



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

***“PUEDES, DEBES, Y SI ERES LO  
SUFICIENTEMENTE VALIENTE  
PARA EMPEZAR, LO HARÁS”***

STEPHEN KING





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE INSPECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE FRUTAS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL POR MEDIO DE IMÁGENES FUERA DEL ESPECTRO VISIBLE PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”

### AUTORES:

Víctor Andrés Altamirano Tigrero  
Esteban Josué Pazmiño Oñate

### Directora:

Ing. Patricia Constante M. Sc.



# AGENDA

- ✓ Objetivo General
- ✓ Objetivos Específicos
- ✓ Introducción
- ✓ Selección de Componentes
- ✓ Software de Reconocimiento
- ✓ Diseño e Implementación
- ✓ Pruebas y Análisis de Resultados
- ✓ Conclusiones y Recomendaciones



# ***OBJETIVO GENERAL***

Diseñar e implementar un módulo didáctico de inspección y clasificación de frutas empleando procesamiento digital de imágenes.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Seleccionar el tipo de cámara para el procesamiento de imágenes que cumpla con los requerimientos de la aplicación.

Diseñar un algoritmo de procesamiento de imágenes digitales que permita identificar los defectos superficiales y/o internos de ciertas frutas ecuatorianas de exportación.

Entrenar una red neuronal encargada de la separación de frutas defectuosas mediante los parámetros detectados por el algoritmo de procesamiento de imágenes.

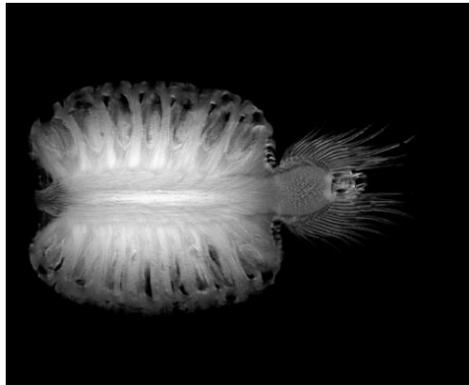
Implementar un sistema automatizado para la manipulación de frutas, clasificándolas en grupos según criterios establecidos.

# ***INTRODUCCIÓN***

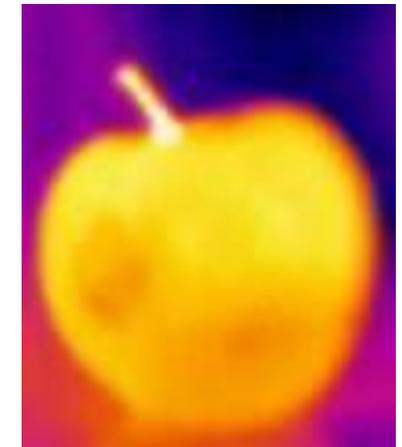
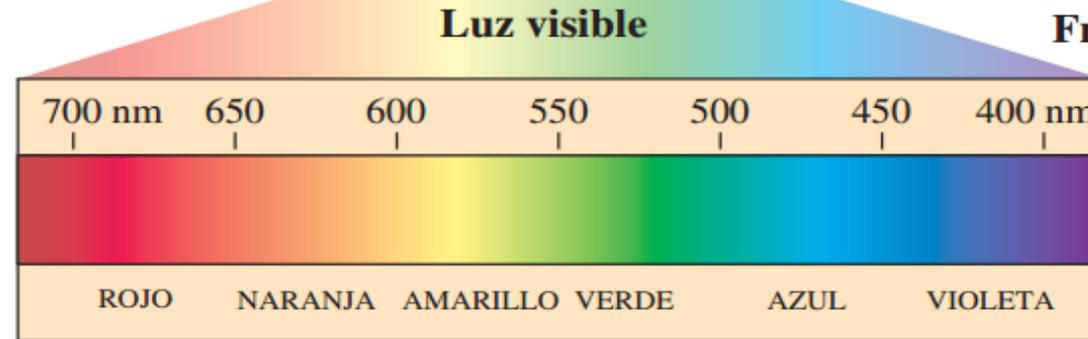
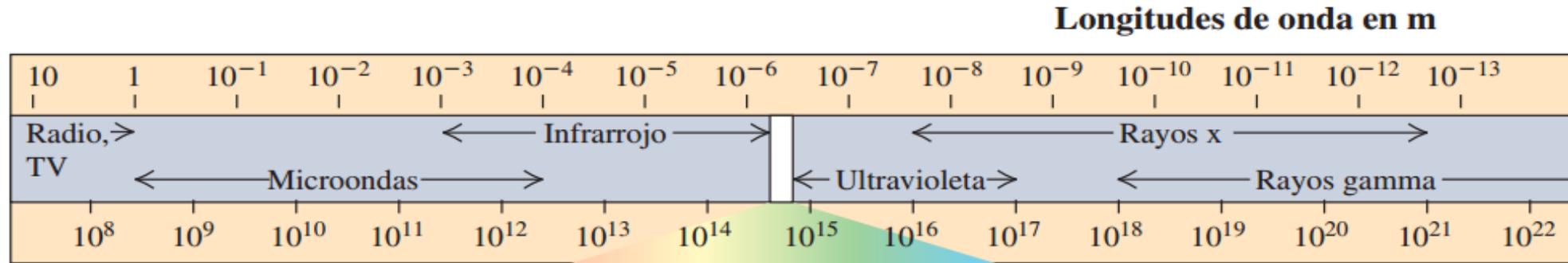
# ANTECEDENTES

PERCEPCIÓN DE CALIDAD POR EL CONSUMIDOR

TÉCNICAS DE CONTROL DE CALIDAD



# TERMOGRAFÍA – ESPECTRO VISIBLE

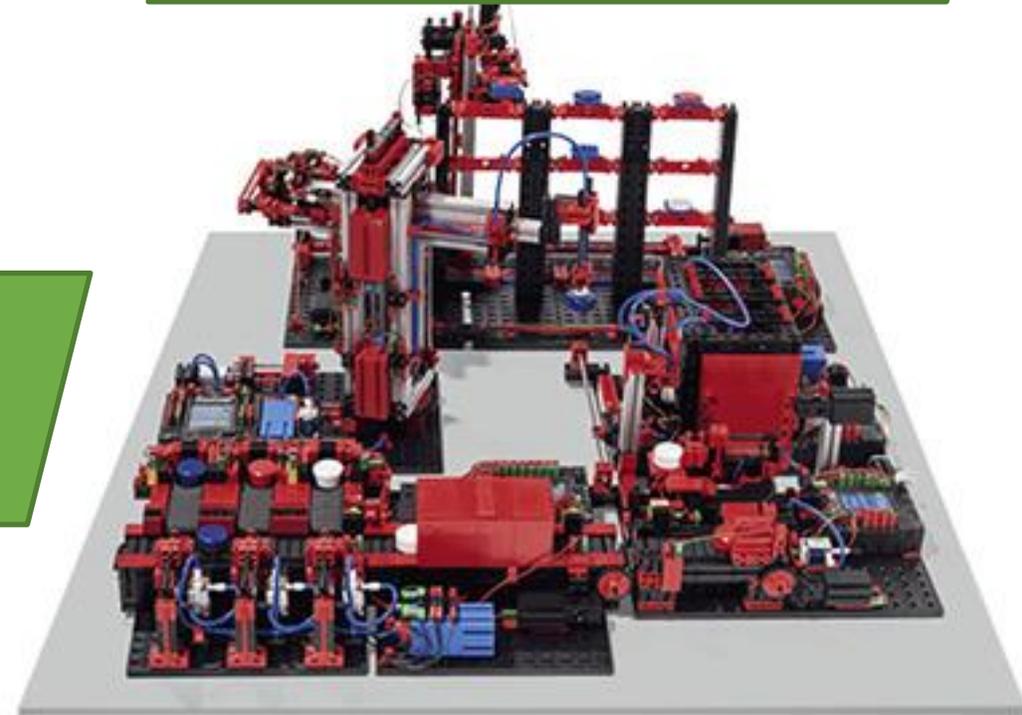


# MÓDULOS DIDÁCTICOS 1



FMS-200 (SMC -  
International Training)

Simulador de Fábrica  
(FischerTechnik)

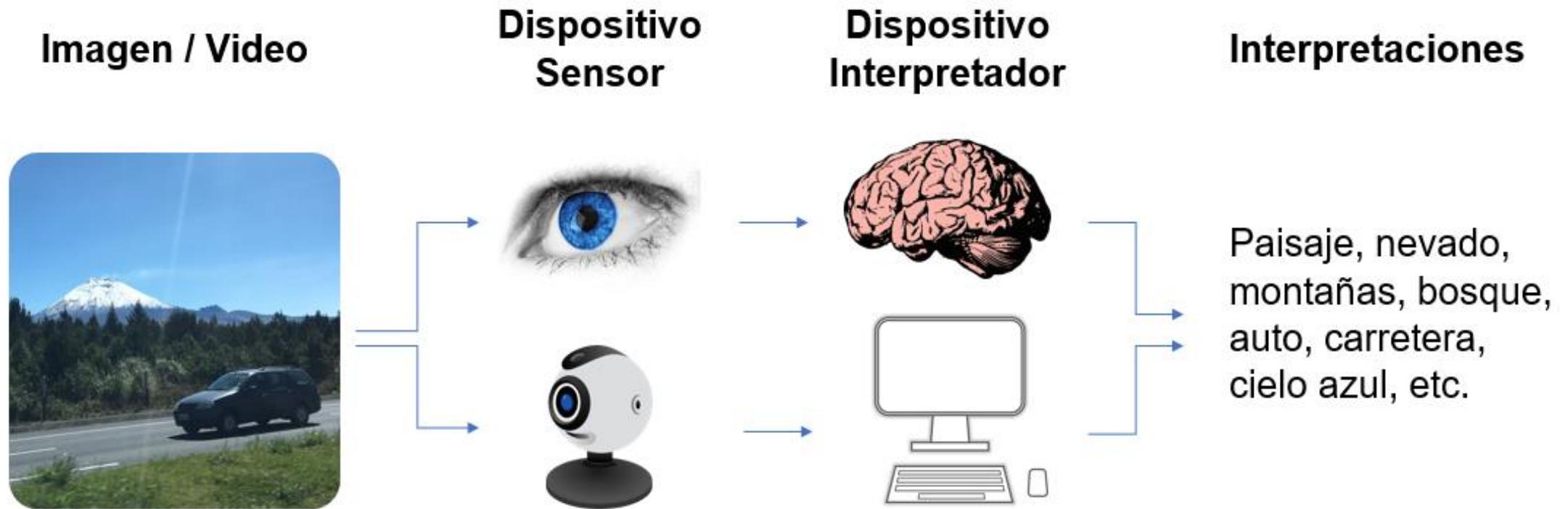


# MÓDULOS DIDÁCTICOS 2

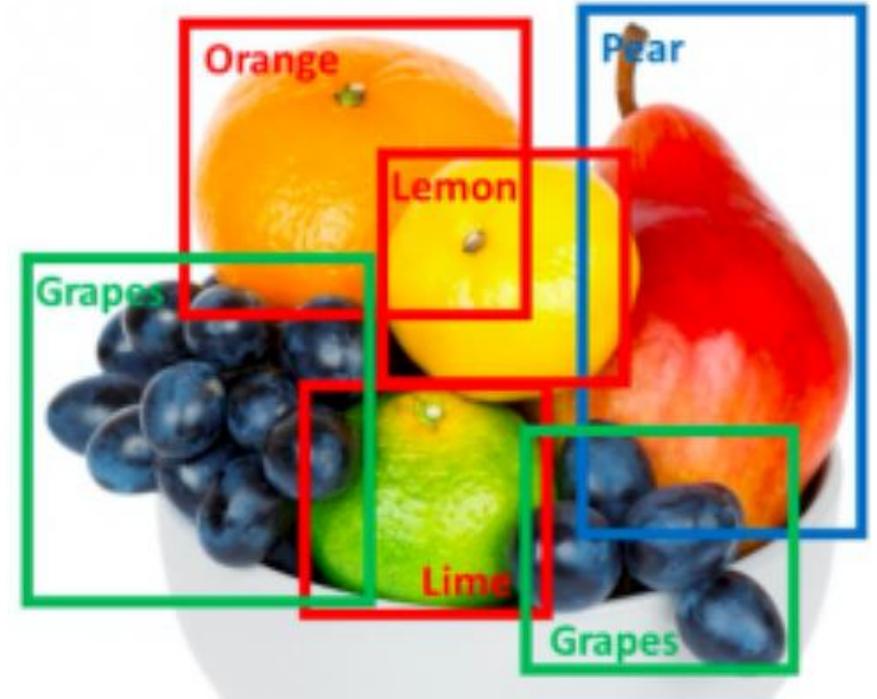


MPS (Festo Didactic)

