



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA
CLASIFICADORA Y CONTADORA DE MONEDAS BASADA EN
VISIÓN ARTIFICIAL”

Trabajo de titulación

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: LUIS MIGUEL MANOBANDA GUAMÁN

TUTOR: ING. JESÚS RODRÍGUEZ FLORES PhD.

RIOBAMBA – ECUADOR
2019

©2019, Luis Miguel Manobanda Guamán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CLASIFICADORA Y CONTADORA DE MONEDAS BASADA EN VISIÓN ARTIFICIAL”, de responsabilidad del señor Luis Miguel Manobanda Guamán, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna Encalada DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Freddy Chávez Vásquez DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	_____	_____
Ing. Jesús Rodríguez Flores PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Pablo Lozada MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____

“Yo, **LUIS MIGUEL MANOBANDA GUAMÁN**, soy responsable de las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Luis Miguel Manobanda Guamán

DEDICATORIA

A mis padres quien de manera incondicional me han brindado su apoyo en todas las etapas de mi vida y de manera especial durante la elaboración del presente trabajo de titulación. A mi padre Luis Amable quien con su hecho de vida me ha sabido transmitir esa fortaleza y perseverancia que se necesita en cada trabajo. A mi madre Eva Beatriz por sus consejos y la comprensión que me ha brindado. A mis hermanos por sus palabras de aliento y los momentos gratos que hemos compartido.

Luis Miguel Manobanda Guamán

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi familia por el amor, los consejos, la comprensión que me han brindado y por demostrarme que con perseverancia se pueden cumplir todas las metas trazadas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que me ha brindado la oportunidad de obtener una formación académica de calidad por medio del trabajo de cada una de sus autoridades y docentes.

Un agradecimiento especial al Ing. Henry Vallejo quien contribuyó con su experiencia, guía, paciencia y asesoramiento en el presente trabajo de titulación y que, por razones ajenas a su voluntad, su vida profesional tuvo que tomar otro rumbo. Al Ing. Jorge Toapanta que, por su amor a la ciencia, contribuyó de forma desinteresada con su asesoramiento con el fin de lograr un buen análisis. Al Ing. Jesús Rodríguez que con su experiencia y exigencia aportó para complementar un trabajo correcto.

A mi novia que con sus consejos y palabras de aliento ha sido uno de los pilares fundamentales en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Gracias de corazón.

Luis Miguel Manobanda Guamán

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABVREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Las monedas de dólar	5
1.2. Máquinas clasificadoras y contadoras de monedas	6
1.2.1. Origen.....	6
1.2.2. Tipos de máquinas	6
1.2.2.1. Máquinas contadoras de monedas	7
1.2.2.2. Máquinas clasificadoras de monedas	8
1.2.2.3. Máquinas clasificadoras y contadoras de monedas	8
1.2.3. Arquitectura de una máquina clasificadora y contadora de monedas.....	10
1.2.3.1. Estructura	10
1.2.3.2. Mecanismo de separación de monedas	10
1.2.3.3. Mecanismo para la clasificación de monedas.....	11
1.3. Trabajos realizados para la identificación de monedas	11
1.4. Visión Artificial	12
1.4.1. Algoritmo para el proceso de visión artificial.....	12
1.4.2. Componentes de un sistema de visión artificial.....	14
1.4.2.1. Sistema de iluminación	14
1.4.2.2. Cámaras	14
1.5. Elementos electrónicos.....	15
1.5.1. Tarjetas de desarrollo.....	15
1.5.1.1. Arduino	15
1.5.1.2. Raspberry Pi	16

1.5.1.3.	<i>Tinker Board</i>	16
1.5.2.	<i>Pantallas LCD para visualización</i>	17
1.5.3.	<i>Motores DC</i>	18
1.5.3.1.	<i>Motores paso a paso</i>	18
1.6.	Protocolos de comunicación	19
1.6.1.	<i>Comunicación Serial</i>	19
1.6.2.	<i>Protocolo I2C</i>	19
 CAPITULO II		 20
2.	MARCO METODOLÓGICO	20
2.1.	Requerimientos del prototipo	20
2.2.	Concepción general del prototipo	20
2.3.	Componentes Software y Hardware requeridos	22
2.3.1.	<i>Software</i>	22
2.3.1.1.	<i>SOLIDWORKS</i>	22
2.3.1.2.	<i>IDLE Python para Debian</i>	22
2.3.1.3.	<i>Arduino IDE</i>	23
2.3.1.4.	<i>Fritzing</i>	24
2.3.2.	<i>Hardware</i>	25
2.3.2.1.	<i>Tarjetas de desarrollo</i>	25
2.3.2.2.	<i>Cámara para visión artificial</i>	26
2.3.2.3.	<i>Dispositivo de visualización</i>	28
2.3.2.4.	<i>Motor para el mecanismo de separación de monedas</i>	28
2.3.2.5.	<i>Driver para el manejo del motor a pasos</i>	29
2.3.2.7.	<i>Fuente de alimentación</i>	31
2.4.	Diseño de la arquitectura mecánica del prototipo	32
2.4.1.	<i>Diseño de la estructura interna del prototipo</i>	32
2.4.2.	<i>Diseño del mecanismo para la clasificación de las monedas</i>	33
2.4.3.	<i>Diseño del mecanismo para la separación e identificación de las monedas</i>	34
2.4.4.	<i>Diseño de la tolva para el ingreso de monedas</i>	35
2.4.5.	<i>Diseño del soporte para la cámara y la iluminación</i>	36
2.4.6.	<i>Diseño del soporte para el motor a pasos Nema 17</i>	36
2.4.7.	<i>Diseño del gabinete</i>	37
2.4.8.	<i>Diseño del soporte para el HMI y estructura terminada</i>	38
2.5.	Esquematización de la arquitectura electrónica del prototipo	39
2.5.1.	<i>Esquematización del proceso de visión artificial y comunicación I2C</i>	40

2.5.2.	<i>Esquemmatización de la placa principal</i>	40
2.5.3.	<i>Esquemmatización de la conexión con el Motor Nema 17</i>	41
2.5.4.	<i>Esquemmatización de la interfaz HMI</i>	42
2.6.	Desarrollo de la programación del prototipo	43
2.6.1.	<i>Programación del menú, proceso de conteo y muestra de resultados</i>	43
2.6.2.	<i>Programación del proceso de visión artificial</i>	45
2.7.	Implementación de las placas de circuito impreso	48
2.7.1.	<i>Diseño de PCB de la placa principal y el HMI</i>	48
2.7.2.	<i>Montaje de las placas</i>	49
2.8.	Implementación del prototipo	49
2.9.	Diseño e implementación de un instrumento de medición de luz	53
 CAPITULO III		56
3.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	56
3.1.	Determinación del nivel indicado de luz en el sistema de iluminación	56
3.2.	Determinación de las características de las monedas a compararse	57
3.3.	Prueba de estabilidad en el reconocimiento de monedas	63
3.4.	Análisis de costos del prototipo	70
3.5.	Cumplimiento de objetivos	71
 CONCLUSIONES		72
 RECOMENDACIONES		73
 BIBLIOGRAFÍA		
 ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de las monedas de centavo de dólar ecuatorianas.....	5
Tabla 1-2: Comparativa entre Raspberry Pi 3 B y Tinker Board S.....	25
Tabla 2-2: Comparativa entre Arduino y Raspberry.....	26
Tabla 3-2: Comparativa entre Picamera V1.3 y Picamera V2.1.....	27
Tabla 4-2: Características del motor a pasos Nema 17.....	29
Tabla 5-2: Comparativa entre los drivers A4988 y el DRV8825.....	29
Tabla 6-2: Comparativa entre leds de 1, 3 y 5 W de color blanco.....	30
Tabla 7-2: Características de la fuente de poder.....	31
Tabla 1-3: Mediciones del sistema de iluminación.....	56
Tabla 2-3: Radios captados en las muestras de 50 centavos en velocidad 1.....	58
Tabla 3-3: Radios captados en las muestras de 50 centavos en velocidad 2.....	58
Tabla 4-3: Radios captados en las muestras de 50 centavos en velocidad 3.....	59
Tabla 5-3: Áreas captadas en las muestras de 5, 10, 25 centavos y 1 dólar en velocidad 1.....	60
Tabla 6-3: Áreas captadas en las muestras de 5, 10, 25 centavos y 1 dólar en velocidad 2.....	61
Tabla 7-3: Áreas captadas en las muestras de 5, 10, 25 centavos y 1 dólar en velocidad 3.....	61
Tabla 8-3: Prueba de estabilidad en el reconocimiento de monedas.....	63
Tabla 9-3: Pérdida de dinero en el conteo en la velocidad 1.....	64
Tabla 10-3: Pérdida de dinero en el conteo en la velocidad 2.....	66
Tabla 11-3: Pérdida de dinero en el conteo en la velocidad 3.....	68
Tabla 12-3: Costo de la implementación del prototipo.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Máquina contadora de monedas.....	7
Figura 2-1. Máquina contadora de monedas por peso.....	7
Figura 3-1. Máquina clasificadora de monedas.....	8
Figura 4-1. Clasificadora contadora SafeScan 1250.....	9
Figura 5-1. Máquina DTC de ScanCoin.....	9
Figura 6-1. Máquina ICX Active-9 de ScanCoin.....	9
Figura 7-1. Estructura de una máquina clasificadora/contadora de monedas.....	10
Figura 8-1. Mecanismo de separación de monedas.....	11
Figura 9-1. Mecanismo para la clasificación de monedas.....	11
Figura 10-1. Diagrama de bloques del proceso de un sistema de visión artificial.....	13
Figura 11-1. Dispositivos emisores de luz.....	14
Figura 12-1. Modelos de placas Arduino.....	15
Figura 13-1. Modelos de la familia Raspberry Pi.....	16
Figura 14-1. Tinker Board S.....	17
Figura 15-1. Pantallas LCD.....	17
Figura 16-1. Parte estática (estator) y dinámica (rotor) de un Motor DC.....	18
Figura 17-1. Motores paso a paso.....	19
Figura 1-2. Concepción general del prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basada en visión artificial.....	21
Figura 2-2. Interfaz de la versión 2018 de SOLIDWORKS.....	22
Figura 3-2. Interfaz de IDLE Python para Debian.....	23
Figura 4-2. Interfaz de Arduino IDE.....	24
Figura 5-2. Interfaz de Fritzing.....	24
Figura 6-2. Placa Tinker Board S.....	25
Figura 7-2. Arduino Uno.....	26
Figura 8-2. Picamera V1.3.....	27
Figura 9-2. Datos a mostrarse en la pantalla.....	28
Figura 10-2. LCD 20x4.....	28
Figura 11-2. Motor a pasos Nema 17.....	29
Figura 12-2. Driver DRV8825.....	30
Figura 13-2. Led de 3W color blanco.....	31
Figura 14-2. Fuente de poder.....	31
Figura 15-2. Diseño de la estructura con los separadores para las monedas.....	32
Figura 16-2. Diseño de la estructura interna del prototipo.....	33

Figura 17-2. Diseño del mecanismo para la clasificación de las monedas.....	34
Figura 18-2. Diseño del disco para la separación de las monedas.....	34
Figura 19-2. Diseño del mecanismo para la separación e identificación.....	35
Figura 20-2. Tolva.....	36
Figura 21-2. Diseño de la estructura del soporte para la cámara.....	36
Figura 22-2. Diseño del ensamblaje del soporte para el motor Nema 17.....	37
Figura 23-2. Diseño del soporte acoplado con el mecanismo de separación de monedas.....	37
Figura 24-2. Diseño del gabinete.....	38
Figura 25-2. Diseño del soporte para el HMI.....	38
Figura 26-2. Diseño de la estructura interna completa.....	39
Figura 27-2. Diseño del prototipo final.....	39
Figura 28-2. Esquema del proceso de visión artificial y comunicación I2C.....	40
Figura 29-2. Esquema de la placa principal.....	41
Figura 30-2. Esquema de la conexión para el motor Nema 17.....	42
Figura 31-2. Esquema de la interfaz HMI.....	42
Figura 32-2. Diagrama de estados del menú.....	43
Figura 33-2. Diagrama de flujo del menú, proceso de conteo y muestra de resultados.....	45
Figura 34-2. Diagrama de flujo del proceso de visión artificial.....	47
Figura 35-2. Esquema del PCB de la placa principal.....	48
Figura 36-2. Esquema del PCB de la placa para el HMI.....	48
Figura 37-2. Placa principal implementada.....	49
Figura 38-2. Placa implementada para el HMI.....	49
Figura 39-2. Corte laser de las piezas en MDF.....	50
Figura 40-2. Ensamblaje de la estructura interna del prototipo.....	51
Figura 41-2. Fondo negro mate donde son captadas las monedas.....	51
Figura 42-2. Montaje de toda la estructura interna.....	52
Figura 43-2. Ensamblaje del gabinete.....	52
Figura 44-2. Prototipo terminado.....	53
Figura 45-2. Diseño de una fuente de corriente para un LDR.....	53
Figura 46-2. Medición de la resistencia máxima del LDR.....	54
Figura 47-2. Circuito para medir la variación de luz.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Datos de las mediciones del sistema de iluminación.....	57
Gráfico 2-3. Pérdidas de dinero en las velocidades de conteo.....	70

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A:	Amperios
CAD:	Computer-Aided Design (Diseño asistido por computadora)
CCD:	Charge-Coupled Device (Dispositivo de Carga Acoplada)
cm:	Centímetros
CMOS:	Complimentary Metal Oxide Semiconductor (Semiconductor Complementario de Óxido Metálico)
CPU:	Central Processing Unit (Unidad Central de Proceso)
CSI:	Camera Serial Interface (Interfaz Serie para Cámaras)
DC:	Corriente Directa
DDR3:	Double Data Rate (Datos de Doble Velocidad)
E/S:	Entradas y salidas
GB:	Giga Byte
GHz:	Giga Hertz
GND:	Ground (Tierra)
GPIO:	General Purpose Input/Output (Entrada/Salida de Propósito General)
GPU:	Graphics Processing Unit (Unidad de Procesamiento de Gráficos)
HD:	High Definition (Alta Definición)
HMI:	Human Machine Interface (Interfaz Humano Máquina)
Hz:	Hertzios
I2C:	Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-Integrado)
IDE:	Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado)
Kbits:	KiloByte
Kgf:	Kilo Gramos-Fuerza
LCD:	Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido)
LDR:	Light Dependent Resistor (Resistencia Dependiente de Luz)
MDF:	Medium Density Fibreboard (Tablero de Densidad Media)
MIPI:	Mobile Industry Processor Interface Alliance (Interfaz de Procesador de la Industria Móvil)
mm:	Milímetros
OPAMP:	Operational Amplifier (Amplificador Operacional)
PCB:	Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impreso)
PDI:	Procesamiento Digital de Imágenes
RAM:	Random Acces Memory (Memoria de Acceso Aleatorio)
RX:	Recepción

SCL:	System Clock (Reloj del SIstema)
SDA:	System Data (Datos del Sistema)
SoC:	System On Chip (Sistema en Chip)
TTL:	Transistor-Transistor Logic (Lógica de Transistor a Transistor)
TWI:	Two Wire Interface (Interfaz de Dos Hilos)
TX:	Transmisión
UART:	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal)
uA:	Microamperios
uF:	Microfaradios
UHD:	Ultra High Definition (Ultra Alta Definición)
USB:	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
V:	Voltaje
Vmot:	Voltaje de Motor
W:	Watts
WI-FI:	Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica)
Ω:	Ohmios
°C:	Grados Centígrados
2D:	Dos Dimensiones
3D:	Tres Dimensiones

RESUMEN

Se realizó el diseño e implementación de un prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas que utiliza la visión artificial como un método de identificación y conteo, además de un sistema mecánico para la clasificación, estableciendo una nueva técnica para las operaciones de conteo de dinero. Las máquinas comerciales con velocidades elevadas y múltiples funciones integran sensores patentados para la identificación y conteo de monedas, por lo que la cámara en el proceso de visión artificial es un elemento de bajo costo que emula a dichos sensores. El procesamiento de las imágenes se lo realiza con la tarjeta Tinker Board S de Asus tras la captura con la cámara de Raspberry v1.3 para luego transmitir los resultados obtenidos a un Arduino Uno por medio del protocolo de comunicación I2C. Esta segunda tarjeta es la encargada de gestionar los procesos del control de velocidad del motor en el sistema para la separación de monedas y de la interfaz HMI. Posee una interfaz sencilla con tres botones con los que se puede navegar por el menú y visualizar los datos obtenidos durante y después de cada operación con las monedas. Las pruebas realizadas establecieron un resultado del 0% de error en velocidades bajas, definiendo a la visión artificial como una técnica lenta en el prototipo diseñado. El costo de la implementación del prototipo se mantiene relativamente bajo con respecto a la adquisición de una máquina comercial, al no contar con una producción nacional de este tipo de herramientas. Se recomienda utilizar material con mayor rigidez en el mecanismo de separación de monedas para evitar atascos y extender la vida útil del prototipo.

Palabras Clave: <VISIÓN ARTIFICIAL>, <MONEDAS>, <SISTEMA DE ILUMINACIÓN>, <INSTRUMENTO DE MEDICIÓN>, <IDENTIFICACIÓN Y CONTEO>, <PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN I2C>, <OPENCV>, <TINKER BOARD S (SOFTWARE-HARDWARE)>.

ABSTRACT

It was carried out the design and implementation of a prototype coin sorting and counting machine that uses artificial vision as a method of identification and counting, as well as a mechanical system for classification, establishing a new technique for money counting operations. Commercial machines with high speeds and multiple functions integrate patented sensors for the identification and counting of coins, so the camera in the process of artificial vision is a low cost element that emulates these sensors. The processing of the images is done with the Asus Tinker Board S card after capture with the Raspberry v 1.3 camera and then transmits the results obtained to an Arduino Uno through the I2C communication protocol. This second card is responsible for managing the processes of the motor speed control in the system for the separation of coins and the HMI interface. It has a simple interface with three buttons with which someone can browse through the menu and view the data obtained during and after each operation with the coins. The tests carried out established a result of 0% error in low speeds, defining artificial vision as a slow technique in the designed prototype. The cost of implementing the prototype remains relatively low with respect to the acquisition of a commercial machine, as it does not have a national production of this type of tool. It is recommended to use material with greater rigidity in the mechanism of separation of coins to avoid jams and extend the useful life of the prototype.

Keywords: <ARTIFICIAL VISION>, <COINS> <LIGHTING SYSTEM> <MEASUREMENT INSTRUMENT>, <IDENTIFICATION AND COUNTING>, <I2C COMMUNICATION PROTOCOL>, <OPENCV>, <TINKER BOARD S (SOFTWARE-HARWARE)>.



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Las instituciones de atención al público que manejan grandes cantidades de dinero al día, como bancos, cooperativas de ahorro y crédito, supermercados, etc., deben realizar un control interno diario sobre el manejo de efectivo.

El arqueo de una caja en un cambio de turno o en el cierre del día será un proceso lento al contar minuciosa y detalladamente el dinero de forma manual. A ello se suma factores personales externos afectando al correcto accionar de la persona produciendo errores traducidos en pérdidas económicas y desperdicio de tiempo. (Figuroa, 2016)

Con respecto al número de especies monetarias circulantes, el Banco Central del Ecuador menciona que el dólar como moneda extranjera entra y sale de la economía ecuatoriana a través de diversos canales difíciles de ser medidos dificultando el cálculo de la cantidad de billetes y monedas circulantes impidiendo conocer las repercusiones en el entorno macroeconómico.

