

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**BANDA TRANSPORTADORA  
AUTOMATIZADA PARA LA CLASIFICACIÓN  
DE CÍTRICOS, EN COMERCIALIZADORA DE  
CÍTRICOS SANTA FE, PRIMER SEMESTRE  
2017**

**PROYECTO PARA OPTAR POR EL GRADO  
ACADÉMICO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA**

**ELABORADO POR  
EDGAR FALLAS MORA**

**Tutor**

**ING. JOSÉ ALEJANDRO ROJAS LÓPEZ**

**Agosto, 2017**

# CARTA DE LA EMPRESA

Acosta, 18 de Agosto de 2017

Departamento de registro  
Universidad Hispanoamericana

Saludos, la presente tiene como objetivo dar fe de que el estudiante **Edgar Fallas Mora**, cédula de identidad número **1-1425-0748**, desarrolló y concluyó de manera satisfactoria el proyecto denominado: **Banda transportadora automatizada para la clasificación de cítricos en comercializadora de cítricos santa fe, primer semestre 2017**, el cual cumple de gran forma las expectativas planteadas por la empresa.

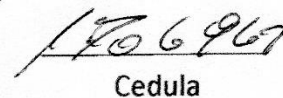
Lo que nos lleva a implementar el prototipo en nuestras labores diarias de trabajo y adaptar las recomendaciones dadas por el estudiante, para obtener la máxima capacidad del dispositivo.

Sin más se despide Eduardo Azoifeifa Jiménez presidente y representante legal de comercializadora de cítricos Santa Fe.

Eduardo Azoifeifa Jiménez.  
Presidente.



Firma



Cedula

Contactos:

Eduardo Azoifeifa Jiménez

Celular: 88-68-02-58

Comercializadora de cítricos Santa Fe

Página Facebook: <https://www.facebook.com/CCSFF/>



## CARTA DEL TUTOR

San José, 15 de Agosto de 2017

**Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana**

Estimado señor:

El estudiante **Edgar Fallas Mora**, cédula de identidad número **1-1425-0748**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: **Banda transportadora automatizada para la clasificación de cítricos, en comercializadora de cítricos santa fe, primer semestre 2017**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación, antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

**Tabla 1** Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a)	Original del tema	10%	8%
b)	Cumplimiento de entrega de avances	20%	16%
c)	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación	30%	28%
d)	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones	20%	20%
e)	Calidad, detalle del marco teórico	20%	20%
<b>TOTAL:</b>		<b>100%</b>	<b>92%</b>

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

**Ing. José Alejandro Rojas López**  
Cédula identidad 1 1079 0035  
Carné Colegio Profesional N°: IEL-15888

**CARTA DEL LECTOR**

San José, 20 de setiembre de 2017

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Edgar Fallas Mora, cédula de identidad número 1-1425-0748, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*Banda transportadora automatizada para la clasificación de cítricos, en Comercializadora de Cítricos Santa Fe, primer semestre de 2017*".

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

Ing. Víctor H. Arguedas Arce  
Cédula de identidad: 106690138  
Carné colegio profesional: IE-6285

Cartago, 13 de octubre de 2017

Señores:

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

Yo, María Fernanda Sanabria Coto, cédula de identidad 1-1429-0780, bachiller en Filología Española y perteneciente a la Asociación Costarricense de Filólogos carné 225, hago constar que he revisado el proyecto final de graduación titulado:


***Banda transportadora automatizada para la clasificación de cítricos, en comercializadora de cítricos Santa Fe, primer semestre 2017***

Dicho documento fue elaborado por:

Edgar Fallas Mora

El proyecto fue realizado con el fin de optar al grado de Bachillerato en Ingeniería Electrónica. He revisado y corregido aspectos tales como construcción de párrafos, vicios del lenguaje trasladados a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico. Por lo tanto, considero que está listo para ser presentado.

Atentamente,



María Fernanda Sanabria Coto

Asociación Costarricense de Filólogos. Carné No 225

Colegio de Licenciados y Profesores. Código 75402



## DECLARACIÓN JURADA

Yo Edgar Fallas Mora, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1425-0748 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercebido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Banda transportadora automatizada para la clasificación de cítricos, en comercializadora de cítricos Santa Fe, primer semestre 2017, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los Veintidós días del mes de Agosto del año dos mil Diecisiete.

Edgar Fallas Mora

Firma del estudiante

Cédula: 1-1425-0748

## Tabla de contenido

CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DEL PROYECTO .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.1 Introducción al tema del proyecto .....	2
1.1.2 Antecedentes del contexto de la empresa .....	4
1.1.3 Justificación del problema .....	6
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	9
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	10
1.3.1 Objetivo general .....	10
1.3.2 Objetivos específicos .....	10
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	11
1.4.1 Alcances .....	11
1.4.2 Limitaciones .....	12
CAPÍTULO II.....	13
MARCO TEÓRICO .....	13
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.1.1 Agricultura.....	14
2.1.2 Tipos de agricultura .....	14
2.1.2.1 Según la dependencia de agua .....	15
2.1.2.2 Según la magnitud de su producción.....	15
2.1.2.3 De acuerdo al rendimiento y la utilización de medios de producción .....	15
2.1.2.4 Según los objetivos y el método.....	16
2.1.3 Agricultura en Costa Rica .....	16
2.1.4 Cítricos en Costa Rica.....	17
2.1.5 Componentes activos .....	18
2.1.6 Componentes pasivos.....	19
2.1.7 Circuito integrado.....	19
2.1.8 Microcontrolador .....	20
2.1.9 Circuitos electrónicos .....	21
2.1.10 Arduino .....	22
2.1.11 Arduino Mega.....	23

2.1.12 Celda de carga .....	24
2.1.13 Nextion Editor .....	25
2.1.14 IRFP 260 .....	26
2.1.15 HX711.....	27
2.1.16 Motor dc .....	27
2.1.17 Servomotor .....	28
CAPÍTULO III.....	29
MARCO METODOLÓGICO.....	29
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	30
3.1.1 Enfoque .....	31
3.1.2 Dimensión temporal .....	32
3.1.3 Marco Mega-Macro-Micro.....	33
3.2 DISEÑO METODOLOGICO .....	33
3.2.1 Metodología para la propuesta de mejora .....	33
3.2.2 Metodología para la implementación del proyecto .....	34
3.2.3 Metodología de control .....	35
CAPÍTULO IV .....	37
DIAGNÓSTICO .....	37
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL. ....	38
4.2 RECOLECCIÓN DE LOS DATOS. ....	39
4.3 DIAGNOSTICO .....	44
CAPÍTULO V .....	48
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	48
5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	50
5.1.1 Diseño del prototipo.....	50
5.1.2 Construcción del prototipo .....	51
5.1.2.1 Proceso de armado de las partes .....	55
5.2 ETAPA DE POTENCIA.....	62
5.2.1 Hardware .....	62
5.2.1.1 Tarjeta electrónica control de motor.....	65
5.2.1.2 Transistor de potencia MOSFET (irfp260) .....	65
5.2.1.3 Driver para MOSFET.....	66
5.2.1.4 Rectificación de voltajes .....	67

5.2.2 Software .....	74
5.3 ETAPA DE CONTROL .....	76
5.3.1 Hardware .....	77
5.3.1.1 HX711.....	77
5.3.1.2 Celdas de carga.....	78
5.3.1.4 Pantalla nextion.....	82
5.3.2 Software.....	86
5.3.3 Vista del proyecto terminado .....	96
5.4 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO .....	98
5.4.1 Materiales .....	98
5.4.2 Prototipo vs proceso actual en planta.....	102
CAPÍTULO VI .....	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1 Conclusiones .....	106
6.2 Recomendaciones .....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ANEXOS .....	110
A. Bibliografía.....	111
B. Anexos .....	115

## Índice de figuras

Figura 1. Circuito integrado .....	20
Figura 2. Microcontrolador PIC de Microchip .....	21
Figura 3. Circuito electrónico.....	22
Figura 4. Entorno de desarrollo Arduino IDE.....	23
Figura 5. Arduino Mega.....	25
Figura 6. Celda de carga.....	26
Figura 7: Nextion Editor.....	27
Figura 8. MOSFET IRFP 260. ....	28
Figura 9. Módulo HX711.....	28

Figura 10. Motor dc. ....	29
Figura 11. Servomotor.....	30
Figura 12. Diagrama de bloques de la parte física del prototipo .....	47
Figura 13. Diagrama de bloques de la parte electrónica del prototipo .....	48
Figura 14. Plano de la estructura metálica. ....	53
Figura 15. Caja plástica.....	54
Figura16. Elaboración de prototipo 1 .....	55
Figura 17. Elaboración de prototipo 2 .....	56
Figura 18. Elaboración de prototipo 3 .....	57
Figura 19. Elaboración de prototipo 4 .....	58
Figura 20. Elaboración de prototipo 5 .....	59
Figura 21. Elaboración de prototipo 6 .....	60
Figura 22. Elaboración de prototipo 7 .....	60
Figura 23. Elaboración de prototipo 8 .....	61
Figura 24. Elaboración de prototipo 9 .....	62
Figura 25. Elaboración de prototipo 10.....	63
Figura 26. Elaboración de prototipo 11.....	64
Figura 27. Motor dc 90V-110V .....	65
Figura 28. Diagrama de conexión del motor.....	66
Figura 29. Diagrama físico MOSFET.....	67
Figura 30. Configuración en baja del <i>driver</i> IR2110 .....	68
Figura 31. Diagrama de rectificador dc.....	70
Figura 32. Diagrama de regulador de tensión .....	70
Figura 33. Esquemático de tarjeta de control del motor .....	71

Figura 34. Montaje en <i>protoboard</i> .....	72
Figura 35. Diseño de PCB.....	73
Figura 36. Elaboración de PCB 1 .....	74
Figura 37. Elaboración de PCB 2 .....	74
Figura 38. Etapa de potencia .....	75
Figura 39. Código de potencia .....	76
Figura 40. Diagrama de flujo etapa de potencia.....	77
Figura 41. Módulo HX711.....	79
Figura 42. Diagrama físico del módulo HX711 .....	80
Figura 43. Diagrama físico de la celda de carga .....	81
Figura 44. Fuente externa 1 .....	82
Figura 45. Fuente externa 2 .....	82
Figura 46. Conexión servomotor .....	83
Figura 47. Diagrama físico de servomotores.....	84
Figura 48. Pantalla nextion conexión .....	84
Figura 49. Diagrama físico pantalla nextion .....	85
Figura 50. Pantalla nextion 1 .....	85
Figura 51. Pantalla nextion 2 .....	86
Figura 52. Pantalla nextion 3.....	86
Figura 53. Pantalla nextion 4 .....	87
Figura 54. Pantalla nextion 5.....	87
Figura 55. Código de control 1 .....	90
Figura 56. Código de control 2 .....	91
Figura 57. Diagrama de flujo etapa de control 1.....	92

Figura 58. Diagrama de flujo código de control 2.....	93
Figura 59. Diagrama de flujo etapa de control 3.....	94
Figura 60. Diagrama de flujo etapa de control 4.....	95
Figura 61. Diagrama de flujo etapa de control 5.....	96
Figura 62. Prototipo terminado 1 .....	99
Figura 63. Prototipo terminado 2.....	101

## Índice de tablas

Tabla 1. Categorías de clasificación.....	44
Tabla 2. Costo de materiales.....	102
Tabla 3. Costo de diseño y programación.....	107

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Valor actual neto .....	103
Ecuación 2: Tasa interna de retorno.....	104
Ecuación 3: Tasa interna de retorno despejada.....	105

## Lista de abreviaturas

EEPROM:	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memoria de sólo lectura eléctricamente programable y borrrable).
GND:	Ground (Tierra).

HMI:	Human Machine Interface (Interfaz hombre-máquina).
MAC:	Media Access Control (Control de acceso a medios).
MB:	Megabyte.
MISO:	Master Input Slave Output (Maestro de salida, esclavo de entrada).
MOSI:	Master Output Slave Input (Entrada de esclavo, salida maestra).
RAM:	Random Access Memory (Memoria de acceso aleatorio).
SPI:	Serial Peripheral Interface (Interfaz periférica serial).
SRAM:	Static Random Access Memory (Memoria estática de acceso aleatorio).
SS:	Slave Select (Selector de esclavo).
USB:	Universal Serial Bus (Bus universal en serie).
V:	Volt (Voltio).
VCC:	Continuous current voltage (Voltaje corriente continua).

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DEL PROYECTO**

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1 Introducción al tema del proyecto.

En la actualidad, la importancia de la automatización en las industrias de procesos ha aumentado increíblemente durante los últimos años. Desde los inicios de la Revolución Industrial, el ser humano siempre ha buscado la creación de herramientas y máquinas que le faciliten la realización de tareas peligrosas, pesadas y repetitivas.

Según Torres (2009):

Un autómata programable (AP) es un sistema electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar unas soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas (digitales y/o analógicas – sistema híbrido) diversos tipos de máquinas y/o procesos.

Por lo tanto, esta tecnología brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, tecnológico y ergonómico frente al mismo proceso realizado de forma manual. Además, cada día se desarrollan nuevos avances que permiten realizar estos procesos cada vez más rápido y de manera eficiente.

Esta eficiencia se debe a que automatizar un proceso de clasificación consiste en transferir las tareas de producción y selección, realizadas habitualmente por operadores humanos, a un conjunto de elementos tecnológicos que permitan

llevar a cabo estas mismas tareas de manera más rápida, eficaz, la cual para su debida ejecución se divide en dos partes principales.

Estas dos partes principales son: la parte operativa y la parte de mando. La parte operativa son los elementos eléctricos y electrónicos que actúan directamente sobre la máquina; mientras que la parte de mando, de un sistema de clasificación automatizado, está compuesta por un dispositivo de control, el cual debe estar en capacidad de comunicarse con todos los elementos constituyentes del proceso.

Para este caso, se debe aplicar esta herramienta en la tarea de clasificación de cítricos de la empresa comercializadora de cítricos Santa Fe. En la actualidad, este proceso en la empresa se lleva a cabo a diario y de forma manual. Además, el incremento de pedidos de cítricos en diferentes rangos de tamaño, según las necesidades del cliente, ha aumentado notoriamente, causando demoras en la entrega, errores en la clasificación y algunos problemas ergonómicos en los operarios.

Es por estas razones que se debe solucionar dicho problema, con el fin de lograr que el proceso se realice automáticamente, para de esta forma garantizar que se haga de manera rápida y eficiente; disminuyendo la posibilidad de error humano, así como los tiempos y costos de producción. Esto con el objetivo de lograr que la empresa satisfaga todas las necesidades de sus clientes, permitiéndole incrementar la producción y ser reconocida en el mercado por la calidad de su servicio.

### **1.1.2 Antecedentes del contexto de la empresa.**

A principios de los años noventa, los hermanos Eduardo Azofeifa Jiménez y Juan Antonio Azofeifa Jiménez comenzaron a capitalizar un sueño que tenían desde años atrás. El cuál era la creación de una empresa que se encargara de comercializar cítricos para fomentar la actividad citrícola en el cantón de Acosta.

Por este motivo, en octubre de 1994 y bajo el nombre de comercializadora de cítricos Santa Fe, se inicia una pequeña empresa familiar con la visión de realizar compra y venta de cítricos, para abastecer supermercados dentro y fuera del área metropolitana. Después de haberse asentado en reconocidas cadenas de supermercados como Megasuper y Automercado, además de los principales mercados mayoristas; en el año 2001, se inicia con la compra de las primeras hectáreas de terreno en la zona de Acosta y de Upala, para realizar la producción de cítricos y con esto mejorar la calidad y los precios de los diferentes productos.

Al haber adquirido terreno en la zona de Acosta y debido a un asunto de mercado, por ser más cercano a San José, se decidió desarrollar la planta procesadora en la pequeña comunidad de Palmichal de Acosta. En sus inicios, se daba empleo solamente a pocas personas; con el pasar de los años, se convirtió en una de las principales fuentes de ingreso económico para sus pobladores, ya sea de forma directa brindando un empleo estable a sus colaboradores o bien de forma indirecta a agricultores del cantón, los cuales se ven beneficiados al poder vender sus productos a la empresa, misma que con el pasar de los años ha modificado su manera de trabajar.

En sus inicios, la empresa solo se dedicaba a la comercialización de cítricos; actualmente, el interés por seguir creciendo ha llevado a sus dueños a expandir su visión y se comercializan diferentes productos agrícolas, entre los cuales se pueden destacar el melón, el mango y el aguacate. Esto le ha dado mayor fuerza para competir con las grandes empacadoras de frutas de Costa Rica, sin embargo, el auge en los diferentes artículos agrícolas no ha modificado la manera rústica de procesar las frutas.

En la actualidad, se procesa una gran cantidad de cítricos por año y todo el proceso de clasificación se realiza de manera manual. Es por esto, que se está trabajando en adoptar mayor tecnología en la planta procesadora, mediante la implementación de una banda automatizada para ayudar con el proceso de la clasificación de los cítricos y mejorar día con día, con el fin de seguir en la lucha dentro del mercado citrícola nacional, sin dejar de lado sus raíces de empresa familiar y ayuda al pueblo.

Por este motivo, a pesar de los constantes cambios que se han dado a lo largo de los años, la empresa sigue firme en su ideal de ser completamente de carácter familiar en cuanto a su administración. Es por esto, que los hijos de los dueños se han incorporado en la parte administrativa y de mercadeo. Es una empresa que no pierde su identidad y es esto lo que le ha dado la fuerza para competir en un duro mercado y consolidarse de buena manera.

### **1.1.3 Justificación del problema.**

Tanto a nivel nacional como internacional, la agricultura ha sido uno de los principales pilares económicos para el desarrollo de un país y sus pobladores. Tanto así que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sostiene que la agricultura es considerada como una de las actividades, en los campos económico, social y ambiental, esenciales para el ser humano.

Gracias a esto, miles de familias se han beneficiado de la tierra y sus productos y han tenido que luchar para recibir un precio justo por la cosecha recolectada. Uno de los principales métodos para asegurarse un buen pago por los productos es seleccionar de manera eficiente, para recibir el pago justo por lo obtenido en el campo.

La comercializadora de cítricos Santa Fe, como se mencionó anteriormente, es una empresa dedicada a la obtención y distribución de productos agrícolas, esto conlleva a la realización de diferentes actividades para el adecuado funcionamiento de la compañía. La actividad más importante y en la que se necesita una mayor exactitud a la hora de realizarla, debido a que puede influir de manera significativa en la parte económica, es la clasificación del producto.

Según datos suministrados por el presidente de la empresa, el señor Eduardo Azofeifa Jiménez, actualmente la compañía cuenta con seis operarios que realizan el proceso y, debido al afán por realizar la labor lo más rápido posible, se cometen errores en la clasificación, siendo un proceso no confiable; además de ser muy lento y generar problemas ergonómicos en los operarios en un futuro. Esto conlleva a que

se retrasen los pedidos y que no se pueda vender más de lo deseado, además de que la persona presente lesiones o enfermedades por realizar esta labor a diario.

Basado en la problemática planteada anteriormente, se requiere el diseño de un sistema automático que realice esta actividad de manera óptima y segura. Para lograr esto, se tuvieron en cuenta algunas fallas que se están presentando actualmente en la empresa, con el fin de mejorarlas con el diseño del sistema automático y lograr obtener las siguientes consideraciones:

### **Aumento de productividad de clasificación de los cítricos**

La empresa comercializadora de cítricos Santa Fe realiza el proceso de clasificación diario de productos tales como naranjas, mandarinas y limones. Pero, el proceso de clasificación de los cítricos por su respectivo tamaño es muy lento, porque el operario tarda aproximadamente un minuto en clasificar 20 frutos, según lo que se pudo constatar en una visita a la planta. Además de que no es confiable, porque a veces se presentan errores humanos y la persona se equivoca en el rango de clasificación, en el cual debe ser ubicado el producto según su tamaño; por lo tanto, se necesita un sistema que pueda realizar esta acción de manera segura y lo más rápido posible.

La clasificación por tamaño que más se realiza a diario es la de las naranjas, porque es el producto que más consumen los clientes de la empresa. Algunas veces, de esta referencia se obtienen demasiados pedidos de clasificación y no se pueden cumplir a tiempo, por los inconvenientes nombrados anteriormente.

## **Evitar problemas ergonómicos del operario en el momento de clasificar los cítricos, debido a su postura diaria**

Además del problema causado por la mala clasificación, se encontró el inconveniente de que los operarios que realizan la clasificación de los cítricos según su respectivo tamaño, tienden a sufrir problemas físicos, porque se realizan posturas incómodas, tales como agacharse, girar de un lado a otro, en el momento de depositar el producto en la mesa de clasificación y posteriormente, en la canastilla correspondiente. Esto conlleva a un problema de ergonomía y según González Maestre (2007): “La ergonomía trata de relacionar las variables del diseño por una parte y los criterios de eficacia funcional o bienestar para el ser humano, por la otra”.

