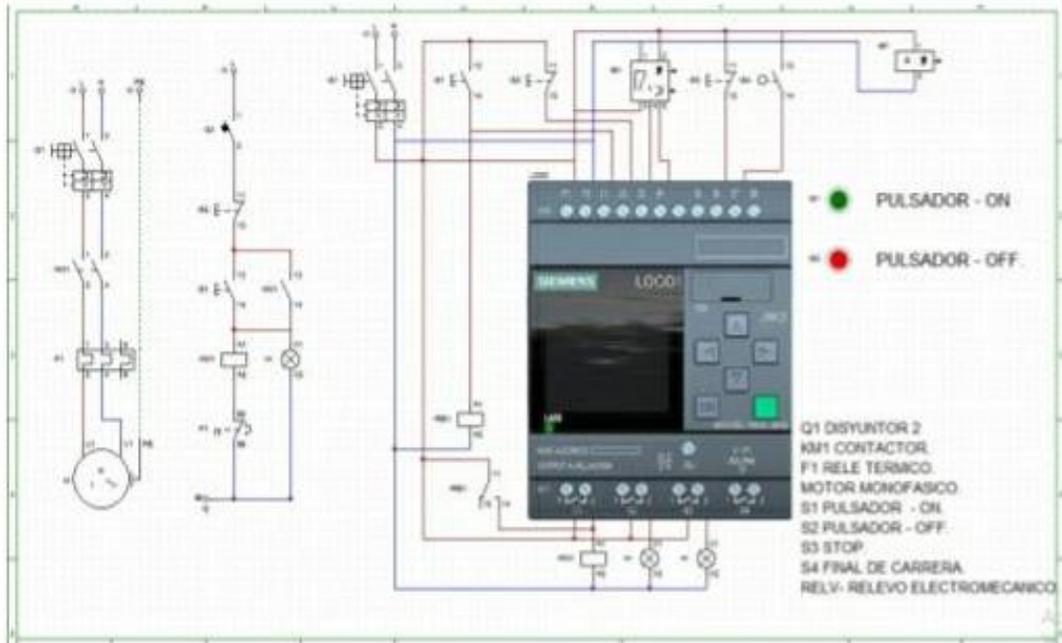
Otra alternativa para continuar esta línea de investigación sería el diseño y construcción de otras máquinas relacionadas con el procesamiento de la yuca tales como lavadoras de yuca, picadoras, coladoras, etc. La información aquí presentada puede servir como punto inicial o inspiración para desarrollarlos e implementarlos y comprobar su eficacia.