Entonces la cantidad de monedas en una determinada institución financiera y los problemas relacionados con el conteo manual en la misma, se la deberá obtener con estadísticas basadas en los reportes diarios y mensuales del manejo económico interno de cada entidad. (Vera, 2007, p. 135)

Por aquel motivo el proyecto se enfoca en la situación de la Cooperativa de Ahorro y Crédito San Martín de Tisaleo Ltda., analizando estadísticamente las actas de cierres de caja manejadas por el departamento de Contabilidad de la institución. Según las actas analizadas, en el mes de octubre del año 2018, un cajero maneja un número aproximado de 3034 monedas diarias (entre divisas de \$0.01, \$0.05, \$0.10, \$0.25, \$0.50 y \$1.00) y las labores de arqueo de caja al final de la jornada laboral requiere de 30 a 45 minutos.

Las máquinas clasificadoras y contadoras de monedas fueron creadas para brindar apoyo en los procesos de conteo de dinero. A nivel mundial existen grandes empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de herramientas con una gran variedad de diseños, funciones y precios distintos. En Europa se destacan empresas como Cablematic (Barcelona – España), Securina24 (Hamburgo – Alemania), CD. Products S.A. (Madrid – España), Safescan SI. (Malaga - España).

En Latinoamérica se destacan países como Argentina y Perú, en la producción de este tipo de máquinas con empresas como Gadnic (Buenos Aires – Argentina) o Selcoin (Lima – Perú).

En Ecuador existen empresas que se dedican a la importación de las máquinas, por lo que no se cuenta con una producción nacional en este campo. En el ámbito investigativo, se han desarrollado tesis para la clasificación y conteo de otro tipo de elementos como frutas, granos, tuercas, y otros, de los cuales se ha analizado la metodología para el desarrollo del prototipo planteado.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo implementar un prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basada en visión artificial?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué tipo de máquinas existen para la clasificación y conteo de monedas?

¿Cuáles son los requerimientos que se ajustarán a las necesidades de los cajeros de las Instituciones Financieras?

¿Cuál será el mejor diseño para un prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas que se adapte mejor a los requerimientos planteados?

¿Cuáles son los elementos electrónicos, eléctricos y mecánicos que mejor se adapten al diseño del prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas?

¿Cómo evaluar el desempeño del prototipo propuesto?

JUSTIFICACIÓN

Cuando una institución de atención al público maneja grandes cantidades de dinero cada día, el arqueo a la hora del cambio de turno o en los cierres diarios, es una actividad necesaria para el control sobre la contabilidad. Al realizar esta actividad manualmente, se pueden cometer errores generando pérdida de tiempo al tener que volver a contar el dinero. Con el uso de máquinas para el conteo, el tiempo empleado es muy bajo en comparación al proceso manual y se hace de forma automática. (HARTMONETIC Automation, 2013)

Las máquinas clasificadoras y contadoras de monedas son herramientas creadas para facilitar las labores en instituciones financieras al momento de contabilizar miles de dólares en monedas. Éstas trabajan a grandes velocidades de forma automática permitiendo no sólo el conteo de grandes cantidades de monedas por minuto, sino también la clasificación en recipientes específicos. (Guías Prácticas, 2013)

Además, estas máquinas pueden ser usadas en varias instituciones, como entidades bancarias, oficinas de cambio de moneda internacional, salones de juegos o casinos, o en cualquier clase de negocio donde se requiera procesar monedas.

Existen varios tipos de máquinas clasificadoras y contadoras de monedas que se las puede segmentar en: gama baja, gama media y gama alta, según la velocidad de conteo, el porcentaje de error y las funciones agregadas que los fabricantes instalan.

Con un mercado competitivo en la producción de este tipo de máquina, la mayoría de fabricantes crean mecanismos y sensores patentados que aseguran mayor rapidez de conteo y bajo índice de error. Al implementar estos componentes únicos en este tipo de máquinas, el costo para adquirirlas es mucho mayor. En el Ecuador no se cuenta con una producción de este tipo de máquinas, por lo que las instituciones financieras y negocios en general tienen que adquirirlas de empresas importadoras o a su vez importarlas directamente de los fabricantes.

Con estos antecedentes se pretende imitar un proceso mecánico robusto que tenga una máquina clasificadora y contadora de monedas de gama media y reforzar el proceso al instalar un mecanismo para visión artificial pudiendo realizar la identificación y conteo de las monedas a través de una sola cámara. Además de ello, el prototipo podría consolidarse como un producto económico para las instituciones financieras y negocios del Ecuador, al ahorrar el costo que representa la importación de un producto y teniendo en cuenta que no se tiene una competencia directa en el país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Implementar un prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basada en visión artificial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los tipos de máquinas que existen para la clasificación y conteo de monedas.
- Definir los requerimientos que se ajustarán a las necesidades de los cajeros de las Instituciones Financieras.
- Plantear un diseño para un prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas que se adapte mejor a los requerimientos establecidos.
- Seleccionar los elementos electrónicos, eléctricos y mecánicos que mejor se adapten al diseño del prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas.
- Evaluar el desempeño del prototipo propuesto.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se muestran las bases teóricas para el prototipo, el proceso utilizado por una máquina clasificadora y contadora de monedas comercial, la visión artificial y sus elementos, y cómo esta se puede constituir en una nueva técnica de identificación y conteo.

1.1. Las monedas de dólar

El dólar se constituye como la moneda oficial en Estados Unidos, Ecuador, Palaos, El Salvador, Islas Marshall, Timor Oriental, Zimbabue y Micronesia. Esta moneda empezó a fabricarse a partir del año 1794 con la aprobación del decreto “*The Coinage Act*”. Se constituye como la principal divisa de reserva en el mundo convirtiéndola en moneda universal para la evaluación de otro tipo de monedas o productos de comercialización internacional como el petróleo, el gas, el oro, la plata entre otros. (Schulz, 2017)

Las monedas de centavo de dólar ecuatorianas tienen el valor numérico acuñado en la cara reversa junto con el valor en letras y la identificación del Banco Central del Ecuador. Las demás características de las monedas se las muestra en la tabla 1-1.

Tabla 1-1: Características de las monedas de centavo de dólar ecuatorianas.

Denominación	Peso	Tamaño	Imagen
1 centavo	2.5 gramos	19 mm	
5 centavos	5 gramos	21.5 mm	
10 centavos	2.2 gramos	18 mm	

Denominación	Peso	Tamaño	Imagen
25 centavos	5.6 gramos	24.2 mm	
50 centavos	11.3 gramos	30.6 mm	
1 dólar	8.1 gramo	26.5 mm	

Realizado por: Manobanda, M. 2019

1.2. Máquinas clasificadoras y contadoras de monedas

Según Robert L. Mott las máquinas son un conjunto de piezas móviles que realizan movimientos específicos transmitiendo potencia y ejecutando actividades específicas. Según el campo de aplicación integran diferentes componentes eléctricos y electrónicos trabajando de forma coordinada para cumplir las necesidades del usuario. (Mott y González y Pozo, 2006)

Partiendo del concepto, se puede definir a una máquina clasificadora y contadora de monedas como: el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que trabajan coordinadamente clasificando y contando las monedas ingresadas a la misma, constituyéndose en una herramienta de apoyo para el ser humano en las operaciones de conteo de dinero.

1.2.1. Origen

Las máquinas clasificadoras y contadoras de monedas tienen aproximadamente más de 500 años de edad siendo su origen en la Edad Media alrededor del año 1.440 cuando el italiano Giovanni Palmieri modificó una máquina rudimentaria para clasificar frutas, basada en una rueda de madera con agujeros redondos de distintos tamaños. Este mecanismo fue el precursor para las actuales máquinas. (Vigardo, 2015, p. 1)

1.2.2. Tipos de máquinas

En la actualidad, las máquinas para el manejo de monedas son muy variadas de acuerdo a las necesidades y el presupuesto del usuario. Se han diseñado máquinas que cuentan, valoran y

clasifican monedas trabajando de forma automática a velocidades elevadas, y pudiendo mostrar los resultados de la operación ya sea en pantalla o en reportes impresos.

1.2.2.1. Máquinas contadoras de monedas

Este tipo de máquinas permiten únicamente el conteo de monedas de una misma denominación. El primer ejemplar de este tipo, mostrado en la figura 1-1, permite el conteo a velocidades elevadas pudiendo llegar a las 1800 monedas por minuto. (Galantz, 2018)



Figura 1-1. Máquina contadora de monedas.

Fuente: <http://www.galantz.com.ar/images/productos/cs10/cs10-2.jpg>

Un segundo ejemplar de este tipo de máquina, mostrado en la figura 2-1, es la contadora por peso. Se utilizan recipientes de carga para agrupar las monedas de una misma denominación obteniendo el peso conjunto mediante balanzas. El resultado obtenido se compara con una escala de pesos para determinar la cantidad de monedas existentes. (Gil, 2016)



Figura 2-1. Máquina contadora de monedas por peso.

Fuente: <https://www.comercialtpv.com/blog/wp-content/uploads/safescan-ccs-450x300-06.jpg>

La desventaja de este tipo de máquina se da al no poder clasificar por lotes a las divisas.

1.2.2.2. Máquinas clasificadoras de monedas

Este tipo de máquina constituye una herramienta de gran apoyo para el uso diario de personas. Permite únicamente la clasificación en tubos con capacidades relativamente bajas. El costo y la facilidad de manejo hacen de esta máquina una herramienta versátil para la organización de las monedas. (Cajas 10, 2018)

Este tipo se lo puede observar en la figura 3-1.



Figura 3-1. Máquina clasificadora de monedas.

Fuente: <https://www.comercialtpv.com/blog/wp-content/uploads/safescan-ccs-450x300-06.jpg>

1.2.2.3. Máquinas clasificadoras y contadoras de monedas

Son las más completas para las operaciones con monedas. Estas máquinas permiten clasificar y contar monedas de distintas denominaciones mostrando además un reporte detallado de la operación. Su funcionamiento se basa en un sistema de separación de monedas impulsado por un motor, para luego trasladarlas por un canal donde cada denominación se separa por orificios con los tamaños correspondientes a los diámetros de cada moneda. (Gil, 2016)

Gran parte de fabricantes incorporan componentes patentados para aumentar la precisión y velocidad en el manejo de las monedas. Dentro de este grupo de máquinas, la capacidad de conteo y las funciones varían según el presupuesto, pudiendo llegar a máquinas robustas con grandes prestaciones.

El primer ejemplar con bajas prestaciones se lo muestra en la figura 4-1 con capacidad de conteo de 200 monedas por minuto y una pantalla basada en *displays* de 7 segmentos para mostrar el resultado de la operación. (SafeScan, 2018)



Figura 4-1. Clasificadora contadora SafeScan 1250.
Fuente: <https://www.safescan.com.my/en-my/store/coin-counters>

Un segundo ejemplar con prestaciones medias dentro de este tipo de máquina, es la mostrada en la figura 5-1, con capacidad de conteo de 600 monedas por minuto y un chasis robusto de alta duración. (Scan Coin, 2017)



Figura 5-1. Máquina DTC de ScanCoin.
Fuente: <http://www.scancoin.es>

Finalmente se muestra el ejemplar de alta gama de este tipo de máquinas en la figura 6-1 con una capacidad de conteo de 2.700 monedas por minuto, 9 canales para las salidas de monedas y un canal adicional para las monedas de rechazo. Esta máquina se constituye en una estación completa de trabajo con una pantalla táctil de 10", puertos usb para accesorios o periféricos y un puerto ethernet para la conexión a una determinada red. (Scan Coin, 2017)



Figura 6-1. Máquina ICX Active-9 de ScanCoin.
Fuente: <http://www.scancoin.es>

1.2.3. Arquitectura de una máquina clasificadora y contadora de monedas

Los distintos tipos de máquinas clasificadoras y contadoras de monedas tienen características en común, las mismas que se analizan a continuación.

1.2.3.1. Estructura

Se compone por tres partes: la carcasa, la tolva de recepción de monedas y la estructura interna.

La carcasa o gabinete es elaborado con materiales resistentes, por lo general metálicos, que contienen y protegen los elementos internos de la máquina.

La tolva es el recipiente donde se albergan las monedas a ser contadas. Esta se diseña con inclinación y dimensiones necesarias de acuerdo a la capacidad de conteo de la máquina.

La estructura interna corresponde a todos los mecanismos tales como el canal de entrada de la tolva y los canales de separación de monedas. La estructura modelo se la presenta en la figura 7-1.



Figura 7-1. Estructura de una máquina clasificadora/contadora de monedas.

Fuente: <https://www.cdpsa.eu/producto/contadora-y-clasificadora-de-monedas-cdp-098/>

1.2.3.2. Mecanismo de separación de monedas

Este mecanismo está compuesto por un motor acoplado a un disco que al girar separa las monedas agrupadas en un recipiente interno. Muchos fabricantes se enfocan principalmente en este sistema, patentando discos o mecanismos que mejoren la precisión y velocidad con que se separan las monedas. Un ejemplo de este sistema se lo ilustra en la figura 8-1.

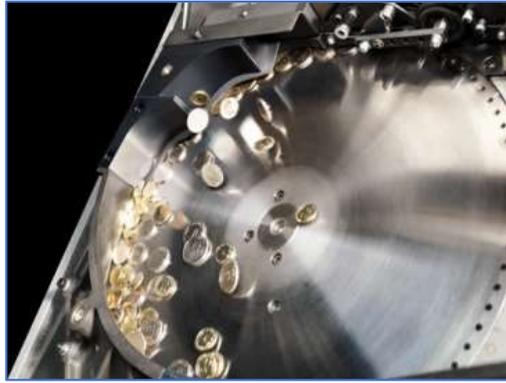


Figura 8-1. Mecanismo de separación de monedas.
Fuente: <http://www.scancoin.es/>

1.2.3.3. Mecanismo para la clasificación de monedas

Corresponde al conjunto de elementos mecánicos que clasifican las monedas. A lo largo de un canal se tienen aberturas de acuerdo al tamaño de cada denominación de moneda. Un ejemplo del mecanismo mencionado se muestra en la figura 9-1.



Figura 9-1. Mecanismo para la clasificación de monedas.
Fuente: <http://www.scancoin.es/>

1.3. Trabajos realizados para la identificación de monedas

Se han publicado artículos en el ámbito investigativo mostrando la visión artificial como técnica para la detección del valor de las monedas sobre una superficie estática. Reinhold creó un sistema para identificar el valor de monedas antiguas aplicando visión artificial con una cámara de alta resolución para la adquisición de la imagen. Se evaluaron dos métodos para la identificación: el primero analizando los bordes utilizando el diámetro de cada divisa y el segundo analizando exhaustivamente los detalles de las figuras acuñadas en las caras reversa y anversa de la moneda. Se almacenaron 12.000 imágenes de las monedas para la comparación de los datos obtenidos con la cámara. La investigación se la hizo combinando los 2 métodos en 2400 monedas superando la tasa de precisión del 98,83%. (Huber-Mork et al., 2012, p. 127-128)

Un segundo artículo fue publicado por el Departamento de Postgrado e Investigación de la Universidad Tecnológica de Nogales. Se utiliza *hardware* de bajo costo para la identificación del

valor de monedas colocados en una superficie estática. Una cámara de 2 megapíxeles capta las imágenes de las monedas y MatLab realiza el procesamiento obteniendo 100% de detección correcta. Escalas monocromáticas son utilizadas para eliminar el ruido y crear estructuras morfológicas. Se determina el número de imágenes encontradas y se hace la comparación en base a un sistema experto. En los dos trabajos investigativos se analizan los factores negativos en la efectividad del proceso mediante visión artificial como el desgaste excesivo de la moneda, la suciedad y la abrasión siendo factores a considerarse en el prototipo propuesto. (Aranda Delgado et al., 2017, p. 7-12)

1.4. Visión Artificial

La visión artificial o visión interpretada por un procesador es una disciplina compleja involucrando otras áreas científicas como la física, matemática, la electrónica y la computación. Esta técnica pretende emular el sentido de la vista de los seres humanos y la capacidad de interpretar las imágenes captadas para actuar. El continuo desarrollo de nuevos algoritmos, funciones y aplicaciones, hacen de esta disciplina y del procesamiento digital de imágenes (PDI) una tecnología perenne y en constante evolución. (García y Caranqui, 2015, p. 94)

El proceso desarrollado por la visión artificial se compone de dos etapas: la formación de las imágenes y la interpretación o procesamiento de estas. En la primera fase, se integran los sistemas de iluminación, captura de la imagen y adquisición de la señal en el procesador. La segunda fase pretende interpretar la información obtenida por la imagen utilizando algoritmos específicos para trabajar en un lenguaje de alto nivel. Con ello se puede ejecutar las acciones deseadas en un sistema de periféricos, en este caso, para la clasificación de monedas. (Platero, 2009, p. 25)

Los resultados obtenidos en este tipo de aplicaciones dependen de la calidad de la imagen original, siendo importante tomar precauciones necesarias para alcanzar una iluminación adecuada y uniforme en el momento de su adquisición. (García y Caranqui, 2015, p. 94)

1.4.1. Algoritmo para el proceso de visión artificial

En el proceso para la visión artificial se siguen una serie de pasos incluyendo métodos con *hardware* y *software*, partiendo de una imagen en un escenario específico. Con la escena donde se encuentra el objeto para analizar, el primer proceso es la adquisición de la imagen digital, donde interviene un sensor y un dispositivo con la capacidad de digitalizar la señal emitida por dicho sensor.

Al contar con la imagen digitalizada, el siguiente paso es la transformación o filtrado de la misma en donde se quiere eliminar los rasgos ajenos y mejorar la imagen para poder alcanzar una mayor probabilidad de éxito en el proceso de visión artificial.

El siguiente paso es la segmentación de la imagen en donde se busca aislar los objetos ajenos. Aquí se quiere asegurar el éxito del reconocimiento al descomponer la imagen según las características de la misma. La imagen segmentada deberá ser convertida en datos interpretables por el procesador.

Posterior a ello se realiza el cálculo de las características de la imagen. Para lo cual la imagen captada puede ser descompuesta en sus características principales en el proceso de segmentación. Una vez obtenidos los objetos de la imagen, la parametrización es el método para extraer los rasgos especificados para definir las características de la escena captada.