# VISIÓN ARTIFICIAL 1



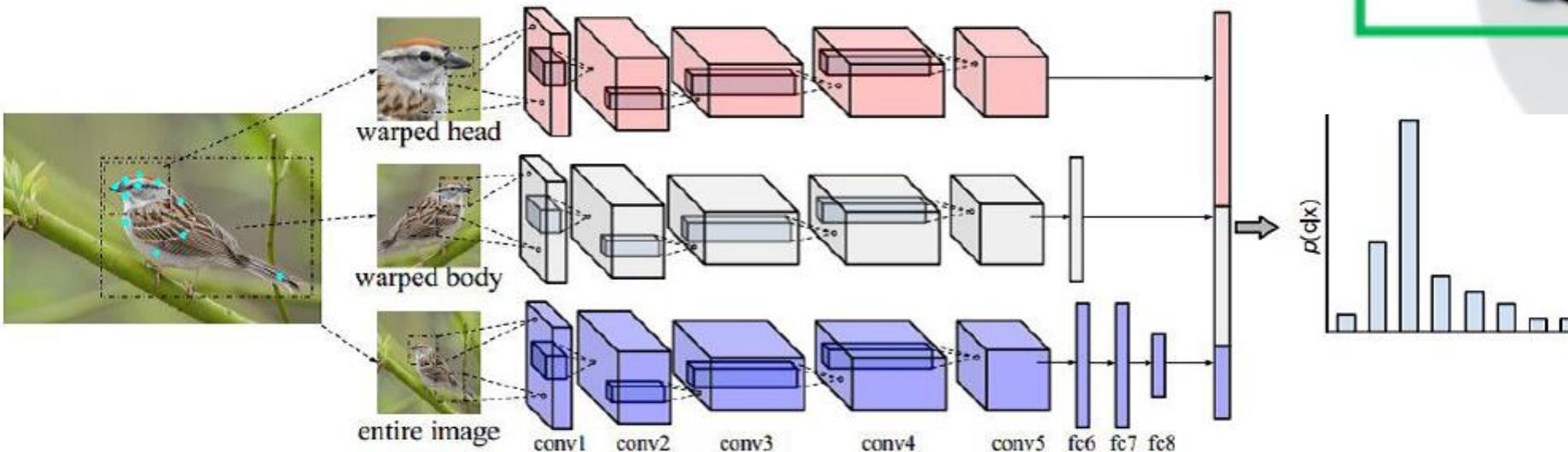
# VISIÓN ARTIFICIAL 2



Detect

Align

Represent



# ***SELECCIÓN DE COMPONENTES***

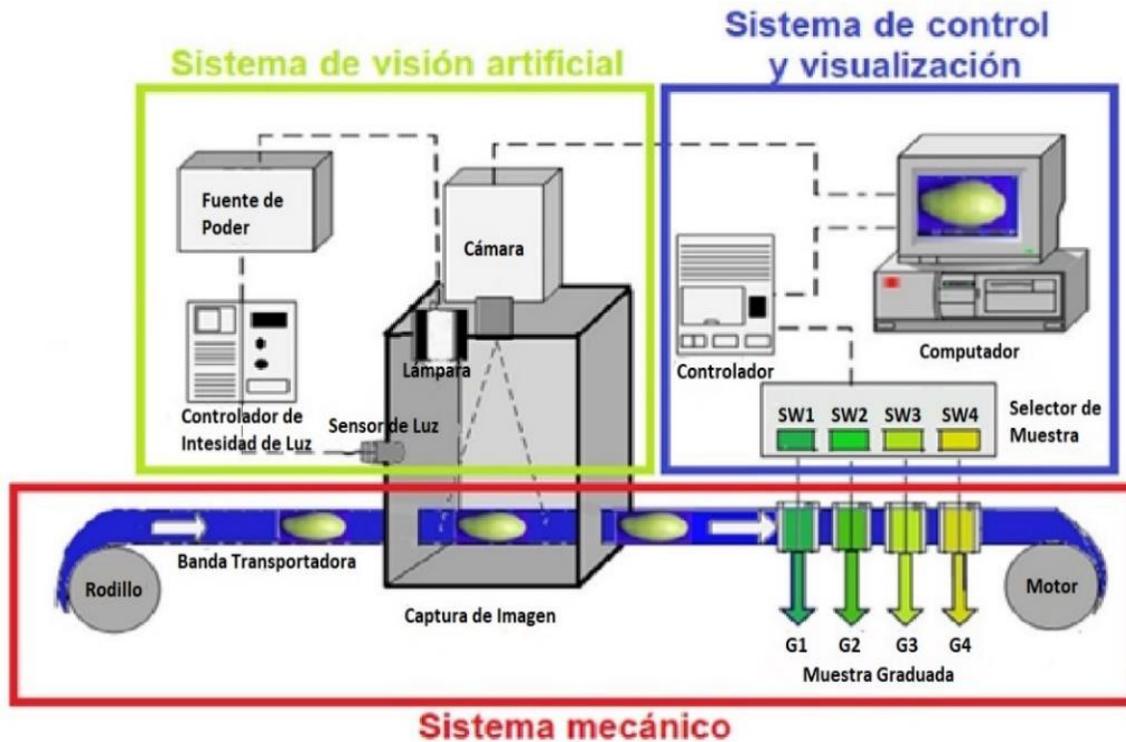
# NECESIDADES

Concepto	N°	Propone	r/d	Necesidad
Aplicación	1	U	r	Identificación de defectos
	2	U	d	Muestreo de toda la superficie
	3	U	r	Transporte y clasificación autónomos
	4	D	d	Frutas pequeñas y medianas
Manufactura	5	U	r	Compacto, ligero, móvil
	6	U	r	Interacción con otros módulos
	7	D	d	Materiales de grado alimenticio
Control	8	U	r	Software de código abierto
	9	U	r	Reprogramable, didáctico
	10	U	r	Interfaz de usuario amigable
	11	D	d	Integración de varios sensores y actuadores
Costos	12	D	d	Bajo costo

U: Usuario  
D: Diseñador  
r: requerimiento  
d: deseo



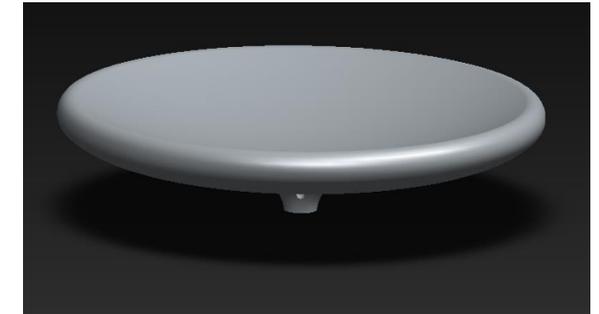
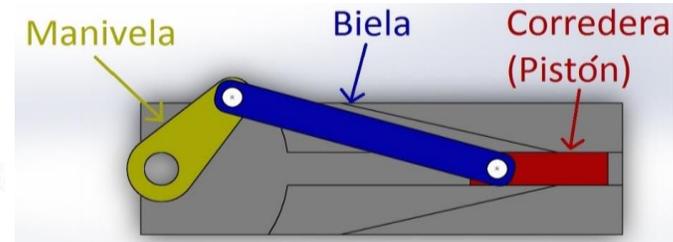
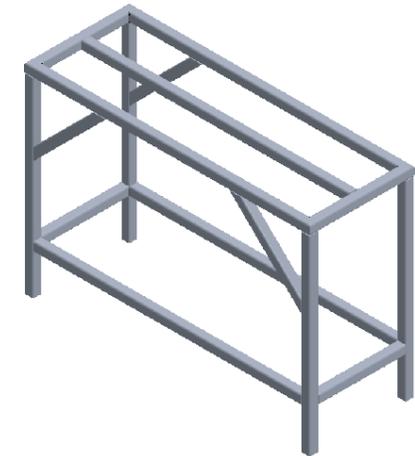
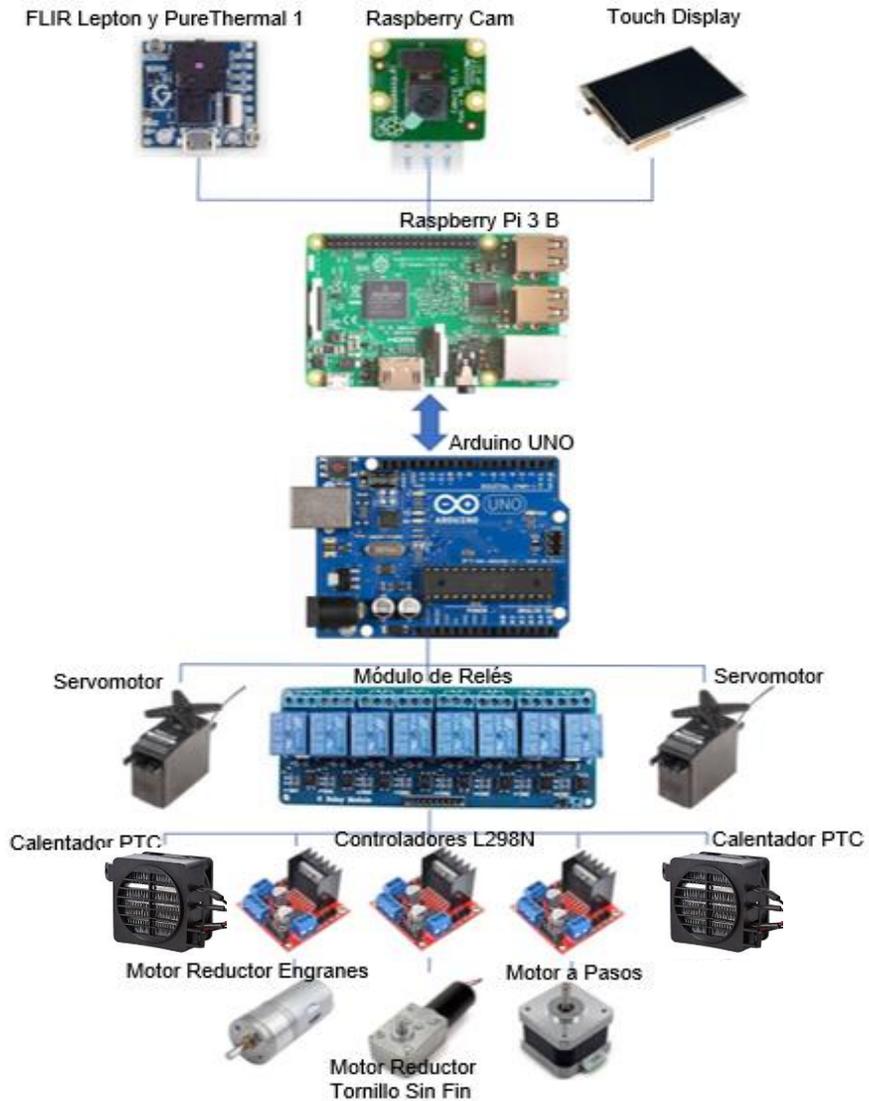
# SISTEMAS QUE CONFORMAN EL MÓDULO