Asimismo, el trabajo es continuo y repetitivo, lo cual va cansando al operario. En este caso, el problema ergonómico que puede sufrir el operario es un dolor lumbar, el cual se presenta en la espalda por una postura inadecuada que realiza este, en las actividades nombradas anteriormente. Por lo cual, es importante para la empresa cítricos Santa Fe evitar estos problemas en el operario y mediante la implementación de una banda automatizada, se reducirá considerablemente el trabajo rutinario del operador a la hora de la clasificación del producto.

Estas dos razones justifican el desarrollo de este proyecto, ya que no solo es un proyecto para beneficiar económicamente a una empresa, sino que también va dedicado a dar mejores condiciones para los colaboradores y que después de las labores diarias de trabajo, puedan pasar un tiempo de calidad en sus hogares.

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La empresa comercializadora de cítricos Santa Fe, entre muchas otras funciones, se encarga de clasificar los productos agrícolas cosechados en el campo. Esta clasificación se realiza manualmente y dicha práctica ha conllevado a tener un problema principal, el cual es de carácter económico, debido a la mala clasificación del producto.

Además de este problema, la comercializadora ha detectado otros dos inconvenientes relacionados con la manera en que se realiza el proceso de clasificación. El primero de estos dos inconvenientes es la pérdida de confianza por parte de los clientes, ya que solicitan un pedido para una fecha establecida y por ser de manera manual el proceso, se generan atrasos que molestan a los clientes.

Y la segunda de estas razones es la de problemas físicos en los operarios, debido a su postura y rutinariedad. Por eso el proyecto presentado a continuación se enfocará en:

**¿Cómo diseñar e implementar el prototipo de una banda automatizada para la clasificación de cítricos en la empresa comercializadora de cítricos Santa Fe, en el primer semestre 2017?**

## **1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Desarrollar e implementar un prototipo de una banda transportadora automatizada controlada por Arduino, para la clasificación de cítricos en la empresa comercializadora de cítricos Santa Fe, en el primer semestre del año 2017.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Estudiar los métodos existentes de clasificación a nivel industrial que puedan ser aplicados a la problemática de la empresa.
- Seleccionar de los métodos existentes, el que más se adecue a las necesidades de la comercializadora de cítricos Santa Fe.
- Diseñar un prototipo físico de la máquina clasificadora de cítricos con los requerimientos necesarios por el método seleccionado.
- Construir el prototipo de la banda automatizada clasificadora controlada por Arduino, basado en el diseño previamente realizado y que cumpla con las características mínimas para su correcto funcionamiento.
- Diseñar una interfaz de usuario mediante una pantalla TFT que permita al usuario la adecuada manipulación del dispositivo.
- Crear un manual para que el operario encargado del prototipo disponga de indicaciones sencillas para su uso y características de su funcionamiento.

- Evaluar las mejoras obtenidas mediante la automatización del proceso de clasificación, debido a la implementación del prototipo de la banda clasificadora.
- Determinar el costo beneficio que puede presentar el dispositivo propuesto en el diseño de este proyecto.

## **1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.4.1 Alcances.**

El proyecto por realizar comprende la utilización de la celda de carga TAL 220, la cual se adecua de manera correcta a lo necesario para la construcción del dispositivo. El dispositivo que se pretende realizar se espera que sea un prototipo con una interfaz sencilla, de manera que el operario no tenga ningún tipo de inconveniente en el momento de utilizarlo.

Además, contará con una pantalla táctil desde la cual se seleccionará el inicio del proceso de clasificación. El dispositivo contará con espacios en los cuales el producto clasificado caerá y se distribuirá de manera correcta, haciendo más sencilla la manipulación posterior al clasificado.

La implementación de la banda transportadora automatizada para la clasificación de cítricos abarca a todas las plantas procesadoras que se dediquen a trabajar con cítricos, permitiendo colaborar con el problema de pérdida económica por la mala clasificación de manera manual del producto. Lo que lleva a soñar con estar presentes en un futuro en gran cantidad de plantas procesadoras de cítricos.

### **1.4.2 Limitaciones.**

El dispositivo solamente será capaz de seleccionar un tipo de cítrico, que en este caso serán las mandarinas. Además, no tendrá la capacidad de realizar conexiones a internet para así subir los datos recolectados a alguna página de estadísticas de la empresa.

El tamaño del prototipo será razón importante de que la cantidad de mandarinas clasificadas por minuto sea considerablemente menor que si se realizara un prototipo de mayor tamaño. El tamaño del prototipo se definirá tomando en cuenta las cajas de plástico más pequeñas utilizadas en la planta procesadora.

A pesar de no contar con un tamaño grande, el dispositivo sí va a contar con problemas de peso y maniobrabilidad. Esto lo va a limitar a ser utilizado solamente en el lugar de la planta donde se requiera de su instalación, la cual debe sufrir las mínimas modificaciones para no ver afectada la capacidad del prototipo.

La pantalla táctil que será implantada en este proyecto tiene un tamaño de 7.0 pulgadas. Debido a lo anterior, la interfaz gráfica por diseñar debe tener un adecuado manejo del espacio referente a tipos de letras e imágenes.

El prototipo, a pesar de contar con un sistema de memoria para determinar la cantidad de mandarinas clasificadas y su respectivo tamaño, no tendrá la capacidad de imprimir un recibo en el cual se especifiquen estas cantidades, por lo que el operario deberá hacerlo de forma manual.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 MARCO CONCEPTUAL**

Para la elaboración de este proyecto, se necesitan conocimientos de ingeniería electrónica y a su vez, conocimientos en el área de la agricultura, para así complementar satisfactoriamente la puesta en marcha y culminación del mismo.

A continuación, de manera cronológica se presentarán los conceptos teóricos de mayor relevancia necesarios para la realización del proyecto.

### **2.1.1 Agricultura.**

La agricultura es la actividad agraria que comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras.

Es el arte de cultivar la tierra, refiriéndose a los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y cultivo de vegetales, normalmente con fines alimenticios, o a los trabajos de explotación del suelo o de los recursos que este origina en forma natural o por la acción del hombre: cereales, frutas, hortalizas, pasto, forrajes y otros variados alimentos vegetales. Es una actividad de gran importancia estratégica como base fundamental para el desarrollo autosuficiente y de la riqueza de las naciones.

### **2.1.2 Tipos de agricultura.**

Los tipos de agricultura pueden dividirse según distintos criterios de clasificación. Los cuales se mencionan seguidamente.

### ***2.1.2.1 Según la dependencia de agua.***

**Agricultura de secano:** es aquella desarrollada sin el riego de un agricultor. De esta manera, el agua se obtiene a partir de las lluvias o el suelo.

**Agricultura de regadío:** la agricultura de regadío se caracteriza por recibir el suministro de agua a través del agricultor. Esta es aportada por medio de cauces naturales o artificiales, por ejemplo.

### ***2.1.2.2 Según la magnitud de su producción.***

**Agricultura de subsistencia:** su desarrollo tiene como finalidad cubrir las necesidades de un pequeño grupo de individuos, por lo que la cantidad producida es escasa.

**Agricultura industrial:** las cantidades producidas son inmensas, ya que esta clase de agricultura se lleva a cabo con el propósito de comercializar el producto. Es característica de los países industrializados y de los llamados “en vías de desarrollo”.

### ***2.1.2.3 De acuerdo con el rendimiento y la utilización de medios de producción.***

**Agricultura intensiva:** es típica de las naciones industrializadas y el objetivo de la misma consiste en obtener una gran producción en un espacio relativamente reducido. De esta manera, el lugar tiende a su deterioro.

**Agricultura extensiva:** es practicada en una superficie amplia, por lo que el desgaste en el suelo utilizado es menor. Sin embargo, el rédito económico tiende a ser pequeño.

#### **2.1.2.4 Según los objetivos y el método.**

**Agricultura tradicional:** se denomina así debido a que su desarrollo es impulsado a través del empleo de métodos propios de la región donde se lleva a cabo. Dichos sistemas conforman la cultura del lugar por etapas prolongadas.

**Agricultura industrial:** bajo el propósito de obtener réditos comerciales, este tipo de agricultura se interesa en la producción de considerables cantidades de un determinado producto en un espacio y tiempo reducido.

**Agricultura ecológica:** a través de la confección de variados sistemas de producción, se intenta conservar las características ecológicas de las zonas donde se desarrolla esta clase de agricultura, así como la fertilidad del territorio.

#### **2.1.3 Agricultura en Costa Rica.**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:

La agricultura primaria de Costa Rica está bien diversificada: el café, los bananos, los cultivos de ciclo corto, el ganado para carne y productos lácteos, y las plantaciones forestales representan la gran mayoría del uso de la tierra. Pero en valor de producción por hectárea, otros cultivos, como las frutas y hortalizas, las flores y las plantas ornamentales, son más importantes. (LA FAO, U. C. E., 2013)

El café sigue siendo el cultivo de mayor importancia en Costa Rica, en cuanto a la superficie utilizada (109 000 hectáreas) y al valor de la producción, además, un gran número de pequeños productores dependen de él. El segundo producto más

cultivado es el arroz (68 000 hectáreas), seguido de los bananos (48 000 hectáreas) y la caña de azúcar (56 000 hectáreas). Otros productos muy cultivados son los frijoles (32 000 hectáreas), la palmera de aceite (40 000 hectáreas) y los cítricos (25 000 hectáreas). Estos siete cultivos ocupan el 82 % de las tierras agrícolas (LA FAO, U. C. E., 2013).

Según estos datos, se puede apreciar que el cultivo de los cítricos es uno de los más grandes e importantes en la agricultura costarricense y con el cual miles de personas se ven beneficiadas tanto económicamente como a nivel de salud, ya que los cítricos otorgan grandes beneficios al bienestar físico de sus pobladores.

#### **2.1.4 Cítricos en Costa Rica.**

El cultivo de cítricos en Costa Rica es una actividad agrícola tradicional para algunas zonas del país, sin embargo, se ha presentado un aumento en su área de producción, de modo tal que ha ocupado un importante lugar en la generación de divisas de origen agropecuario para Costa Rica. Actualmente, la producción mundial de cítricos se resume en 3 637 864 hectáreas, donde Costa Rica logró una participación del 0.71 % para el 2001.

El mayor productor a nivel mundial es Brasil, con 22.6 % de la producción, seguido de Estados Unidos con un 15,6%. China, México, España e India en conjunto representan el 64.17 % del total de producción a nivel mundial. Sin embargo, la producción brasileña se ha visto afectada de modo fitosanitario, lo que ha provocado una baja en la producción de tipo exportación, circunstancia que representa una oportunidad de mercado para los demás países productores de la fruta fresca. Según la FAO (2004), para el caso específico de Costa Rica, el cultivo

de cítricos ha presentado un comportamiento creciente en su área de producción a partir de 1995.

Este incremento ha sido estimulado por la tendencia de la región Huetar Norte a modernizarse, diversificar la producción agrícola y a la búsqueda de nuevos mercados. La región Huetar Norte en la actualidad ha logrado abarcar el 93 % de la producción de cítricos del país, siendo su destino la comercialización como fruta fresca y el procesamiento de jugo congelado para la exportación.

En general, se ha observado un incremento en la demanda de la fruta fresca en diferentes países industrializados, como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Holanda, entre otros, para ser usada principalmente en el procesamiento de la fruta para jugo y concentrados. Esta situación ha permitido que los productores de naranja en Costa Rica se vean favorecidos y estimulados a continuar y aumentar su producción.

### **2.1.5 Componentes activos.**

Existen dos tipos básicos de componentes, uno de ellos son los componentes activos, según Octavio Ortega (2006), “estos son capaces de generar una ganancia o permitir el control de señales eléctricas”. En la actualidad los dispositivos activos son de material semiconductor, o sea, que tienen propiedades de conductores eléctricos y también de aislantes eléctricos, con el fin de proveerles propiedades físicas de transporte y control de cargas eléctricas.

### 2.1.6 Componentes pasivos.

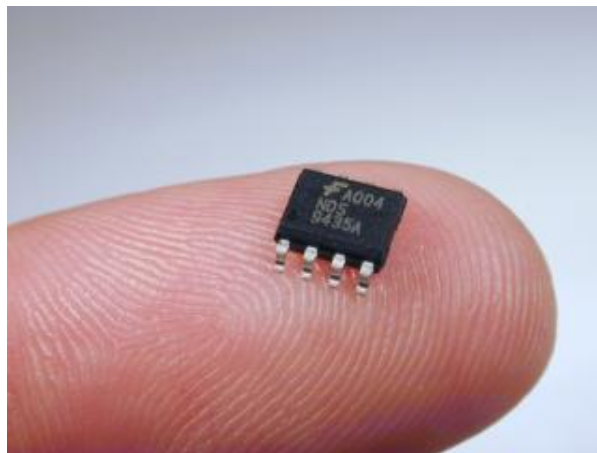
Los dispositivos pasivos conforman el segundo tipo básico de componentes que existen. Según Octavio Ortega (2006):

Al contrario que los activos, los componentes pasivos no proporcionan ganancia o control a los circuitos sobre las señales eléctricas, sino que su actuación se reduce a solo aportar sus propiedades eléctricas propias y pasivas de sí mismos, o sea, sus valores solo pueden modificarse de manera mecánica. (p.)

### 2.1.7 Circuito integrado.

El circuito integrado, según Vicente Burgos García (2013): “es una pastilla o chip muy delgado en el que se encuentran una cantidad enorme de dispositivos microelectrónicos interactuados, principalmente de diodos y transistores, además de componentes pasivos como resistencias o condensadores” ().

Figura 1. Circuito integrado



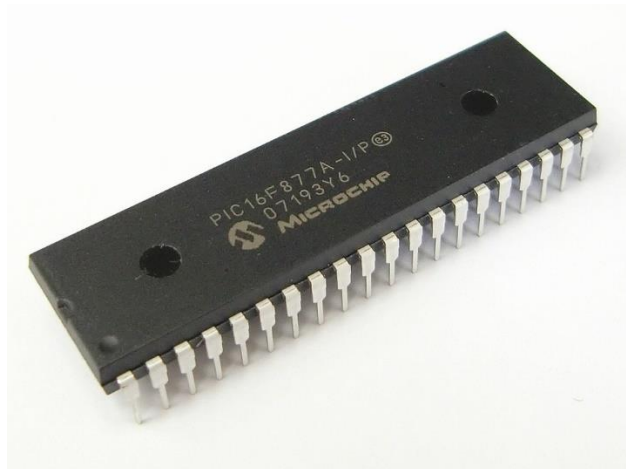
Fuente: elaboración propia.

En la figura 1, se muestra un circuito integrado moderno, en donde se observa que posee un tamaño bastante reducido por su nivel de integración.

### 2.1.8 Microcontrolador.

Los microcontroladores, según Sergio Sánchez (2013) “son circuitos integrados que son capaces de ejecutar ordenes, grabadas en su memoria. Su composición está dada por varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica” (p.67).

Figura 2. Microcontrolador PIC de Microchip



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 2, este es un microcontrolador del fabricante Microchip, el cual posee un nivel de integración bastante elevado, ya que internamente incorpora tres unidades funcionales: unidad central de procesamiento, memoria, periféricos de entrada y salida.

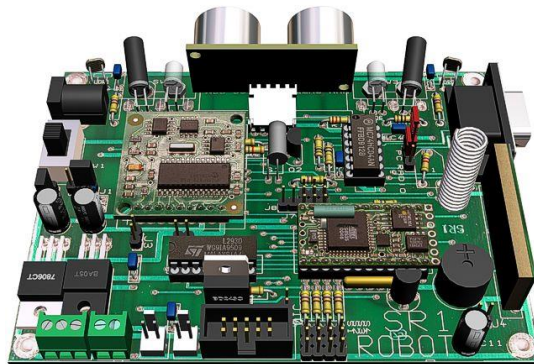
### 2.1.9 Circuitos electrónicos.

Un circuito electrónico es un grupo de elementos electrónicos que se han conectado conjuntamente para transportar energía eléctrica y hacer control de la misma. Pero, para formar un circuito electrónico, los componentes tienen que estar conectados de cierta manera; cumpliendo con la condición de que ellos tienen que formar al menos un camino cerrado para el paso de la corriente eléctrica.

Los circuitos que se encuentran en el mundo real suelen ser complejos, por lo que, para su análisis, el circuito físico se modela matemáticamente. En el cual, los componentes físicos son reemplazados por elementos ideales.

Los componentes son ideales porque representan el comportamiento del elemento físico de una manera simplificada, utilizando ecuaciones matemáticas que simulan las magnitudes físicas, las cuales forman parte del comportamiento del elemento, con el fin de facilitar su estudio (Ruiz, Arbelaitz, Etxeberria, & Ibarra, 2004, p.1).

Figura 3. Circuito electrónico



Fuente: Súper robótica, 2017.

En la figura 3, se muestra un circuito electrónico moderno, en el cual todos los componentes están interconectados y permiten el control de la corriente eléctrica, con el fin de realizar las funciones para el cual fue diseñado.

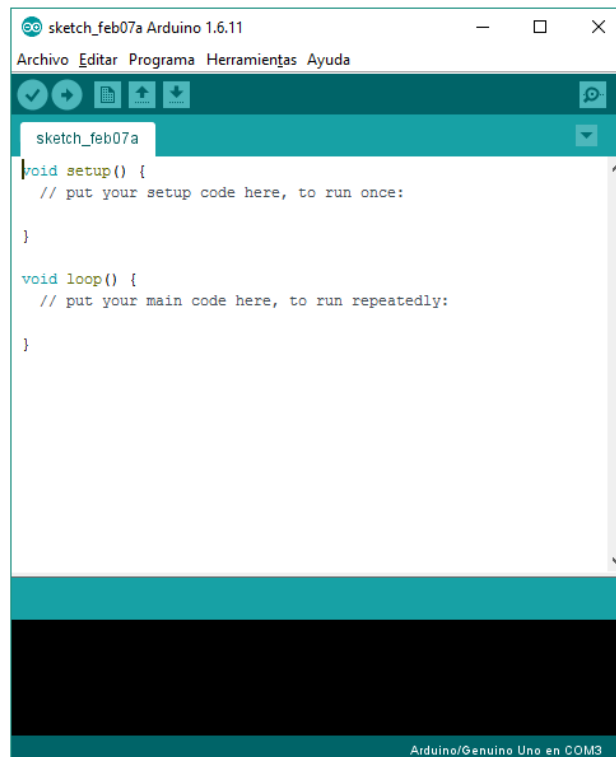
#### **2.1.10 Arduino.**

Arduino es una placa electrónica de prototipo de código abierto (Open Source), programable con entradas y salidas digitales y analógicas. Posee un *hardware* y *software* de fácil uso, en donde uno de sus principales beneficios, para los proyectos de bajo presupuesto, es su bajo costo. Estas placas están constituidas principalmente por un microcontrolador de la marca Atmel AVR, encargado de realizar los procesos lógicos, matemáticos y además de controlar y gestionar los recursos de cada uno de los componentes externos.

Otra de las ventajas de Arduino es que cuenta con un puerto USB para poder conectarlo al computador y trabajar con él a nivel de *software*, así como hacer modificaciones de una manera rápida y sin complicaciones, lo que le otorga gran flexibilidad a la plataforma.

Todas las placas Arduino se programan por medio del *software open source* llamado Arduino IDE, el cual se basa en los lenguajes de programación Processing y C. Posee sus propias librerías que facilitan su programación (Universidad Federico Santa María, s.f.).

Figura 4. Entorno de desarrollo Arduino IDE



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.11 Arduino Mega.

El Arduino Mega es un microcontrolador basado en el ATmega1280. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de *hardware*), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio.

El Arduino Mega puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. La alimentación externa (no USB) puede venir desde un adaptador AC-DC o una batería.

La placa puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si se suministra con menos de 7V, sin embargo, el pin 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa puede ser inestable. Si utiliza más de 12V, el regulador de tensión puede sobrecalentarse y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Figura 5. Arduino Mega



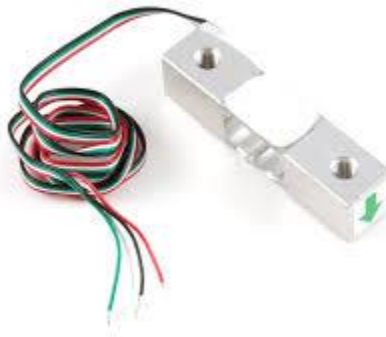
Fuente: Arduino, 2017.

### 2.1.12 Celda de carga.

La celda de carga o célula de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentran uno o varios sensores de deformación llamados galgas extensiométricas, los cuales detectan los valores de deformación.

La celda de carga digital produce esta deformación mediante circuitos *wheatstone*, que actúan en las bases de la máquina o sistemas de pesaje para encontrar reacciones. Una vez obtenida la resistencia, se produce la transducción y se puede obtener el valor que la máquina resiste.