Finalmente se tiene el reconocimiento y la interpretación de la imagen captada, donde la información procesada se etiqueta tras la comparación con la información previamente ingresada. Para el caso del prototipo propuesto será la clasificación de una moneda según el valor de la misma. Aquel conjunto de pasos se los aprecia en la figura 10-1 en donde se muestra el diagrama de bloques del algoritmo para la visión artificial. (González et al., 2006)

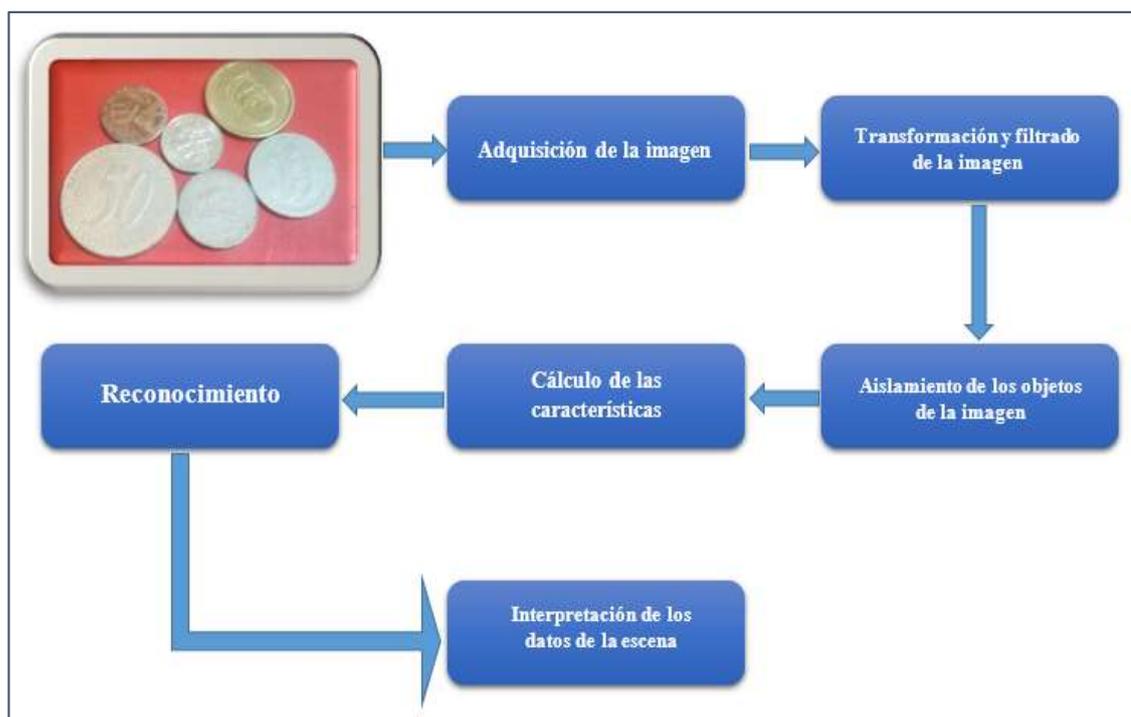


Figura 10-1. Diagrama de bloques del proceso de un sistema de visión artificial.
Realizado por: Manobanda, Miguel. 2018

1.4.2. Componentes de un sistema de visión artificial

Los componentes principales en un proceso de visión artificial son: el sistema de iluminación que influye en la claridad de la imagen y la tonalidad del color, la cámara constituida como el elemento principal.

1.4.2.1. Sistema de iluminación

La iluminación en un proceso de visión artificial representa una técnica de la cual dependerá la calidad de las imágenes captadas. Los sistemas de iluminación permiten la obtención de imágenes por medio de la luz reflejada en el objeto, mas no del dicho objeto. La técnica consiste en la ubicación del elemento emisor de luz, como los mostrados en la figura 11-1, con respecto a la cámara y al objeto sujeto al análisis, y la intensidad luminosa que emite dicho elemento. (COGNEX, 2016)



Figura 11-1. Dispositivos emisores de luz.
Realizado por: Manobanda, Miguel. 2018

1.4.2.2. Cámaras

La cámara es el elemento principal para la captura de imágenes en el proceso de visión artificial. Está compuesta por el lente y el sensor de imagen. El lente es el encargado de realizar el enfoque y captar la imagen para luego transmitirla. Una buena óptica en el lente determina la calidad y resolución de la imagen. En la actualidad las cámaras disponen de dos tipos de lentes: fijos e intercambiables. Los lentes fijos poseen la capacidad de autoenfoque para la captura de imágenes.

El sensor de imagen es el encargado de transformar las señales luminosas en una imagen digital. Por lo general los sensores de imagen se basan en tecnología CCD o Dispositivo de Carga Acoplada y en la tecnología CMOS o Semiconductor Complementario de Óxido Metálico, para la conversión de los fotones de luz en electrones. (COGNEX, 2016)

1.5. Elementos electrónicos

Son todos aquellos dispositivos que se conectan entre sí para formar un circuito que cumple una función determinada.

1.5.1. Tarjetas de desarrollo

Las placas o tarjetas de desarrollo son componentes electrónicos útiles para realizar cualquier clase de sistema embebido. Cada tipo de tarjeta de desarrollo tiene características particulares, como el lenguaje de programación, capacidad de procesamiento y de memoria, número de Entradas y Salidas (E/S) o el sistema operativo. Pese a las características distintas, la cualidad en común es el microcontrolador o procesador de alguna plataforma, definido como el cerebro del sistema electrónico.

1.5.1.1. Arduino

Es una plataforma de desarrollo de código abierto basada en *software* y *hardware* flexibles y de sencillo manejo. Permite la implementación de programas utilizando un entorno propio de arduino para su posterior transferencia a través de un cable USB. Para el funcionamiento de la placa no es indispensable un alimentador externo, pues la entrada USB brinda voltaje y corriente necesarios para experimentar con la tarjeta de desarrollo. Pese a ello, se deberá acudir a la alimentación externa cuando se necesite mayor cantidad de corriente. (Pomares Baeza, 2009, p. 2-3)

Arduino posee muchos modelos de placas diferenciadas principalmente por la cantidad de entradas y salidas (E/S), la capacidad de memoria, el precio y otros factores. En la figura 12-1 se puede apreciar los principales modelos de la plataforma de desarrollo.



Figura 12-1. Modelos de placas Arduino.
Realizado por: BricoGeek, 2010.

1.5.1.2. Raspberry Pi

La tecnología en los últimos 10 años ha tenido avances muy grandes incluyendo a las tarjetas de desarrollo. Los dispositivos se enfocan en el desarrollo y el aprendizaje con grandes prestaciones. Es el caso de la placa Raspberry Pi, un dispositivo versátil de tamaño compacto capaz de integrar multimedia en el control de factores externos del entorno.

Raspberry Pi se relaciona con la definición de open source, asegurando el trabajo con un *software* legal y de esa manera alcanzar el acceso a información, librerías y recursos informáticos de forma gratuita en internet. Acerca de las características de Raspberry, se cuenta con una mayor capacidad de procesamiento al disponer del sistema SoC (System On Chip), con un CPU permitiendo trabajar de forma fluida con datos multimedia.

La familia Raspberry está compuesta por dos modelos denominados A y B, siendo el segundo el más potente por sus prestaciones. En la figura 13-1, se muestran algunas tarjetas de los modelos de Raspberry. (Aranda, 2014)

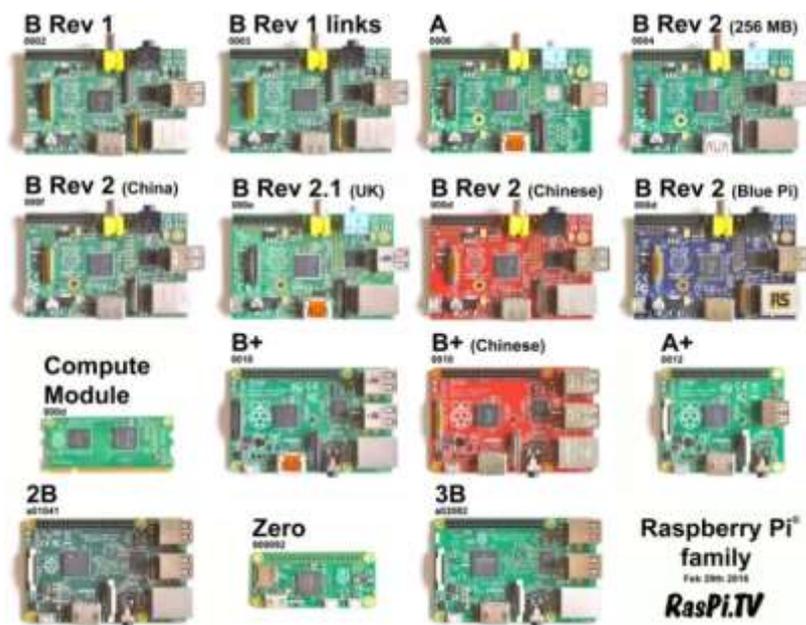


Figura 13-1. Modelos de la familia Raspberry Pi.
Realizado por: EAMES, Alex. 2016

1.5.1.3. Tinker Board

La tarjeta de desarrollo Tinker Board de Asus se constituye como una computadora de una sola placa con gran rendimiento en comparación a las tarjetas de su tipo. Al integrar un procesador

Rochchip RK3288 de cuatro núcleos a 1,8GHz, una memoria ram de 2GB DDR3 y un procesador GPU que permite trabajar con resoluciones HD y UHD 4k, se posiciona como una de las mejores opciones para operaciones con multimedia. La arquitectura mecánica de la Tinker Board se asemeja a la de Raspberry Pi, pudiendo compartir accesorios al conectarlos a los periféricos correspondientes. Otra característica sobresaliente de la Tinker Board radica en la posibilidad de trabajar con distintos sistemas operativos, tales como Debian o Android. (Asus, 2017)

Actualmente existen 2 versiones, siendo la Tinker Board S la última actualización, la misma que se la aprecia en la figura 14-1.



Figura 14-1. Tinker Board S.

Fuente: <https://www.asus.com/us/Single-Board-Computer/Tinker-Board-S/gallery/>

1.5.2. Pantallas LCD para visualización

Son elementos creados para plasmar información con el uso de caracteres alfanuméricos o por medio de símbolos. Las siglas LCD significan *Liquid Crystal Display* que hace referencia a la tecnología basada en el uso de cristal líquido en cada pixel para iluminarlo. Este conjunto de píxeles está dirigido por un microcontrolador. (Salas, 2013)

Existen varios tipos de pantallas LCD las mismas que se muestran en la figura 15-1.



Figura 15-1. Pantallas LCD.

Fuente: https://www.zonamaker.com/images/contenido/arduino/modulos_sensores_shields/tiposDisplay

1.5.3. Motores DC

Un motor eléctrico DC es una máquina dinámica basada en la inducción magnética provocada por dos polos (el polo norte (N) y el polo sur (S)), en donde las líneas de fuerza de un imán se concentran. El motor consta de una parte estática (estator) y otra dinámica (rotor), como se muestra en la figura 16-1.

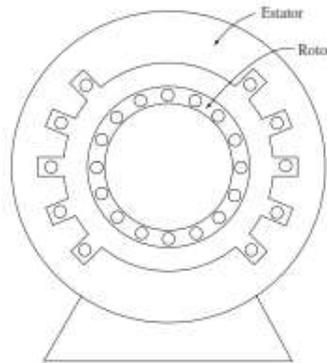


Figura 16-1. Parte estática (estator) y dinámica (rotor) de un Motor DC.
Realizado por: Stephen Chapman, 2012.

El giro del rotor se produce con las fuerzas de atracción y repulsión producidas entre los polos de la máquina. De esta forma, todo motor DC está formado con polos alternados entre el estator y el rotor. Con las propiedades magnéticas de los mismos, los polos magnéticos iguales se repelen y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. Esta máquina de corriente continua es apreciada en actividades como las perseguidas en el prototipo propuesto, por la relativa simplicidad de su manejo. (Chapman, 2012)

1.5.3.1. Motores paso a paso

Son actuadores electromagnéticos que transforman pulsos digitales (0 y 1) en movimiento rotacional. El giro que realiza el rotor de este tipo de motores depende directamente de los pulsos recibidos. El desplazamiento angular depende del número de pulsos mientras que la velocidad angular depende de la frecuencia de los mismos. La ventaja de este tipo de motor DC se da en su alto torque a bajas velocidades, el mantenimiento nulo al no tener escobillas y la gran confiabilidad al trabajar en lazo abierto. (Jennings, 2002)

Algunos de los tipos de motores paso a paso se los muestra en la figura 17-1.



Figura 17-1. Motores paso a paso.

Fuente: https://blog.330ohms.com/wp-content/uploads/2018/03/PMX_Stepper_lg.png

1.6. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación son creados para transmitir información desde un punto determinado hacia otro utilizando distintos canales, codificación de la información y periféricos como emisores o receptores. Los canales transmiten la información, mas no reaccionan ante ella. (Torrente, 2013)

1.6.1. Comunicación Serial

La comunicación Serial se basa en un transmisor/receptor serie del tipo TTL-UART que permite la comunicación entre microcontroladores, se caracteriza por la transmisión de bits por un canal, ya sea por cable USB o por líneas TX y RX comunes en las tarjetas de arduino. Pese a que este tipo de comunicación en serie es más lento en comparación a la comunicación en paralelo, éste es más sencillo y con la posibilidad de alcanzar grandes distancias. (Torrente, 2013)

1.6.2. Protocolo I2C

Conocido también como TWI (two-wire), el protocolo I2C es un tipo de comunicación serie muy utilizado para la comunicación de circuitos. Este protocolo utiliza dos líneas para la transmisión de datos: la primera llamada SDA por donde se transmiten la información que al ser half dúplex se establece en un sentido a la vez, y la segunda llamada SCL donde se envía la señal de reloj para sincronizar todos los integrantes de la comunicación (emisores y receptores) de tal forma que sepan cuando inicia y cuando termina la transferencia de datos. Cada dispositivo se establece como “maestro” o “esclavo” con una única dirección, siendo el maestro quien inicia la comunicación y envía la señal de reloj. La velocidad de transmisión puede ser de 100kbits por segundo. (Torrente, 2013)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la implementación del prototipo estableciendo los requerimientos a cumplirse, la concepción general del sistema, los componentes *software* y *hardware* necesarios, el diseño mecánico y electrónico, los esquemas de conexión, las herramientas de programación y el ensamblaje.

2.1. Requerimientos del prototipo

Analizando el funcionamiento general de una máquina clasificadora y contadora de monedas y la necesidad de los cajeros en la institución financiera en estudio, se establecen los siguientes requerimientos.

- Clasificar y contar las monedas manejadas en el sistema monetario ecuatoriano.
- Poseer una interfaz humano-máquina de fácil manejo para los usuarios.
- Almacenar las monedas clasificadas en recipientes específicos de acuerdo a cada denominación.
- Mostrar los datos obtenidos en una pantalla en donde se detalle el número de monedas contadas de cada denominación y el valor total en dólares.
- El material utilizado para la carcasa del prototipo debe ser resistente a golpes, para proteger el mecanismo interno y los elementos eléctricos y electrónicos instalados en el prototipo.
- El mecanismo empleado para separar las monedas no debe generar abolladuras en las mismas.
- El prototipo debe realizar la identificación y conteo de monedas como un solo proceso mediante visión artificial reduciendo costos en la implementación.

2.2. Concepción general del prototipo

La representación general del prototipo se la muestra en la figura 1-2, en donde se analizan las etapas y los componentes del sistema.

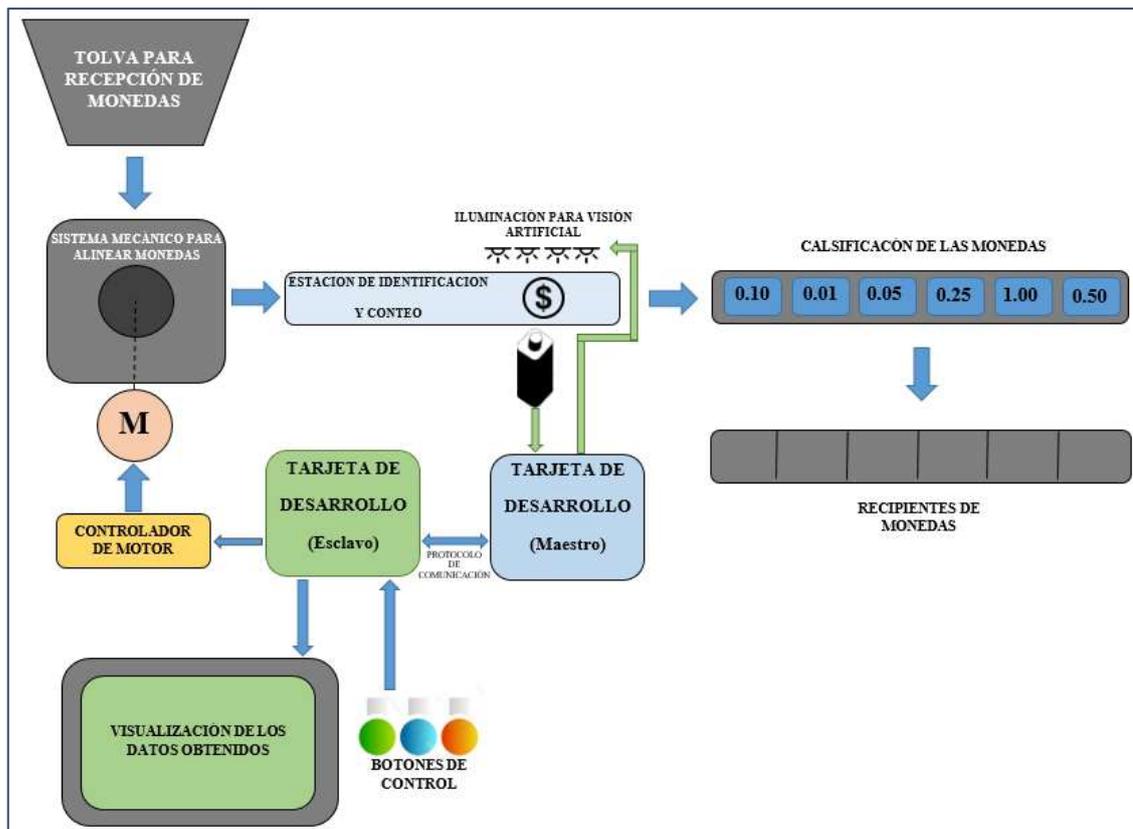


Figura 1-2. Concepción general del prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basada en visión artificial.

Realizado por: Manobanda, Miguel. 2018

Las monedas ingresan por medio de una tolva, y se encaminan a un recipiente con un disco impulsado por un motor para el giro, con el fin de ubicarlas en la entrada de un canal inclinado. La cámara utilizada para la visión artificial capta las imágenes mientras el disco gira con las monedas, para luego realizar el procesamiento donde se compara las características obtenidas con las previamente ingresadas.

Luego de realizar la identificación y conteo de las monedas, estas se trasladarán por el canal inclinado donde se ejecuta la clasificación con aberturas de acuerdo al diámetro. Estas aberturas permitirán la clasificación desde las monedas más pequeñas a las más grandes. Con ello se pretende combinar el proceso de clasificación utilizando visión artificial y el proceso mecánico, creando un sistema robusto reduciendo la probabilidad de error.

El proceso de visión artificial será realizado por una tarjeta de desarrollo designada como “maestro”, mientras una segunda tarjeta designada como “esclavo” se encargará del control digital del motor y la gestión de procesos secundarios como la iluminación y la HMI del modelo. Para la implementación del prototipo se presentan 2 etapas: mecánica y electrónica en donde se realiza el análisis de los componentes y los diagramas necesarios.

2.3. Componentes Software y Hardware requeridos

Con los requisitos planteados para el prototipo y la concepción del sistema se realiza la elección de los componentes que mejor se adapten a la función que desempeña el prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basada en visión artificial.

2.3.1. Software

2.3.1.1. SOLIDWORKS

El software de diseño SOLIDWORKS es una gran herramienta para el esbozo CAD 3D (diseño asistido por computadora) permitiendo la creación de planos 2D, el modelaje 3D de piezas de distintos materiales y el ensamblaje de las mismas, pudiendo simular y corregir espacios físicos cambiando medidas para un posterior mecanizado.

La interfaz de la versión de SOLIDWORKS utilizada para el diseño del prototipo se muestra en la figura 2-2.



Figura 2-2. Interfaz de la versión 2018 de SOLIDWORKS.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.3.1.2. IDLE Python para Debian

El editor de texto IDLE de Python es un software que permite la programación *offline* de este lenguaje de programación. Python posee una sintaxis sencilla e intuitiva para el usuario. La gran ventaja de este lenguaje de programación es la posibilidad de trabajar en conjunto con la librería de código abierto OpenCV, muy utilizada en los proyectos de visión artificial o visión por computador. En el prototipo presente se utiliza Python en su versión 2.7 y la librería OpenCV en su versión 3.3.0. La interfaz de IDLE Python se muestra en la figura 3-2.