Nº	Módulo	Componentes
1	Sistema de visión artificial	Dispositivo de adquisición de imagen
		Métodos (Procesamiento de imagen, redes Neuronales)
		Software (Framework, librerías)
2	Sistema mecánico	Entorno de muestreo
		Mecanismo de muestreo
		Mecanismo expulsor
		Mecanismo de transporte
3	Sistema de control y visualización	Mecanismo de clasificación
		Estructura
		HMI
		Procesador
		Tarjeta controladora
		Comunicación



# COMPONENTES SELECCIONADOS



# ***SOFTWARE DE RECONOCIMIENTO***

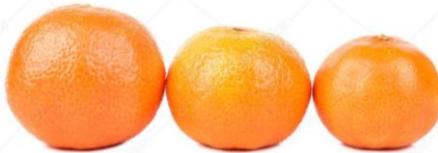
# CLASIFICACIÓN

## CLASIFICACIÓN

TIPO



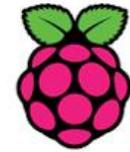
TAMAÑO



CALIDAD



Nanpy firmware v0.9.6



RaspberryPi



# ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

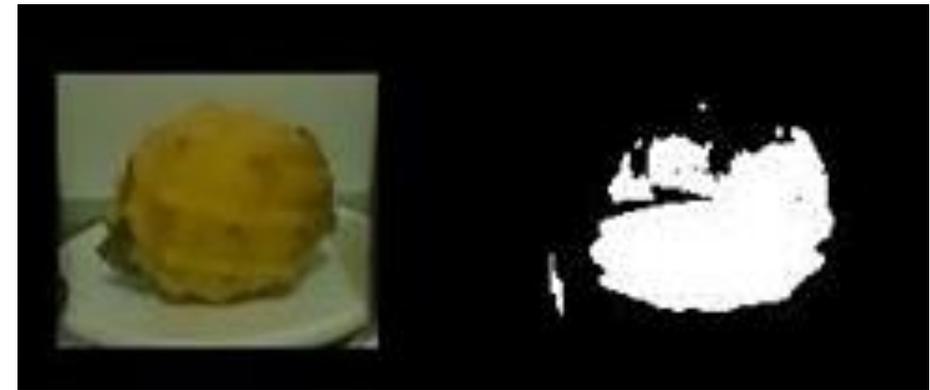


Sistema de Muestreo

# PROCESAMIENTO DE IMÁGENES



ROI



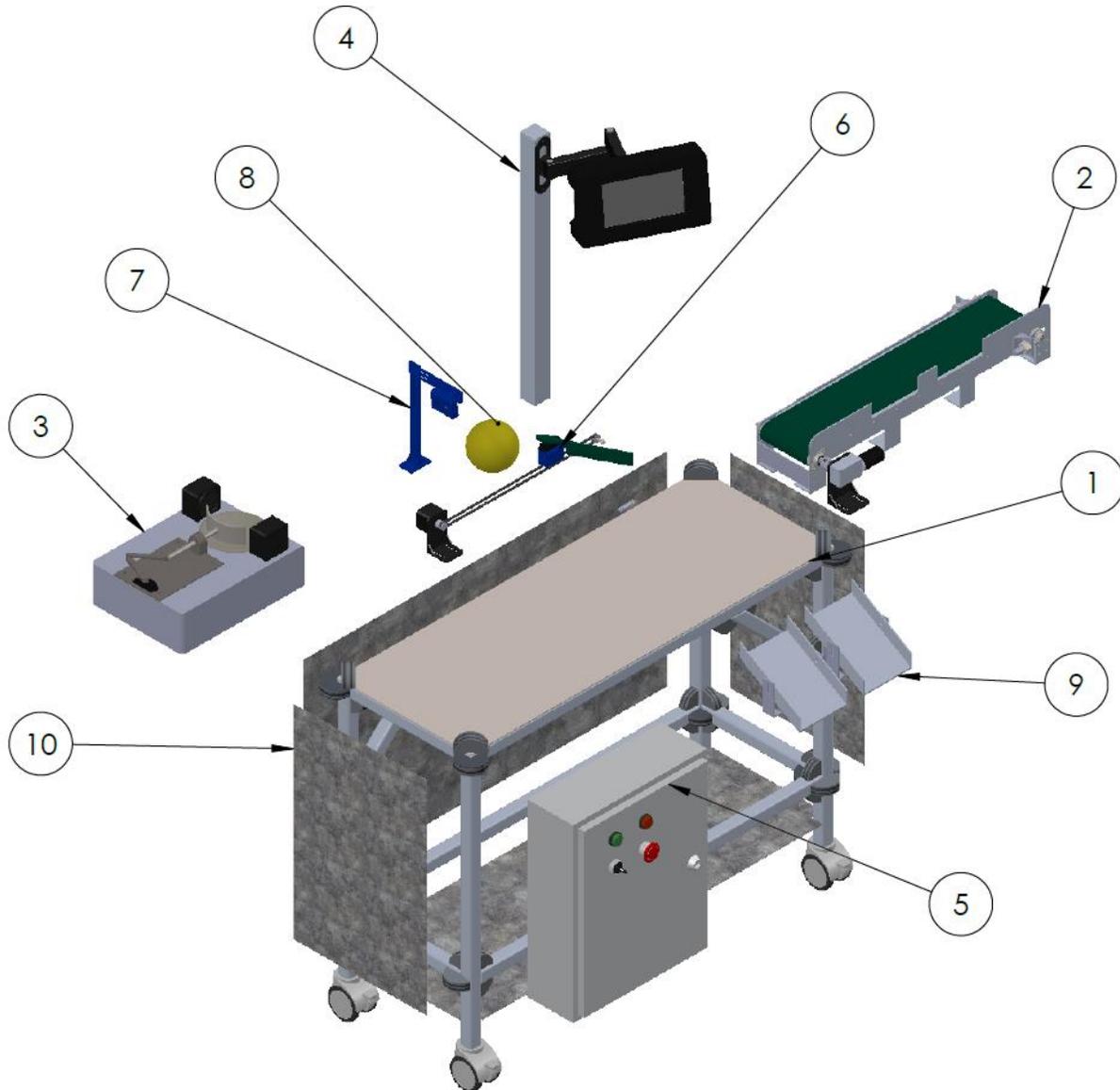
Detección de Fruta



Estimación de Medidas

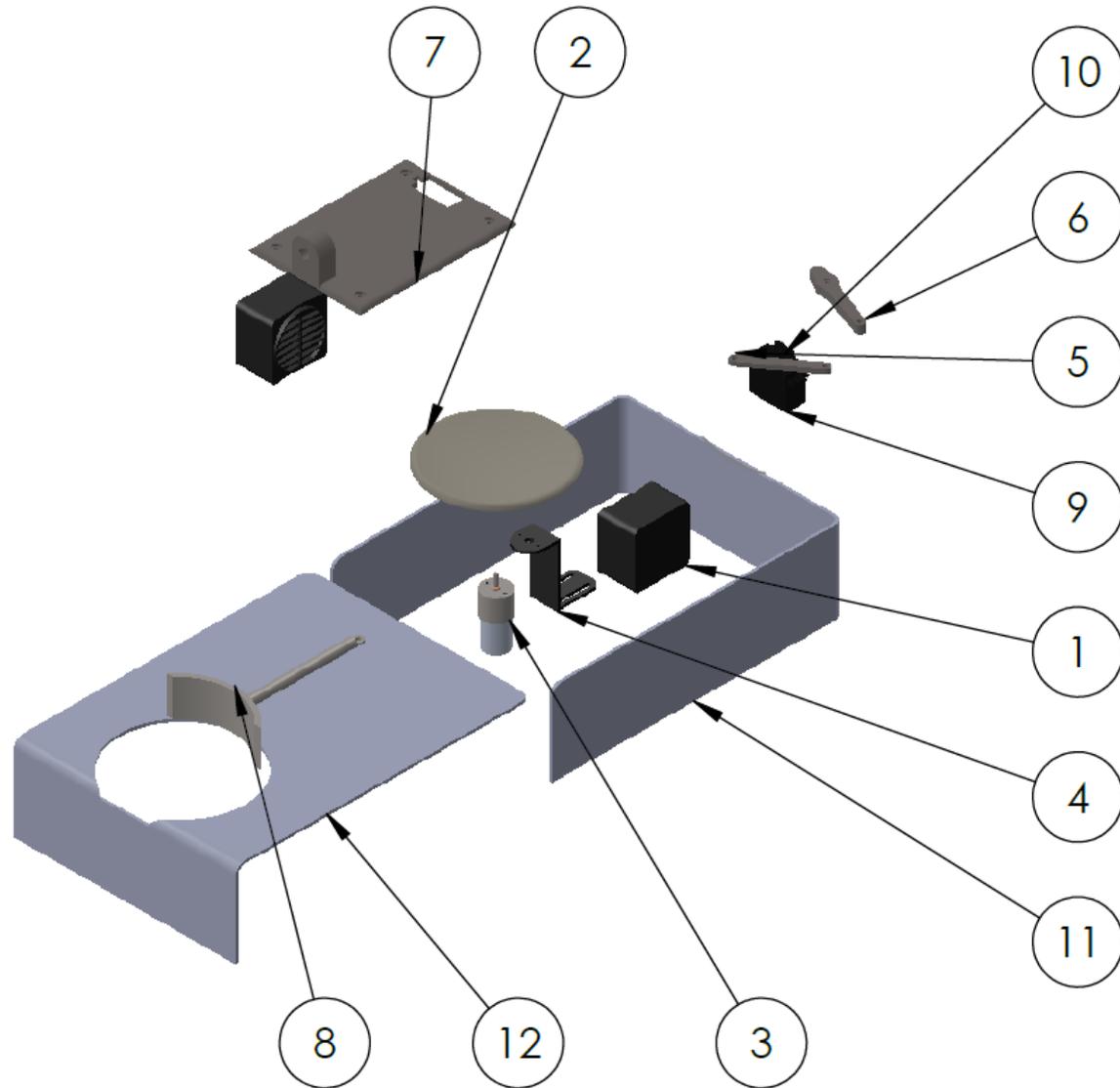
# ***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN***