Figura 6. Celda de carga



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.13 Nextion Editor.

Es una solución gráfica que proporciona una interface hombre máquina, la cual proporciona una visualización. Nextion Editor se utiliza para reemplazar el LCD tradicional y tubo de led Nexie. Esta solución incluye la parte de *hardware* (una serie de pantallas TFT) y la parte *software* (Nextion Editor). LCD TFT utilizan solo un puerto serie para hacer la comunicación, que le permite deshacerse de los problemas de cableado. Nextion Editor tiene componentes como botón de texto, barra de proceso, control de deslizamiento, panel de control, etc. Basta solo con arrastrar y soltar componentes de la ventana de visualización para compilar.

Figura 7: Nextion Editor



Fuente: Itead Studio, 2017.

#### 2.1.14 IRFP 260.

Es un MOSFET de potencia de rápida conmutación y tiene unos requerimientos de *driver* muy simples. Además, cuenta con un voltaje máximo permitido entre *drain* y *source* de 200 V, lo que lo hace ideal para aplicaciones de alta potencia, también soportando una corriente máxima por el drain de 50 A.

Una de las características más importantes de los MOSFET es que, al ser activados por tensión, dan la posibilidad mediante un *driver* de ser controlado por un microcontrolador como Arduino.

Figura 8. MOSFET IRFP 260

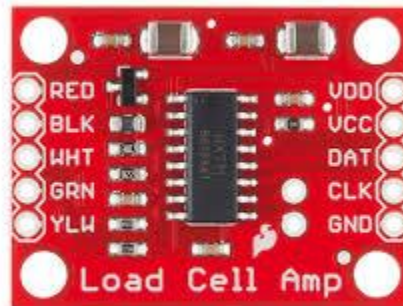


Fuente: elaboración propia.

### 2.1.15 HX711.

HX711 es un módulo de escala electrónica, cuyo principio de trabajo es convertir los cambios medidos en los cambios de valores de resistencia, a través del circuito de conversión en salida eléctrica.

Figura 9. Módulo HX711



Fuente: Sparkfun, 2017.

### 2.1.16 Motor dc.

El motor de corriente continua es una máquina que convierte energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción de un campo magnético.

Un motor de corriente continua se compone principalmente de dos partes. El estator da soporte mecánico al aparato y contiene los polos de la máquina, que pueden ser o bien devanado de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro o imanes permanentes. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa a través de delgas, las cuales están en contacto alternante con escobillas fijas.

Figura 10. Motor dc



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.17 Servomotor.

Un servomotor es un tipo de motor con características especiales de control de posición. Al hablar de un servomotor, se hace referencia a un sistema compuesto por componentes electromecánicos y electrónicos.

El eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión. Esto se hace para potenciar el torque del motor y permitir mantener una posición fija cuando se requiera. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.

Figura 11. Servomotor



Fuente: elaboración propia.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Debido al tipo de proyecto que implica la banda clasificadora, la inventiva y procedimientos para llegar al resultado deseado, se debe realizar este proyecto bajo un enfoque específico; como cita el autor Barrantes (año):2005

La investigación cuantitativa pone una concepción global positivista, hipotética deductiva, objetiva, particularista y orientada a resultados. Se desarrolla más directamente en la tarea de verificar y comprobar teorías por medio de estudios muestrales representativos. Aplica los test y medidas objetivas, utilizando instrumentos sometidos a pruebas de validación y confiabilidad. (p. 70)

En la cita anterior, se puede apreciar una estrecha similitud con la elaboración del proyecto, ya que, para obtener el resultado deseado, el cual es la correcta clasificación de los cítricos, se precisa llevar una orientación definida. La cual se irá validando por medio de distintas pruebas, con el fin de obtener las variables de operación óptimas para el control de la banda de clasificación; lo que a la vez encasilla al proyecto bajo el paradigma positivista.

Según Dobles, Zúñiga y García (1996), algunas de las características del paradigma positivista pueden resumirse en: el sujeto descubre el conocimiento. El sujeto tiene acceso a la realidad mediante los sentidos, la razón y los instrumentos que en ello utilice. El conocimiento válido es el científico. Hay una realidad accesible mediante la experiencia. La realidad es una correspondencia entre lo que el hombre conoce y la realidad que descubre (Dobles, Zúñiga & García, citado por Barrantes, 2009).

Como se puede observar, las características mencionadas son un buen reflejo de cómo se debe manejar la elaboración de este proyecto. Asimismo, vale la pena citar a Barrantes (2009), quien indica que “el interés del positivismo es el explicar, controlar y predecir; además, busca la relación causa y efecto, siendo orientado a la verificación, la confirmación, el reduccionismo; dándole gran énfasis al análisis de los resultados” (p. 60).

### **3.1.1 Enfoque.**

Este proyecto se realiza bajo un enfoque mixto, por ser cualitativo y cuantitativo. Se definen cualidades importantes de la empresa y su quehacer, así como de las necesidades, para enmarcarlas en la eficacia y eficiencia de la producción.

La investigación es cuantitativa en su mayoría, ya que, como menciona Barrantes (2009), el enfoque cuantitativo se ve desde dos perspectivas: la primera es la confiabilidad externa, ya que otros investigadores utilizando los mismos instrumentos pueden observar los mismos resultados, además de que se usan definiciones precisas y operacionales por medio de indicadores específicos. La segunda perspectiva es que la investigación cuantitativa logra una validez interna alta, utilizando medidas adecuadas y precisas e identificando indicadores, además, justificando su resultado con el concepto que se desea medir.

Asimismo, Barrantes (2009) menciona que la investigación cuantitativa pone una concepción global positivista, hipotética- deductiva, objetiva, particularista y orientada a los resultados, como lo es la presente investigación. Por otra parte, también menciona que se desarrolla más directamente en la tarea de verificar y

comprobar teorías por medio de estudios muestrales representativos, en donde el investigador es un elemento externo al objeto que se investiga (Barrantes, 2009).

También se caracteriza la investigación por un componente experimental, ya que se crea un dispositivo en el cual se controlan variables, para así llegar a distinguir cuáles son las condiciones y valores de las variables más aptas para los resultados deseados.

En el proyecto también se emplea un enfoque descriptivo, ya que, como menciona Morales: El objetivo de la investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento. (2015)

### **3.1.2 Dimensión temporal.**

Este proyecto está concebido para su implementación en la planta procesadora de cítricos Santa Fe, por este motivo, se realizará el proyecto y puesta en marcha del prototipo bajo una dimensión temporal transversal. Ya que es una investigación donde se recopilan datos en un periodo dado (Hernández, Fernández & Baptista, 2010), esto durante el primer semestre del año 2017.

### **3.1.3 Marco Mega-Macro-Micro.**

Para este sistema por desarrollar, se visualiza su expansión comercial iniciando a nivel micro, con su implementación en la comercializadora de cítricos Santa Fe; para, posteriormente, poder ser ampliado a otras empresas que se dediquen a la misma actividad.

## **3.2 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.2.1 Metodología para la propuesta de mejora.**

El sistema por desarrollar en esta investigación favorecerá a los comerciantes de cítricos, mediante el mejoramiento de la eficacia a la hora de seleccionar el producto que distribuyen a nivel nacional. Con el fin de completar satisfactoriamente esta tarea, se identifican las principales etapas que conforman el prototipo, una vez haya sido terminado. A continuación, se definirán las etapas.

La primera de ellas corresponde al circuito físico constituido por los componentes que serán dispuestos de una manera muy específica, para que el conjunto que forman ejecute la funcionalidad que se requiere.

La segunda etapa se tratará del desarrollo del sistema encargado de desplazar los cítricos hasta el lugar de clasificación, para lo cual se trabaja en el desarrollo de una banda con su respectivo motor y engranaje, el cual trasladará el producto a procesar.

La tercera etapa se encargará de desarrollar la interfaz con la cual el encargado de la banda se ocupará de poner en marcha la banda clasificadora, para

lo cual se contará con una pantalla táctil, esta deberá ser programada para poder dar inicio al proceso.

Para la cuarta etapa, se procederá a la instalación de la celda de carga y las escobillas de selección sobre la banda transportadora, las cuales serán controladas por el microcontrolador.

Para la quinta, etapa se desarrollará toda la programación, mediante la cual el microcontrolador se encargará de procesar los datos recibidos desde la celda de carga, para accionar las escobillas que desviarán el producto a su respectiva ubicación.

Por último, la sexta etapa, para la cual el prototipo ya estaría finalizado, constará de hacer pruebas de todas las funcionalidades del mismo, por parte del administrador de la planta procesadora de cítricos Santa Fe. Durante esta etapa, se dará principal importancia a las observaciones o sugerencias dadas por el administrador de la planta, para su posterior incorporación al prototipo implementado.

### **3.2.2 Metodología para la implementación del proyecto.**

Lo principal en la implementación del proyecto es el *software* que llevará el sistema, se enfatiza que el mismo será el encargado de interpretar todas las señales que se den en el entorno en el cual se encuentra el sistema, tales como las señales recibidas de los sensores en el prototipo de la banda, así como la interacción que se dé con el usuario por medio de la pantalla. Debido a lo mencionado anteriormente, se define que esta es la etapa más importante del sistema, ya que

se encarga de darle inteligencia a los circuitos que por sí mismos no la tienen y permitir que la labor se realice de una manera eficiente.

La interfaz de usuario por desarrollar permitirá que el prototipo tenga una gran simplicidad para el operario y desde la cual en futuras mejoras o adaptaciones se tenga la capacidad de seleccionar más de un cítrico para clasificar. De igual forma, se espera que una vez finalizada la rutina en cuestión, se tenga la opción de observar los datos de las frutas procesadas, como su tamaño y cantidad, ya que estos datos servirán de ayuda para visualizar de una mejor manera la información recolectada durante el proceso.

### **3.2.3 Metodología de control.**

Según (Calvo-Manzano, García & Arcilla, 2008): “Los procesos básicos de la gestión de proyectos (planificación, seguimiento y control) se encargan de las actividades relativas al establecimiento y mantenimiento del plan del proyecto, establecimiento y mantenimiento de compromisos, seguimiento del progreso frente al plan y toma de acciones correctivas” (p.87).

Este proceso incluye elementos que indiquen que cada una de las etapas esté entregando en su salida lo que se definió al inicio de esta, por ejemplo: que la banda suministre de manera correcta los cítricos a la etapa de clasificación. También que el prototipo realice la función específica que el administrador seleccione, mediante la interfaz gráfica del mismo.

Para esta sección se utilizará la herramienta *Control* de la metodología DMAIC, la cual consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para

asegurar que lo conseguido mediante el prototipo se mantenga, una vez que se hayan implantado los cambios, cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada.

En esta sección, se le dará seguimiento al prototipo mediante la recolección de los datos suministrados después de la implementación del mismo, estos datos serán de vital importancia para verificar que el prototipo esté funcionando de la manera correcta, la cual se determinó en la planeación de las etapas.

## **CAPÍTULO IV**

### **DIAGNÓSTICO**

## 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El avance de la tecnología en el mundo ha llegado a todas las industrias, siendo la agricultura una de las grandes beneficiadas, con múltiples dispositivos electrónicos diseñados para el mejoramiento de procesos o para mejorar la planificación a la hora de la siembra.

Algunos ejemplos pueden ser los tractores usados en la zona norte del país, los cuales cuentan con tecnología GPS para un mejor aprovechamiento de la superficie de siembra. También se pueden mencionar los regadíos automáticos que se dan en la empresa TicoFrut, para controlar o adelantar la fecha de producción de las naranjas y con esto haya una producción constante a lo largo del año.

Mientras tanto, en la zona de Acosta que es en específico donde se va a desarrollar el proyecto, la tecnología no ha tomado el auge que han tenido otras zonas agrícolas del país. Para llegar a esta afirmación, se hizo un recorrido por las principales empacadoras y productoras de cítricos del cantón de Acosta y se determinó que en todas las empresas analizadas el sistema de clasificación del producto es el mismo.

Este sistema es el sistema manual, el cual consiste en recibir el producto fresco de la finca y colocarlo en una lavadora de naranjas que se encarga de eliminar la suciedad del producto tras su traslado en la finca y posteriormente, se coloca en una tarima de madera para que los operarios se encarguen de distribuirlo a las respectivas cajas con su debido tamaño. De esta manera, ya el producto queda listo para su posterior comercialización.

## 4.2 RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

Los datos se obtuvieron mediante la realización de una entrevista semiestructurada a las personas óptimas, que son las encargadas de vivir ese proceso durante todo el año. Parte de los entrevistados fueron el ingeniero agrónomo Joseph Monge Fuentes; el propietario de la empresa en la cual se llevará a cabo el proyecto, el señor Eduardo Azofeifa Jiménez. Además de los peones agrícolas, quienes son los encargados directos de llevar a cabo las funciones anteriormente descritas.

El objetivo de estas entrevistas es conocer aspectos técnicos tomados en cuenta al momento de realizar la clasificación del producto por su tamaño, además de saber la opinión que tienen tanto los peones como otras personas asociadas al sector agrícola acosteño acerca de la implementación de la tecnología en la agricultura.

La entrevista consta de preguntas de tipo abiertas y varía un poco dependiendo de la persona entrevistada. A continuación, se mostrarán en total las preguntas realizadas a todos los participantes:

1. ¿Cuál método utiliza para la clasificación de las mandarinas?
2. ¿Considera este método eficiente o cree que se puede mejorar? Explique.
3. ¿Sabe de algún dispositivo para realizar el proceso de clasificación de manera automática?
4. ¿Qué parámetros de medición toma en cuenta para determinar el tamaño idóneo de cada mandarina?

5. ¿Cuál es la cantidad aproximada de mandarinas que procesa un peón agrícola por hora?
6. ¿Cuántas horas semanales se invierten en el proceso de clasificación?
7. ¿Estaría interesado en automatizar el proceso de clasificación en su empresa? ¿Por qué?
8. ¿Cree que esto traería beneficios a la empresa?
9. ¿Considera que la automatización del proceso de clasificación afectará en el puesto que usted desempeña para la compañía?

Después de realizadas las entrevistas, se obtuvieron datos de gran valor para el futuro del proyecto, entre los que se destacan los parámetros utilizados por las compañías para su proceso de selección del producto, además del gran interés mostrado en la implementación de la tecnología para su empresa. También, se determinó que en la zona de Acosta todos los entrevistados utilizan la misma manera de clasificar los cítricos, esta manera es manual.

Los entrevistados consideran que este método es el más eficiente con el que cuentan para realizar el trabajo específico de clasificación, ya que es el método que han utilizado a lo largo de muchos años y que fue heredado de otras personas que se dedicaban a los mismo. Además, por factores económicos o falta de capacitación no se han decidido a buscar otras alternativas, como puede ser implementar la tecnología.

Para la tercera pregunta, todos los entrevistados saben de dispositivos para clasificar productos de manera automática, pero no en el área de los cítricos. Tampoco han tenido la posibilidad de observar una de estas herramientas de cerca.

Por otra parte, la cuarta pregunta es de vital importancia para el desarrollo del prototipo, ya que en esta se lograron evacuar las dudas al respecto sobre cómo se determina el tamaño de las mandarinas a la hora de su respectiva selección.

Después de hablar con el ingeniero agrónomo Joseph Monge Fuentes, el cual trabaja para una de las compañías más grandes de Costa Rica en producción de cítricos como lo es TicoFrut, la cual, según datos suministrados por él, cuenta con 1351 hectáreas de terreno sembradas en cítricos; además, después de hablar con los dueños de emparadoras y productoras de cítricos del cantón de Acosta, se determinó que hay una gran diferencia en cómo se manejan los cítricos después de la recolección.

En primer lugar, en la compañía TicoFrut, el método de recolección que se utiliza es con una herramienta que cuenta con un orificio, el cual tiene un diámetro de 60 milímetros. Mediante este instrumento, se determina cuáles naranjas son las que se deben recolectar del árbol, esto quiere decir que la compañía por su forma de trabajar solo tiene una medida de calibración, por ende, todos los frutos con un diámetro mayor a 60 milímetros son aptos para procesar.

Esto se debe a que la compañía, del total de naranjas, el 98 % lo exporta en forma de concentrado de jugo y solamente el 2 % lo venden como fruta fresca a compañías más pequeñas, las cuales se encargan de realizar una clasificación más detallada en otros diámetros de tamaño, ya que las ganancias de estas compañías más pequeñas se basan en la venta de estos otros tamaños de naranja a nivel nacional, tanto en las ferias del agricultor como en súper mercados.

Las compañías del sector de Acosta son de este segundo tipo, más pequeñas y se encargan de producir fruta y clasificarla para distribuirla a nivel nacional.

Al hacer esta entrevista, se determinó que para las pruebas en prototipo solamente se iban a considerar las mandarinas, ya que para la fecha en que se realizarán las pruebas, la comercializadora de cítricos Santa Fe tendrá mayor materia prima para escoger. Esto se da debido a que, en el sector de Acosta, es cuando comienza la cosecha de mandarinas, mientras que los demás cítricos se están preparando para una próxima floración del árbol.

Un detalle muy importante para la realización del proyecto es saber cómo determinan las compañías más pequeñas el tamaño y las categorías en las que hacen la clasificación. Con las respuestas dadas por los entrevistados, se pudo saber que tienen cuatro medidas distintas de clasificación, las que se verán mejor detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Categorías de clasificación

Tamaño	Diámetro(mm)
A	Superior a 70
B	Entre 55-69
C	Entre 40-55
D	Menor a 40

Fuente: elaboración propia.

Después de haber obtenido este dato, se consultó sobre un aproximado de mandarinas procesadas por hora, el resultado fue similar en todos los entrevistados y un peón agrícola con experiencia clasifica alrededor de 800 naranjas por hora.

Otra situación importante era saber el interés de implementar la tecnología para automatizar el proceso. Todos los entrevistados se mostraron interesados en la posibilidad de tener en su compañía un sistema automático que realice la clasificación de las mandarinas y de esta manera, obtener algunos beneficios, entre los cuales ellos mismos destacan poder utilizar el trabajo del peón agrícola en otras actividades de vital importancia para el óptimo desarrollo de la finca. Por último, se consultó a los peones agrícolas si consideran que tendrían alguna afectación negativa por la automatización del proceso y la mayoría consideró que no tendría afectación, ya que se aprovecharía su trabajo en alguna otra función de la empresa.

En síntesis, después de haber hablado con personas cercanas al proceso de clasificación de cítricos, se logró corroborar la viabilidad que tiene el presente proyecto, ya que entre las pequeñas compañías existe un alto interés por automatizar sus procesos. Mientras que en las grandes compañías el proceso es distinto y no requiere de estos dispositivos.

Posiblemente, por esta razón no existe en el mercado costarricense este tipo de dispositivos para ayudar el trabajo del agricultor nacional, ya que las empresas con mayor capacidad económica no están interesadas en invertir en el desarrollo de estos dispositivos, ya que no los requieren. Mientras que las compañías más pequeñas sí están interesadas, pero hasta ahora se están animando a ir introduciendo la tecnología en sus trabajos diarios.

### 4.3 DIAGNÓSTICO

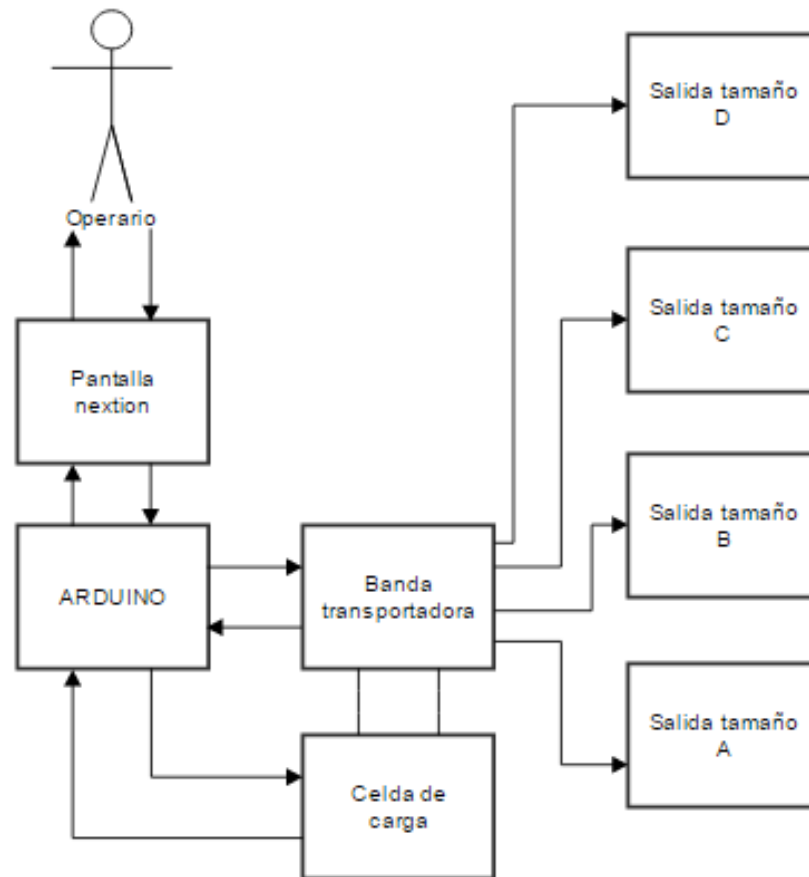
Luego de realizar la entrevista y analizar los demás datos recolectados, se pudo reiterar y asegurar la necesidad que hay de crear un sistema para suplir estas carencias. Además de lo difícil que es en la actualidad conseguir o tener acceso a estas tecnologías. Finalmente, se realizan las siguientes actividades para terminar el diagnóstico:

1. Determinar las variables de entrada o independientes que rigen al problema, situación por mejorar u intereses de la organización, clientes, entre otros.
2. Aplicar el sistema de medición y sus herramientas que identifican y caracterizan el problema.
3. Sistematizar, procesar y analizar los datos, resultado de aplicar la medición.
4. Establecer la línea base de los hitos cuantificables del proyecto por gestionarse.
5. Identificar las brechas cuantificables entre los datos que caracterizan la situación o desempeño actual y el deseable.
6. Enlistar y priorizar las causas potenciales del problema.
7. Determinar la causa raíz del problema identificado.
8. Establecer la base orientadora de la solución del problema con el respaldo de los datos e información procesada en el diagnóstico.