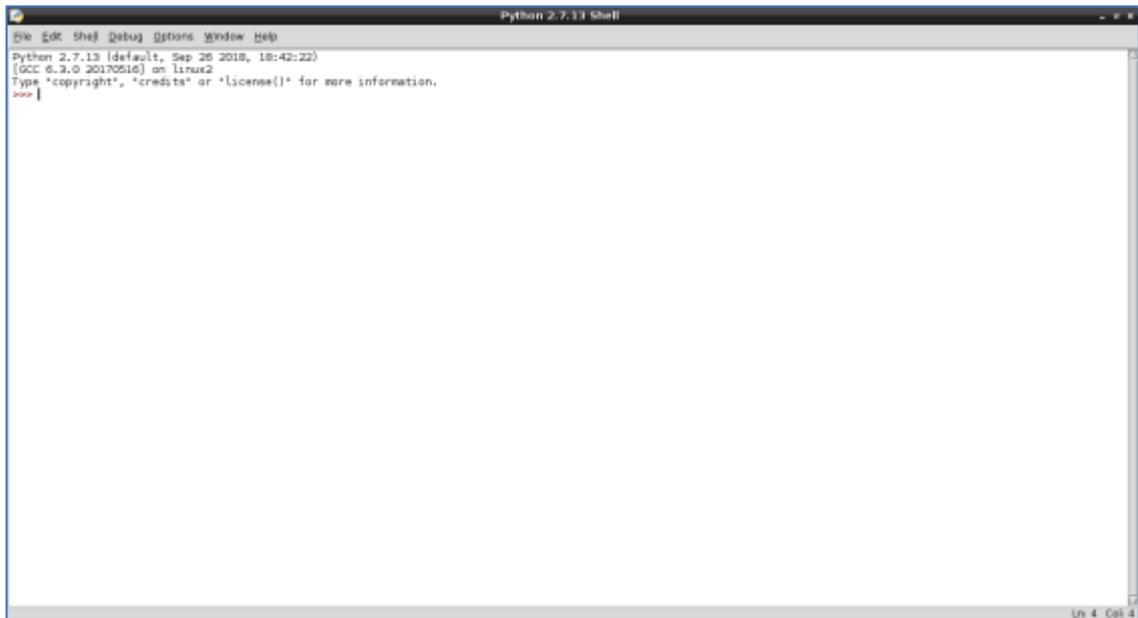


Figura 3-2. Interfaz de IDLE Python para Debian.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.3.1.3. Arduino IDE

Es un *software* de código abierto que permite codificar, compilar y cargar programas a las tarjetas de desarrollo de arduino. Posee una interfaz intuitiva con las herramientas necesarias para codificar programas. Al ser de código abierto se tiene la posibilidad de incluir librerías creadas por varios desarrolladores y así, crear programas robustos.

La interfaz de Arduino IDE manejada en el desarrollo del prototipo se muestra en la figura 4-2.

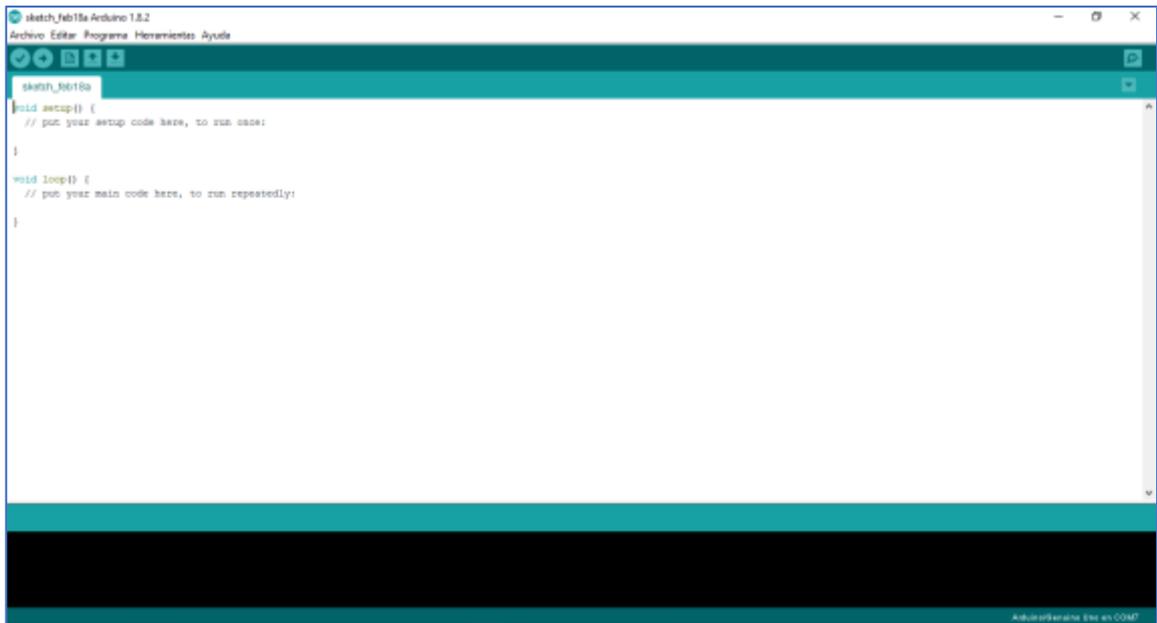


Figura 4-2. Interfaz de Arduino IDE.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.1.3.4. Fritzing

Es un *software* de código abierto que permite plasmar diagramas electrónicos de forma muy didáctica y a su vez diseñar los diagramas para un circuito impreso. Se encuentra disponible en internet para su descarga gratuita.

La interfaz de este *software* se la muestra en la figura 5-2.

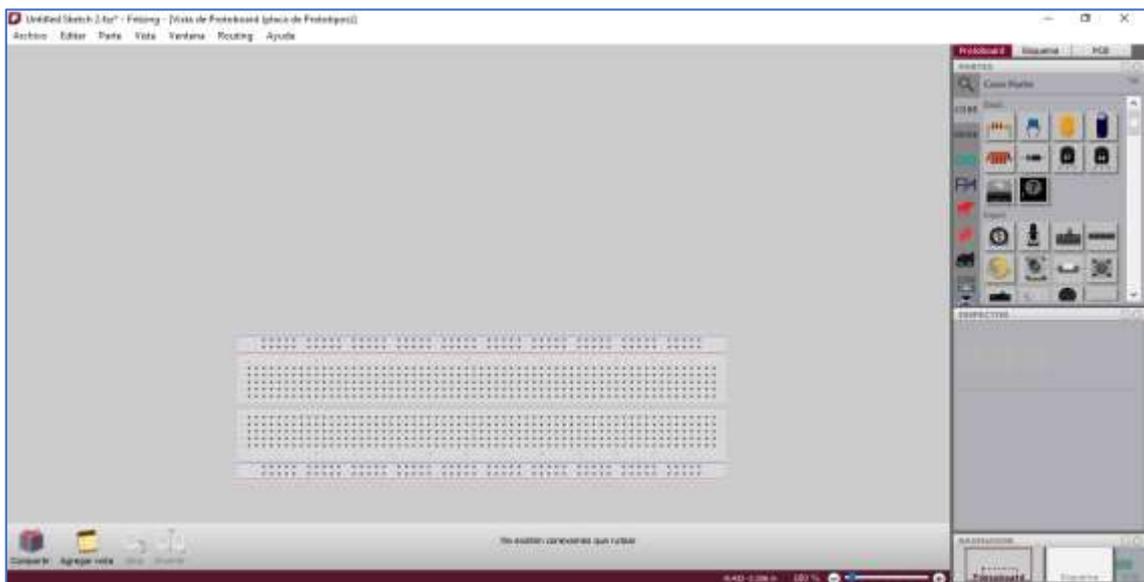


Figura 5-2. Interfaz de Fritzing.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.3.2. Hardware

2.3.2.1. Tarjetas de desarrollo

Para el proceso de visión artificial se necesita una tarjeta de desarrollo de gran capacidad de procesamiento para alcanzar un conteo rápido de monedas por minuto. Además, se necesita que disponga de pines que soporten el protocolo I2C para la comunicación con otra tarjeta de desarrollo y que cuente con los puertos necesarios para accesorios, tales como la cámara para visión artificial. En la tabla 1-2 se hace una comparación entre Raspberry Pi 3 B y Tinker Board S, teniendo en cuenta que las dos tarjetas de desarrollo son capaces de trabajar con multimedia, y que poseen un sistema operativo capaz de trabajar con Python y OpenCV, herramientas necesarias para la visión artificial.

Tabla 1-2: Comparativa entre Raspberry Pi 3 B y Tinker Board S.

	Raspberry Pi 3 B	Tinker Board S
Procesador	Broadcom BCM2837 Quad-Core 1.2Ghz	Rockchip RK3288 Quad-Core SoC 1.8Ghz
RAM	1 GB	Dual-CH LPDDR3 2GB
GPU	-	ARM Mali-T760 MP4 GPU
Wi-fi	Wi-fi 802.11 b/g/n	Wi-fi 802.11 b/g/n
USB	4 x USB 2.0	4 x USB 2.0
Interfaz de Cámara	1x15-pin MIPI CSI slot	1x15-pin MIPI CSI slot

Fuente: Pastor, 2017

Realizado por: Manobanda, M. 2019

De acuerdo a las características presentadas en la tabla 1-2, se elige a la Tinker Board S mostrada en la figura 6-2 por la mejor capacidad de procesamiento y la GPU integrada, la misma que se designará como “maestro” en el protocolo de comunicación I2C.



Figura 6-2. Placa Tinker Board S.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Para la selección de la segunda tarjeta de desarrollo que será designada como esclavo y destinada a controlar los procesos secundarios a la visión artificial, se realiza la comparativa entre Arduino y Raspberry Pi mostrada en la tabla 2-2, teniendo en cuenta que se requieren de varios pines digitales de entrada/salida y el soporte para trabajar con el protocolo de comunicación I2C.

Tabla 2-2: Comparativa entre Arduino y Raspberry.

	Arduino	Raspberry
Procesador	Microcontrolador ATmega	Processor Broadcom BCM2837
Periféricos y Protocolos	UART, I2C, SPI, GPIO, PWM, ADC	UART, I2C, SPI, GPIO, PWM, USB, Ethernet, WiFi, HDMI.
Pines digitales entrada/salida	Si	Si

Fuente: Torres, 2017

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tomando en cuenta la comparativa realizada y la diferencia de costo entre las dos tarjetas comparadas en la tabla 2-2, se elige a la tarjeta Arduino para ser designada como “esclavo” en el protocolo de comunicación I2C y para manejar todos los procesos secundarios a la visión artificial.

Con respecto al modelo de Arduino a utilizarse, teniendo en cuenta que se necesitan 11 pines digitales, se selecciona el modelo Arduino Uno, el mismo que se observa en la figura 7-2.



Figura 7-2. Arduino Uno.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.3.2.2. Cámara para visión artificial

La cámara es un elemento primordial en el proceso de visión artificial. Para el prototipo se requiere que la cámara se conecte con la tarjeta de desarrollo Tinker Board S de Asus. Para ello

se puede utilizar una cámara web con conexión USB o una cámara compatible con la conexión CSI MIPI.

Tomando en cuenta que se requiere de un rápido procesamiento de imágenes, se selecciona la cámara con conexión CSI MIPI, debido a que ésta se conecta directamente con la GPU y causa un mínimo impacto en el procesamiento del CPU, característica distinta de las cámaras con conexión USB.

De acuerdo a ello, se realiza la comparación entre las dos versiones de cámaras de raspberry, mostrada en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Comparativa entre Picamera V1.3 y Picamera V2.1.

	Picamera V1.3	Picamera V2.1
Resolución	5 Megapíxeles	8 Megapíxeles
Modos de video	1080p30, 720p60 y 640x480p60/90	1080p30, 720p60 y 640x480p60/90
Sensor	OmniVision OV5647	Sony IMX219
Resolución del sensor	2592x1944 píxeles	3280x2464 píxeles
Área de imagen del sensor	3.76 × 2.74 mm	3.68 x 2.76 mm
Controlador disponible en Tinker Board S	Si	Si

Fuente: Raspberry Pi Org, 2016

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Analizando la comparativa, se elige la Picamera en su versión 1.3 la misma que se muestra en la figura 8-2, ya que posee las características necesarias para el proceso de visión artificial del prototipo. Además, cuenta con el controlador necesario en la Tinker Board S para su acceso.

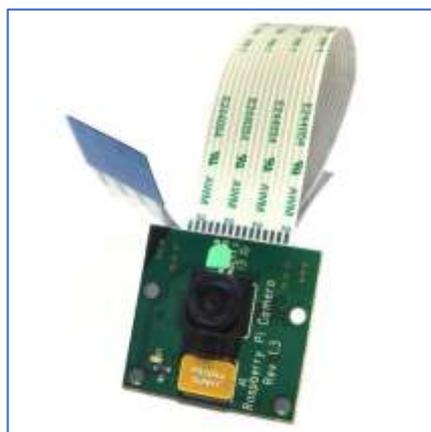


Figura 8-2. Picamera V1.3.

Fuente: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/2187/3161/products/>

2.3.2.3. Dispositivo de visualización

El prototipo debe mostrar los resultados del conteo de las monedas, plasmando el número total de cada denominación y el valor total en dólares. Se plantea que los datos se muestren en la pantalla tal como se indica en la figura 9-2, además de la posibilidad de mostrar un menú donde se pueda ajustar la velocidad de conteo.

1:000	25:000	TOTAL
5:000	50:000	00.00
10:000	100:000	
	REINICIO	SALIR

Figura 9-2. Datos a mostrarse en la pantalla.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Teniendo en cuenta el requerimiento se elige una pantalla LCD 20x4, mostrada en la figura 10-2, al no ser necesaria la entrada de datos por la misma ni la visualización con colores específicos.

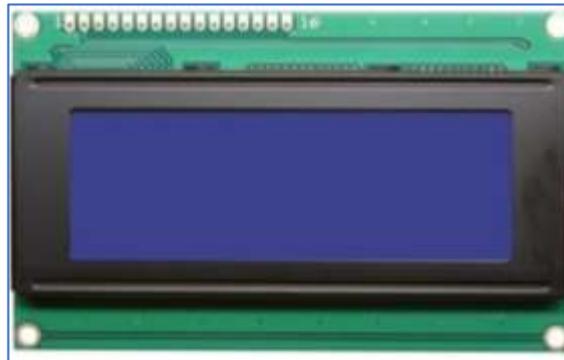


Figura 10-2. LCD 20x4.
Fuente: https://http2.mlstatic.com/display-lcd-20x4-para-arduino-D_NQ_NP_757510-MLM27123641089_042018-F.jpg

2.3.2.4. Motor para el mecanismo de separación de monedas

Este motor será el encargado de hacer girar al disco en el mecanismo de separación de las monedas. El motor debe asegurar un giro continuo independientemente del número de monedas que hayan ingresado al prototipo.

Teniendo en cuenta el requerimiento, se ha elegido el motor a pasos Nema 17 mostrado en la figura 11-2 y cuyas características se analizan en la tabla 4-2.



Figura 11-2. Motor a pasos Nema 17.
Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 4-2: Características del motor a pasos Nema 17

Motor a pasos Nema 17	
Ángulo de paso	$1.8 \pm 5\%$ (200 pasos por revolución)
Voltaje nominal	4.96 V
Corriente nominal	0.8 A
Resistencia	$6.2 \pm 10\%$ Ohms/Fase
Inductancia	$10 \pm 20\%$ mH/Fase
Holding Torque (Par de retención)	2.4 kgf.cm

Fuente: Pololu, 2019

Realizado por: Manobanda, M. 2019

2.3.2.5. Driver para el manejo del motor a pasos

Para el manejo del motor a pasos seleccionado para el giro del disco, se dispone dos drivers, el A4988 y el DRV8825, que facilitan el manejo desde una tarjeta de desarrollo al controlar la velocidad y el sentido de giro con solo dos pines. Estos elementos permiten manejar el voltaje y la corriente que los motores necesitan a la vez que se brindan las protecciones necesarias para que la tarjeta de desarrollo no resulte afectada. (Llamas, 2016)

En la tabla 5-2 se realiza una comparativa entre estos dos drivers.

Tabla 5-2: Comparativa entre los drivers A4988 y el DRV8825.

	Driver A4988	Driver DRV8825
Voltaje máximo de carga	35 V	45 V
Corriente de salida	2 A	2.5 A
Voltaje lógico de entrada	3 – 5.5 V	3 – 5.5 V
Temperatura de operación	-20 – 85 °C	-20 – 85 °C
Modos de paso	Completo, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16	Completo, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32

Fuente: Pololu, 2019

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tras la comparativa se elige el driver DRV8825 mostrado en la figura 12-2 debido al mayor torque generado con la corriente de salida de 2.5 A. Esta característica será necesaria para evitar que el disco quede inmóvil cuando haya ingresado un gran número de monedas a la máquina.

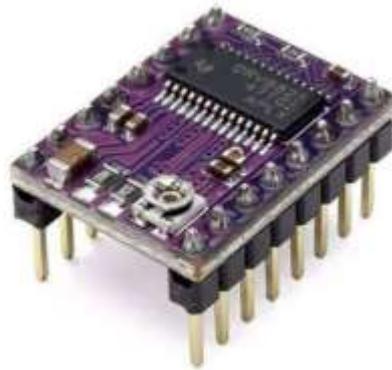


Figura 12-2. Driver DRV8825.
Fuente: <https://es.banggood.com/>

2.3.2.6. Sistema de iluminación

Para el proceso de visión artificial, el dispositivo emisor de luz elegido deberá mantener un nivel constante y entregar la cantidad necesaria de flujo luminoso. Para ello se realiza la comparación entre leds de potencia de color blanco, mostrada en la tabla 6-2, por la vida promedio de 50000 horas y el control preciso del flujo luminoso que indica el *datasheet* mostrado en el anexo B.

Tabla 6-2: Comparativa entre leds de 1, 3 y 5 W de color blanco.

	Led de 1W	Led de 3W	Led de 5W
Ángulo de apertura	120 grados	120 grados	120 grados
Temperatura de operación	-35 a 60 °C	-35 a 60 °C	-35 a 60 °C
Corriente nominal	350mA	750mA	700mA
Voltaje de operación	3 a 3.8V	3.2 a 3.8V	6.5 a 7.5V
Flujo luminoso	70 a 120 lúmenes	110 a 200 lúmenes	180 a 300 lúmenes

Fuente: Pololu, 2019

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Teniendo en cuenta que todos los leds de potencia analizados brindan el mismo ángulo de apertura, se elige el led de 3W por la cantidad de flujo luminoso que produce, el mismo que se lo muestra en la figura 13-2.



Figura 13-2. Led de 3W color blanco.
Realizado por: Manobanda, M. 2019

2.3.2.7. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación seleccionada debe proveer de energía a todos los componentes del prototipo. Para la alimentación de los distintos dispositivos se necesitan 5V y 12V, por lo que se elige la fuente de poder mostrada en la figura 14-2 la misma que posee las características que se observan en la tabla 7-2.



Figura 14-2. Fuente de poder.
Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 7-2: Características de la fuente de poder

Modelo:	ATX-7P4-3				
Entrada AC	115V/230V, 6A/3A, 50/60HZ				
Voltaje DC	+5V	+12V	+3.3V	-5V	-12V
Corriente	40A	16A	14A	0.5A	0.5A
Potencia Total	400W				

Realizado por: Manobanda, M. 2019

2.4. Diseño de la arquitectura mecánica del prototipo

Tras la concepción general del sistema se muestra el diseño mecánico donde se moldean las piezas con la ayuda del *software* SOLIDWORKS en su versión 2018. Este diseño computacional permite visualizar la estructura interna y externa del prototipo previo al mecanizado, permitiendo realizar correcciones en espacios mal dimensionados y calcular el material requerido.