# COMPONENTES MODULO DIDÁCTICO



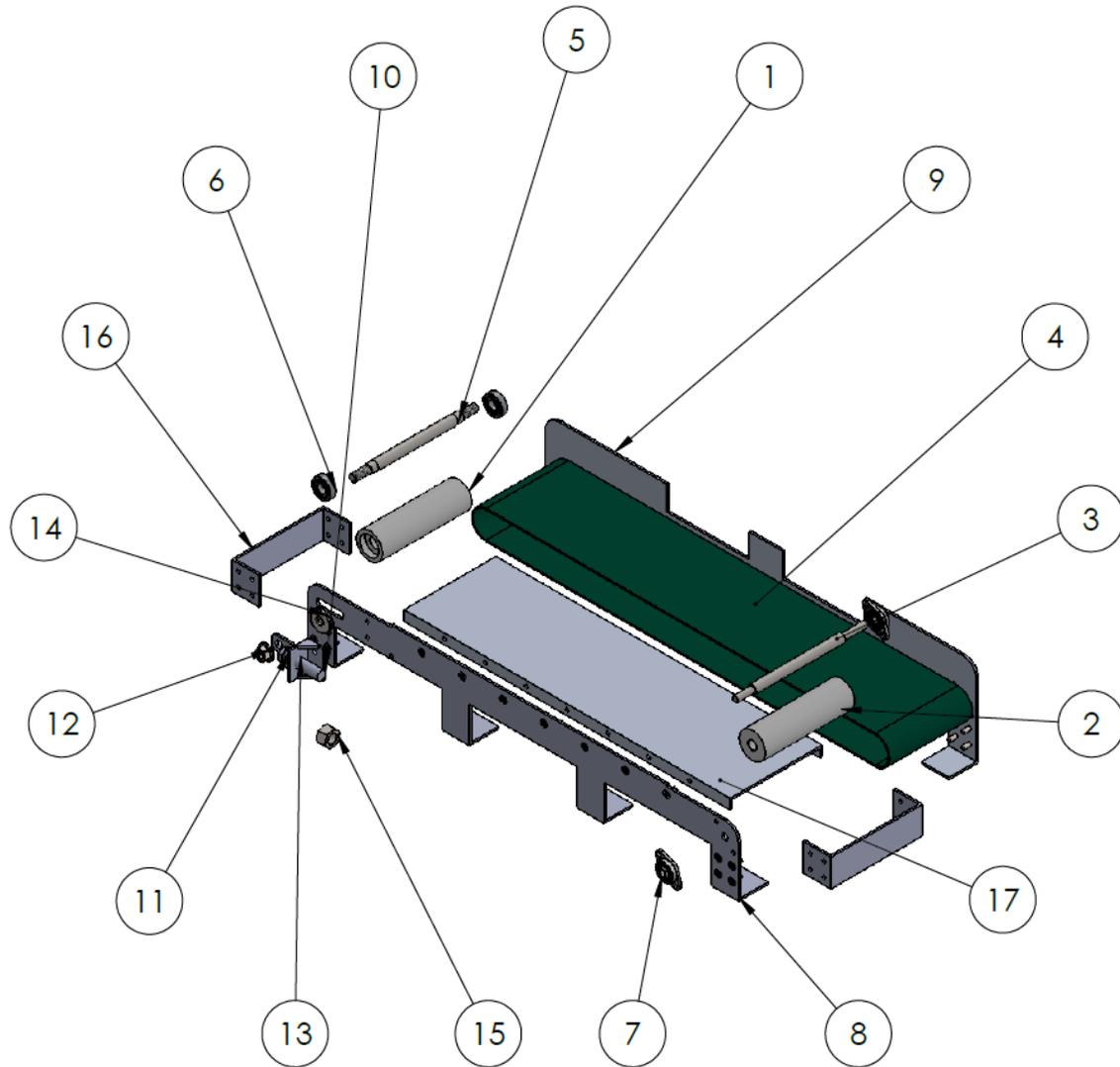
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Mesa Soportante	1
2	Sistema de Transporte	1
3	Sistema de Muestreo	1
4	Sistema de Visualización y Control	1
5	Tablero de Control	1
6	Mecanismo Selector	1
7	Dispositivos de Adquisición de Imágenes	1
9	Salidas de Clasificación	2
10	Cubierta	5

# SISTEMA DE MUESTREO



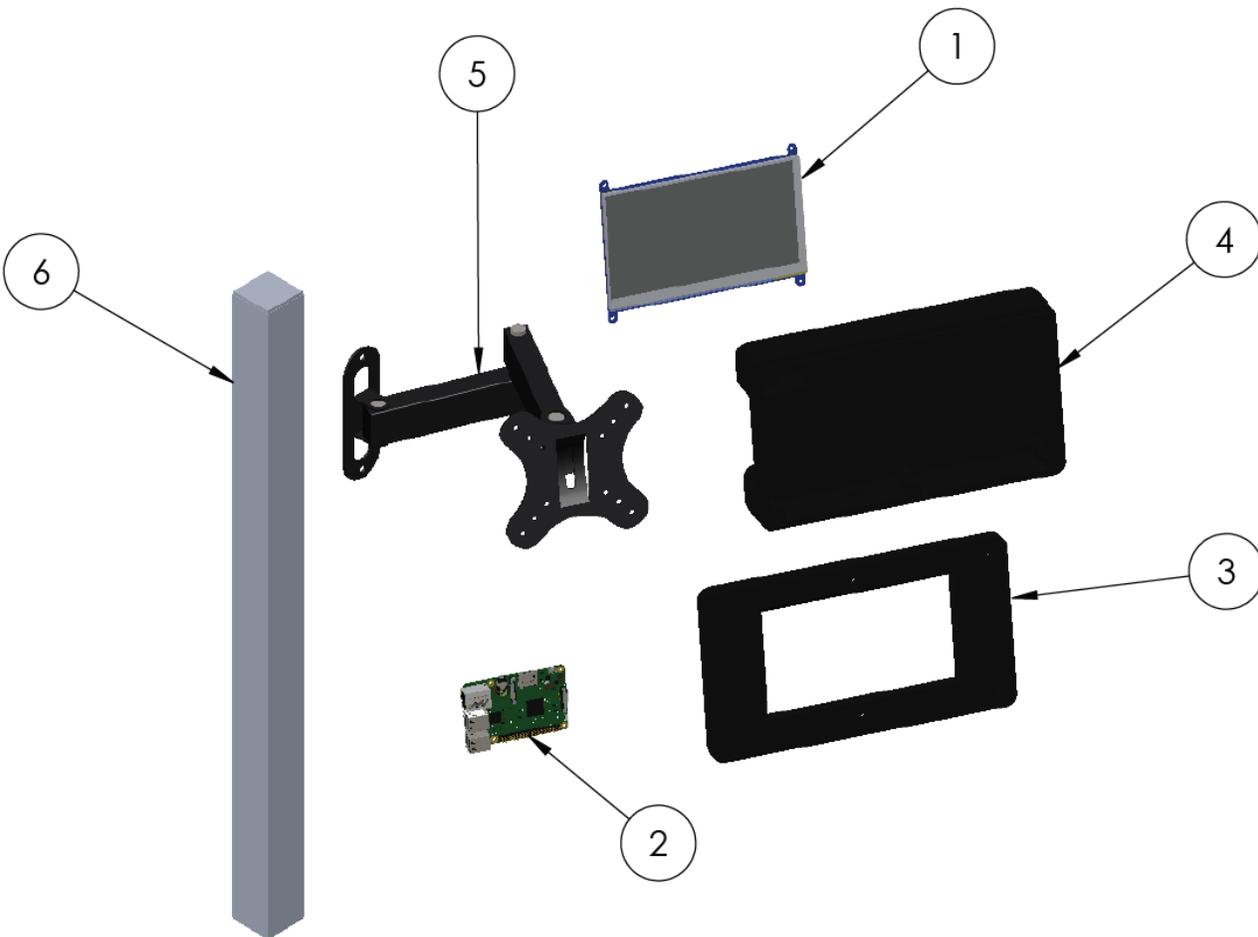
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Calentador PTC	2
2	Plataforma de Muestreo	1
3	Motor Plataforma Giratoria	1
4	Soporte Motor Plataforma	1
5	Biela	1
6	Manivela	1
7	Base	1
8	Corredera	1
9	Servomotor	1
10	Acople Servo	1
11	Mesa Inferior	1
12	Mesa Superior	1

# SISTEMA DE TRANSPORTE



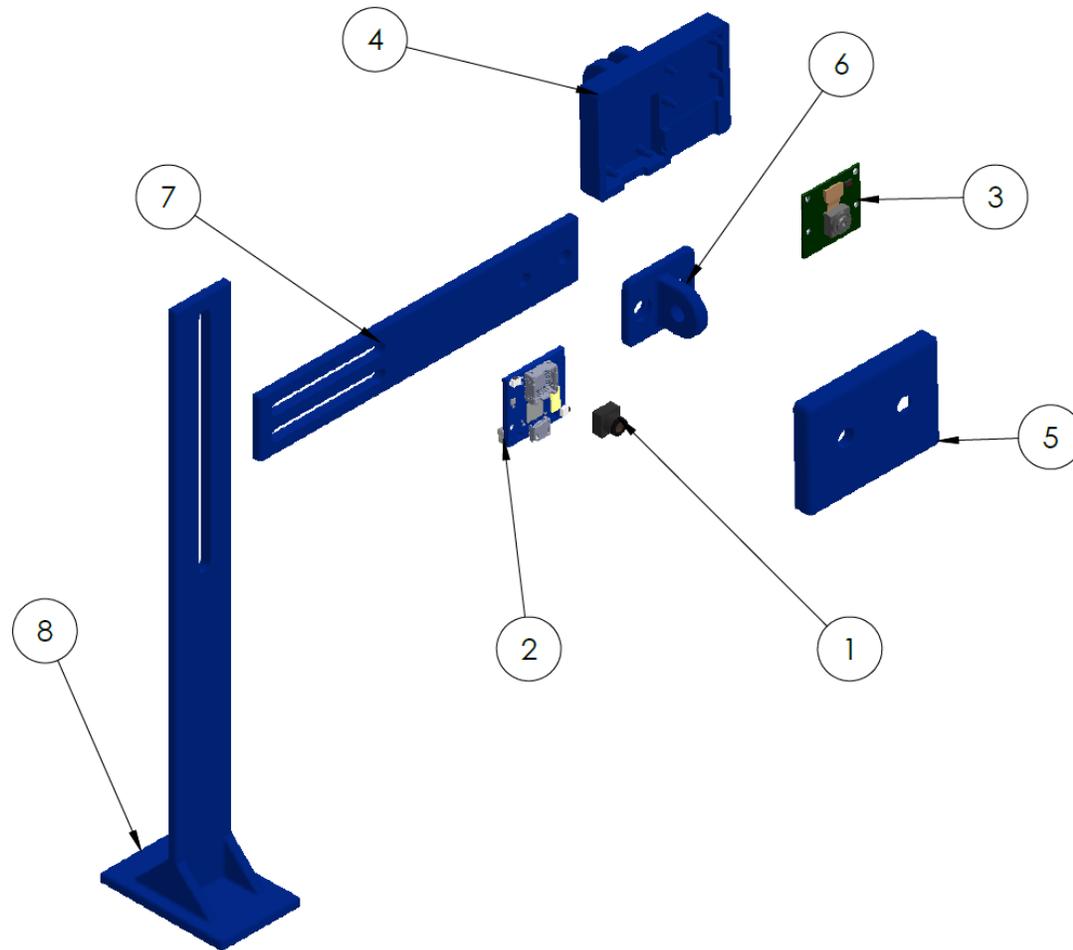
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tambor de Retorno	1
2	Tambor Motriz	1
3	Eje Motriz	1
4	Banda	1
5	Eje de Retorno	1
6	Rodamiento 6001	2
7	Chumacera KFL08	2
8	Lateral Derecho	1
9	Lateral Izquierdo	1
10	Tensor	2
11	Angulo Tensor	2
16	Transversal	2
17	Base banda	1