A modo de conclusión, se presentan dos diagramas de bloques, en los cuales se ven representadas las partes del proyecto, tanto del punto de vista electrónico

como también del punto de vista físico del proyecto, con sus diferentes elementos. Esto con el fin de entender cómo se da la interacción entre cada uno de ellos.

Figura 12. Diagrama de bloques de la parte física del prototipo



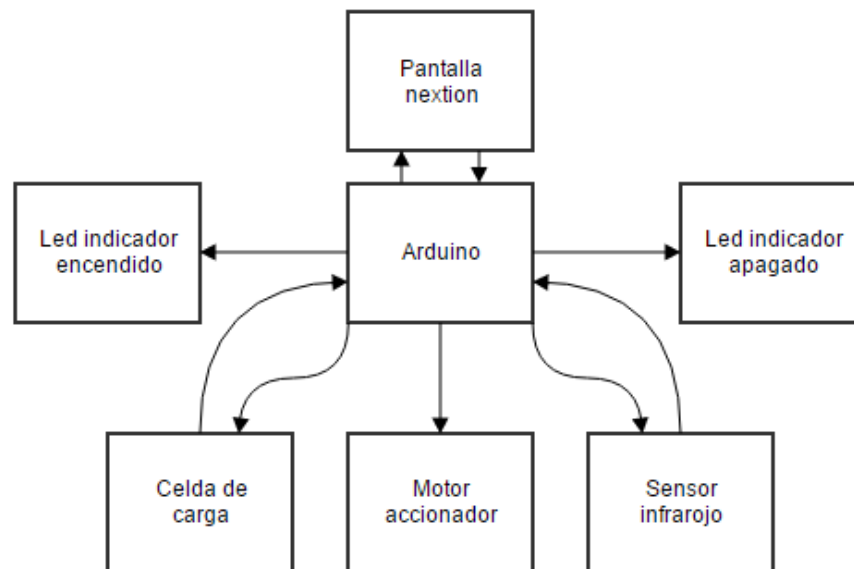
Fuente: elaboración propia.

El funcionamiento de este sistema se basa en la utilización del microcontrolador Arduino, que es el que se encargará de tomar las decisiones. Una

vez que el operador haya introducido, mediante la pantalla táctil, los parámetros necesarios para inicio del proceso de clasificación.

La banda transportadora iniciará su funcionamiento después de que el operador active el interruptor de arranque del motor. Una vez que el operador dé las indicaciones para iniciar el proceso en la pantalla táctil, la celda de carga estará activa esperando que las mandarinas comiencen a llegar para censar su peso y enviar los datos al microcontrolador, con el fin de que este accione las respectivas salidas del proceso.

Figura 13. Diagrama de bloques de la parte electrónica del prototipo



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13, se puede observar más detalladamente la vital importancia del microcontrolador Arduino, para la correcta comunicación de los distintos elementos electrónicos del sistema.

Cuando el operador inicie el proceso de clasificación, la celda de carga iniciará la comunicación con el Arduino y le enviará los datos de las mandarinas que van pasando por la banda transportadora. Al mismo tiempo, el microcontrolador activará los distintos motores accionadores que desviarán las mandarinas a sus respectivos depósitos.

Al mismo tiempo, cada vez que se active una salida del dispositivo, se contará la cantidad de cítricos clasificados de su respectiva categoría, para con esto tener el dato exacto de cuántas naranjas de cada tamaño se procesaron.

## **CAPÍTULO V**

### **DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA**

A partir de la teoría y la información documentada en los capítulos anteriores, seguidamente, se presenta una explicación de cómo el prototipo del proyecto es diseñado y construido en cada una de sus etapas. Así como las razones que determinaron la elección de sus componentes.

De esta manera, el capítulo detalla el método de construcción y funcionamiento de cada parte, no solo a nivel funcional, sino también a nivel electrónico, donde se conoce cada herramienta y el papel que desempeña dentro del sistema expuesto.

Una vez expuestos tanto los detalles sobre el *hardware* como el *software*, se analiza el prototipo como un todo, viendo la interacción entre todas las partes. Luego de describir brevemente el sistema a nivel físico, se realizan ciertas pruebas de funcionamiento para corroborar si la funcionalidad para la cual se diseñó se cumple adecuadamente.

Una vez concluida esta sección, se presenta el manual de usuario, el cual contiene todos los aspectos por tomar en cuenta para que la persona que manipule el sistema lo haga de la mejor manera y pueda sacarle el máximo provecho al mismo. Finalmente, se tiene el análisis del costo-beneficio de la propuesta, en el cual se va a determinar si la implementación del sistema es factible desde un punto de vista económico.

El prototipo de la banda transportadora consta de tres etapas, que a su vez están conformadas por distintos componentes. A continuación, se nombran dichas etapas:

1. Diseño y construcción del prototipo
2. Etapa de potencia
3. Etapa de control

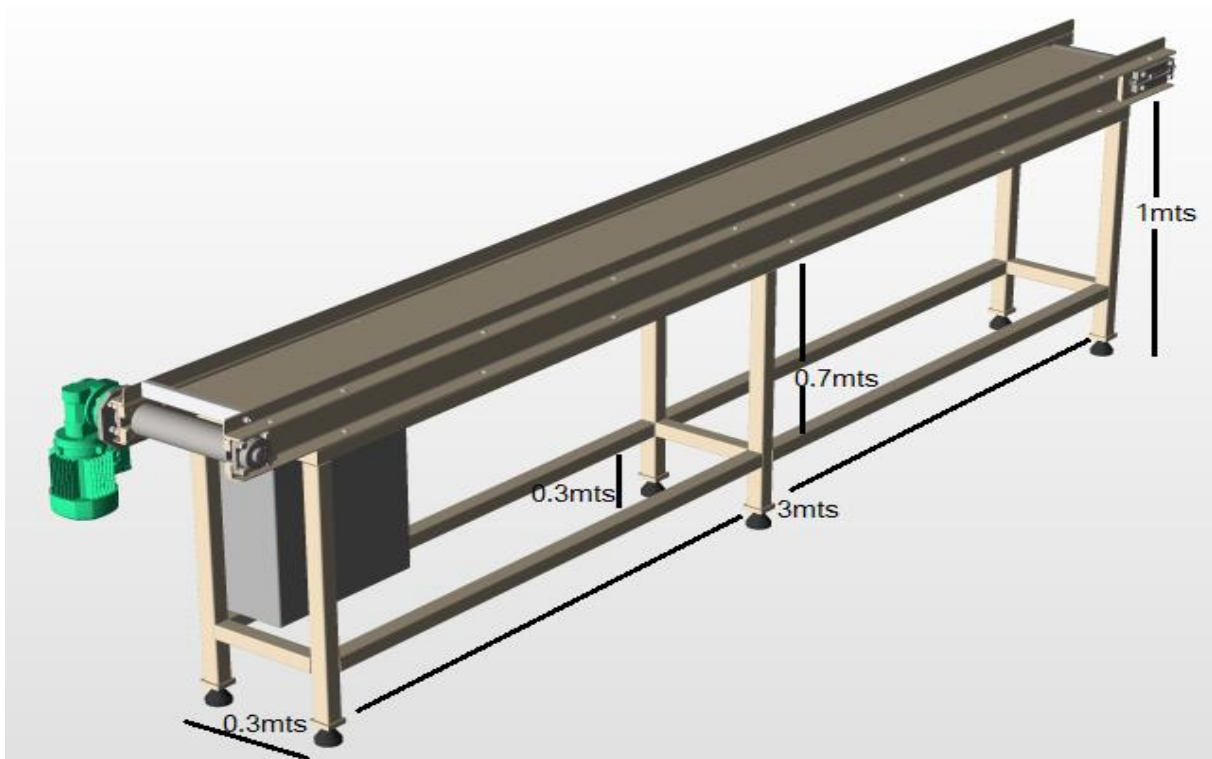
## **5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

### **5.1.1 Diseño del prototipo.**

Para la construcción del prototipo, fue necesaria la realización de un diseño, con el fin de tener una guía durante el armado del mismo y así tener una idea básica de lo que se quería obtener como resultado. Para realizar el diseño, fue necesaria la obtención del *software* de diseño asistido por computadora Solidworks, el cual fue una herramienta de gran ayuda para conseguir el bosquejo básico del dispositivo por construir.

Durante la construcción del prototipo, se agregaron algunos elementos que no se observan en el diseño hecho por computadora, ya que el diseño original fue para ayuda durante la construcción de la estructura metálica y no así para la colocación de los elementos encargados de la clasificación.

Figura 14. Plano de la estructura metálica



Fuente: elaboración propia.

### 5.1.2 Construcción del prototipo.

Para la realización del prototipo, fue necesaria la construcción de una estructura metálica, utilizando tubo metálico de una por dos pulgadas. La estructura mide tres metros y 70 centímetros de largo, además, posee un metro de altura y 35 centímetros de ancho, la soldadura utilizada es de tipo comercial.

Las razones para utilizar estas medidas serán explicadas a continuación:

- Para determinar el largo del prototipo, se tomó en consideración el tamaño de las cajas plásticas por utilizar para el almacenamiento de los cítricos una vez clasificados. Estas cajas miden 50 centímetros de largo y al costado de

la banda se encuentran tres salidas de cítricos, por lo que en total para las tres cajas juntas se necesita mínimo de un metro y 50 centímetros, esto sumado a la distancia que hay entre sensores de peso daba un total de dos metros y 90 centímetros.

Adicional a esto, el prototipo cuenta con una bandeja para colocar los cítricos por clasificar, la cual tiene la capacidad de una caja de plástico pequeña utilizada en la planta para almacenar cítricos. La misma le suma 50 centímetros al largo del prototipo y por último, cuenta con una cuarta salida que le adiciona 30 centímetros, para un total de tres metros y 70 centímetros. En la figura 15, se observa el tipo de caja utilizada para realizar las mediciones.

Figura 15. Caja plástica



Fuente: elaboración propia.

- Para determinar la altura, se realizaron pruebas con tres empleados de la planta, los cuales son los que están más en el proceso de clasificación y

serían los encargados de manejar el prototipo una vez finalizado. Estas pruebas se hicieron con la finalidad de obtener el dato de a qué altura se sentían ellos más cómodos al momento de posicionar los cítricos sobre la banda transportadora y la altura promedio en la que se sintieron mejor fue de un metro.

- El ancho del prototipo se calculó tomando en cuenta el cítrico de mayor tamaño que tiene que pasar sobre la banda, el cual es la mandarina y el diámetro máximo promedio de la mandarina que es alrededor de 12 centímetros.

El prototipo constará de dos bandas del mismo tamaño, lo que sumado da alrededor de 24 centímetros de ancho. Sumados a los seis centímetros de ancho de ambos tubos de la estructura da una sumatoria total de 30 centímetros.

Figura16. Elaboración de prototipo



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Elaboración de prototipo



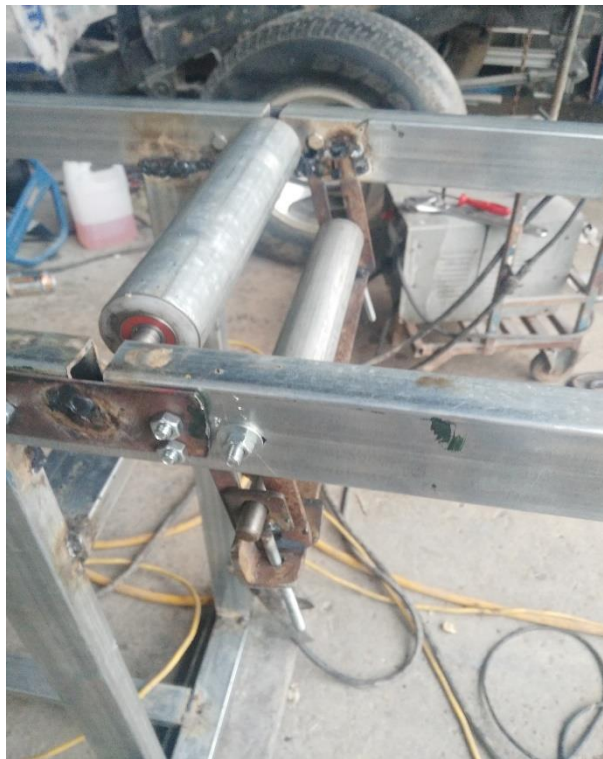
Fuente: elaboración propia.

### **5.1.2.1 Proceso de armado de las partes.**

Una vez finalizada la construcción de la estructura metálica, se procedió a la fabricación e instalación de diferentes partes para el buen funcionamiento del prototipo.

En primer lugar, se fabricaron tres rodillos que se encargarían de ayudar al desplazamiento de la banda sobre ellos. Para su construcción, fue necesario contratar los servicios de un torno mecánico, con el fin de que, con los datos especificados, realizara la parte correctamente. En este punto se utilizó tubo metálico redondo de dos pulgadas de diámetro, a los que se le colocaron roles para un movimiento más suave.

Figura 18. Elaboración del prototipo



Fuente: elaboración propia.

Adicional a esto, se solicitó la construcción de una polea de aluminio para transmitir la fuerza del motor a la banda, la medida de la polea es alrededor de 12 centímetros, esto con la finalidad de reducir la velocidad del motor y aumentar la fuerza.

Figura 19. Elaboración de prototipo



Fuente: elaboración propia.

Posterior a la instalación de los rodillos y la polea, fue necesario ubicar el punto idóneo donde colocar los sensores de peso. Para esto se realizó un tipo de mesa sobre la estructura por la que pasara la banda, dejando unos orificios de 12 centímetros de ancho por 12 centímetros de largo.

El criterio utilizado para esta elección de medida fue elegido tomando en cuenta el cítrico de mayor tamaño que tiene que pasar sobre la banda, el cual es la mandarina y el diámetro máximo promedio de la mandarina que es alrededor de 12 centímetros.

Figura 20. Elaboración de prototipo



Fuente: elaboración propia.

Se continuó la construcción del prototipo con la instalación de los sensores de peso y la división de las bandas donde pasarán los cítricos. Para esta etapa, es necesario saber que el prototipo construido tendrá solo uno de los lados finalizado para las respectivas pruebas y con el alcance de que, de ser positivas las pruebas, se podrá habilitar la segunda línea para duplicar la velocidad de clasificación del dispositivo.

Figura 21. Elaboración de prototipo



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Elaboración de prototipo



Fuente: elaboración propia.

Para finalizar la etapa de diseño y construcción del prototipo, se necesitó abrir las salidas por donde los cítricos se desviarán a sus respectivas cajas de almacenamiento. El prototipo contará con tres salidas a un costado y una cuarta salida al final del dispositivo.

Figura 23. Elaboración del prototipo



Fuente: elaboración propia.

Se implementaron cuatro salidas porque, según los datos suministrados por la empresa comercializadora de cítricos, estos se clasifican en cuatro categorías para su posterior comercialización. Cada salida del costado del dispositivo cuenta con un servo motor que será el encargado de desviar las frutas mientras van trasladándose sobre la banda.

Figura 24. Elaboración del prototipo



Fuente: elaboración propia.

La banda clasificadora cuenta con una pantalla táctil para seleccionar el cítrico por clasificar. Para la etapa de pruebas van a ser mandarinas, por las razones mencionadas en el marco teórico.

Esta pantalla está junto a dos interruptores que serán los que darán inicio al dispositivo. Uno será encargado de suministrar la energía para habilitar la pantalla y el otro se encargará de habilitar el motor para que la banda se comience a desplazar y así poder iniciar el proceso de clasificación.

Figura 25. Elaboración del prototipo



Fuente: elaboración propia.

Para que la construcción del prototipo esté protegida de ambientes externos como la humedad, se decidió aplicar dos capas de pintura sobre toda la estructura, con el fin de evitar problemas de corrosión y demás problemas que puedan surgir con el tiempo de uso.

Las pinturas utilizadas para esta etapa fueron primero una capa del producto *wash primer*, que es un acondicionador de superficies metálicas, el cual produce una capa donde se adhieren bien las bases anticorrosivas. Y, por último, una capa de pintura anticorrosiva para una larga duración de la estructura metálica.

Figura 26. Elaboración del prototipo



Fuente: elaboración propia.

## 5.2 ETAPA DE POTENCIA

### 5.2.1 *Hardware.*

Para la realización de esta etapa, se procedió primeramente a adquirir el motor que se utilizaría en la banda de clasificación. Debido a un factor económico, la comercializadora de cítricos Santa Fe solicitó si era posible reutilizar el motor dc de una caminadora eléctrica que la empresa tenía en desuso. Después de una revisión, se determinó que era factible la utilización del motor que estaba en la caminadora por las siguientes razones:

1. El motor eléctrico, a pesar de estar en desuso, está en buenas condiciones físicas y de funcionamiento.
2. Es un motor en corriente directa, lo que es beneficioso, ya que permite el manejo de la velocidad mediante el controlador Arduino y la señal PWM.
3. El motor posee una potencia de un caballo de fuerza, suficiente para la actividad para la cual será requerido.

Figura 27. Motor dc 90V-110V

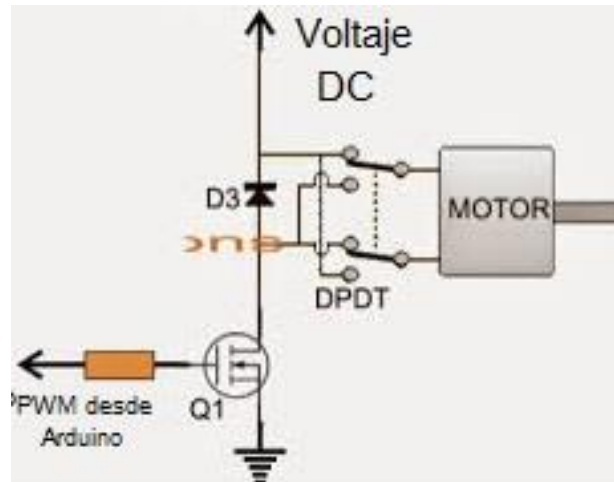


Fuente: elaboración propia.

En la figura 27, se muestra el motor suministrado por la empresa para la puesta en funcionamiento del prototipo, el cual es un motor dc de 90 a 110V dc, con una potencia de 1.0 HP y una corriente máxima de 6 A.

Para la utilización de este motor, fue necesaria la construcción de una tarjeta electrónica que permitiera el encendido del mismo, además de controlar la velocidad de este, mediante la utilización del PWM proveniente del Arduino uno utilizado para la etapa de potencia.

Figura 28. Diagrama de conexión del motor



Fuente: elaboración propia.

En la figura 28, se puede observar el diagrama básico de la conexión del motor, como se ve claramente, se utiliza un MOSFET para controlar la activación del mismo. El MOSFET recibe la señal PWM proveniente desde el Arduino y este a su vez, se encarga de activar el sistema, además se aprecia la conexión del positivo del motor a la fuente de alimentación.

A continuación, se explicará detalladamente la construcción de los elementos necesarios para que la etapa de potencia se desarrollara de manera correcta.