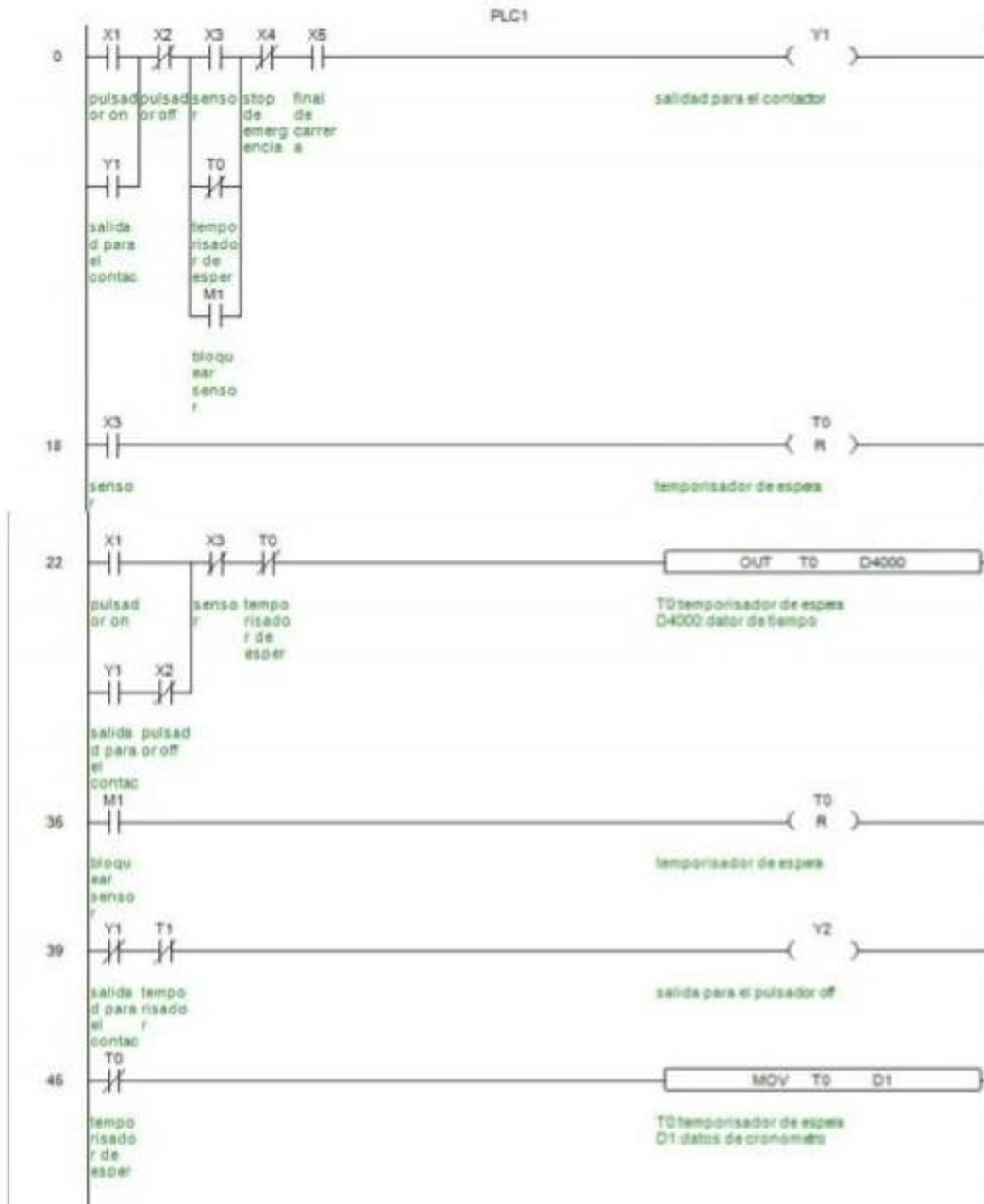
## Anexos

### Anexo A. Check-list para deficiencias encontradas.

Descripción	Buen estado	Mal estado	No tiene	Observaciones
Protección completa del equipo	x			Limpieza general
Ruedas	x			
Clavija macho	x			
Motor	x			Limpieza
Guarda motor	x			
Cableado		x		Limpieza//cable alimentación requiere cambio
Coraza del cableado	x			
Final de carrera	x			
Parada de emergencia	x			
Sensor de proximidad	x			
PLC	x			
Pantalla	x			
Chumacera	x			Limpieza y lubricación
Correa	x			
Poleas	x			
Estructura	x			
Eje y tambor	x			Requiere mejora, unión soldada
Guarda de transmisión por correas	x			
Tolva de alimentación	x			
Polo a tierra	x			
Señalización de seguridad	x			

**Anexo B. Diagrama de programación Ladder para programar y simular el autómata  
(Fuente: XCPPro).**





**Anexo C. Imágenes del estado inicial de la máquina ralladora de yuca. Tomado de García y Pión (2014).**



**Anexo D. Imágenes del estado final de la máquina ralladora de yuca.**





## Referencias Bibliográficas

Alarcón, F. & Dufour, D. (1998). Almidón agrio de yuca en Colombia. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Casa Tiempo (2020). Crece apetito mundial por la yuca para distintas industrias. Portafolio.co [Online]. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/crece-apetito-mundial-por-la-yuca-para-distintas-industrias-521212>

Ceballos, H. & De la Cruz, G. (2002). La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Ciferri, F. (1938). Flora Italica cryptogama. Pars I: Fungi. Ustilaginales: Tilletiaceae, Graphiolaceae, Ustilaginaceae. Fascicolo N. 17. Recuperado de <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/12818-flora-italica-cryptogama-pars-i-fungi-fascicolo-n-17?offset=2>

Cosio, C. & Asociados. (1990). Planta industrializadora de harina panificable de yuca en el trópico. P.D.A.R.

Fellows, P. (1994). Tecnología del procesado de alimentos. España.

Figuroa, B. (1985). Yuca seca y Harinas derivada. CIAT, Colombia.

García, J. & Pión, J. (2014). Diseño y fabricación de un rallador industrial de yuca para la producción de concentrados porcinos. Tesis de pregrado, Universidad Antoni Nariño, Cartagena, Colombia.

Gómez, G. (1977). Progresos en la investigación sobre la utilización de la yuca como alimento para cerdos. Proceeding 4th Symposium of the Inter Soc. For tropical Roots Crop. Cali, Colombia, IDRC.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación (6a. Ed.). México D.F.: Mcgraw-Hill.

Inmegar.com (2020). Venta e elaboración de maquinaria para el agro y pequeña industria, Metalmecánica Inmegar. Portoviejo, Manabi, Ecuador. Recuperado de <http://www.inmegar.com/yuca.html>

Leniz, J. (1993). Caracterización morfológica y agronómica de 27 cultivares de yuca Trópico Cochabambino, Bolivia. In: Revista Brasileira de mandioca, Cruz dos Almas (AB), V.12, n1/2.

Márquez, E. & Olarte, M. (2017). Análisis de la cadena productiva y la implementación de tecnología en el cultivo de la yuca en Colombia. Tesis de Pregrado, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

Montaldo, A. (1998). La yuca o mandioca: Cultivo, Industrialización”1ªEd. San José Costa Rica (1979). Pág.70, 278 y 279. 9. RITVA, P. Lima, Perú.

Mota, M. & González, J. (2004). Diseño de una máquina ralladora y exprimidora de yuca para la elaboración de casabe. Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Mott, R. (1995). Diseño de Elementos de Máquinas 2ª Edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México (DF), México.

Ospina, B. & Ceballos, H. (2002). La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento, utilización y comercialización. Recuperado de <https://books.google.com.cu/books?Id=I18Dz9sYZO8C>

Pérez, M. (1997). Propuesta idealizada de un conjunto de equipos básicos para el procesamiento industrial del casabe, a base de yuca amarga (Manihot esculenta crantz)

referido tecnológicamente al proceso artesanal. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Restrepo, C. (2012). La yuca, alimento prehispánico. *Historia de la Cocina y la Gastronomía*. Recuperado de <https://www.historiacocina.com/es/historia-de-la-yuca1>

Suárez, L. & Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz, Tendencias actuales. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=s0258-59362011000300004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=s0258-59362011000300004)

Suárez, A. & González, J. (2019). Automatización de una ralladora industrial de yuca para la producción de concentrados porcinos. Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, Cartagena, Colombia.

Unión Indígena de la Zona Acaricuara, Organización Indígena de la Zona Yapu Ricerca e Cooperazione de Colombia y el Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. (2000). Cartilla para la elaboración, operación y mantenimiento del rallo de yuca hidráulico. Yapú, Vaupés, Colombia.