# SISTEMA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN



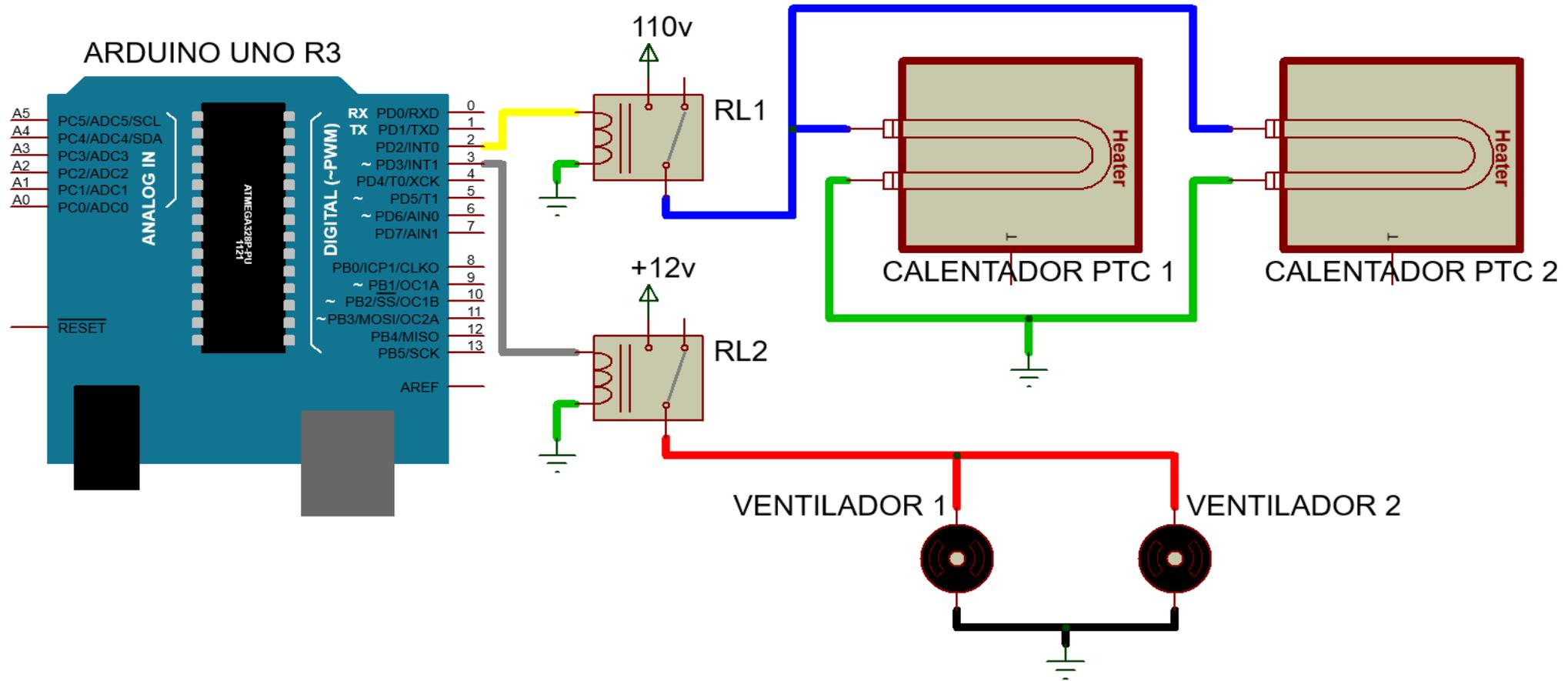
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Touch Display 7in	1
2	Raspberry Pi 3	1
3	Cubierta Frontal Display	1
4	Cubierta Posterior Display	1
5	Parante	1
6	Soporte LCD	1

# DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE IMAGENES

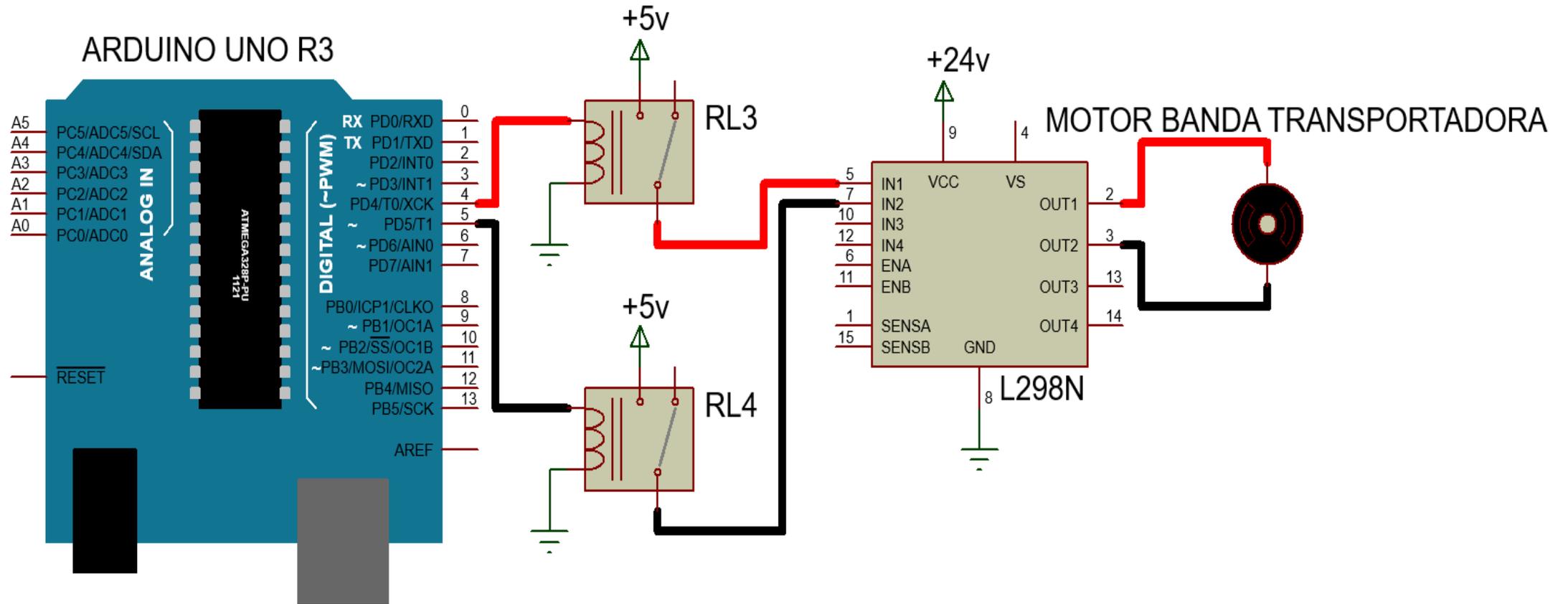


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Flir Lepton	1
2	PureThermal1	1
3	RasPi Cam	1
4	Cubierta Posterior Camaras	1
5	Cubierta Frontal Camaras	1
6	Apoyo Camaras	1
7	Brazo Camaras	1
8	Soporte Camaras	1