### **5.2.1.1 Tarjeta electrónica control de motor.**

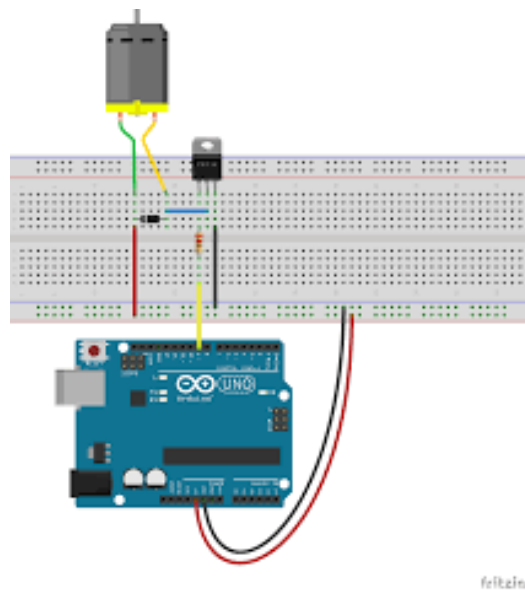
Para poder utilizar el motor de una correcta manera, fue necesaria la construcción de una tarjeta electrónica, la cual será la encargada de poner en funcionamiento el motor. Además de regular la velocidad, con el fin de que la etapa de control tenga el tiempo necesario para poder recibir los datos y su posterior procesamiento.

La tarjeta consta de diversos componentes electrónicos y enseguida se van a observar los diagramas y ciertas características de los elementos que tienen más relevancia dentro del circuito.

### **5.2.1.2 Transistor de potencia MOSFET (irfp260).**

Las características de alta velocidad a las que operan los MOSFET, los convierten en un elemento útil a la hora de funcionar como interruptor de altas cargas, como lo es un motor.

Figura 29. Diagrama físico MOSFET



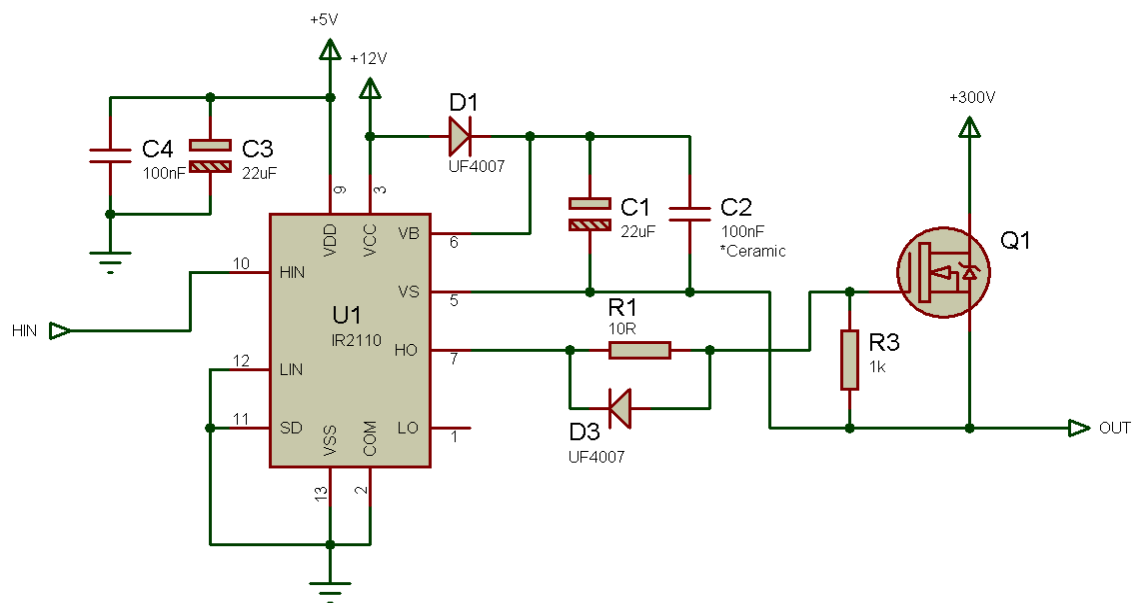
Fuente: elaboración propia.

### 5.2.1.3 Driver para MOSFET.

Para el adecuado funcionamiento del MOSFET y su respectivo control por parte del Arduino, es necesario contar con un *driver* que se encarga de activar o desactivar el *gate* del transistor, para que entre a trabajar el motor.

El *driver* que se utilizó es el IR 2110, el cual puede suministrar entre 10 y 20 V a la compuerta del transistor. Este es un valor aproximado de lo que necesita el transistor para entrar en conducción y su entrada es compatible con las salidas lógicas de los microcontroladores como el Arduino que ronda los 5 V.

Figura 30. Configuración en baja del *driver* IR2110



Fuente: elaboración propia.

En la figura 30, se puede observar la configuración utilizada en la tarjeta electrónica, la misma está trabajando en el lado de baja potencia que soporta

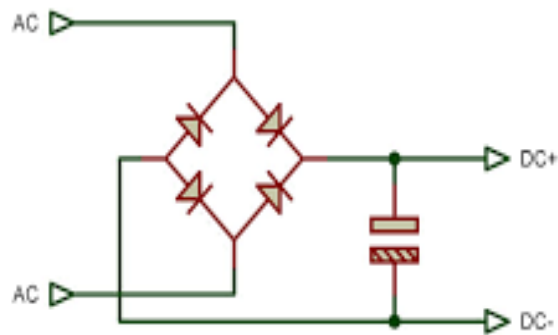
tensiones máximas a la salida del MOSFET de hasta 300 V, suficientes para trabajar con el motor del prototipo que cuenta con tensiones máximas de hasta 150 V.

#### ***5.2.1.4 Rectificación de voltajes.***

Dentro de la construcción de la tarjeta electrónica, fue necesario utilizar dos etapas de rectificación, una para suministrar el voltaje dc necesario para que el motor funcione, la cual ronda los 120 Vdc y la segunda etapa de rectificación necesaria fue para suministrar alrededor de 24 Vdc a un regulador de voltaje modelo 7815, el cual, a su vez, se encargaría de dotar de los 15 Vdc que necesita el driver ir2110 para que pueda funcionar.

Para la primera etapa se utilizó un puente de diodos modelo NTE53006, capaz de entregar hasta 15 Amperes y 200 V de tensión máxima, que a su salida positiva es filtrada por un capacitor de 200 V y 470 Uf, con el fin de obtener una señal dc más limpia. Mientras que en la segunda etapa se trabajó con diodos rectificadores 1N4004, ya que soporta de manera correcta los valores de tensión a los que va a ser expuesto, debido a que la tensión máxima que soporta este componente es de 400 V.

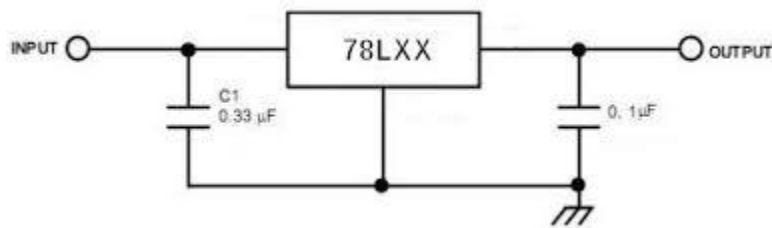
Figura 31. Diagrama de rectificador dc



Fuente: elaboración propia.

En la figura 31 se puede apreciar el diagrama utilizado, para rectificar la tensión necesaria de las etapas mencionadas anteriormente. El diagrama utilizado es el mismo en las dos etapas, con la diferencia de los componentes requeridos para la construcción, ya que los valores de tensión requeridos son distintos en ambas etapas.

Figura 32. Diagrama de regulador de tensión

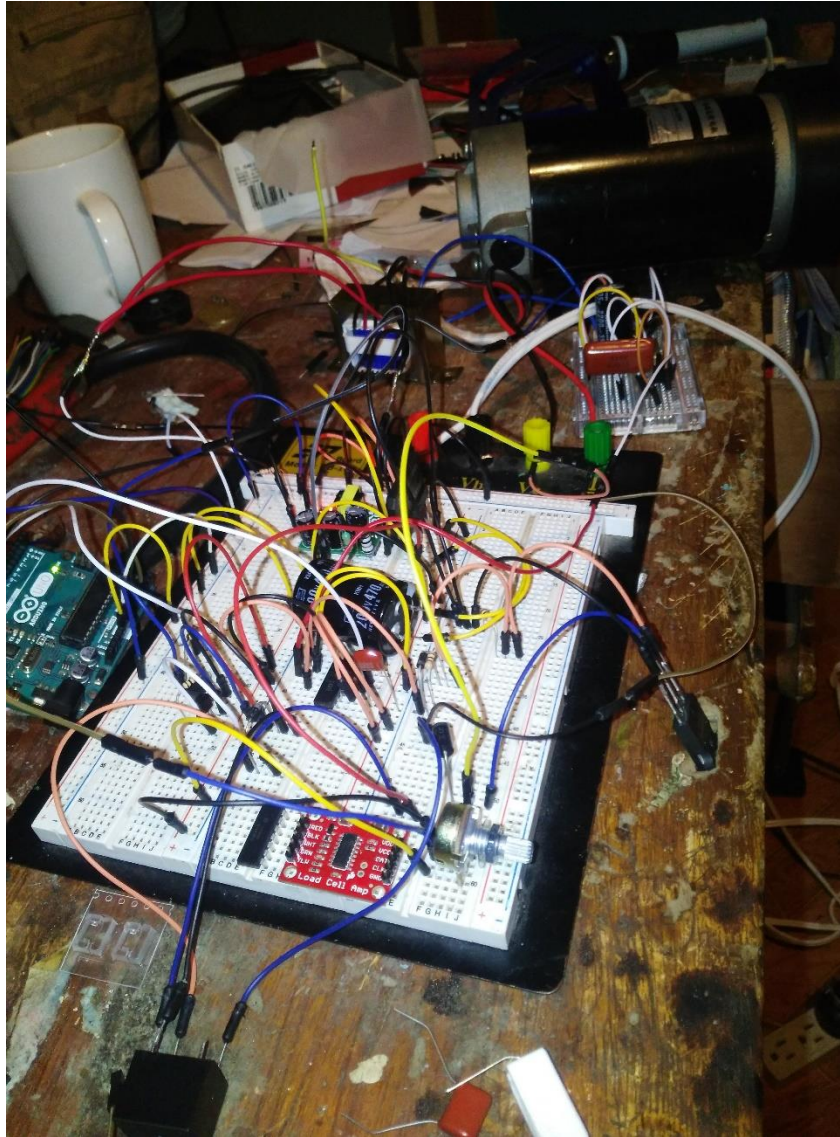


Fuente: elaboración propia.

En la figura 32, se visualiza el diagrama de conexión del regulador de tensión utilizado para suministrar los 15 V de alimentación, necesarios para que el *driver*



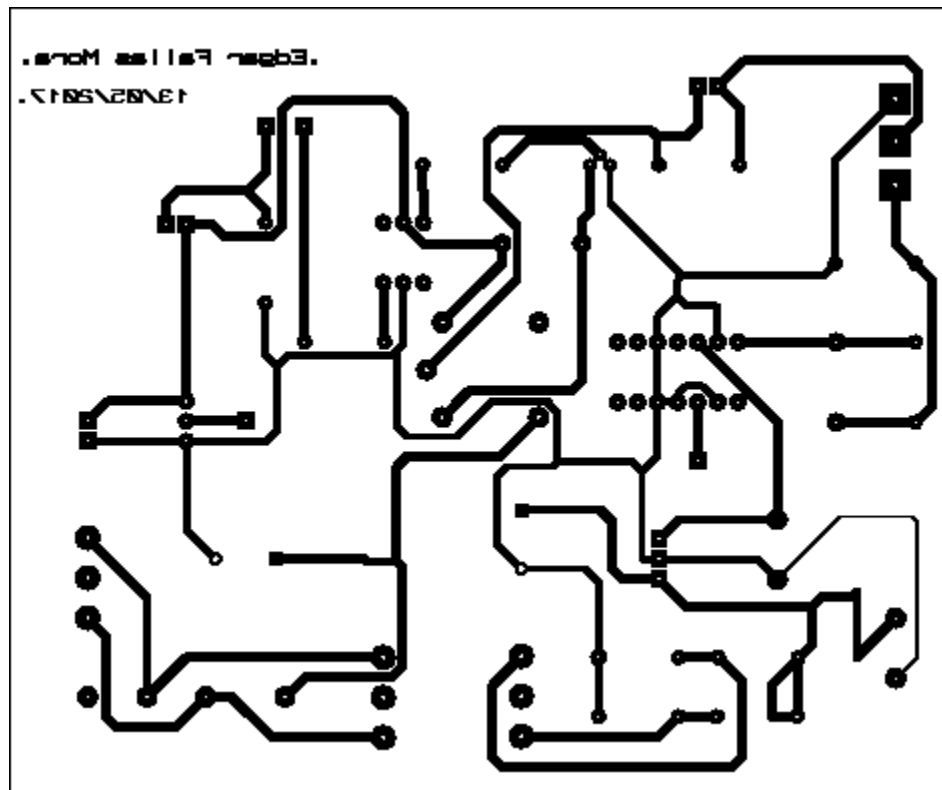
Figura 34. Montaje en *protoboard*



Fuente: elaboración propia.

Una vez realizadas con éxito las pruebas en el *protoboard*, se continuó con el diseño del PCB mediante Proteus.

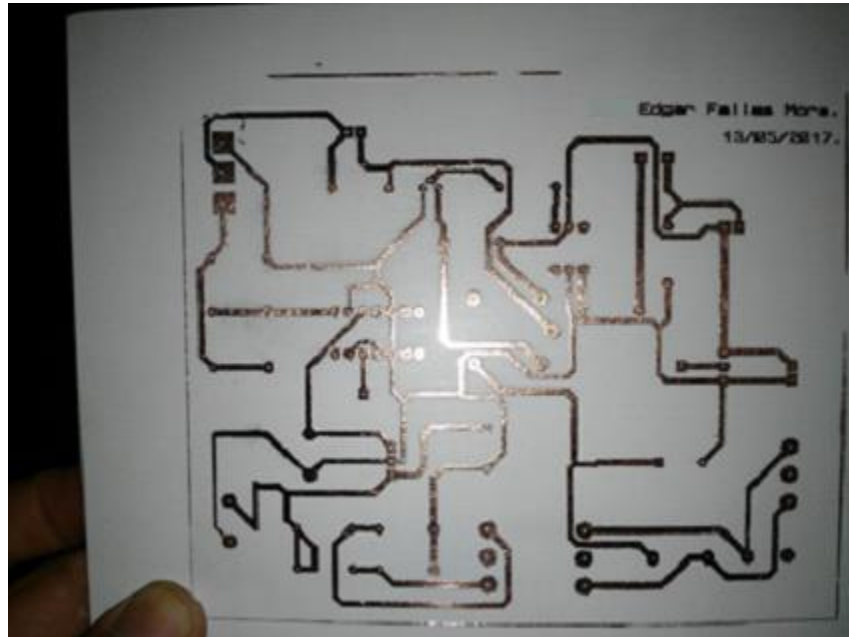
Figura 35. Diseño de PCB



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se trabajó con la impresión del diseño PCB y su montaje en la placa de cobre, para continuar con el proceso de la fabricación del circuito impreso.

Figura 36. Elaboración de PCB



Fuente: elaboración propia.

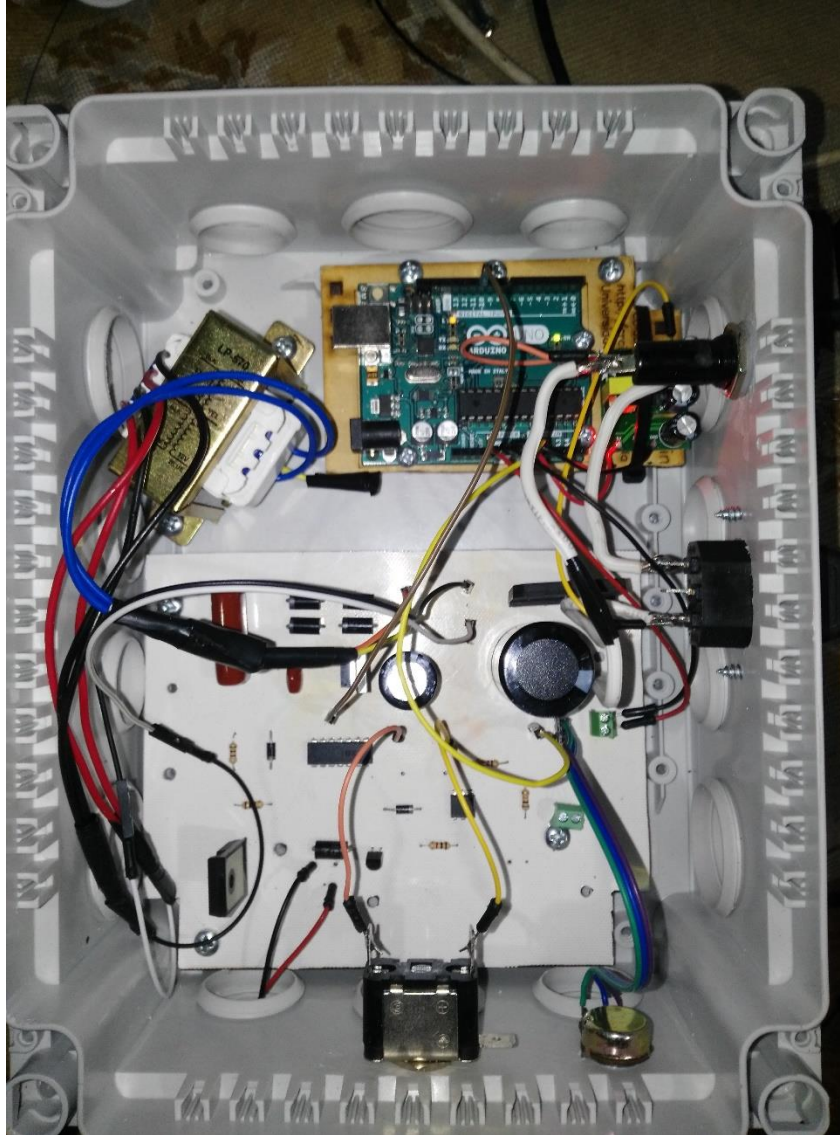
Figura 37. Elaboración de PCB



Fuente: elaboración propia.

Finalizada la tarjeta electrónica, se unió la totalidad de los elementos que componen la etapa de potencia del prototipo.

Figura 38. Etapa de potencia



Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2 Software.

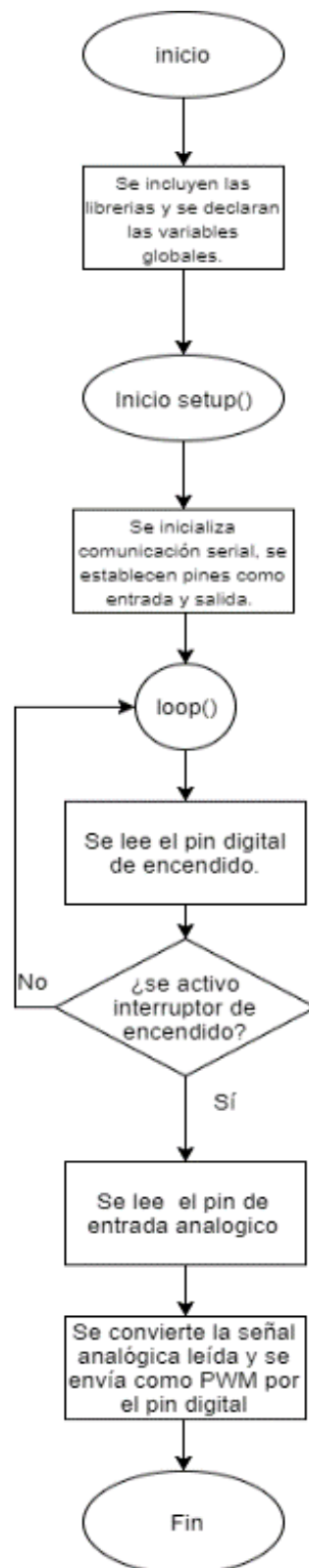
A continuación, serán expuestos los diagramas de flujo que conforman la base de lo que constituye la programación que fue utilizada para lograr que el circuito desempeñe la función para la cual fue creado. En la figura 39, se puede observar un extracto del código utilizado para controlar el encendido y la velocidad del motor utilizado para la etapa de potencia.