El prototipo se asemejará a la máquina clasificadora y contadora de monedas de gama media mostrada en el capítulo 1, por la posibilidad de acoplar la cámara y el sistema de iluminación dentro del mecanismo para la separación de monedas. El prototipo se ha dimensionado de tal forma que abarca el espacio suficiente para el montaje de los componentes electrónicos. La estructura de la máquina ha sido diseñada de tal forma que pueda ser desmontada sin mayor complejidad.

2.4.1. Diseño de la estructura interna del prototipo

La estructura interna está formada por los soportes y separadores del sistema de clasificación de las monedas. Para ello se dimensionan las piezas con MDF de 5,5mm de espesor, por la rigidez y fácil manejo que brinda este material. La base y los separadores son diseñados con encastrés para eliminar cualquier juego que se pueda generar en los acoples. El diseño se lo muestra en la figura 15-2.

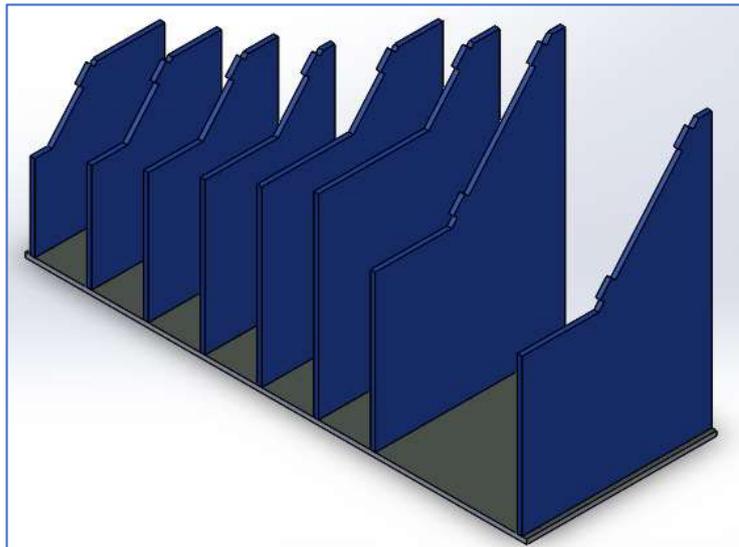


Figura 15-2. Diseño de la estructura con los separadores para las monedas.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Los separadores de las monedas tienen una distancia entre sí de 6cm donde se situarán los recipientes. La altura de cada separador se diseñó en función del ángulo de inclinación del canal por donde pasarán las monedas.

Con el fin de evitar que las monedas caigan fuera de su recipiente y delimitando un espacio para los mismos, se diseñaron espaldares. Finalmente, para montar la placa principal con todos los elementos electrónicos necesarios, se diseñó un soporte, el mismo que separará la fuente de poder del prototipo. La estructura interna final se muestra en la figura 16-2.

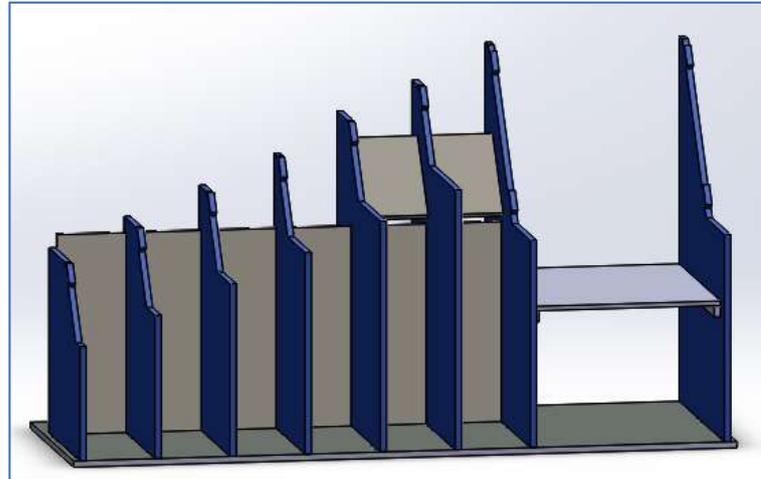


Figura 16-2. Diseño de la estructura interna del prototipo.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.2. Diseño del mecanismo para la clasificación de las monedas

Las monedas se clasifican gracias a un canal inclinado y aberturas de acuerdo al diámetro de cada denominación, separándose desde la más pequeña hasta la más grande. El ángulo de inclinación que tiene el canal, se lo determinó por medio de pruebas con cartón prensado de bajo costo, llegando al valor óptimo de 22.79° de depresión.

Para formar el canal por donde se apoyan las monedas, se diseñó una barra de MDF de 4mm teniendo en cuenta el grosor de las monedas y a su vez, para mantener el mismo nivel desde el inicio hasta el final del canal se diseñó una base para el mecanismo de separación de monedas con el mismo grosor de 4mm. En el centro del soporte se realiza la perforación de 20mm de diámetro donde se colocará el acople entre el disco y el motor que lo impulsa.

Finalmente, para evitar que las monedas salgan del canal, se diseñó una tapa que se extiende a lo largo del canal inclinado. El ensamblaje final del mecanismo para la clasificación de las monedas se lo observa en la figura 17-2.

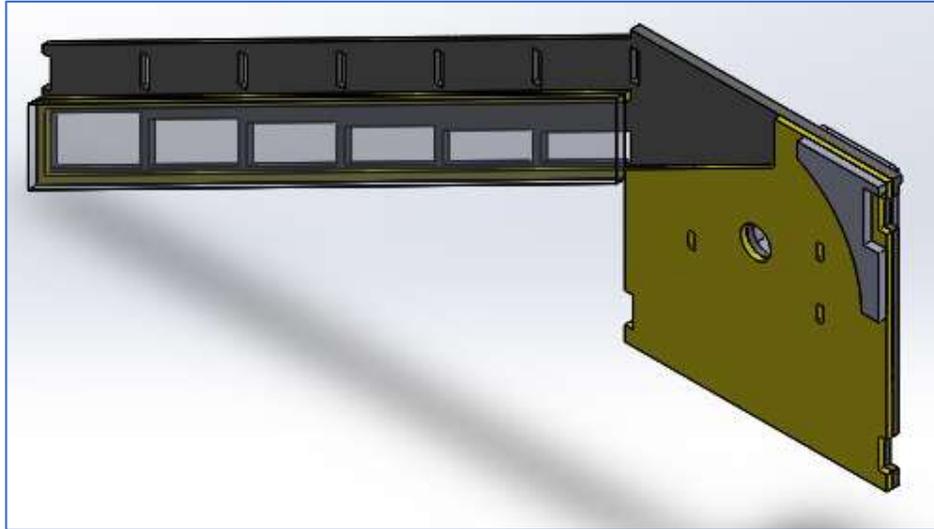


Figura 17-2. Diseño del mecanismo para la clasificación de las monedas.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.3. Diseño del mecanismo para la separación e identificación de las monedas

Para alinear las monedas ingresadas al prototipo, se diseña un mecanismo basado en un disco giratorio que llevará de una en una las monedas. El disco cuenta con aberturas en los bordes para trasladar las monedas y un acople para encajar con el eje del motor. Para ello se toma en cuenta el diámetro de la moneda más grande dentro del sistema monetario ecuatoriano. El disco diseñado se muestra en la figura 18-2.



Figura 18-2. Diseño del disco para la separación de las monedas.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Luego se delimita el espacio donde gira el disco. Se diseña una segunda base de 4mm de grosor con una perforación de 153mm de diámetro, dejando 1,5mm para que el disco gire sin rozamiento en los bordes.

El disco y la segunda base están cubiertos por una pieza, evitando que se trasladen 2 monedas a la vez y protegiendo al disco del golpe que producen las monedas al caer. Además, la cubierta posee aberturas para la entrada de las monedas y para la captura de las imágenes por la cámara.

Finalmente, para el ingreso de las monedas, su agrupación y separación se diseña una pieza para el acople con la tolva. Las monedas ingresan y se aglomeran en la parte inferior de la tapa, en donde son separadas una por una con el giro del disco. El ensamblaje final del mecanismo de separación de las monedas se lo ilustra en la figura 19-2.

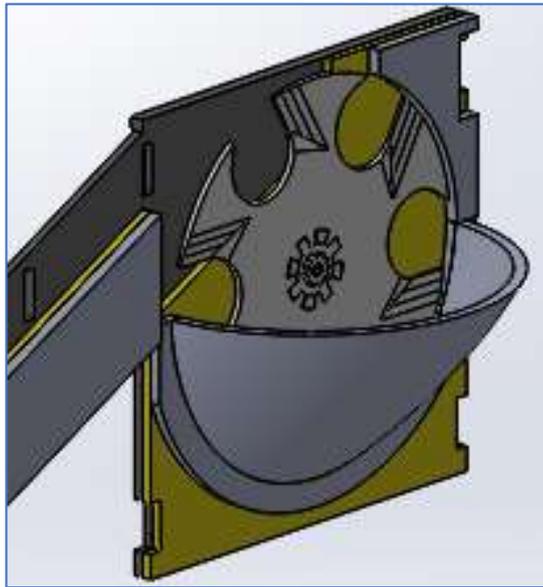


Figura 19-2. Diseño del mecanismo para la separación e identificación.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.4. Diseño de la tolva para el ingreso de monedas

El mecanismo de ingreso de las monedas está compuesto por una tolva que asegura una posición óptima en su entrada al mecanismo de separación. El diseño de la tolva se muestra en la figura 20-2.

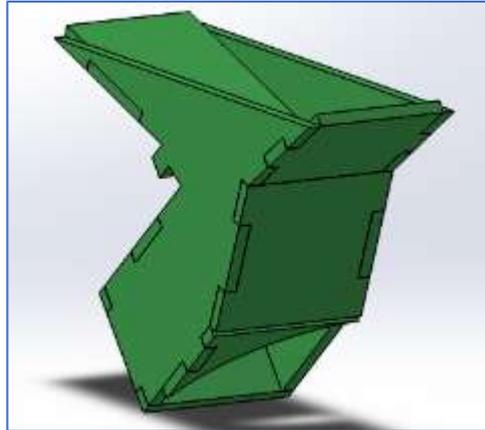


Figura 20-2. Tolva.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.5. Diseño del soporte para la cámara y la iluminación

Para asegurar un correcto enfoque de la cámara se realizaron pruebas con soportes de cartón prensado de bajo costo para establecer la distancia óptima que debe tener la cámara de la escena, estableciendo una distancia de 10,4cm. Además, se debe instalar un sistema de iluminación para que la captura de las imágenes sea correcta. Teniendo en cuenta éstos requerimientos se diseñó la estructura mostrada en la figura 21-2.



Figura 21-2. Diseño de la estructura del soporte para la cámara.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.6. Diseño del soporte para el motor a pasos Nema 17

Para evitar rozamientos no deseados en el disco del sistema de separación de monedas y para fijar el motor a la estructura mecánica, se diseñó el ensamblaje mostrado en la figura 22-2 tomando en cuenta las medidas del Nema 17.

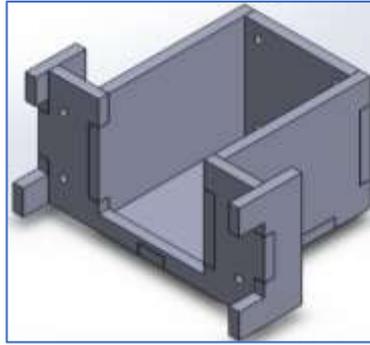


Figura 22-2. Diseño del ensamblaje del soporte para el motor Nema 17.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Las piezas diseñadas para el ensamblaje tienen encastres para lograr un acople preciso. El ensamblaje realizado dispone de dientes a sus extremos para encajar con precisión en la parte posterior del mecanismo, tal como se observa en la figura 23-2.

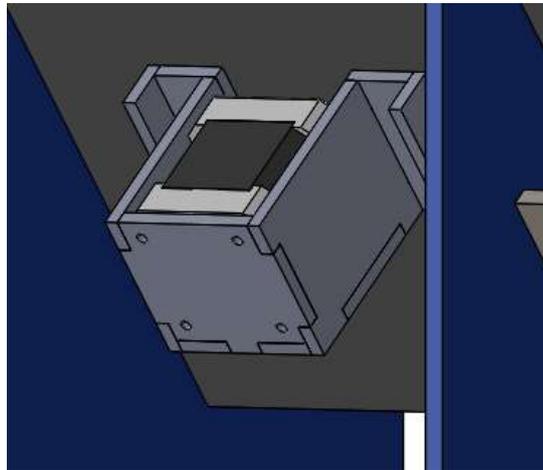


Figura 23-2. Diseño del soporte acoplado con el mecanismo de separación de monedas.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.7. Diseño del gabinete

El gabinete del prototipo se diseñó en MDF de 9mm por la rigidez, dureza y el costo que este material representa. El gabinete cuenta con las aberturas necesarias para acoplarse con la tolva, el soporte para el HMI, la entrada del cable de poder y el *switch* para el encendido. El ensamblaje del gabinete se lo muestra en la figura 24-2.

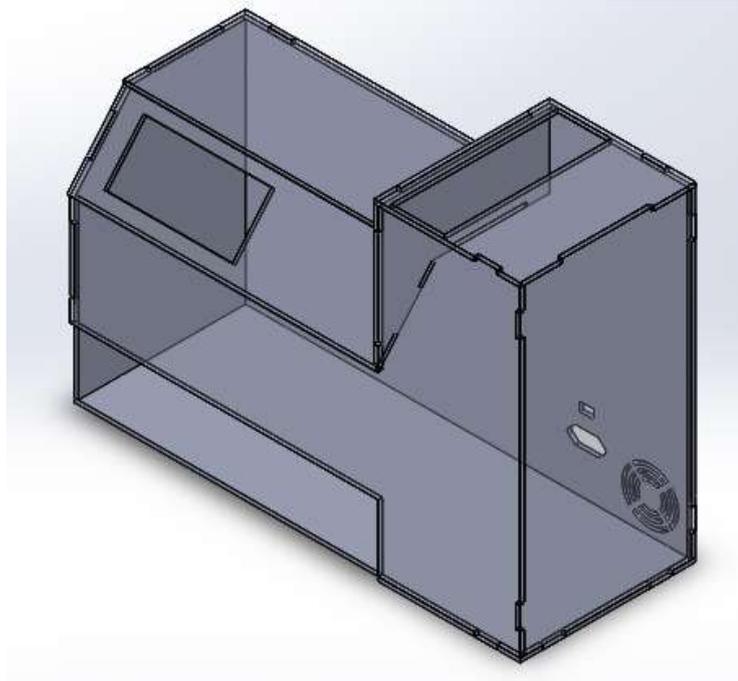


Figura 24-2. Diseño del gabinete.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.4.8. Diseño del soporte para el HMI y estructura terminada

Finalmente se diseña el soporte para montar la pantalla LCD seleccionada y los pulsadores para el control del prototipo. Para ello se toma en cuenta las medidas de los componentes electrónicos y del espacio disponible en la tapa frontal del prototipo. Teniendo en cuenta el requerimiento se diseñó la pieza mostrada en la figura 25-2.

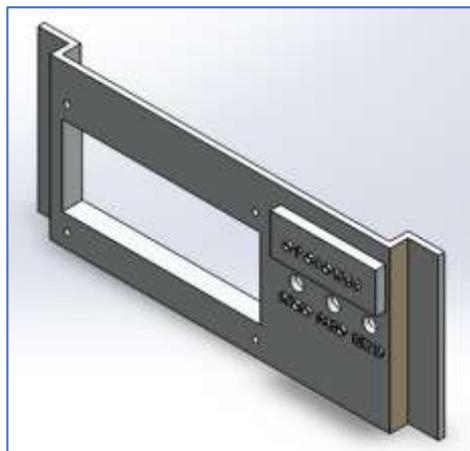


Figura 25-2. Diseño del soporte para el HMI.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Una vez diseñado todas las piezas y mecanismos necesarios para los requerimientos del prototipo, se realiza el ensamblaje final. En la figura 26-2 se muestra el ensamblaje de toda la estructura interna y en la figura 27-2 el diseño final con la carcasa.

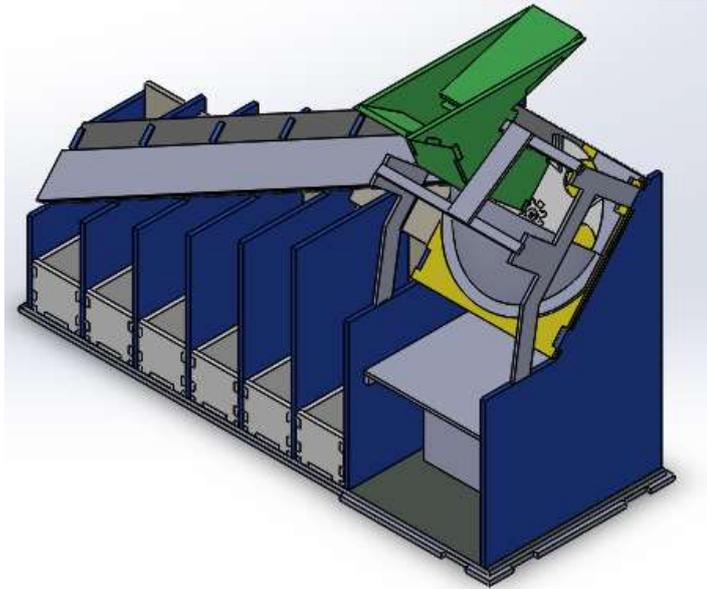


Figura 26-2. Diseño de la estructura interna completa.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

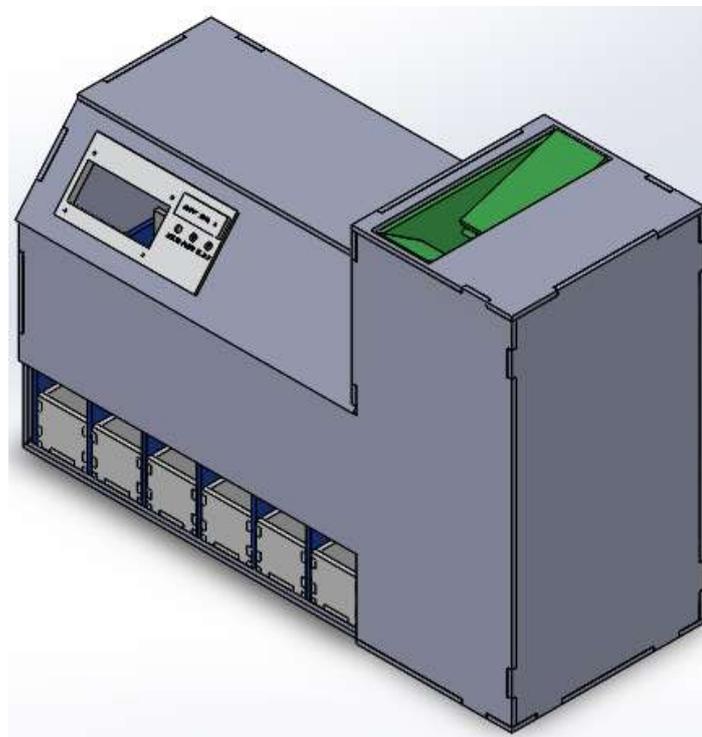


Figura 27-2. Diseño del prototipo final.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.5. Esquematización de la arquitectura electrónica del prototipo

En la presente sección se muestran los diagramas para la implementación electrónica de los distintos procesos que se requieren para el funcionamiento del prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basado en visión artificial.