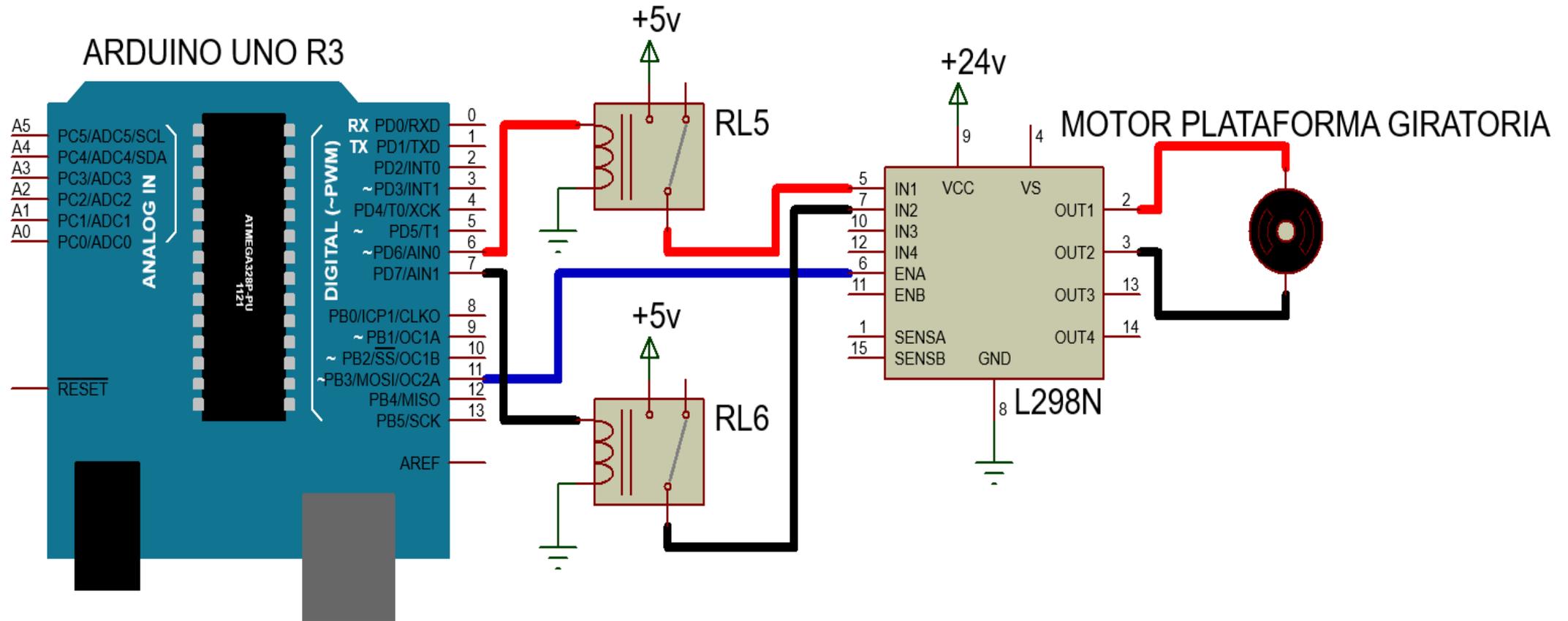
# DIAGRAMA DE CONEXIÓN CALENTADORES PTC



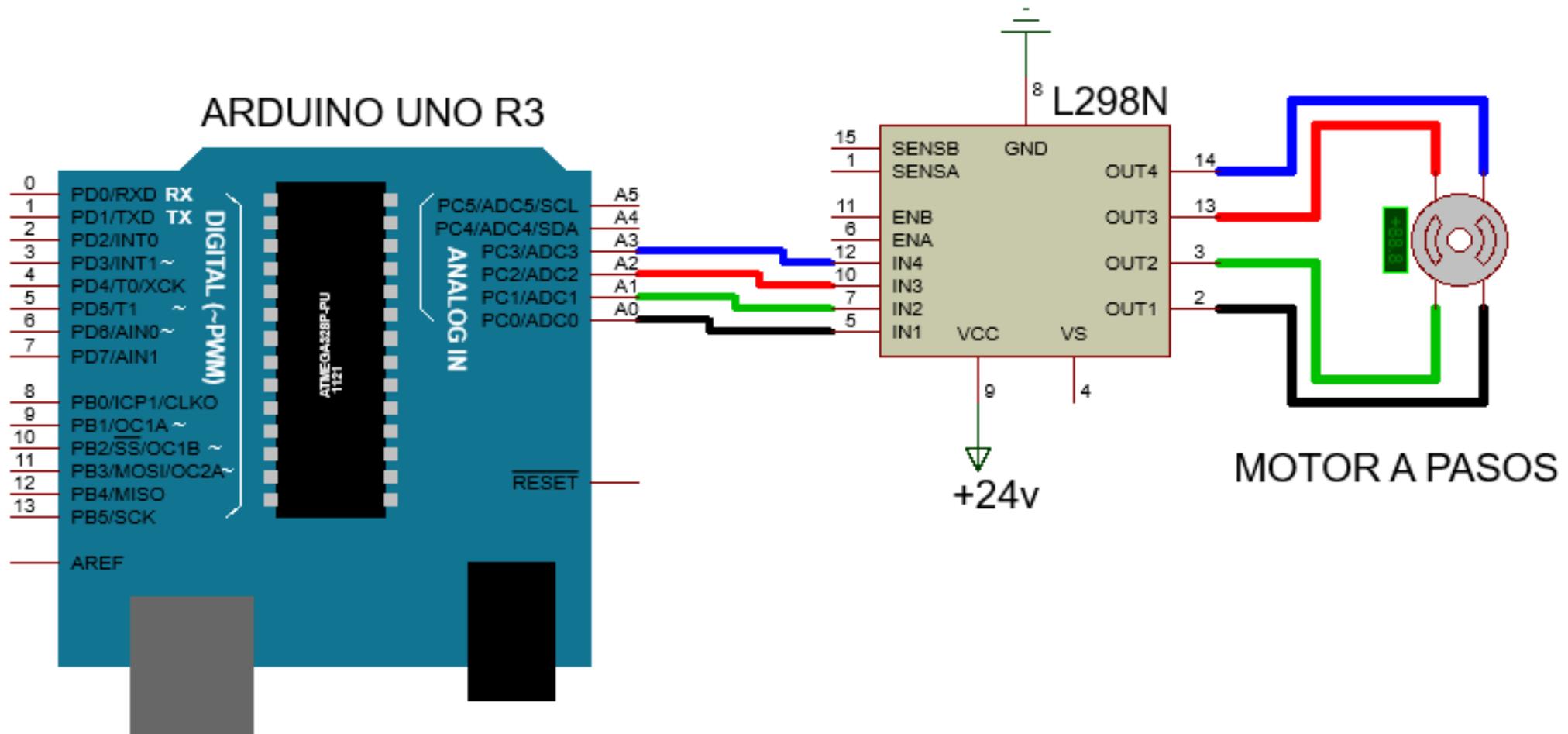
# DIAGRAMA DE CONEXIÓN BANDA TRANSPORTADORA



# DIAGRAMA DE CONEXIÓN PLATAFORMA DE MUESTREO

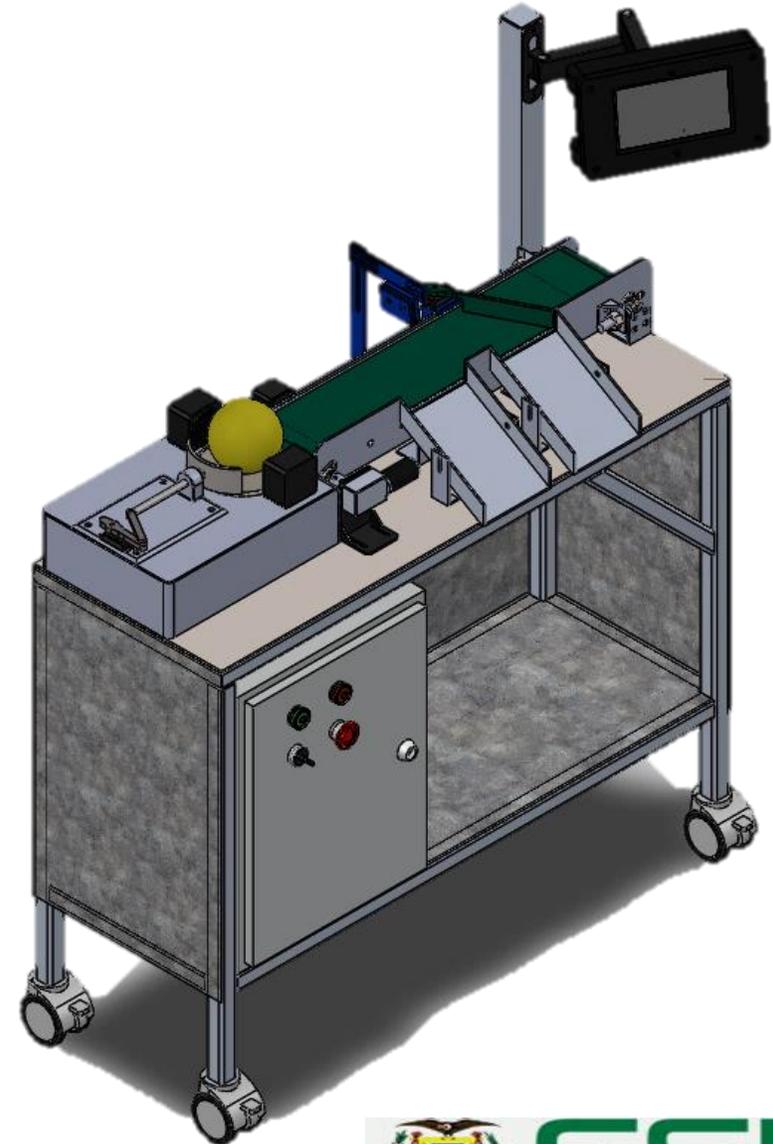


# DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE MOTOR A PASOS – MECANISMO SELECTOR

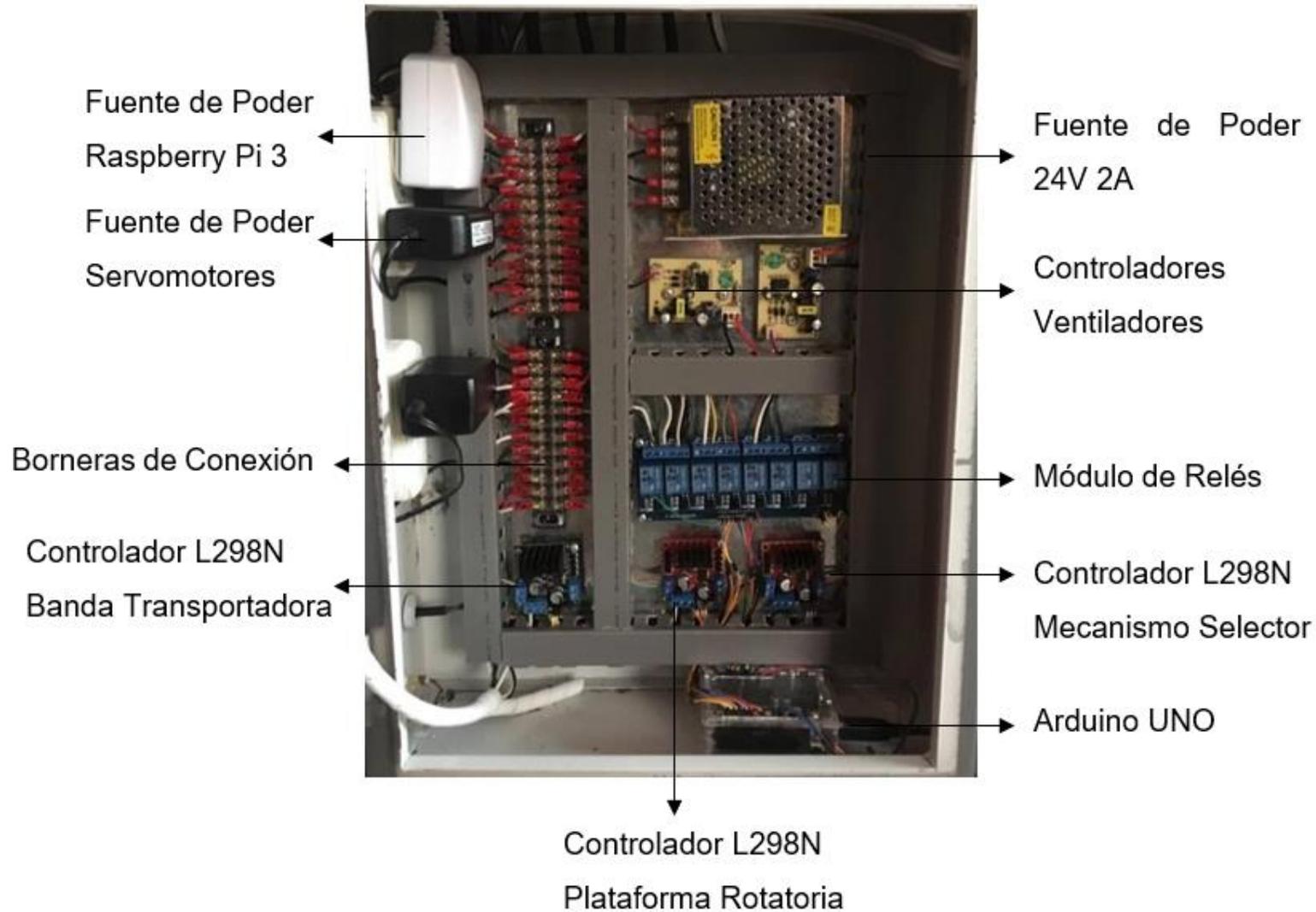


# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Sistema	Especificaciones	Descripción
Módulo General	Dimensiones (LxAxh)	(950 x 350 x 1220) mm
	Alimentación	110V 60Hz
Sistema de Visión Artificial	Resolución Cámara FLIR LEPTON	80H x 60V pixeles
	Resolución Cámara Raspberry	640H x 480V pixeles
	Potencia Calentadores PTC	400W
Sistema Mecánico	Diámetro de Plataforma de Muestreo (Diámetro máximo permisible)	12.5cm
	Peso Máximo Permisible en la Plataforma de Muestreo	0.8kg
	Velocidad Máxima de la Plataforma de Muestreo	30rpm
	Recorrido Mecanismo Expulsor	9cm
	Ancho de Banda Transportadora	12cm
	Velocidad de la Banda Transportadora	5.8cm/s
	Recorrido Mecanismo Clasificador	32cm
Sistema de Control y Visualización	Dispositivo de Visualización	Pantalla Táctil 7in (Resolución: 800x480)
	Microcomputador	Raspberry Pi 3
	Controlador	Arduino UNO