Figura 39. Código de potencia

```
control_de_motor$  
  
int inAnalogo=A0;  
int outDigital=10;  
int valorDigital=0;  
int encendido=8;  
int estadoencendido=0;  
int motor=7;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(outDigital,OUTPUT);  
  pinMode(encendido,INPUT);  
  pinMode(motor,OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  estadoencendido=digitalRead(encendido);  
  if (estadoencendido==HIGH)  
  {  
    digitalWrite(motor,HIGH);  
  } else {  
    digitalWrite(motor,LOW);  
  }  
  
  valorDigital=analogRead(inAnalogo);  
  analogWrite(outDigital,valorDigital/4);  
}
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Diagrama de flujo etapa de potencia



Fuente: elaboración propia.

En el diagrama de flujo de la figura 40, se describe cómo el Arduino se encarga de manejar el encendido del motor. Al activarse el interruptor de encendido del motor, el *driver* del MOSFET comienza a recibir la señal PWM desde el Arduino, lo que hace que el transistor entre en conducción y, por ende, el motor comience su trabajo.

El Arduino recibe, mediante la entrada analógica, la señal proveniente del potenciómetro, la cual es convertida para así regular la velocidad a conveniencia, llevándola desde el punto mínimo de velocidad que es el motor detenido, hasta la mayor velocidad que es la capacidad máxima del motor.

### **5.3 ETAPA DE CONTROL**

Una vez finalizadas las etapas de diseño y construcción del prototipo, además de la etapa de potencia, se procedió a seguir con la elaboración de la etapa de control. Esta etapa será la responsable de la clasificación de los cítricos y también se encargará de contar los cítricos de su respectivo tamaño, así como mostrar los resultados en una pantalla táctil.

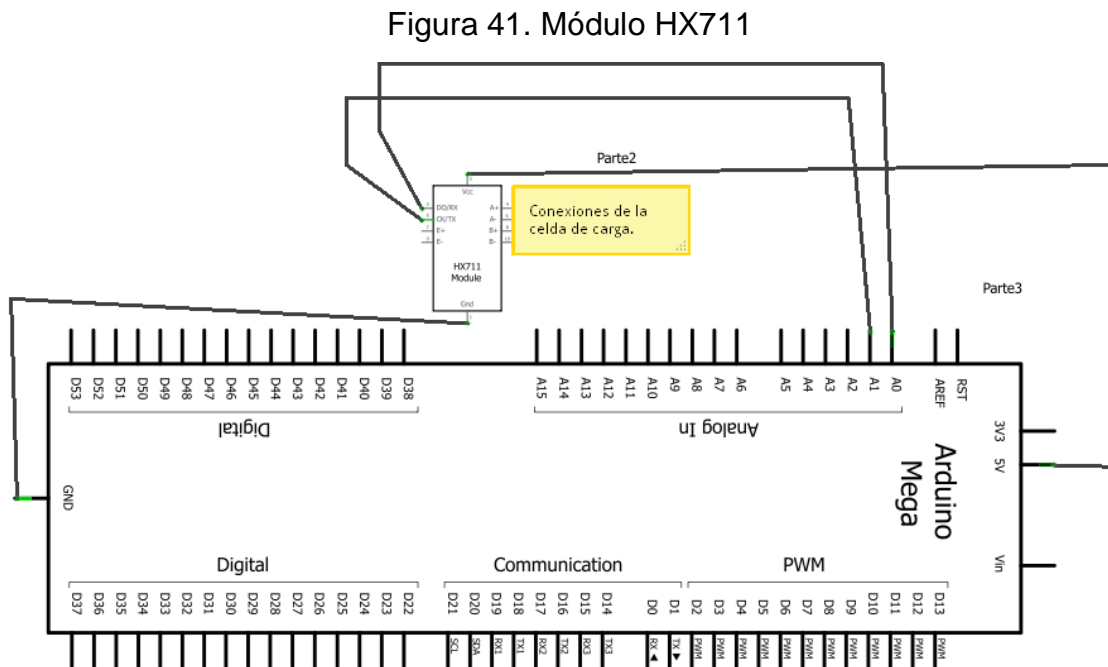
A continuación, se presentan los diagramas de las secciones de todos los elementos del circuito de control del Arduino Mega del prototipo.

### 5.3.1 Hardware.

En esta sección, se observarán los diagramas de conexión y físicos de los elementos del *hardware* del prototipo.

#### 5.3.1.1 HX711.

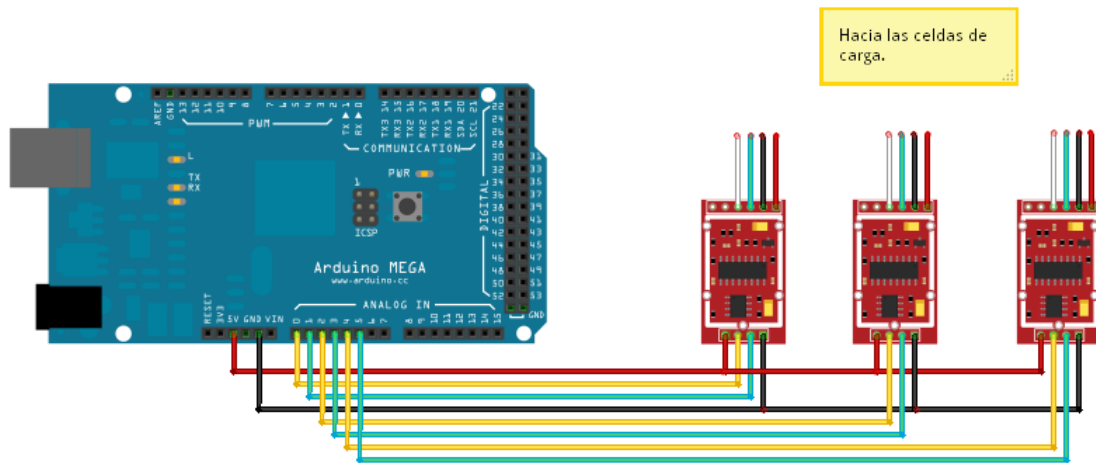
La etapa de control entre sus elementos cuenta con un amplificador de la señal de las celdas de carga, el amplificador por utilizar es el módulo HX711. Este módulo se conecta a las entradas analógicas del Arduino y también obtiene su alimentación del propio Arduino en el pin de 5V.



Fuente: elaboración propia.

Cada celda de carga necesita su respectivo amplificador, es por esto, que en la construcción del dispositivo es necesaria la utilización de tres módulos amplificadores HX711.

Figura 42. Diagrama físico módulo HX711



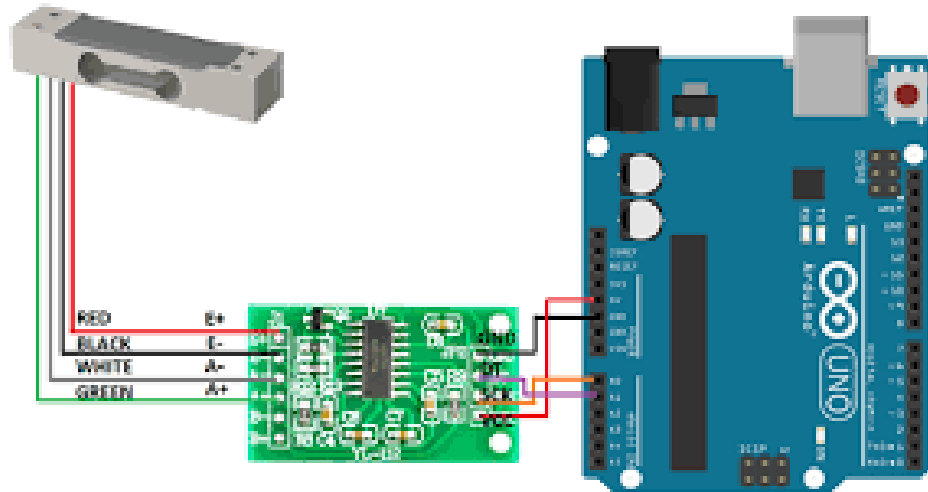
Fuente: elaboración propia.

### 5.3.1.2 Celdas de carga.

Las celdas de carga utilizan una configuración de puente de Wheatstone de cuatro hilos para conectarse al HX711. Estos son comúnmente de color rojo, negro, blanco y verde. Cada color corresponde a la codificación convencional de color de las celdas de carga:

- Rojo (excitación + o VCC)
- Negro (excitación o GND)
- Blanco (Amplificador +, Señal + o Salida +)
- Verde (A-, S- o O-)

Figura 43. Diagrama físico celda de carga



Fuente: elaboración propia.

### 5.3.1.3 Servomotor

Los encargados de mover los cítricos de su recorrido en la banda y desviarlos a su debido recipiente, son los servomotores. Debido a que los servomotores trabajan con un voltaje de 5 V y tienen picos de hasta 750 ma, y el Arduino lo que posee es una capacidad máxima para suministrar corriente de 40 ma en el pin de los 5 V, fue necesaria la utilización de una fuente externa de 5 V y 6 A, permitiendo un correcto funcionamiento de estos elementos.

Figura 44. Fuente externa



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Fuente externa

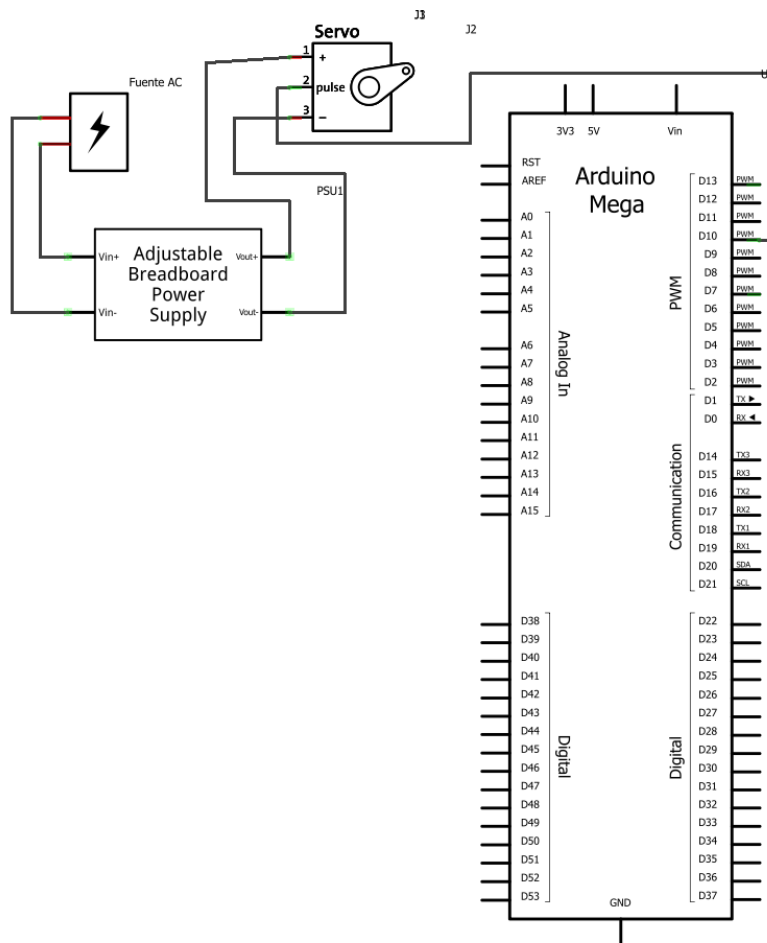


Fuente: elaboración propia.

En la figura 46, se observa la conexión del servomotor al Arduino y a la fuente externa dc.

Como se aprecia, el servomotor cuenta con tres patillas para conectar, la primera es Vcc que va conectada al positivo de la fuente externa, la segunda es GND que va conectada al negativo de la fuente externa y la tercera que es SIGNAL que se conecta al pin del Arduino, que haya sido configurado como salida para controlar el movimiento del servo.

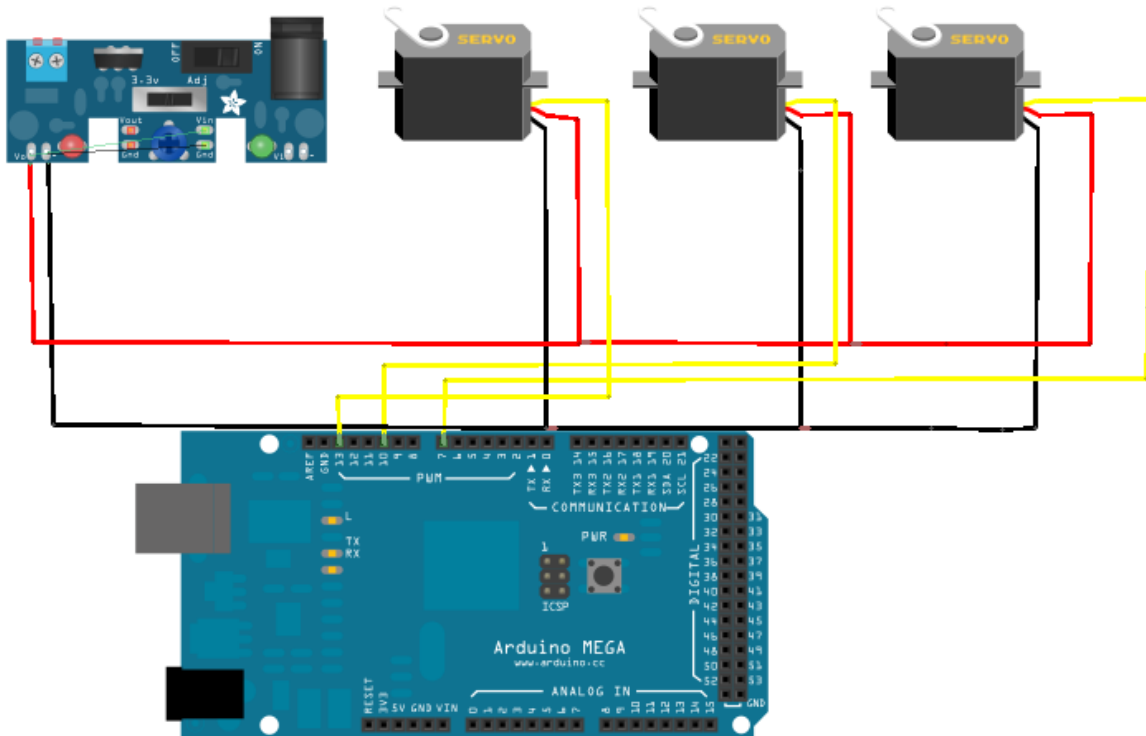
Figura 46. Conexión servomotor



Made with  Fritzing.org

Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Diagrama físico servomotores

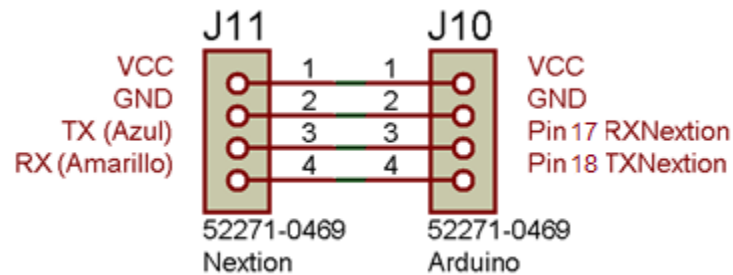


Fuente: elaboración propia.

#### 5.3.1.4 Pantalla Nextion.

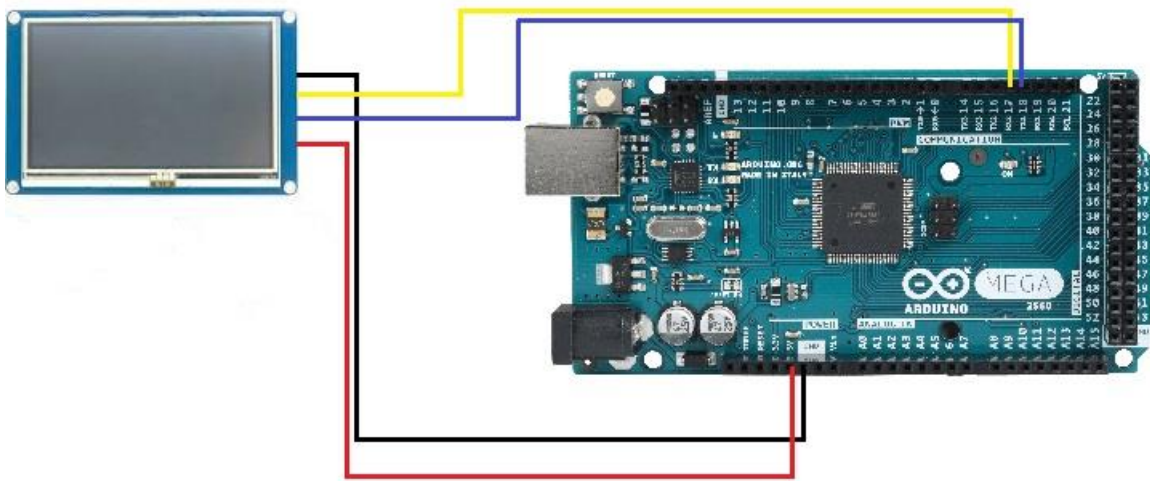
La pantalla utiliza comunicación serial, en este caso se emplea la librería Nextion, que utiliza los pines 17 y 18 para este propósito.

Figura 48. Pantalla Nextion



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Diagrama físico pantalla Nextion



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Pantalla Nextion



Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Pantalla Nextion.



Fuente: elaboración propia.

Nota: En el menú de selección de cítrico aparecen tres opciones por elegir, pero el prototipo en este momento está adaptado solo para trabajar con mandarinas, por las razones mencionadas anteriormente.

Figura 52. Pantalla Nextion



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Pantalla Nextion



Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Pantalla Nextion



Fuente elaboración propia.

Como se observa en la figura 50, una vez que el operario haya activado el interruptor de la pantalla, aparecerá el mensaje *Bienvenido* y el sistema demorará alrededor de cinco segundos mientras se inicializan variables, para que aparezca el menú de selección, el cual se puede apreciar en la figura 51.

Al aparecer el menú de selección, el operario tiene la opción de elegir el cítrico que se va a procesar, por las condiciones del prototipo en este momento serán mandarinas. Una vez elegido el cítrico, lo siguiente que se verá es un mensaje preguntándole al operario si está seguro de la elección. Esto se puede ver en la figura 52; de estar seguro, se proseguirá a lo visto en la figura 53, donde se puede apreciar que el sistema está en la etapa de clasificación en proceso; de no estar seguro con la selección, volverá al menú de la figura 51.

Cuando el operario decida que el proceso de clasificación debe finalizar, oprimirá sobre el botón *Fin*, para de esta manera terminar la labor realizada por el dispositivo y saltará a la siguiente pantalla, la cual está ilustrada en la figura 54. En esta se desplegarán los resultados del proceso de clasificación, incluyendo el total de mandarinas que se utilizaron durante la misma.

### **5.3.2 Software**

Para una mejor comprensión, se presentarán los diagramas de flujo del *software* utilizado para la etapa de control, partes del código utilizado, así como una breve explicación de los mismos.

En la figura 49, se puede observar parte del código utilizado en la etapa de control, en esta parte del código se incluyeron las librerías para poder utilizar el

servo, pantalla Nextion y celda de carga. Se definen los pines a los que se van a conectar los amplificadores, los pines a utilizar en el Arduino tienen que ser analógicos.

Así mismo, se declararon las variables de los contadores, que son los encargados de llevar la sumatoria de los cítricos que se clasifican y, por último, se inicializan en cero las banderas. Estas banderas son las que determinan el tiempo que el servo va a estar activo en la posición para desviar cítricos.

Figura 55. Código de control

```
#include <HX711.h>
#include <Servo.h>
Servo myservo1;
Servo myservo2;
Servo myservo3;
int val1;
int val2;
int val3;

#define DOUT3 A5
#define CLK3 A4
#define DOUT2 A3
#define CLK2 A2
#define DOUT1 A7
#define CLK1 A6
long contador1=0;
int bandera1=0;
long contador2=0;
int bandera2=0;
long contador3=0;
int bandera3=0;

HX711 balanza3(DOUT3, CLK3);
HX711 balanza2(DOUT2, CLK2);
HX711 balanza1(DOUT1, CLK1);
int Primera = 0;
int Segunda = 0;
int Tercera = 0;
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 56. Código de control

```

if ((balanza1.get_units(20))>= 100)
{
    banderal=1;
    vall = 75;
    myservol.write(vall);
    Segunda ++;
}
if (banderal==1)

{delay(1);
 contadorl++;}
if(contadorl==3)
    { vall = 0;
      myservol.write(vall);
      banderal=0;
      contadorl=0;
    }

if ((balanza3.get_units(20))>= 50)

    { bandera3=1;
      val3 = 75;
      myservo3.write(val3);
      Tercera ++;
    }
if (bandera3==1)

```

Fuente: elaboración propia.