2.5.1. Esquemática del proceso de visión artificial y comunicación I2C

La visión artificial se realiza con la captación de las imágenes de las monedas con la cámara V1.3 de raspberry conectada al puerto MIPI CSI de la tarjeta Tinker Board S. Tras el procesamiento realizado se envía la información obtenida al controlador Arduino Uno por medio de la comunicación I2C por los pines GPIO 3 (SDA) y 5 (SCL). El Arduino Uno recibe la información por los pines designados para la comunicación I2C, procesa los datos y muestra el resultado en la pantalla LCD.

La tarjeta Tinker Board S es alimentada con una fuente de 5V y 3A por medio del puerto micro USB asegurando el correcto funcionamiento de la cámara para visión artificial y protegiendo eléctricamente a dicha tarjeta. En la figura 28-2 se muestra el diagrama necesario para las conexiones indicadas.

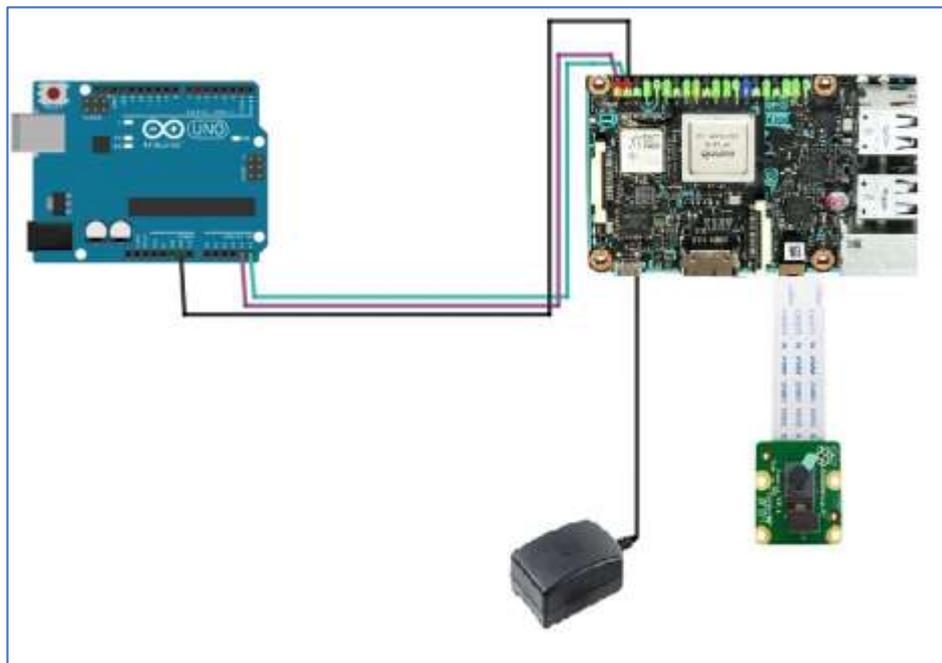


Figura 28-2. Esquema del proceso de visión artificial y comunicación I2C.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.5.2. Esquemática de la placa principal

Todos los procesos realizados por el prototipo (excepto la visión artificial) son realizados por el controlador Arduino Uno. Inicialmente es instalado un fusible en la alimentación del controlador que evitará el daño del mismo o del resto de componentes electrónicos.

Para el HMI del prototipo se hace uso de 7 pines digitales por medio de los cuales se envían los datos necesarios para el LCD y se reciben las señales emitidas por los pulsadores para el control de los procesos. Además, se coloca un potenciómetro el cual permitirá el ajuste del brillo del LCD.

El motor a pasos Nema 17 es manejado a través del controlador A4988 que se conecta con el Arduino Uno. Finalmente, se instalan espadines conectados a los pines digitales 1 y 2 de Arduino para el manejo del servomotor y el control de la iluminación necesaria para la visión artificial. Las salidas tanto para el motor a pasos, el servomotor, la iluminación y el HMI son conectadas a espadines para la fácil conexión y desconexión para futuros mantenimientos. El esquema necesario se lo muestra en la figura 29-2.

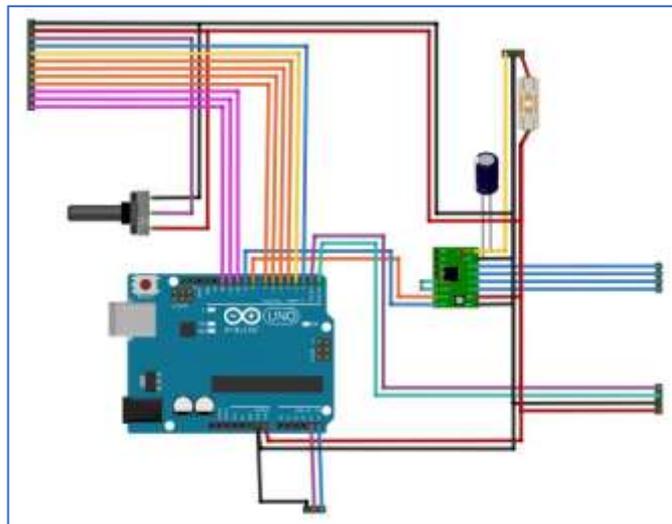


Figura 29-2. Esquema de la placa principal.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.5.3. Esquemización de la conexión con el Motor Nema 17

El motor a pasos Nema 17 que moverá el disco separando las monedas es guiado con el uso del controlador A4988. Desde los pines digitales 8 y 9 de Arduino se establece la dirección y los pasos respectivamente. Siguiendo las instrucciones otorgadas por el *datasheet* del controlador, se conecta un condensador electrolítico de 47uF a 25V entre los pines correspondientes a Vmot y GND por donde se alimenta al controlador con 12V DC. El esquema se muestra en la figura 30-2.

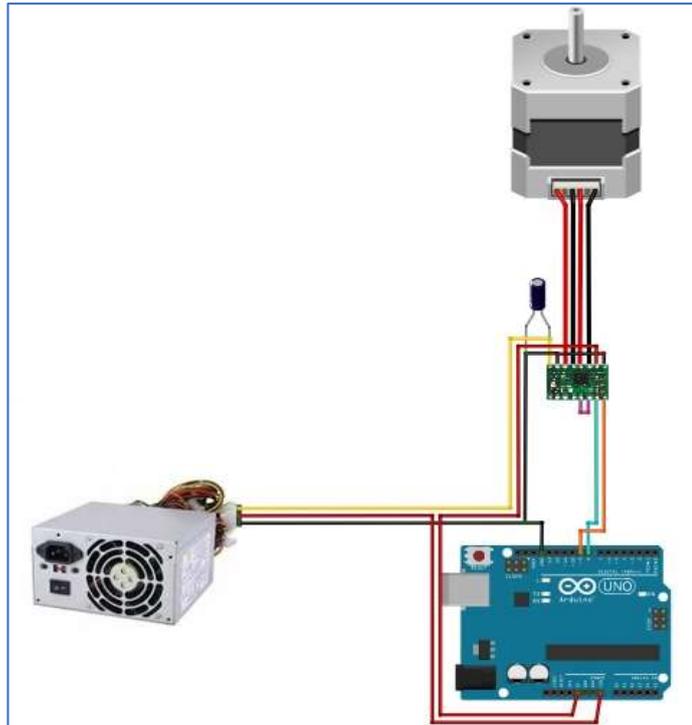


Figura 30-2. Esquema de la conexión para el motor Nema 17.
 Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.5.4. Esquemmatización de la interfaz HMI

Para el manejo del prototipo y la visualización de los resultados se implementa un HMI compuesto por un LCD 20x4 y tres pulsadores, para lo cual es necesaria la conexión tal como se muestra en el esquema de la figura 31-2.

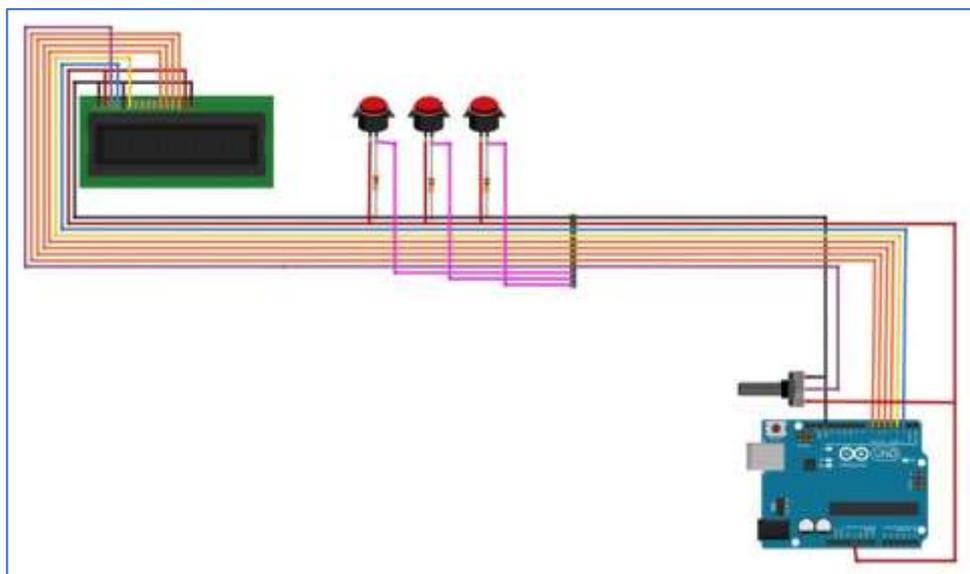


Figura 31-2. Esquema de la interfaz HMI.
 Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.6. Desarrollo de la programación del prototipo

En la sección actual se presenta la programación realizada para el proceso del prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basado en visión artificial.

2.6.1. Programación del menú, proceso de conteo y muestra de resultados

Se realiza por medio del software Arduino IDE. El menú mostrado en el HMI del prototipo permite variar la velocidad de conteo previo al inicio, para lo cual se dispone de tres botones identificados como BTN1, BTN2 y BTN3. Para ello se sigue el proceso indicado por el diagrama de estados de la figura 32-2.

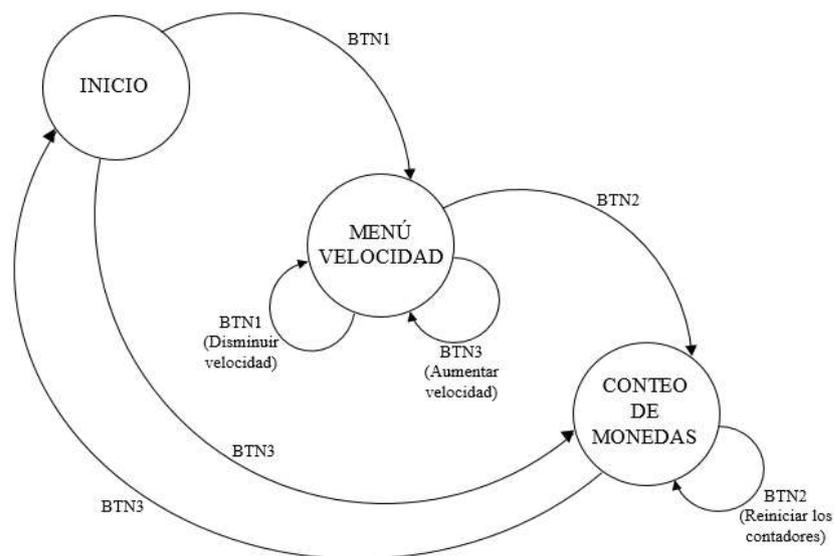


Figura 32-2. Diagrama de estados del menú.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

El proceso parte con un menú de inicio donde se dispone de una opción para configurar la velocidad y otra para acceder al resultado del último conteo realizado. Al accionar el BTN1 se accede al menú de la velocidad donde se diferencian 4 tipos, definiendo el número de pulsos enviados al motor Nema 17 teniendo en cuenta que este trabaja a 1/2 de pasos configurado con el driver DRV8825. Con el BTN3 se accede al conteo de las monedas donde se visualizan los resultados del último conteo realizado.

Una vez definida la velocidad se inicia el proceso de conteo con BTN2. En este proceso se muestran el número de monedas contadas de cada denominación y el valor total en dólares. Dentro de esta ventana se puede reiniciar los contadores de cada moneda al accionar BTN2 y regresar al menú inicial con BTN3.

La programación necesaria sigue el proceso indicado por el diagrama de flujo de la figura 33-2, siguiendo los siguientes pasos:

- Inserción de las bibliotecas necesarias para la comunicación I2C (**Wire.h**), el manejo del LCD (**LiquidCrystal.h**) y las variables a utilizar.
- Declaración de los estados Inicio, Velocidad, Conteo y el estado actual.
- Visualización del menú inicial que se presenta en el HMI.
- Lectura de los botones BTN1 y BTN3 del prototipo. Si se acciona el botón BTN1 el estado actual cambia a “Estado Velocidad” donde se elige una de las cuatro opciones de conteo de monedas. Si se acciona el BTN3 el estado actual cambia a Estado Conteo donde se muestra el número de monedas contadas en la última operación.
- Cuando el estado actual corresponde a “Estado Velocidad”, con los botones BTN1 y BTN3 se la puede variar. Una vez definido, con el botón BTN2 se inicia la operación, cambiando el estado actual y enviando los pulsos respectivos al motor a pasos. La información de la velocidad se la transmite a la tarjeta Tinker Board (maestro) mediante el protocolo I2C, en la que se ajustan las características de las monedas que serán comparadas con las imágenes captadas en el proceso de visión artificial.
- Cuando el estado actual corresponde a “Estado Conteo”, se recibe la información enviada por la Tinker Board a través del protocolo I2C, correspondiente al número de monedas identificadas, para luego mostrar los resultados en la pantalla LCD. Si se presiona el botón BTN2 los contadores vuelven a cero en las dos tarjetas de desarrollo. Al presionar el botón BTN3 se retorna al menú inicial cambiando el estado actual. El conector A representa el envío mientras que el conector B representa la recepción de información en el protocolo I2C.

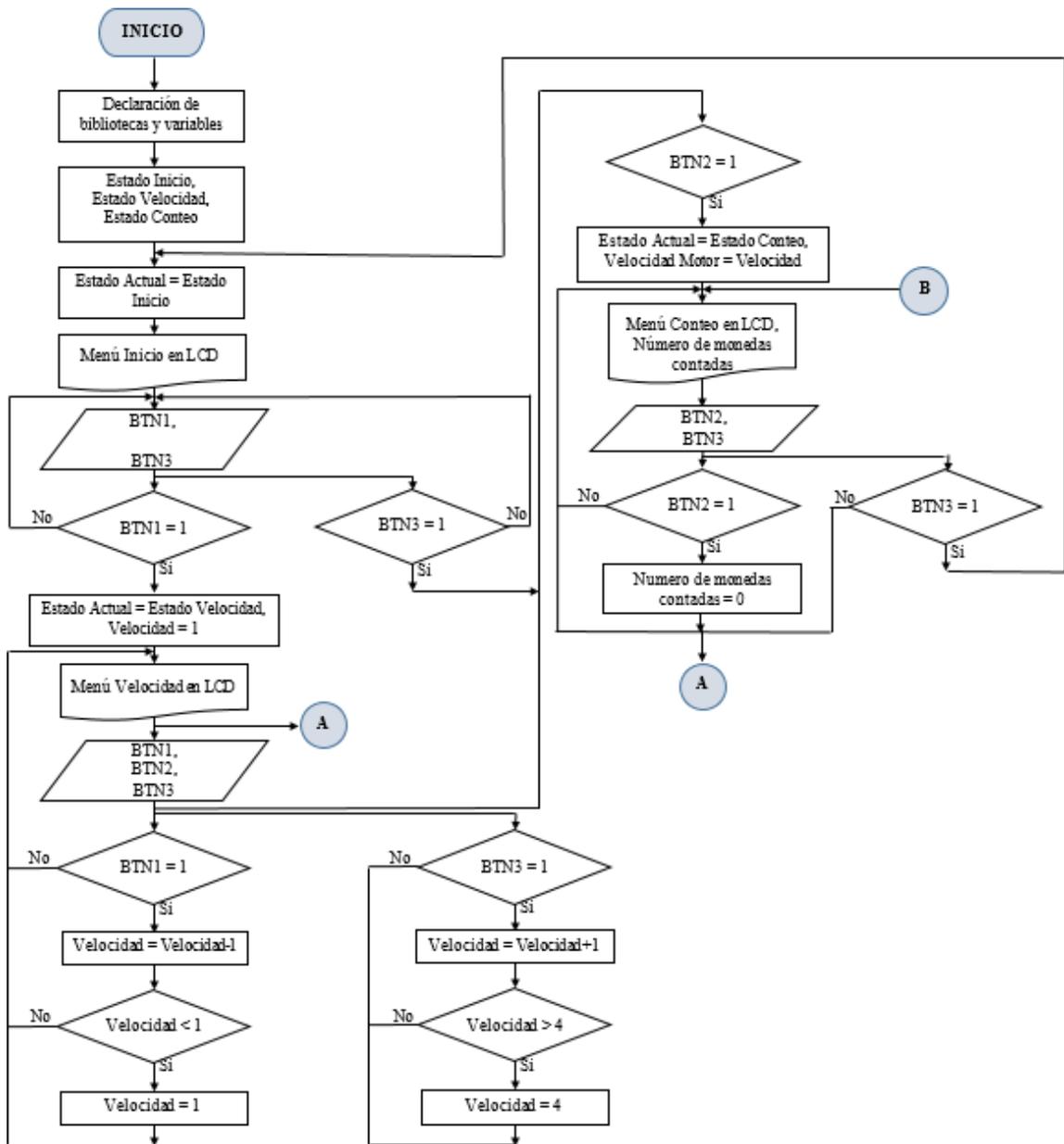


Figura 33-2. Diagrama de flujo del menú, proceso de conteo y muestra de resultados.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.6.2. Programación del proceso de visión artificial

La programación del proceso de visión artificial sigue el algoritmo mostrado en el diagrama de flujo de la figura 34-2, con el siguiente procedimiento:

- Declaración de las bibliotecas necesarias para el procesamiento de imágenes y el manejo de la cámara (**numpy, cv2 de OpenCV**), la comunicación I2C (**smbus**) y las variables a utilizar.

- Captura de las imágenes de la escena para lo cual se hace uso del *software* integrado por Tinker Board para el acceso a la cámara v1 de raspberry. Para el acceso mediante python se utiliza la función **cv2.VideoCapture** especificando los parámetros necesarios con la siguiente línea de código:

```
Img = cv2.VideoCapture("v4l2scr ! video/x-raw,format=NV12,width=320,height=240 !
videoconvert ! appsink")
```

Se hace uso de la interfaz V4L (video for Linux) y se especifica el tamaño de imagen con el que se trabajara. Para alcanzar los 90 *frames* por segundo y lograr la correcta captura de las monedas en velocidades elevadas se define el tamaño QVGA (320x240p).

Una vez definidos los parámetros se realiza la captura de los *frames* mediante la función **img.read()**.