# TABLERO DE CONTROL



# MÓDULO DIDÁCTICO IMPLEMENTADO

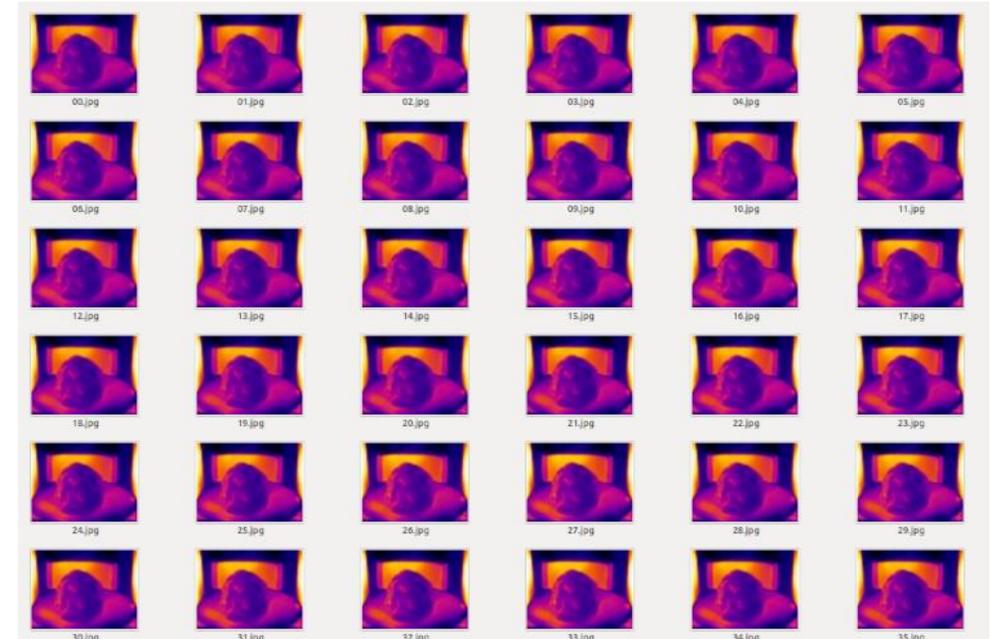


# ***PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS***

# PRUEBAS DE MUESTREO

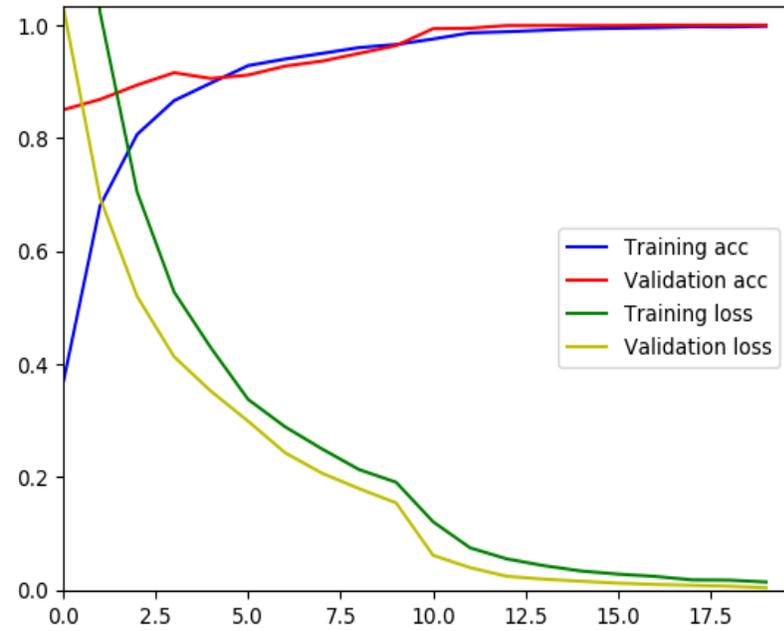


Muestreo Rápido de un Tomate de Árbol

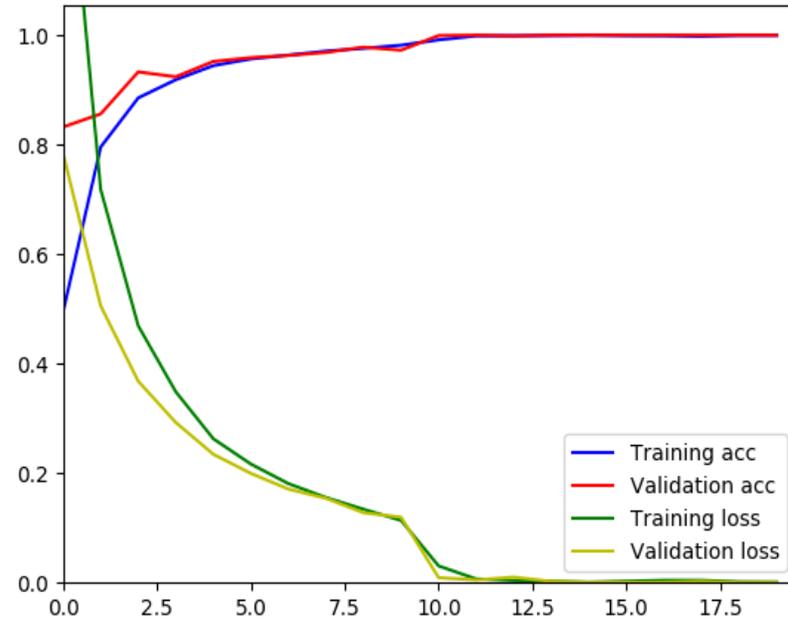


Muestreo Detallado de un Pitahaya

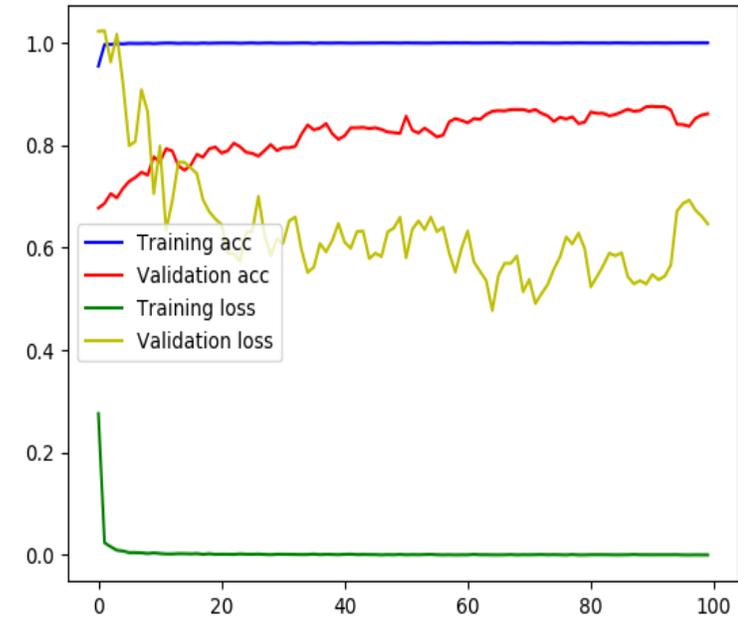
# PRUEBAS DE ENTRENAMIENTO



Red VGG16,  
ADAM - ADAM



Red VGG19,  
ADAM - SGD



Red InceptionV3,  
ADAM - SGD

# PRUEBAS DE RENDIMIENTO

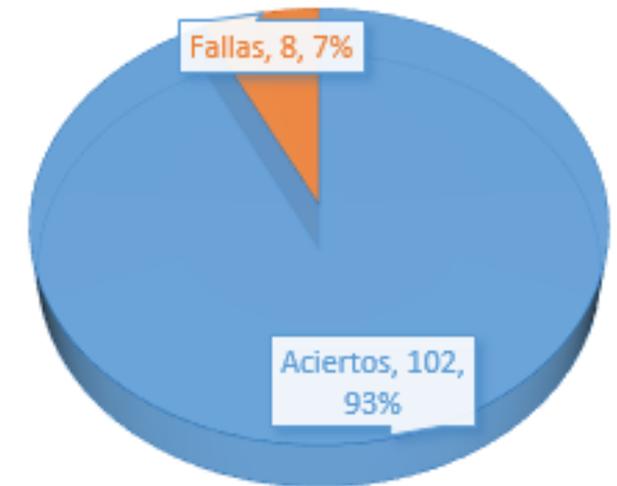
Prueba	VGG16			VGG19		
	Acierta	Falla	Tiempo (segundos)	Acierta	Falla	Tiempo (segundos)
1	1	0	2.12	1	0	5.7
2	1	0	1.51	1	0	4.2
3	1	0	1.46	1	0	4.6
4	0	1	1.4	1	0	4.1
5	1	0	1.45	1	0	3.9
6	1	0	1.43	1	0	4.3
7	1	0	1.39	1	0	4.2
8	1	0	1.45	1	0	4.7
9	1	0	1.36	1	0	4.5
10	1	0	1.41	1	0	4



# PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR TIPO

Fruta	Prueba	Muestras	Aciertos	Fallas	%
Pitahaya	1	15	14	1	93.33
	2	15	15	0	100
Tomate de árbol	3	20	18	2	90
	4	20	19	1	95
Mandarina	5	20	18	2	90
	6	20	18	2	90
<b>Total</b>		<b>110</b>	<b>102</b>	<b>8</b>	

CLASIFICACIÓN POR TIPO



# PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO 1

Prueba	Tamaño real (mm)	Tamaño estimado (mm)	Categoría clasificada	Acierta
1	83	85	Grande	SI
2	69	70	Pequeña	SI
3	77	80	Grande	SI
4	81	82	Grande	SI
5	74	76	Grande	NO
6	75	76	Grande	SI
7	80	81	Grande	SI
8	73	75	Grande	NO
9	78	80	Grande	SI
10	67	70	Pequeña	SI
11	73	75	Grande	NO
12	79	80	Grande	SI
13	71	72	Pequeña	SI
14	83	85	Grande	SI
15	74	75	Grande	NO
16	83	85	Grande	SI
17	68	70	Pequeña	SI
18	72	73	Pequeña	SI
19	78	80	Grande	SI
20	86	87	Grande	SI