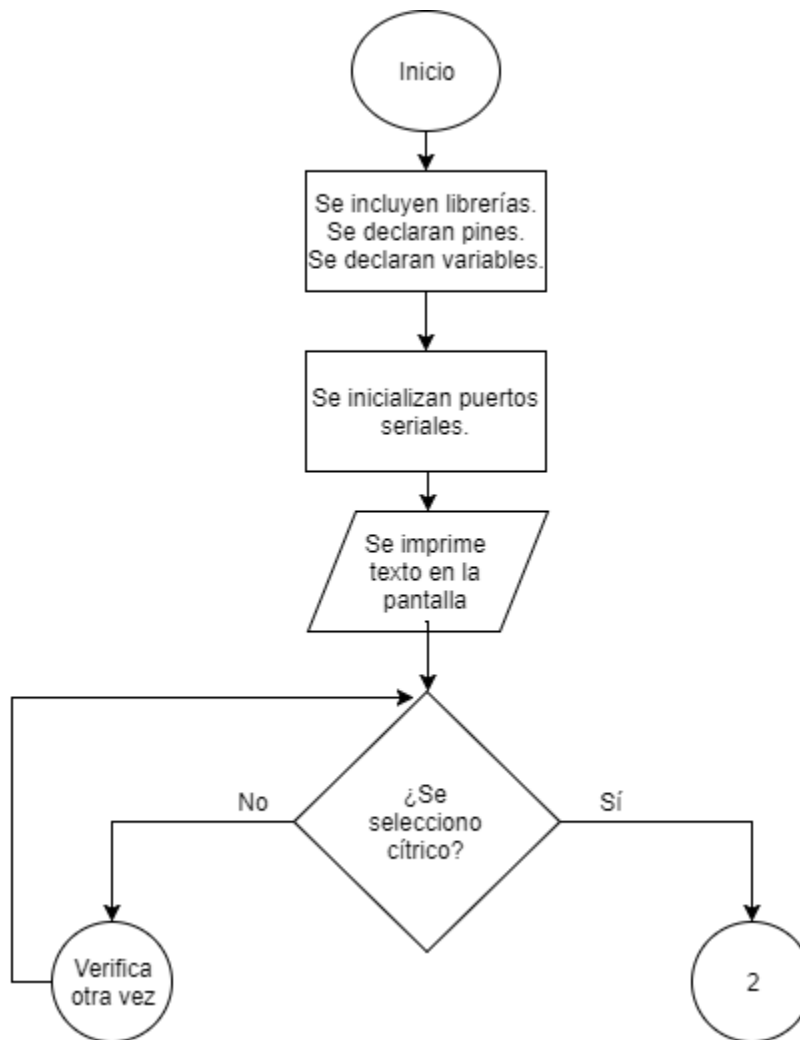
Como se aprecia en la figura 56, cuando el cítrico de la primera celda haya sobrepasado el valor asignado para esa categoría de tamaño, se mueve el servo a la posición determinada en la práctica, la misma es de 75°. Al mismo tiempo, se pone la bandera a 1 y se suma un dígito a la variable de categoría correspondiente a la primera celda, para, una vez finalizada la clasificación, saber cuántas mandarinas se procesaron.

Una vez que la bandera se pone a 1, un contador empieza una sumatoria para determinar el tiempo que el servomotor estará en la posición de 75°, al pasar

el tiempo que se determina al momento de las pruebas, el servo vuelve a la posición 0° y se reinician las variables contador y bandera, para cuando se vuelva a activar el sensor de peso.

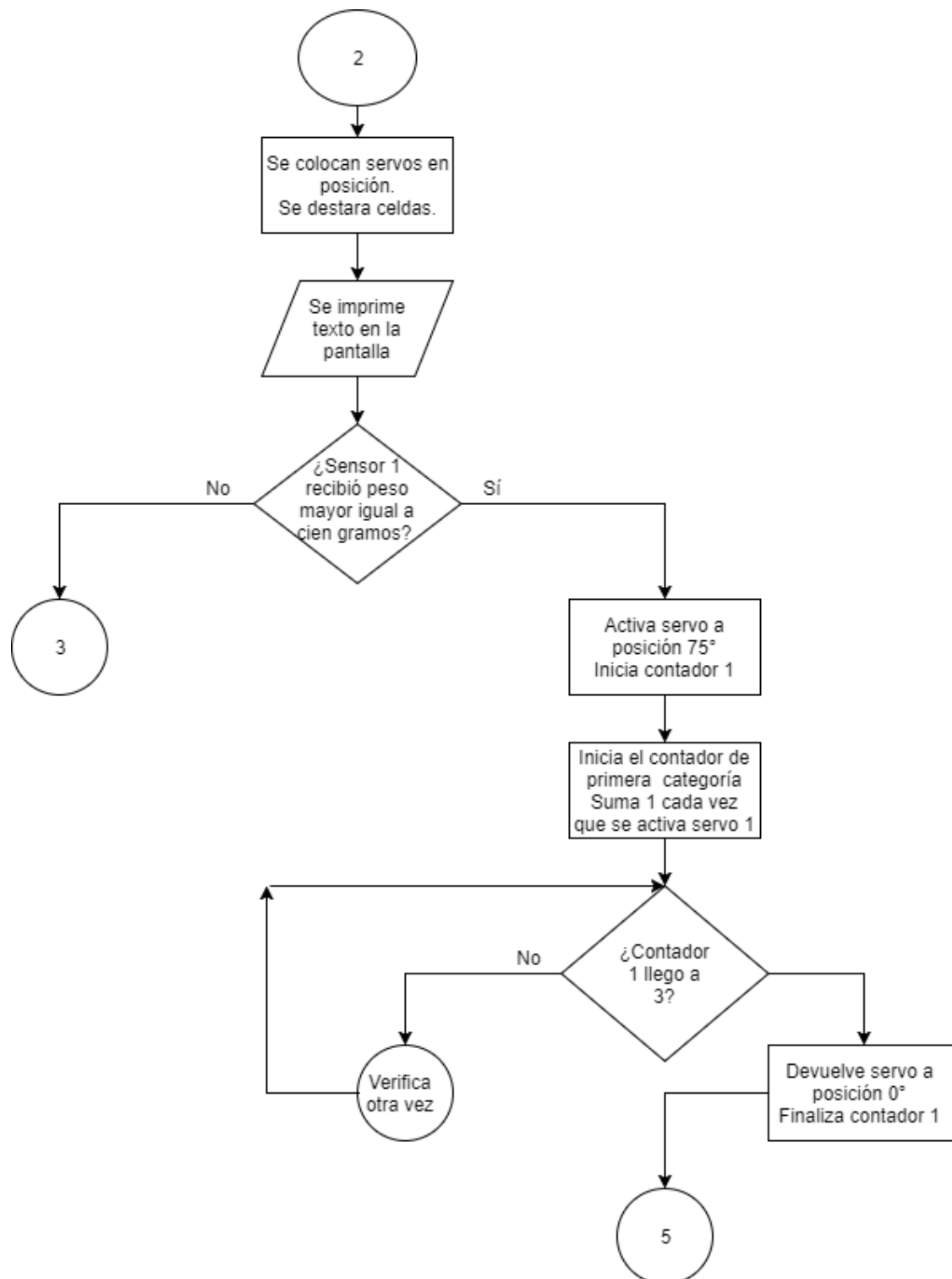
Este proceso se repite en los tres sensores utilizados en el prototipo, con la única diferencia de los pesos de referencia asignados a cada celda de carga.

Figura 57. Diagrama de flujo etapa de control



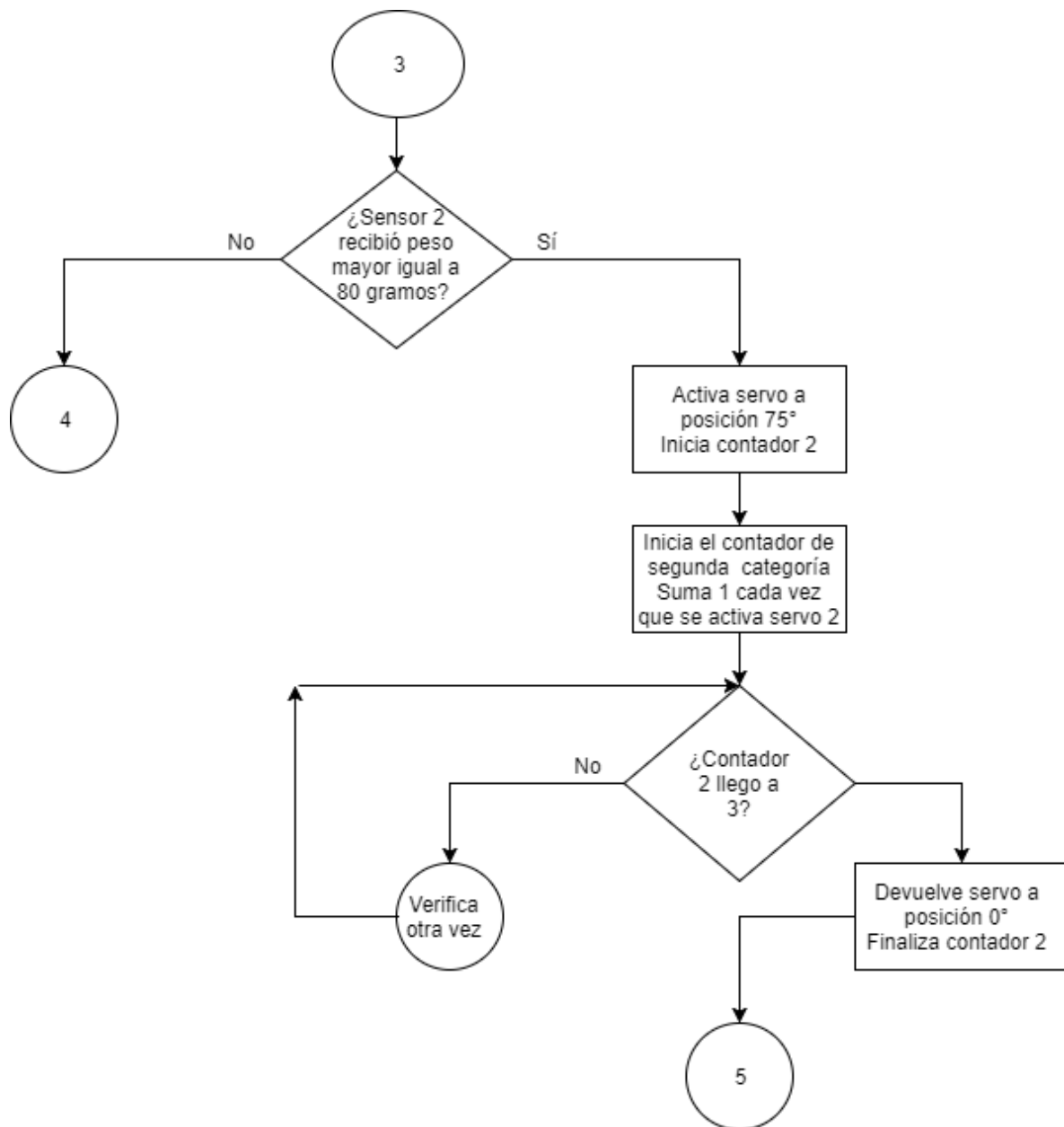
Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Diagrama de flujo código de control



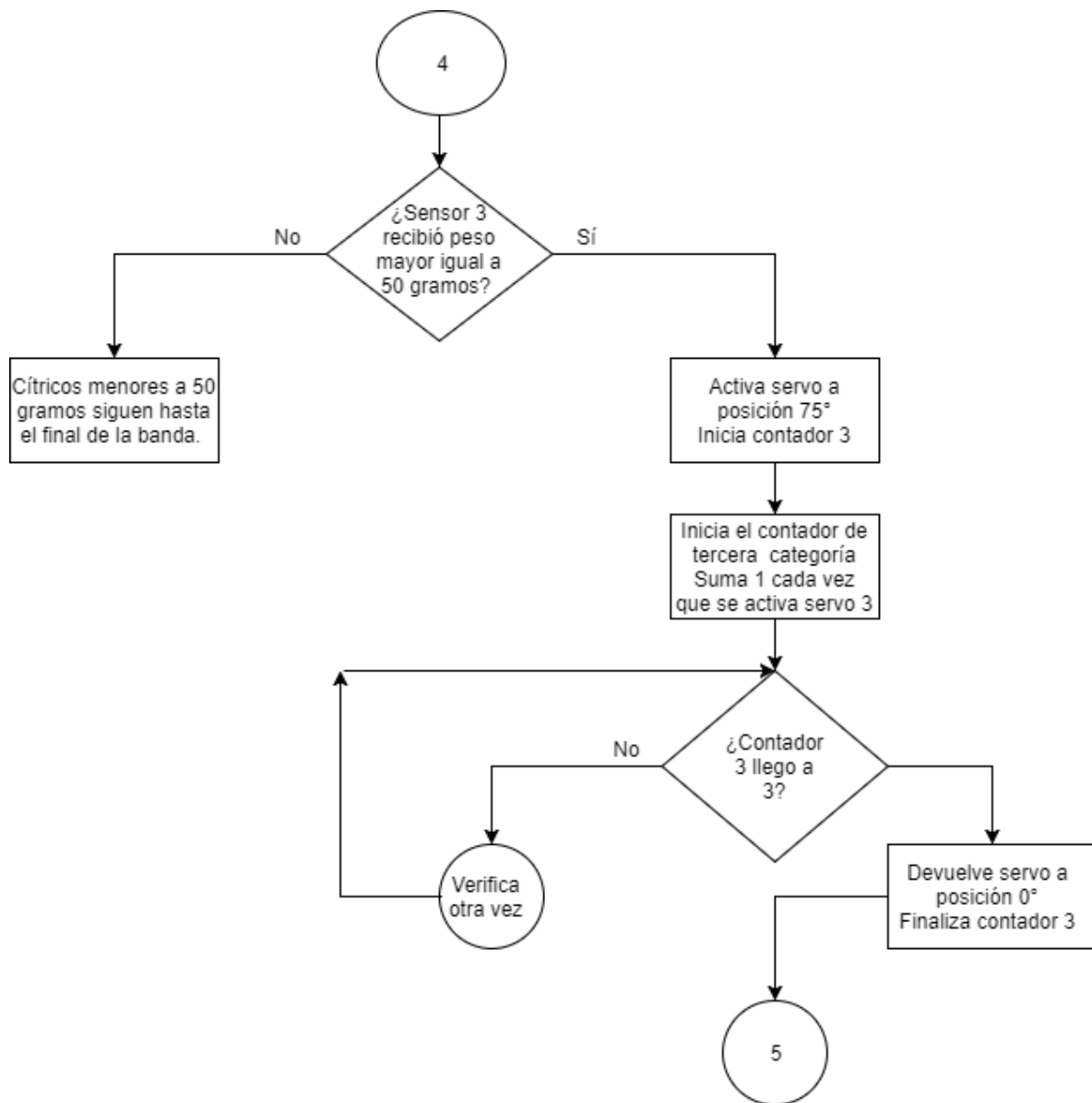
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Diagrama de flujo etapa de control



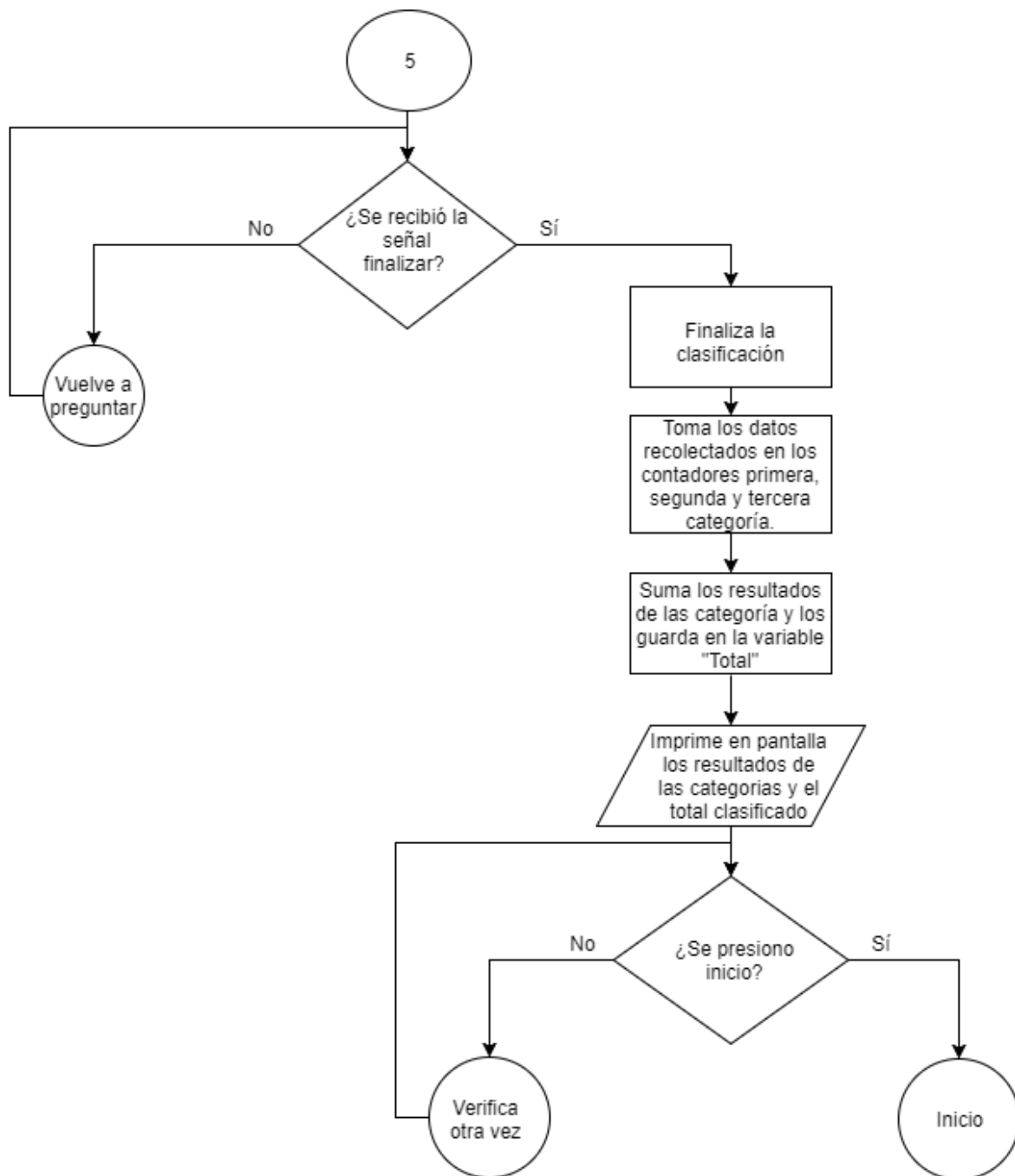
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Diagrama de flujo etapa de control



Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Diagrama de flujo etapa de control



Fuente: elaboración propia.

Los diagramas de flujo, vistos anteriormente, son de gran ayuda para entender mejor el funcionamiento del sistema. En la figura 57, se aprecia cómo se incluyen las librerías necesarias para que ciertos elementos del sistema funcionen de manera correcta, de igual forma, se declaran las variables que se utilizaron durante la programación y se designaron los pines a los que se conectaron los dispositivos electrónicos empleados.

Al finalizar esto, se inicia la comunicación serial para establecer un contacto entre la pantalla táctil y el Arduino, para que este ejecute los comandos que el operario le asigne. Una vez finalizado esto, si el operario le asignó alguna función, el Arduino se encargará de realizarla; si no se le introduce ningún dato, el Arduino esperará hasta que le sea introducido alguno.

En las figuras 58, 59 y 60 se aprecia el diagrama de flujo que va asociado a los sensores de peso. Una vez que el operario le haya dado una orden al dispositivo, los sensores estarán a la espera de que los cítricos comiencen a circular sobre ellos; si el sensor recibe la señal de que un cítrico con el peso indicado se posicionó sobre él, enviará la señal para que el servo se active y a la vez, iniciará un contador mediante el cual se podrá controlar el tiempo necesario para que el servo se mantenga en la posición que se requiere, para que la fruta se desvíe de la banda.

Si no cuenta con el peso necesario, continuará a otro sensor y repetirá el proceso hasta que se cumpla con el requisito de peso que se le asignó a cada sensor.

Después de activado el servo y el contador, se sumará un valor por cada vez que una salida sea activada, a una variable que se encargará de guardar los datos de la cantidad de cítricos clasificados por categoría.

Al contador llegar a 3, el cual es el tiempo necesario que se determinó mediante las pruebas para que la fruta saliera de la banda, el servo vuelve a la posición inicial y el contador se reinicia a cero. Esto con el fin de que vuelva a ser utilizado cuando otra fruta cumpla con las características requeridas.

Mientras el proceso de clasificación se está dando, el Arduino está esperando la señal de *Finalizar* como se observa en la figura 61. En dicho diagrama de flujo se puede apreciar que, al seleccionar *Finalizar*, el proceso de clasificación termina. Seguido a esto, se toman los datos guardados en las variables de categorías y se suman para obtener el dato total de cítricos procesados.

Estos datos se imprimen en la pantalla, para que el operario pueda tomarlos y transcribirlos manualmente al documento de control que se utiliza, en el cual se llevará el control de los mismos. Posterior a esto, el sistema esperará a que se le indique el inicio de otro proceso de clasificación.