- Transformación y filtrado de la imagen donde se elimina el ruido y se aíslan los elementos ajenos a las monedas. Para ello se transforma el color a gris de los *frames* captados mediante la función **cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)** para luego aplicar el filtro gaussiano **cv2.GaussianBlur**. Esta función de desenfoque consiste en un filtro paso bajo que elimina el ruido de alta frecuencia tras definir el tamaño del kernel y la desviación estándar del núcleo gaussiano. Estos parámetros no pueden considerarse estándares ya que para cada aplicación se debe definir los mejores valores tras realizar las pruebas necesarias.
- Localización de los círculos existentes en la imagen filtrada con el uso de la función **cv2.HoughCircles**. Esta función se basa en la localización de los tres parámetros que definen a un círculo: coordenada x, coordenada y, y radio. Si los radios de los círculos localizados son menores que el radio de la moneda más pequeña, se los descarta y se continúa con la localización de círculos, eliminando las áreas formadas por el reflejo de la iluminación.
- Detección de los bordes existentes en la imagen. Luego de aplicar el filtro Gaussiano para eliminar el ruido, se aplica la función **cv2.threshold** que determina si los píxeles captados corresponden a una moneda tras la definición de los valores correspondientes al umbral de la imagen. El resultado será una imagen binaria donde se diferencia completamente a la moneda del fondo y el disco.

Luego de ello se aplica la función **cv2.Canny** que encuentra los contornos cerrados existentes. Después se calcula el tamaño del contorno identificado con el uso de las funciones **cv2.findContours**, **cv2.moments** y **cv2.contourArea**

- Determinación de las características de las monedas a compararse. La tarjeta Tinker Board recibe la información de la velocidad del motor por medio del protocolo de comunicación I2C y de acuerdo a ello define las características correspondientes a cada moneda para poder realizar la comparación con las imágenes procesadas.
- Luego de ello se realiza el conteo de las monedas identificadas para luego transmitir la información al Arduino Uno mediante el protocolo de comunicación I2C. Si se recibe la señal de reinicio emitida por el Arduino Uno, se ponen los contadores en cero y se transmite la información. El conector A representa la recepción mientras que el conector B representa el envío de la información dentro del protocolo I2C.

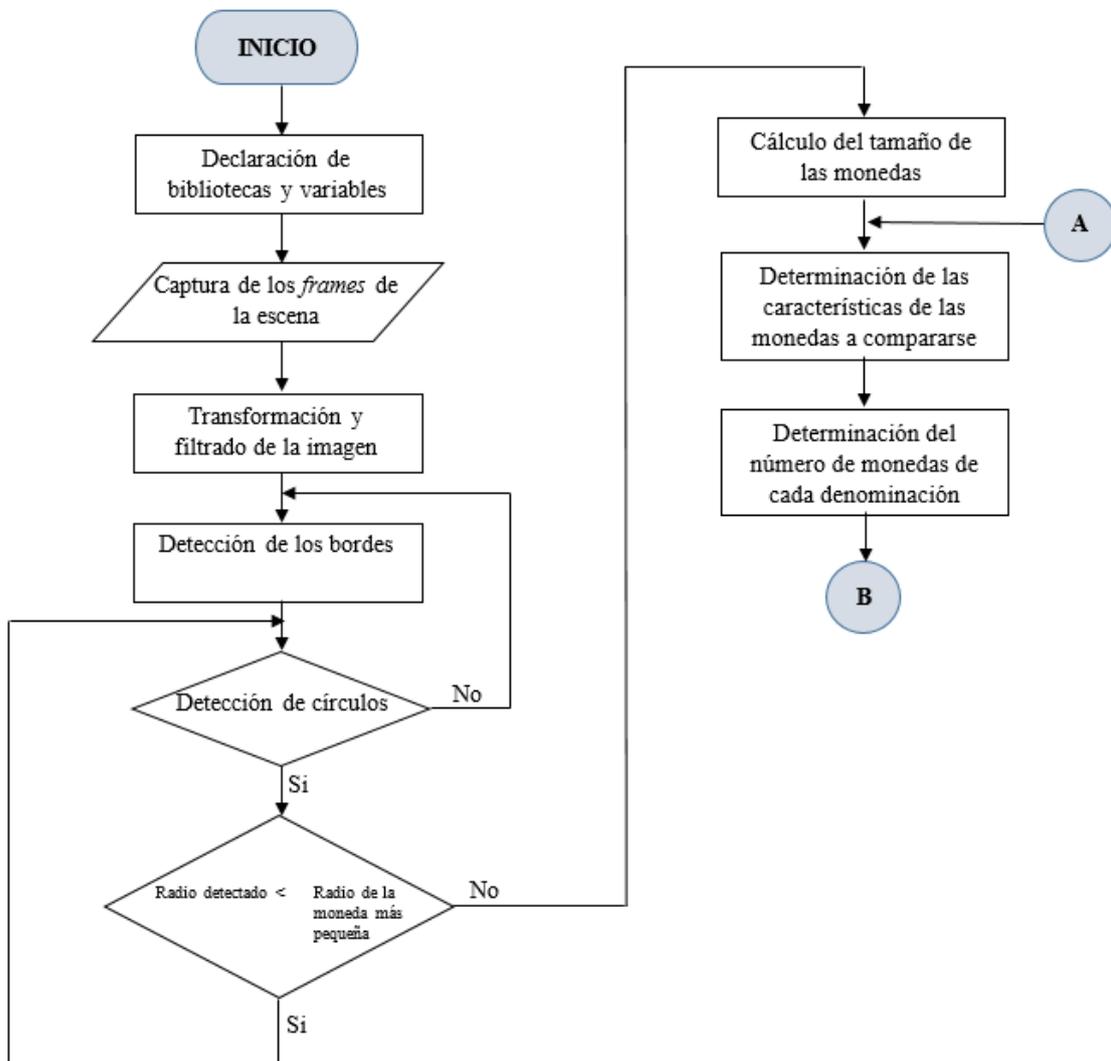


Figura 34-2. Diagrama de flujo del proceso de visión artificial.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.7. Implementación de las placas de circuito impreso

Para el diseño de las placas de circuito impreso se hace uso de Fritzing. Mientras se realizan los diagramas de conexiones mostrados en la sección 2.5 del presente capítulo, el software va diseñando el PCB.

2.7.1. Diseño de PCB de la placa principal y el HMI

Se diseña una placa principal donde se colocan las tarjetas de desarrollo y los controladores de acuerdo al diagrama de la figura 35-2, y otra placa para el HMI donde se colocan los pulsadores y la pantalla LCD como se muestra en el diagrama de la figura 36-2. Con ello se facilita el desmontaje de los componentes para un posible mantenimiento o cambio de elementos electrónicos.

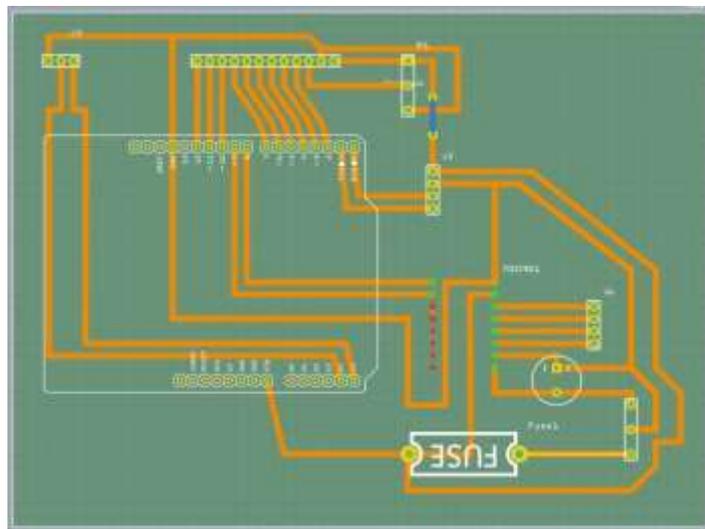


Figura 35-2. Esquema del PCB de la placa principal.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

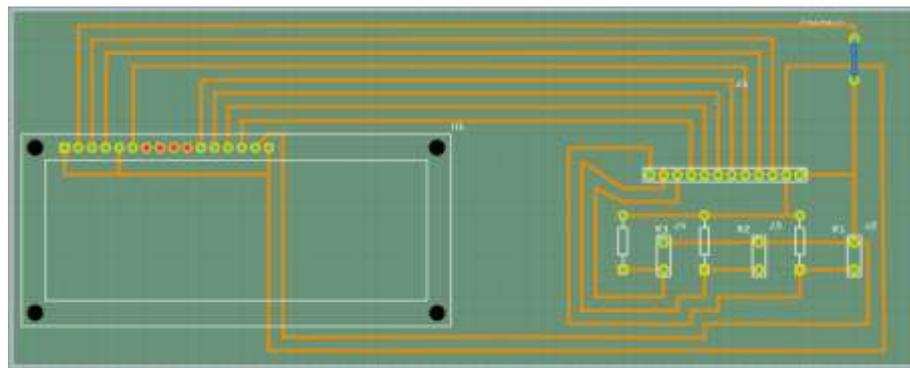


Figura 36-2. Esquema del PCB de la placa para el HMI.

Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.7.2. Montaje de las placas

Una vez realizados los diseños PCB de las placas, se procede con el método de transferencia térmica y corrosión. Luego de ello, se realizan los puntos de suelta con los componentes necesarios. Las placas resultantes se las muestra en las figuras 37-2 y 38-2.

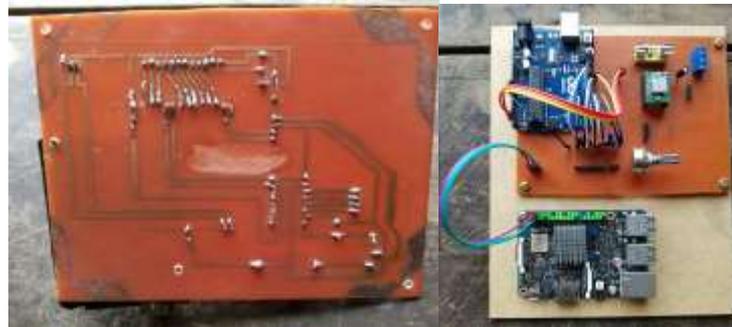


Figura 37-2. Placa principal implementada.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.



Figura 38-2. Placa implementada para el HMI.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.8. Implementación del prototipo

En base a los diseños mostrados en la sección 2.4 del presente capítulo se construyó el prototipo. Las piezas diseñadas en MDF se las moldeó con corte láser como se muestra en la figura 39-2.



Figura 39-2. Corte laser de las piezas en MDF.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

El corte laser brinda gran precisión en las medidas definidas para las piezas a la vez que se constituye en una forma económica de mecanizar una máquina. Para las piezas correspondientes al sistema de clasificación se utilizó acrílico de 4mm teniendo en cuenta que el rozamiento de las monedas con este material es relativamente bajo en comparación al MDF. Una vez cortadas las piezas se realizan los acoples necesarios guiándose por los encastrés diseñados. En la figura 40-2 se muestra el ensamblaje de la estructura interna.



Figura 40-2. Ensamblaje de la estructura interna del prototipo.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Las piezas son unidas con cemento de contacto. Una vez realizado el acople de la estructura interna, es necesario pintar el fondo y el disco por donde pasarán las monedas a ser analizadas.

Para ello es necesario elegir un color que se diferencie de las monedas con las que se trabajarán. Inicialmente se optó por el color verde mate, teniendo resultados negativos en la identificación de las monedas. Luego se pintó de color negro mate como se muestra en la figura 41-2, mejorando notablemente la identificación.



Figura 41-2. Fondo negro mate donde son captadas las monedas.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Posteriormente, se monta toda la electrónica en la estructura interna y se ajusta el motor al disco para luego acoplar el ensamblaje de la tolva y el recipiente donde se agrupan las monedas tal

como se muestra en la figura 42-2. El recipiente para agrupar a las monedas deberá asegurar que no se atasquen para lo cual se lo diseñó mediante impresión 3D por la forma creada.



Figura 42-2. Montaje de toda la estructura interna.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Finalmente se realiza el ensamblaje del gabinete que contendrá a todos los componentes internos del prototipo y los protegerá de golpes. Los acoples se realizan con cemento de contacto y con tornillos definiendo cuales son las piezas que se podrán desarmar para mantenimientos del prototipo. El gabinete ensamblado se lo muestra en la figura 43-2 y el prototipo final en la figura 44-2.



Figura 43-2. Ensamblaje del gabinete.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.



Figura 44-2. Prototipo terminado.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

2.9. Diseño e implementación de un instrumento de medición de luz

Una vez implementado el prototipo se diseña un instrumento para poder medir la luz emitida por el sistema de iluminación. Con ello se mide el nivel necesario para que la cámara capte el reflejo que emite la totalidad de cada moneda, diferenciándose del fondo oscuro. Teniendo en cuenta que la señal a ser medida es la luz, se elige un LDR como sensor y se diseña la fuente de corriente mostrada en la figura 45-2 con el uso del *software* NI Multisim 14.

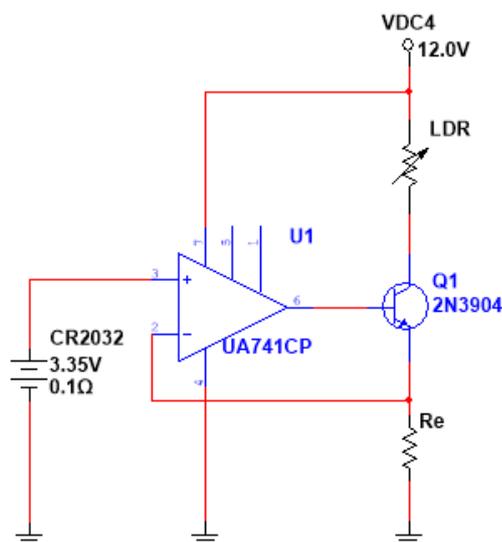


Figura 45-2. Diseño de una fuente de corriente para un LDR.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Según el datasheet del LDR mostrado en el anexo B, la resistencia puede superar los 500KOhm en la obscuridad para lo cual se realiza la medición de la figura 46-2 definiendo el valor máximo de resistencia que alcanza el LDR. Con ello se determina la cantidad de corriente que debe proporcionar la fuente diseñada.



Figura 46-2. Medición de la resistencia máxima del LDR.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Con el valor de resistencia máximo que alcanza el LDR frente a la oscuridad interna del prototipo, se realizan los siguientes cálculos:

- Para LDR, $R_{max} = 560K\Omega$

$$V_{R_{max}} = 10V$$

$$I = \frac{V_{R_{max}}}{R_{max}} = \frac{10V}{560K\Omega} = 17.8571\mu A$$

- Para R_e

$$I_{Re} \approx 17.8571\mu A$$

$$V_{Re} = I_{Re} * R_e$$

$$R_e = \frac{V_{Re}}{I_{Re}}$$

$$R_e = \frac{V_{Re}}{I_{Re}} = \frac{3.35V}{17.8571\mu A} = 187.6K\Omega$$

Con ello se asegura una corriente constante de $17.8571 \mu A$ en el LDR. Para medir la variación de voltaje en el sensor, se acopla al circuito un restador basado en un opamp con el fin de eliminar la inestabilidad de deriva térmica del transistor. En la figura 47-2 se muestra el circuito completo del instrumento de medición de luz.

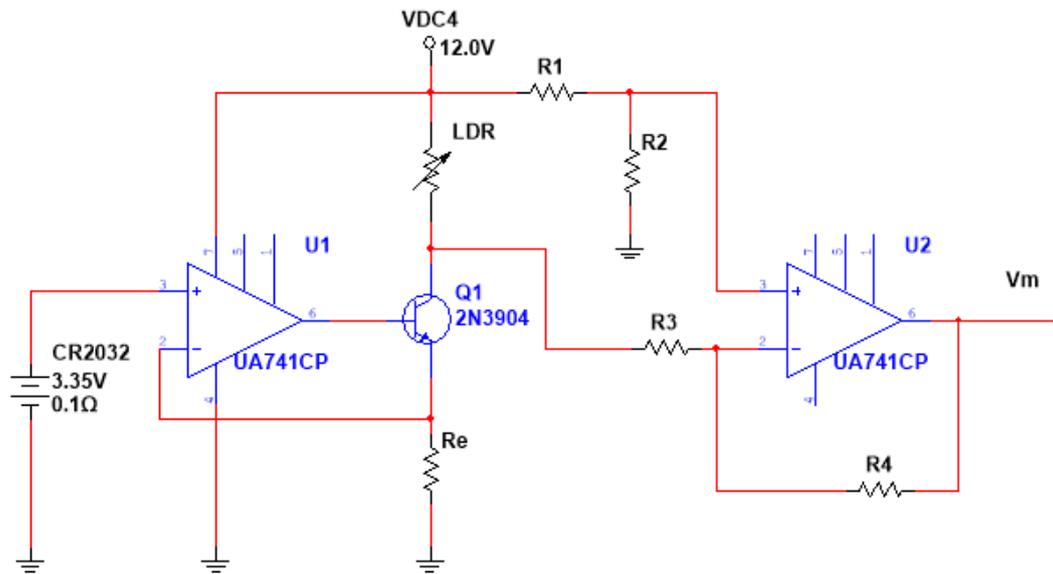


Figura 47-2. Circuito para medir la variación de luz.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

En la configuración restadora con el opamp, el valor de R1, R2, R3 y R4 es igual 10KΩ.

CAPITULO III

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta la determinación de las características de las monedas para la comparación con las imágenes captadas y las pruebas necesarias para determinar las mejores condiciones para el funcionamiento del prototipo tomando la iluminación y la velocidad como factores que inciden en la operación de conteo. Y finalmente se muestra un análisis de costos del prototipo.

3.1. Determinación del nivel indicado de luz en el sistema de iluminación

Con el objetivo de establecer la cantidad de luz necesaria para la captura de la totalidad del reflejo producido por las monedas, se realizaron las mediciones indicadas en la tabla 1-3, teniendo en cuenta que se trabajó con un led de 3W de color blanco analizado en el capítulo 2. Las mediciones se realizaron con el instrumento diseñado en el capítulo 2, instalando el LDR dentro del prototipo en el mecanismo de separación de las monedas, evitando variantes producidas por la luz ambiental.

Tabla 1-3: Mediciones del sistema de iluminación.

Potencia de entrada en el LED de Potencia			Voltaje medido en el LDR (V)
Voltaje de entrada (V)	Corriente de entrada (A)	Potencia de entrada (W)	
2.302	0.00023	0.00052946	4.51
2.583	0.00493	0.01273419	4.43
2.66	0.0241	0.064106	2.14
2.744	0.0654	0.1794576	2.05
2.975	0.31	0.92225	1.997
3.213	0.51	1.63863	1.994
3.22	0.6	1.932	1.987
3.342	0.78	2.60676	1.981
3.462	0.82	2.83884	1.979

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Los 4.51 V medidos en el LDR corresponden a la oscuridad total en el mecanismo de separación, mientras que los 1.979 V corresponden al máximo flujo luminoso producido por el led de potencia. Tras cada prueba se realizó el proceso de identificación con visión artificial para captar el reflejo de las monedas, con el fin de determinar el nivel que permita el 100% de efectividad en el proceso. Con los valores obtenidos se realizó el gráfico 1-3, indicando el valor óptimo determinado. Una vez encontrado el nivel de luz adecuado, se procedió con la identificación de monedas.