Pitahaya

Prueba	Tamaño real (mm)	Tamaño estimado (mm)	Categoría clasificada	Acierta
1	68	70	Grande	SI
2	64	67	Grande	NO
3	59	60	Pequeña	SI
4	60	60	Pequeña	SI
5	58	59	Pequeña	SI
6	70	72	Grande	SI
7	54	55	Pequeña	SI
8	62	65	Grande	NO
9	66	68	Grande	SI
10	52	53	Pequeña	SI
11	64	66	Grande	NO
12	67	69	Grande	SI
13	61	62	Pequeña	SI
14	71	73	Grande	SI
15	58	60	Pequeña	SI
16	64	66	Grande	NO
17	63	65	Grande	NO
18	59	61	Pequeña	SI
19	67	70	Grande	SI
20	64	66	Grande	NO

Tomate de Árbol

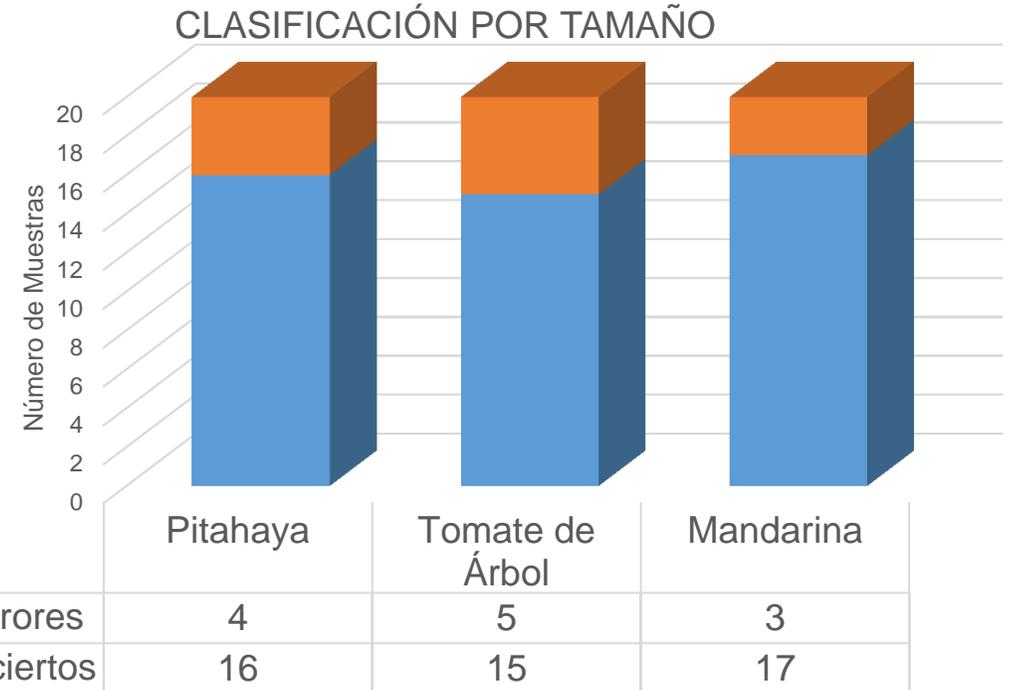


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO 2

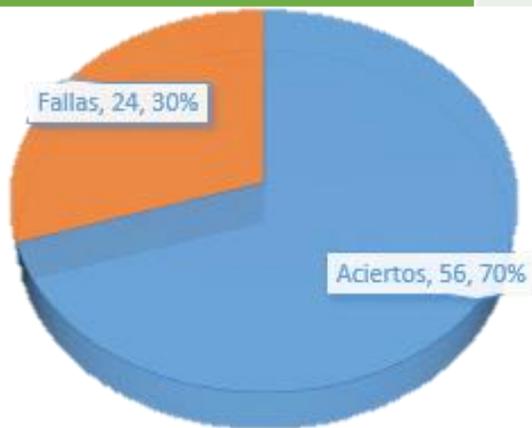
Prueba	Tamaño real (mm)	Tamaño estimado (mm)	Categoría clasificada	Acierta
1	61	63	Grande	SI
2	58	60	Grande	SI
3	59	61	Grande	SI
4	54	55	Grande	NO
5	63	64	Grande	SI
6	60	62	Grande	SI
7	51	52	Pequeña	SI
8	56	58	Grande	SI
9	62	63	Grande	SI
10	60	62	Grande	SI
11	49	50	Pequeña	SI
12	54	56	Grande	NO
13	61	63	Grande	SI
14	51	52	Pequeña	SI
15	58	61	Grande	SI
16	53	55	Grande	NO
17	63	65	Grande	SI
18	59	61	Pequeña	SI
19	60	62	Pequeña	SI
20	50	51	Pequeña	SI

Mandarina

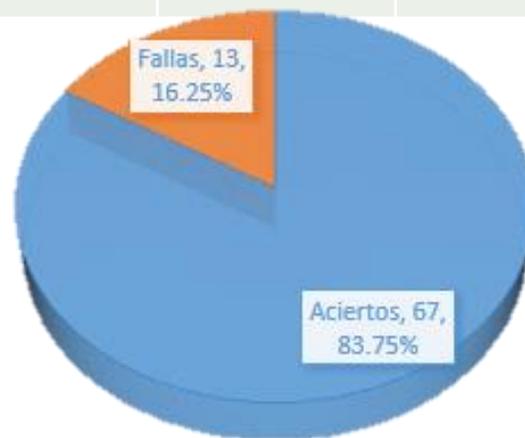


# PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR GOLPES

Fruta	Sistema de Muestreo					Sistema de Visión		
	Prueba	Muestras	Aciertos	Fallas	%	Aciertos	Fallas	%
Pitahaya	1	20	13	7	65	18	2	90
Tomate de árbol	2	25	16	9	64	20	5	80
Mandarina	3	25	20	5	80	20	5	80
Manzana	4	10	7	3	70	9	1	90
<b>Total</b>		<b>80</b>	<b>56</b>	<b>24</b>		<b>67</b>	<b>13</b>	



Sistema de Muestreo



Sistema de Visión

# ANÁLISIS ECONÓMICO

Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Plancha de Aluminio 4mm	1	70	70
Corte CNC	1	26	26
Plancha Acero Galvanizado 1.2mm	1	24	24
Garruchas 2in	4	1.2	4.8
Tablero de Control	1	60	60
Impresiones 3D	-	172	172
Pernos y Tornillos	-	15	15
Soporte de Motores	3	5	15
Soporte TV	1	22	22
Calentadores PTC	2	30	60
Banda PVC	1	35	35
Chumaceras KFL08 8mm	2	3.83	7.66
Polea Dentada y Banda	1	4.2	4.2
Polea Aluminio 5mm	1	1.8	1.8
Pinza de Acople de Aluminio	2	1.6	3.2

Motor Uxcell JSX-31ZY	1	28	28
Motor Uxcell ZGA28RP	1	5.7	5.7
Motor a Pasos NEMA 17 26Ncm	1	12	12
Fuente de Poder VCHS 24V 2A	1	11	11
Pantalla Táctil LANDZO 7in	1	44	44
Kit Raspberry Pi 3	1	50	50
Arduino Uno R3	1	24	24
FLIR Lepton	1	198	198
Pure Thermal 1	1	119.3	119.3
Raspberry Camera	1	6.85	6.85
Controlador L298N 2A	1	7.9	7.9
Controlador L298N 1A	2	3.85	7.7
Servomotor MG946R	2	4.5	9
Elementos Eléctricos	-	40	40
<b>TOTAL</b>			<b>1,104.11</b>



# CONCLUSIONES 1

- Se diseñó e implementó un módulo didáctico de inspección y clasificación de frutas, el cual mediante la adquisición de imágenes de una cámara térmica y una cámara convencional proporciona una clasificación fiable de frutas gracias a la utilización de RNA con un 93% de aciertos en clasificación por tipo y un 70% en clasificación por golpes.
- El dispositivo de adquisición de imágenes fuera del rango visible idóneo para esta aplicación es la cámara térmica FLIR LEPTON integrada con la tarjeta PureThermal 1, que proporcionan visión en un rango espectral de 8 a 14 $\mu$ m en razón a un precio accesible en comparación a otros dispositivos hiper o multiespectrales.

# CONCLUSIONES 2

- Se implemento en OpenCV un algoritmo de procesamiento digital de imágenes encargado de estimar las dimensiones de las frutas y según eso categorizarlas en frutas grandes y pequeñas.
- Se entrenaron dos redes neuronales convolucionales de arquitectura VGG16, la primera predice la categoría correspondiente de la fruta según la imagen mostrada, es decir la clasifica en golpeadas y no golpeadas, y la segunda es capaz de diferenciar entre diferentes tipos de frutas en este caso entre pitahayas, mandarinas y tomates de árbol.
- Se implemento un sistema automatizado para la manipulación de las frutas, el cual es conformado por diversos subsistemas tales como el sistema de muestreo, sistema de transporte y sistema clasificador, los cuales son accionados mediante un Arduino UNO según las ordenes proporcionadas por la Raspberry Pi 3 a través de una comunicación punto a punto.

# CONCLUSIONES 3

- La plataforma de muestreo posee una superficie cóncava de 12.5cm de diámetro que permite mantener a la fruta en el centro de esta para direccionar el aire caliente de mejor manera, y de igual manera obtener imágenes sin desfases por deslizamientos involuntarios.
- Se vio en la necesidad de la implementación de un mecanismo biela manivela corredera con un recorrido de 9cm para facilitar el traslado de la fruta desde la plataforma de muestreo hacia la banda transportadora, ya que dicho mecanismo genera un movimiento lineal a través de los eslabones conectados a un servomotor, lo cual se logró optimizando espacio en el módulo.
- La utilización de un motor a pasos en conjunto con una banda dentada permite el fácil desplazamiento del mecanismo clasificador, ya que se puede controlar el recorrido de 32cm de este mediante los pasos que genera el motor, garantizando un correcto posicionamiento para la clasificación.

# RECOMENDACIONES 1

- Para la mejor detección de defectos internos en frutas se recomienda la utilización de cámaras multispectrales e hiperespectrales que poseen un rango espectral más amplio que la cámara térmica de 8 a 14 $\mu$ m.
- Emplear un microcomputador con una mayor capacidad de procesamiento para implementar redes neuronales con arquitecturas más complejas que permitan realizar reconocimiento con mayor velocidad y precisión, el microcomputador utilizado para este proyecto posee un procesador Quad Cortex A53 @1.2GHz con 1Gb SDRAM.
- Es recomendable realizar el entrenamiento de la RNA's en un computador con tarjeta gráfica para que el tiempo de entrenamiento se reduzca considerablemente, en este proyecto el entrenamiento se lo realizó en un ordenador con tarjeta gráfica NVIDIA GEFORCE GTX 960M.

# RECOMENDACIONES 2

- Verificar que la banda PVC se encuentre bien tensada antes de realizar cualquier operación.
- Se recomienda apagar en primera instancia la Raspberry Pi 3 de manera manual y no mediante el switch general del sistema, para evitar daños en la misma.
- La visualización de defectos mejoraría si la etapa de calentamiento se la realiza en una zona distinta de la plataforma de muestreo.
- Una mejor opción para detectar defectos internos en frutas mediante cámaras térmicas es la implementación de un sistema de enfriamiento previo al sistema de muestreo para no afectar a otros elementos.
- No manipular manualmente los actuadores para evitar daño en los mismos y en los diferentes mecanismos.
- Verificar que la banda dentada se encuentre ligeramente templada para que el mecanismo clasificador se posicione correctamente.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