### **5.3.3 Vista del proyecto terminado.**

Figura 62. Prototipo terminado



Fuente: elaboración propia.

El prototipo finalizado se observa en las figuras 62 y 63. Como se puede observar, el proyecto finalizado cuenta con una pantalla táctil, en la cual el operario introduce los datos para seleccionar el cítrico que se requiere procesar.

Para introducir los cítricos a la banda, esta tiene un cajón de madera en un extremo del prototipo, en esta caja se colocan los cítricos que se pondrán de manera

manual sobre la banda para que se procesen. El dispositivo tiene cuatro salidas, tres de ellas a un costado y una más en el extremo final, por estas aberturas saldrán los cítricos de su respectiva categoría de tamaño. Cada salida de los costados tiene un servomotor que, mediante una pieza plástica conectada a su eje, se encargará de desviar los cítricos por su respectiva abertura.

El prototipo posee un soporte metálico en el cual se asienta el motor que le da el movimiento a la banda, cerca de este soporte se encuentran dos cajas metálicas de registro, en las que se encuentran los dispositivos requeridos para que este proyecto sea una realidad.

Una vez vistas las partes del proyecto finalizado, se puede detallar su funcionamiento.

Al operario dar las instrucciones mediante la pantalla y dar inicio al movimiento de la banda, se colocan los cítricos sobre la misma. La banda cuenta con sensores de peso antes de cada salida, si el cítrico que pasa sobre los sensores tiene el peso necesario para activar la salida, se dará una señal para que el servomotor cierre el camino de la fruta y esta sea desviada hacia la caja de almacenamiento.

Este comportamiento se repite en las tres salidas del costado, si ninguna de estas tres salidas se activa, es porque el peso del cítrico no es el suficiente para entrar en alguna de estas categorías, por lo que saldrá de la banda mediante la cuarta salida ubicada en el extremo final del dispositivo. Al finalizar todo el proceso, se podrán visualizar los datos obtenidos en la pantalla táctil.

Figura 63. Proyecto terminado



Fuente: elaboración propia

## 5.4 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

### 5.4.1 Materiales.

En la tabla 2, se aprecian los costos de cada uno de los materiales que componen el sistema desarrollado, así como el número de unidades que fue requerido de cada uno y, al final de la misma, la suma del total al que asciende el costo de los materiales en conjunto.

Tabla 2. Costo de materiales

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Arduino MEGA 2560	¢20.000,00	1	¢20.000,00
HX711	¢6.000,00	3	¢18.000,00
Borne 2 terminales	¢300,00	5	¢1.500,00
Caja de registro	¢15.000,00	2	¢30.000,00
Regulador 7815	¢200,00	2	¢400,00
Transformador 24V	¢5.000,00	1	¢5.000,00
Cable eléctrico	¢700,00	5	¢3.500,00
Cable UTP	¢1.400,00	2	¢2.800,00
Capacitor 0,1Uf	¢50,00	2	¢100,00
Capacitor 0,33Uf	¢50,00	2	¢100,00
Celda de carga	¢5.500,00	3	¢16.500,00
Fuente de poder 5V	¢7.000,00	1	¢7.000,00
Adaptador 9V	¢5.000,00	1	¢5.000,00
Tomacorriente de pastilla	¢800,00	1	¢800,00
Jumper	¢25,00	10	¢250,00
Interruptor	¢250,00	2	¢500,00
Servomotor	¢5.000,00	3	¢15.000,00
Pantalla Nextion 7"	¢40.000,00	1	¢40.000,00
Ferrobord 5x7cm	¢1.200,00	1	¢1.200,00
Ferrobord 12x19cm	¢2.100,00	1	¢2.100,00
Materiales tarjeta electrónica	¢10.000,00	1	¢10.000,00
IR2110	¢3.000,00	1	¢3.000,00
MOSFET	¢2.000,00	1	¢2.000,00
Trabajo de soldadura	¢180.000,00	1	¢180.000,00
Materiales del prototipo	¢106.600,00	1	¢106.600,00
			¢471.350,00

Fuente: elaboración propia.

Una vez finalizada la realización del prototipo, es importante realizar un análisis financiero, con el propósito de determinar si el hecho de haber construido este sistema representa una inversión viable desde un punto de vista económico. Por esta razón, serán implementadas dos herramientas, las cuales son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), que permitirán brindar una idea más clara para tener un criterio y tomar una decisión del prototipo desde esta perspectiva.

En la siguiente ecuación, se encuentra la fórmula para calcular el valor actual neto de una inversión.

$$VAN = -A + \frac{FNC_1}{(1+k)^1} + \frac{FNC_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1+k)^n}$$

### **Ecuación 1: Valor actual neto**

Donde:

- VAN: valor actual neto de la inversión.
- A: flujo de efectivo inicial.
- FNC: flujo neto de caja al finalizar cada periodo.
- k: tipo de actualización.
- n: vida útil estimada para la inversión.

Utilizando la información de la tabla de los materiales, se tiene que el costo total de los mismos es de exactamente \$471.350,00, que corresponde a la inversión inicial que el usuario hará para adquirir el sistema. Como flujo neto de caja se tomará el valor de \$1.155.067,92 que es el costo de una banda transportadora comercial con características similares al prototipo en cuanto a las dimensiones, aclarando que en el mercado nacional no existen transportadoras automatizadas que realicen el proceso de clasificación de este prototipo.

Nota: El documento de cotización para obtener este dato se encuentra en el anexo 06 y fue suministrado por la compañía nacional TIMSA.

El tipo de actualización tiene un valor de 0, debido a que este proyecto no fue financiado mediante un préstamo. Finalmente, la vida útil que se pronostica para el sistema será de unos cinco años.

A continuación, se presenta el cálculo de lo que es el valor actual neto de este sistema.

Solución:

$$VAN_1 = -471350 + \frac{1155067}{(1+0)^1} = \text{€}683.717,92$$

Adicionalmente al VAN, se desea conocer la tasa interna de retorno, cuya manera de calcularla se encuentra en la siguiente ecuación. La TIR es la tasa en la cual el valor actual neto se convierte en 0.

$$0 = -A + \frac{FNC_1}{(1+r)^1} + \frac{FNC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1+r)^n}$$

### **Ecuación 2: Tasa interna de retorno**

Donde:

- A: flujo de efectivo inicial.
- FNC: flujo neto de caja al finalizar cada periodo.
- r: tasa interna de retorno.
- n: vida útil estimada para la inversión.

No obstante, para calcular la TIR en este proyecto, se utilizará la ecuación que se presenta en seguida, en vista de que solo se utiliza un periodo.

$$r = \left( \frac{FNC}{A} - 1 \right) \cdot 100\%$$

### **Ecuación 3: Tasa interna de retorno despejada**

Solución:

$$r = \left( \frac{471350}{1155067} - 1 \right) \cdot 100\% = 145\%$$

Al haber efectuado ambos cálculos, el del valor actual neto y la tasa interna de retorno, se puede evidenciar que la inversión correspondiente a este sistema producirá ahorros importantes, debido a que una tasa interna de retorno alta es un indicador claro de una buena inversión. Además que permite apreciar que la implementación de este prototipo es viable desde un punto de vista económico.

#### **5.4.2 Prototipo versus proceso actual en planta.**

Para determinar la eficiencia de este producto con respecto al trabajo realizado por los empleados, se realizaron pruebas para determinar la cantidad de cítricos que clasifica en promedio un trabajador de la empresa y la capacidad máxima de clasificar de la banda automatizada, para de esta manera poder realizar una comparación y obtener un punto de vista más claro de los beneficios de la tecnología.

Para las pruebas se tomó como referencia un total de mil mandarinas, los resultados fueron los siguientes:

El empleado tardó aproximadamente una hora con 15 minutos en terminar la escogencia, a esto hay que sumarle el tiempo que tardó en contar las categorías una vez clasificadas, el cual fue de 10 minutos, para un total de una hora y 25 minutos.

Los datos del prototipo son los siguientes: la banda tardó en clasificar la misma cantidad de mandarinas 50 minutos aproximadamente y como tiene la capacidad de sumar las categorías, no se tardó tiempo adicional en contar los cítricos.

En general, el prototipo tardó un total de 35 minutos menos realizando la misma labor que un empleado promedio, para un porcentaje del 70 % más rápido en el mismo proceso. En cuanto a la exactitud en la determinación de las categorías, un empleado experto realizó un muestreo de los cítricos clasificados entre el empleado y el prototipo, dando como resultado que el empleado, en una muestra de 100 mandarinas, tuvo un porcentaje de error del 7 %, mientras que el prototipo solo tuvo un porcentaje de error del 2 %.

Estos resultados son muy alentadores, ya que demuestran que el uso de la tecnología significa un cambio muy positivo en el proceso de clasificación de la empresa.

Tabla 3. Costo diseño y programación

Artículo	Precio hora	Cantidad	Precio total
Programación Arduino	₡11.655,00	8	₡93.240,00
Diseño en computadora	₡11.655,00	3	₡34.965,00
Pruebas de funcionamiento	₡11.655,00	2	₡23.310,00
Supervisión de la construcción	₡11.655,00	6	₡69.930,00
Asesoría inicial	₡11.655,00	1	₡11.655,00
			₡233.100,00

Fuente: elaboración propia.

Una vez visto el costo-beneficio, tanto de la construcción del prototipo como de los resultados obtenidos en las pruebas, también es importante obtener el costo adicional en el que incurriría una empresa que desee hacerse con el producto, para dedicarse a la producción en masa del dispositivo.

En la tabla 3, se brindan los datos estimados y las actividades en las que tuvo que trabajar una persona, en este caso un bachiller en ingeniería, para lograr que el dispositivo cumpliera con las necesidades reales de la empresa.

El dato del precio por hora fue obtenido a través de la página web del Ministerio de Trabajo, en la que se indica el salario mínimo para un empleado que sea bachiller universitario.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 Conclusiones

Para determinar un método de clasificación acorde con las necesidades de la empresa, se estudiaron los métodos existentes de clasificación a nivel nacional. Se comprobó que a nivel nacional se usan dos tipos de métodos, los cuales son el manual, utilizado por pequeñas empresas y el mecánico, que se aplica en grandes compañías.

Al realizar la investigación para el desarrollo de este proyecto, se analizaron los métodos existentes para la clasificación de cítricos. Una vez finalizada la investigación, se pudo determinar que los dos métodos empleados en la actualidad para realizar esta tarea no son lo suficientemente eficientes, tanto el método manual que utilizan las pequeñas compañías como el mecánico, que utilizan las grandes compañías, cuentan con limitaciones que hacen al dispositivo desarrollado en este proyecto la mejor opción para lo requerido en comercializadora de cítricos Santa Fe.

Una vez determinado que el método más útil para la compañía es un dispositivo electrónico con flexibilidad para clasificar distintos tipos de cítricos, se procedió, mediante un *software* de diseño asistido por computadora, a la realización del diseño del prototipo que más cumpla con los requerimientos necesarios para el método seleccionado.

Cuando se obtuvo el diseño y se verificó que es el adecuado para la comercializadora de cítricos Santa Fe, se procedió a construir el prototipo y se aseguró que cumpliera con las características mínimas necesarias para el correcto funcionamiento, con base en el microcontrolador Arduino.

Arduino consta de una plataforma de código abierto que posee su propio entorno integrado de desarrollo, un gran número de placas con distintos tamaños y prestaciones de acuerdo con lo que el usuario considere mejor, según la aplicación que desee desarrollar. Además, tiene un lenguaje de programación muy sencillo y una enorme base de códigos útiles para manejar distintas piezas de *hardware*. Todo lo anterior facilita y simplifica significativamente el quehacer del desarrollador, además de reducir el costo final de la aplicación.

Con el propósito de construir la interfaz de usuario del sistema, fue utilizada la pantalla TFT Nextion, la cual cuenta con su propia librería para Arduino, también es muy sencilla de implementar y añade mucha versatilidad para que el usuario pueda manipular el sistema elegantemente.

El manual de usuario es una herramienta que le permite a este aprender cómo manipular adecuadamente el equipo que ha adquirido, ya que en el mismo se detallan los pasos y los procedimientos por seguir para lograr que el sistema realice las funciones para los cuales fue creado. Una vez implementado el prototipo en la planta, se evaluaron las mejoras obtenidas. Estas traen consigo una mejora tanto a nivel de velocidad como a nivel de exactitud a la hora de clasificar, según las categorías trabajadas por la empresa.

A partir del análisis de costo-beneficio realizado sobre el sistema, se evidencia, mediante la verificación de ciertos parámetros financieros, que la inversión para adquirir el prototipo es segura, debido a que permite el ahorro de dinero, lo cual constituye una ganancia.

La empresa comercializadora de cítricos Santa Fe aprobó el funcionamiento del prototipo, ya que se cumplió con los objetivos planteados al inicio del proyecto. De igual manera, se plantea la posibilidad de utilizar el dispositivo en otra variedad de frutas, ya que la compañía aparte de trabajar con cítricos cuenta con una variada oferta de frutas que pueden ser clasificadas.

## **6.2 Recomendaciones**

Este prototipo de clasificación de cítricos se puede mejorar para cubrir la cantidad de pedidos que maneja la planta procesadora, estas mejoras o recomendaciones son citadas a continuación:

Habilitar, mediante la programación, la capacidad del dispositivo de seleccionar otro cítrico aparte de las mandarinas. Esto le dará la flexibilidad a la empresa, para que, en el momento en que entre un pedido de otro cítrico, se pueda finalizar la clasificación de un producto determinado y comenzar a procesar otro con gran facilidad.

Dotar al prototipo de conexión a internet, con el fin de enviar los datos al administrador para su posterior manipulación y estadística, con esto se eliminaría la posibilidad de que el operario de la máquina se pueda equivocar a la hora de transferir los datos desde la pantalla.

Crear una base de datos en un servidor en línea, para que los datos del historial puedan ser visualizados en distintos lugares y así mejore la portabilidad y el respaldo de los mismos.

Añadir una opción en el menú para visualizar la información de los archivos de salida guardados, de forma que se pueda observar el historial de producción desde el dispositivo.

La empresa cuenta con una lavadora para frutas, entonces, para un mejor trabajo, la recomendación sería adaptar el sistema para que una vez finalizado el lavado del producto, las frutas pasen por una tolva y comiencen así su recorrido por la banda hasta finalizar el proceso.

La banda cuenta con una prevista para habilitar una segunda línea de clasificación. Implementar esta línea sería de gran importancia, ya que daría la posibilidad de duplicar la velocidad con que se procesan los cítricos, dando como resultado un proceso más eficiente.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Y**

**ANEXOS**

## A. Bibliografía

- Burgos, V. (11 de julio de 2013). *Circuitos integrados* Recuperado de <http://ohmios.es/2013/07/11/circuitos-integrados-ic-historia/>
- Calvo-Manzano, J., García, I., & Arcilla, M. (2008). Hacia la gestión cuantitativa en la gestión de proyectos en el ámbito de las pymes. *Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*.
- Casillas, L. A., Gibert, M., & Pérez, Ó. (s.f.). *Bases de datos*. Recuperado de [http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-andmultimedia/bases-de-datos/bases-de-datos/P06\\_M2109\\_02151.pdf](http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-andmultimedia/bases-de-datos/bases-de-datos/P06_M2109_02151.pdf)
- Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*.
- Crespo, J. E. (23 de marzo de 2015). *Shields para Arduino*. Recuperado de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/23/shields-para-arduino/>
- Fernández, L. (s.f.). *Resumen del libro El Cuestionario*. Recuperado de <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elcuestionario.pdf>
- González, D. (2007). *Ergonomía y psicología*. FC Editorial.
- Hernández, D., Fernández, D., & Baptista, D. (2006). *Metodología de la Investigación*. Iztapalapa, México D. F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Hueso, A., & Cascant, M. J. (2012). *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. Recuperado

de[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17004/Metodolog%C3%ADa%20y%20t%C3%A9cnicas%20cuantitativas%20de%20investigaci%C3%B3n\\_6060.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17004/Metodolog%C3%ADa%20y%20t%C3%A9cnicas%20cuantitativas%20de%20investigaci%C3%B3n_6060.pdf?sequence=3)

Kioskea. (Junio de 2014). *Introducción a Wi- Fi (802.11 o WiFi)*. Recuperado de <http://es.ccm.net/contents/wifi-2539889227#789>

SparkFun Electronics. (1998). *Hitachi Semiconductor*. Recuperado de <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>

Ortega, O. (2006). *Kerchak*. Recuperado de <http://kerchak.com/definicionde-electronica/>

Sánchez, S. (2013). *Introducción y Arquitectura de microcontroladores*. Recuperado de <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/arquitectura-de-los-microcontroladores/>

SISTEMA PARA CLASIFICACIÓN DE JITOMATES BASADO EN METROLOGÍA LASER Y ALGORITMOS COMPUTACIONALES (Tesis inédita de Doctorado). Centro de investigaciones en óptica, Guanajuato, México.

Thayer, L. (s.f.). *Arduino Uno R3*. Recuperado de <http://arduino.cl/>: <http://arduino.cl/arduinouno/>

Universidad Federico Santa María. (s.f.). *Arduino UTFSM*. Recuperado de <http://www.arduino.utfsm.cl/que-es-arduino/>

Adafruit. (2016). *Adafruit*. Recuperado de <https://www.adafruit.com/>

Basler web. (s.f)... Recuperado de <http://www.baslerweb.com/en/vision-campus/aoi>

Alliedelec. (2016). *Nombre*. 08 15, 2016, Recuperado de Alliedelec: <http://www.alliedelec.com/smc-corporation-sy5120-5dz-01t/70071143/>

Arduino. (2016). *Arduino*. Recuperado de <http://www.arduino.cc>

Crcibernética. (2016). Recuperado de <http://www.crcibernetica.com/iteaduino-uno/>

Echu. (s.f.). Recuperado de [ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Instrumentacion/BK-ANGEL/10\\_LabVIEW/Instrumentos\\_virtuales.PDF](ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Instrumentacion/BK-ANGEL/10_LabVIEW/Instrumentos_virtuales.PDF)

Enciclopedia. (2010, 07 03). Recuperado de <http://enciclopedia.us.es/index.php/Computadora>

Torres, C. F. (s.f.). <http://rua.ua.es>. 2015, Recuperado de [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18433/1/Tema%202\\_Sensores%20y%20Detectores.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18433/1/Tema%202_Sensores%20y%20Detectores.pdf)

Fidestec. (2014). *Fidestec*. 02 22, 2016, Recuperado de <http://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/>

González, J. R., & A, E. M. (2004). <http://electricidad.utpuebla.edu.mx>. Octubre 2015, Recuperado de <http://electricidad.utpuebla.edu.mx/Manuales%20de%20asignatura/4to%20cuatrimestre/Contactores%20y%20relevadores.pdf>

González, J. R., & Aguilar, E. (2004). <http://electricidad.utpuebla.edu.mx>. 2015, Recuperado de <http://electricidad.utpuebla.edu.mx/Manuales%20de%20asignatura/4to%20cuatrimestre/Contactores%20y%20relevadores.pdf>

<http://info.bannerengineering.com>. (n.d.). <http://info.bannerengineering.com>. 2015, Recuperado de <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/>

<http://www.baslerweb.com>. (n.d.). <http://www.baslerweb.com>. Octubre 2015, Recuperado de <http://www.baslerweb.com/en/vision-campus/aoi>

<http://www.distritec.com.ar>. (2013, Agosto 26). <http://www.distritec.com.ar/>. 2015, Recuperado de <http://www.distritec.com.ar/novedad-detalle.php?titulo=%BFQU%C9%20SON%20LAS%20ELECTROV%C1LVULAS?>

<http://www.esi2.us.es>. (n.d.). <http://www.esi2.us.es>. Octubre 2015, Recuperado de <http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/Tutorial Labview.pdf>

<http://www.investopedia.com>. (n.d.). <http://www.investopedia.com>. 2015, Recuperado de <http://www.investopedia.com/terms/f/fda.asp>

<http://www.ni.com>. (n.d.). <http://www.ni.com/labview/vision/>. 2015, Recuperado de <http://www.ni.com/labview/vision/>.

Humphrey. (2016). 08 09, 2016, Recuperado de Humphrey: <http://www.humphrey-products.com/dynamic/products?drupalSearch=410-12&offset=0>

## B. Anexos

Los anexos del presente proyecto pueden ser encontrados en la carpeta adjunta, en el CD denominado Anexos. A continuación, se presenta un índice con el contenido de dicha carpeta:

1. Hoja de datos IR2110.pdf
2. Hoja de datos IRFP260.pdf
3. Manual de programación Arduino.pdf
4. Manual de usuario prototipo.doc
5. Hoja de datos NTE53006.pdf
6. Documento de cotización de prototipo.pdf
7. *Software* de diseño Proteus 8.4 SPO Pro.exe
8. Código fuente prototipo.pdf