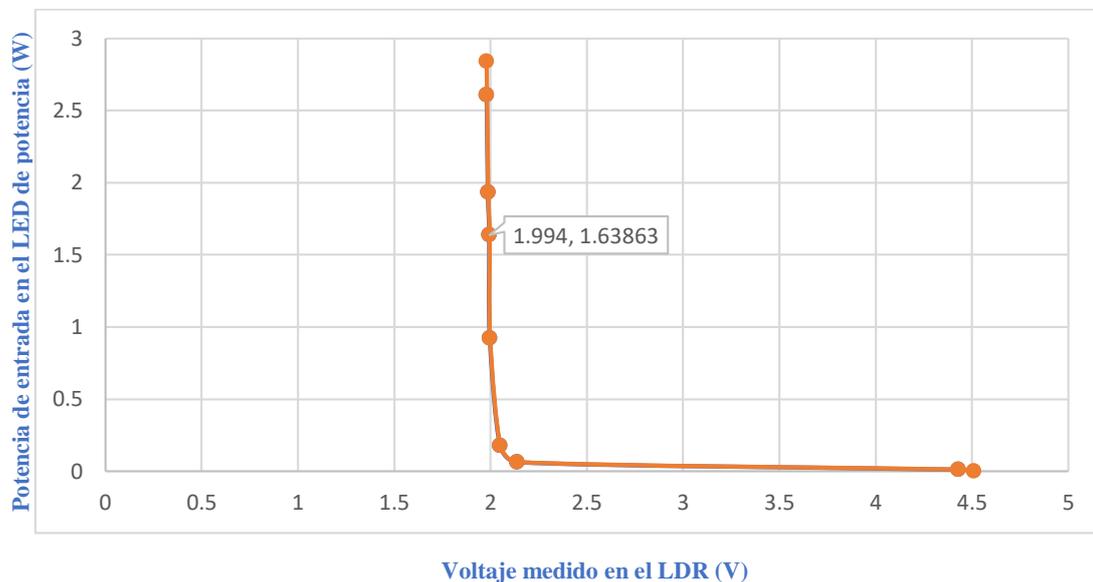


Gráfico 1-3. Datos de las mediciones del sistema de iluminación.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

3.2. Determinación de las características de las monedas a compararse

El tamaño de cada moneda captada en las imágenes cambia según la velocidad de giro del disco impulsado por el motor. Para definir los límites máximos y mínimos del tamaño de las monedas, se realizó pruebas tomando 20 muestras de las monedas de cada denominación.

Para determinar el número de monedas contadas por minuto en cada velocidad, se contó las veces que un agujero del disco separador es captado por la cámara obteniendo los siguientes resultados:

- Velocidad 1 (8000 pulsos): 55 monedas por minuto.
- Velocidad 2 (6000 pulsos): 72 monedas por minuto.
- Velocidad 3 (4000 pulsos): 110 monedas por minuto.

Una vez definidas las características de las monedas, se determinó que las de un centavo en su gran mayoría poseen un color marrón oscuro confundiéndose con el color del fondo y el disco, por lo que se descartó esta denominación para el proceso de identificación y conteo. Sin embargo,

esta puede seguir siendo clasificada correctamente. En el caso de las monedas de cincuenta centavos, al delimitar el área efectiva que capta la cámara, se produjo inestabilidad en la captura del reflejo de dicha denominación. Por ello se trabajó con el radio para las monedas de cincuenta centavos y con las áreas para el resto de monedas. Los valores obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 2-3: Radios captados en las muestras de 50 centavos en velocidad 1.

Número de muestra	50 centavos	
	Valor mínimo	Valor máximo
1	100	104
2	105	117
3	104	109
4	102	114
5	102	107
6	101	107
7	100	107
8	100	108
9	102	106
10	103	108
11	104	106
12	100	108
13	101	109
14	102	105
15	100	107
16	103	107
17	104	113
18	101	114
19	100	104
20	102	116
Limites inferior y superior	100	117

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 3-3: Radios captados en las muestras de 50 centavos en velocidad 2.

Número de muestra	50 centavos	
	Valor mínimo	Valor máximo
1	102	108

Número de muestra	50 CENTAVOS	
	Valor mínimo	Valor máximo
2	100	103
3	101	104
4	98	107
5	97	103
6	97	105
7	100	109
8	100	112
9	100	103
10	100	108
11	100	108
12	101	107
13	102	106
14	102	111
15	100	102
16	100	104
17	99	106
18	101	107
19	101	110
20	99	107
Limites inferior y superior	97	112

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 4-3: Radios captados en las muestras de 50 centavos en velocidad 3.

Número de muestra	50 CENTAVOS	
	Valor mínimo	Valor máximo
1	98	107
2	98	114
3	101	108
4	98	107
5	98	113
6	98	107
7	108	-
8	100	109
9	99	107

Número de muestra	50 CENTAVOS	
	Valor mínimo	Valor máximo
10	103	111
11	100	104
12	105	107
13	103	111
14	107	104
15	107	103
16	108	110
17	99	109
18	104	109
19	104	105
20	99	108
Límites inferior y superior	98	114

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 5-3: Áreas captadas en las muestras de 5, 10, 25 centavos y 1 dólar en velocidad 1.

N° de muestra	10 centavos		5 centavos		25 centavos		1 dólar	
	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
1	12913	13154	17292	17515	21731	22225	24817	25271
2	13241	13742	17974	18387	21119	21601	25428	25625
3	13259	13555	16830	17363	21910	22432	25462	25581
4	13218	13319	17060	17576	21501	21886	25317	25807
5	13156	13649	16854	17928	20886	21918	25515	25655
6	13636	13740	17593	18320	22159	22625	25589	25698
7	13210	13554	16649	17442	21130	21764	25027	25818
8	13206	13428	16854	17336	21425	22044	24667	25771
9	12821	13141	17245	17908	21358	22090	24925	25289
10	12683	13041	17644	18160	20940	21508	25596	25971
11	13206	13482	17171	17826	21334	21769	25397	25572
12	12838	13100	17074	17901	20860	21500	25228	25684
13	12213	12323	16669	17341	21876	22265	25383	25747
14	12708	12914	16967	17552	21489	22322	25694	25847
15	13186	13275	16865	18057	21730	22233	24390	25649
16	12922	13264	17404	18141	21431	22073	24838	25527
17	13071	13109	17678	18329	21876	22658	25723	26268

N° de muestra	10 centavos		5 centavos		25 centavos		1 dólar	
	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
18	12744	12762	16644	17503	21680	22381	25145	25940
19	13092	13315	17278	18158	22043	22532	25801	25819
20	13180	13577	17087	17945	22074	22142	25629	25854
Límites	12213	13742	16644	18387	20860	22658	24390	26268

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 6-3: Áreas captadas en las muestras de 5, 10, 25 centavos y 1 dólar en velocidad 2.

N° de muestra	10 centavos		5 centavos		25 centavos		1 dólar	
	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
1	12897	14301	17412	18106	20911	22338	26573	26682
2	13221	13552	17333	17433	21613	22662	26403	26418
3	13752	14013	17389	17833	21361	22899	25801	26193
4	12891	13751	17232	17302	20923	22760	26021	26541
5	13296	13646	18008	18187	21487	22253	25943	26689
6	12898	14099	17627	17767	21726	22878	25550	26284
7	13289	14000	17200	17534	20836	22483	26000	26012
8	13233	13882	17545	18215	22077	22874	25742	26326
9	13229	13985	17524	17599	20798	22612	24897	26180
10	13915	14162	17072	17590	20648	21549	25724	26124
11	13346	14143	17879	18102	22420	22468	25710	25890
12	13575	13827	17200	17565	20796	21627	26000	26190
13	13605	14412	16678	17556	21392	22673	25716	26218
14	13079	13960	17718	17817	21600	22376	26181	26292
15	13070	14230	17497	17589	21353	22831	25319	26026
16	13911	14188	17925	18075	21432	23397	26132	26146
17	12753	13595	16716	16811	22638	23408	25956	26287
18	12256	14171	16990	17144	21857	23024	25320	26124
19	13206	14114	17613	17884	21483	22895	26024	26109
20	13229	14074	17146	18105	20970	21868	25444	25834
Límites	12256	14412	16678	18215	20648	23408	24897	26689

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 7-3: Áreas captadas en las muestras de 5, 10, 25 centavos y 1 dólar en velocidad 3.

N° de muestra	10 centavos		5 centavos		25 centavos		1 dólar	
	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
1	13961	13984	17751	18226	22037	22898	25467	26491
2	13809	13979	17147	17874	22336	23389	25035	26072
3	13574	-	18132	19131	22506	23214	26161	26902
4	13516	13836	18594	19243	22260	22897	25770	26093
5	13830	13575	18065	18631	22574	23220	26248	27042
6	14071	14109	18063	18363	22680	22686	27023	28293
7	14626	15190	17636	17874	22751	23233	26061	26101
8	14278	14910	17354	-	23388	24125	25885	26570
9	13382	13725	17724	-	22235	22590	25404	25951
10	13783	13993	18622	19263	22789	23131	26858	27154
11	12897	-	18457	19933	22894	23033	25575	26634
12	13626	-	18073	18460	21870	22983	25475	25955
13	13515	14207	18461	18393	22184	23000	25892	26960
14	13613	13834	17429	18019	22857	23442	25440	26265
15	13988	14510	17758	17928	23636	-	26210	26618
16	13380	-	18279	18971	22772	23679	25950	26384
17	13524	-	18279	18600	22728	22929	26378	26452
18	14053	15362	18013	19434	22648	23011	25534	26165
19	13325	-	17298	17979	22971	24027	25181	25191
20	13484	13951	17742	17955	23103	24647	26035	26416
Límites	12897	15362	17147	19933	21870	24647	25035	28293

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Se obtuvo una relación directa de crecimiento con respecto a la velocidad y el tamaño captado. Cuando se aumentaba la velocidad de giro del disco, los tamaños captados de las monedas también crecían, a la vez que la diferencia entre los límites determinados en cada denominación disminuía. Sin embargo, aquella diferencia era suficiente para no realizar una identificación equívoca.

Se definió la velocidad 3 como la máxima, debido a que al superar éste valor no se pudo captar el total de monedas en las pruebas realizadas.

Una vez obtenidos los límites inferior y superior de cada denominación en las tres velocidades de conteo, se ingresaron los datos en la programación del proceso de visión artificial. Luego de ello se procedió con las pruebas para la validación del prototipo.

3.3. Prueba de estabilidad en el reconocimiento de monedas

Se realizó la prueba con 12 muestras donde se ingresó un cierto número de monedas de todas las denominaciones excepto las monedas de un centavo. Para cada muestra se fue incrementando el número de monedas de cada denominación. Los resultados obtenidos se los presenta en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Prueba de estabilidad en el reconocimiento de monedas.

N° de Muestra	Monedas	Velocidad 1		Velocidad 2		Velocidad 3	
		Conteo manual	Conteo prototipo	Conteo manual	Conteo prototipo	Conteo manual	Conteo prototipo
1	5 centavos	3	3	3	3	3	3
	10 centavos	3	3	3	3	3	3
	25 centavos	3	3	3	3	3	3
	50 centavos	3	3	3	3	3	3
	1 dólar	3	3	3	3	3	3
2	5 centavos	5	5	5	5	5	5
	10 centavos	5	5	5	5	5	5
	25 centavos	5	5	5	5	5	5
	50 centavos	5	5	5	5	5	4
	1 dólar	5	5	5	5	5	5
3	5 centavos	10	10	10	10	10	10
	10 centavos	10	10	10	10	10	8
	25 centavos	10	10	10	10	10	10
	50 centavos	10	10	10	10	10	11
	1 dólar	10	10	10	10	10	10
4	5 centavos	20	20	20	20	20	17
	10 centavos	20	20	20	20	20	17
	25 centavos	20	20	20	20	20	20
	50 centavos	20	20	20	20	20	22
	1 dólar	20	20	20	20	20	20
5	5 centavos	30	30	30	30	30	26
	10 centavos	30	30	30	30	30	27
	25 centavos	30	30	30	30	30	30
	50 centavos	30	30	30	30	30	32
	1 dólar	30	30	30	30	30	28
6	5 centavos	40	39	40	39	40	35
	10 centavos	40	40	40	38	40	33

N° de Muestra	Monedas	Velocidad 1		Velocidad 2		Velocidad 3	
		Conteo manual	Conteo prototipo	Conteo manual	Conteo prototipo	Conteo manual	Conteo prototipo
7	25 centavos	40	40	40	40	40	39
	50 centavos	40	39	40	40	40	43
	1 dólar	40	40	40	40	40	38
	5 centavos	50	49	50	48	50	46
	10 centavos	50	48	50	48	50	43
8	25 centavos	50	50	50	50	50	50
	50 centavos	50	50	50	49	50	52
	1 dólar	50	50	50	50	50	48
	5 centavos	60	58	60	57	60	55
	10 centavos	60	57	60	59	60	51
9	25 centavos	60	60	60	60	60	58
	50 centavos	60	60	60	59	60	63
	1 dólar	60	59	60	59	60	56
	5 centavos	70	69	70	67	70	62
	10 centavos	70	69	70	66	70	61
10	25 centavos	70	70	70	69	70	67
	50 centavos	70	69	70	70	70	74
	1 dólar	70	70	70	69	70	65
	5 centavos	80	77	80	76	80	73
	10 centavos	80	76	80	74	80	72
11	25 centavos	80	80	80	79	80	78
	50 centavos	80	79	80	77	80	85
	1 dólar	80	79	80	78	80	74
	5 centavos	90	86	90	86	90	80
	10 centavos	90	89	90	82	90	77
12	25 centavos	90	89	90	88	90	86
	50 centavos	90	91	90	87	90	95
	1 dólar	90	88	90	91	90	79
	5 centavos	100	97	100	93	100	86
	10 centavos	100	92	100	91	100	89
12	25 centavos	100	97	100	97	100	96
	50 centavos	100	96	100	95	100	110
	1 dólar	100	98	100	98	100	90

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Al tratarse de un caso particular al realizar operaciones con dinero, se realizó un análisis de estadística pura en donde se definió los mejores parámetros del prototipo para no generar pérdidas. El error que se obtuvo en cada conteo para cada velocidad se lo convirtió en pérdidas de dinero.

Los resultados se los presenta en las siguientes tablas.

Tabla 9-3: Pérdida de dinero en el conteo en la velocidad 1.

Muestra	Velocidad 1				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
1	0.15	5.7	0.15	0	0
	0.3		0.3	0	
	0.75		0.75	0	
	1.5		1.5	0	
	3		3	0	
2	0.25	9.5	0.25	0	0
	0.5		0.5	0	
	1.25		1.25	0	
	2.5		2.5	0	
	5		5	0	
3	0.5	19	0.5	0	0
	1		1	0	
	2.5		2.5	0	
	5		5	0	
	10		10	0	
4	1	38	1	0	0
	2		2	0	
	5		5	0	
	10		10	0	
	20		20	0	
5	1.5	57	1.5	0	0
	3		3	0	
	7.5		7.5	0	
	15		15	0	
	30		30	0	
6	2	76	1.95	0.05	0.55
	4		4	0	
	10		10	0	
	20		19.5	0.5	
	40		40	0	
7	2.5	95	2.45	0.05	0.25
	5		4.8	0.2	
	12.5		12.5	0	
	25		25	0	
	50		50	0	
8	3	114	2.9	0.1	1.4
	6		5.7	0.3	
	15		15	0	
	30		30	0	

Muestra	Velocidad 1				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
9	60	133	59	1	0.65
	3.5		3.45	0.05	
	7		6.9	0.1	
	17.5		17.5	0	
	35		34.5	0.5	
	70		70	0	
10	4	152	3.85	0.15	2.05
	8		7.6	0.4	
	20		20	0	
	40		39.5	0.5	
	80		79	1	
11	4.5	171	4.3	0.2	3.05
	9		8.9	0.1	
	22.5		22.25	0.25	
	45		45.5	0.5	
	90		88	2	
12	5	190	4.85	0.15	5.7
	10		9.2	0.8	
	25		24.25	0.75	
	50		48	2	
	100		98	2	

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 10-3: Pérdida de dinero en el conteo en la velocidad 2.

Muestra	Velocidad 2				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
1	0.15	5.7	0.15	0	0
	0.3		0.3	0	
	0.75		0.75	0	
	1.5		1.5	0	
	3		3	0	
2	0.25	9.5	0.25	0	0
	0.5		0.5	0	
	1.25		1.25	0	
	2.5		2.5	0	
	5		5	0	
3	0.5	19	0.5	0	0
	1		1	0	
	2.5		2.5	0	
	5		5	0	
	10		10	0	

Muestra	Velocidad 2				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
4	1	38	1	0	0
	2		2	0	
	5		5	0	
	10		10	0	
	20		20	0	
5	1.5	57	1.5	0	0
	3		3	0	
	7.5		7.5	0	
	15		15	0	
	30		30	0	
6	2	76	1.95	0.05	0.25
	4		3.8	0.2	
	10		10	0	
	20		20	0	
	40		40	0	
7	2.5	95	2.4	0.1	0.8
	5		4.8	0.2	
	12.5		12.5	0	
	25		24.5	0.5	
	50		50	0	
8	3	114	2.85	0.15	1.75
	6		5.9	0.1	
	15		15	0	
	30		29.5	0.5	
	60		59	1	
9	3.5	133	3.35	0.15	1.8
	7		6.6	0.4	
	17.5		17.25	0.25	
	35		35	0	
	70		69	1	
10	4	152	3.8	0.2	4.55
	8		7.4	0.6	
	20		19.75	0.25	
	40		38.5	1.5	
	80		78	2	
11	4.5	171	4.3	0.2	4
	9		8.2	0.8	
	22.5		22	0.5	
	45		43.5	1.5	
	90		91	1	

Muestra	Velocidad 2				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
12	5	190	4.65	0.35	6.5
	10		9.1	0.9	
	25		24.25	0.75	
	50		47.5	2.5	
	100		98	2	

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Tabla 11-3: Pérdida de dinero en el conteo en la velocidad 3.

Muestra	Velocidad 3				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
1	0.15	5.7	0.15	0	0
	0.3		0.3	0	
	0.75		0.75	0	
	1.5		1.5	0	
	3		3	0	
2	0.25	9.5	0.25	0	0.5
	0.5		0.5	0	
	1.25		1.25	0	
	2.5		2	0.5	
	5		5	0	
3	0.5	19	0.5	0	0.7
	1		0.8	0.2	
	2.5		2.5	0	
	5		5.5	0.5	
	10		10	0	
4	1	38	0.85	0.15	1.45
	2		1.7	0.3	
	5		5	0	
	10		11	1	
	20		20	0	
5	1.5	57	1.3	0.2	3.5
	3		2.7	0.3	
	7.5		7.5	0	
	15		16	1	
	30		28	2	
6	2	76	1.75	0.25	4.7
	4		3.3	0.7	
	10		9.75	0.25	
	20		21.5	1.5	
	40		38	2	

Muestra	Velocidad 3				
	Dinero ingresado por denominación	Total Ingresado	Dinero contado	Pérdida en el conteo	Pérdida total
7	2.5	95	2.3	0.2	3.9
	5		4.3	0.7	
	12.5		12.5	0	
	25		26	1	
	50		48	2	
8	3	114	2.75	0.25	7.15
	6		5.1	0.9	
	15		14.5	0.5	
	30		31.5	1.5	
	60		56	4	
9	3.5	133	3.1	0.4	9.05
	7		6.1	0.9	
	17.5		16.75	0.75	
	35		37	2	
	70		65	5	
10	4	152	3.65	0.35	10.15
	8		7.2	0.8	
	20		19.5	0.5	
	40		42.5	2.5	
	80		74	6	
11	4.5	171	4	0.5	16.3
	9		7.7	1.3	
	22.5		21.5	1	
	45		47.5	2.5	
	90		79	11	
12	5	190	4.3	0.7	17.8
	10		8.9	1.1	
	25		24	1	
	50		55	5	
	100		90	10	

Realizado por: Manobanda, M. 2019

Una vez que se obtuvieron los resultados de la pérdida de dinero con cada velocidad y en cada muestra, se realizó el gráfico 2-3 para apreciar de forma más clara las pérdidas obtenidas y la mejor condición para el funcionamiento del prototipo.

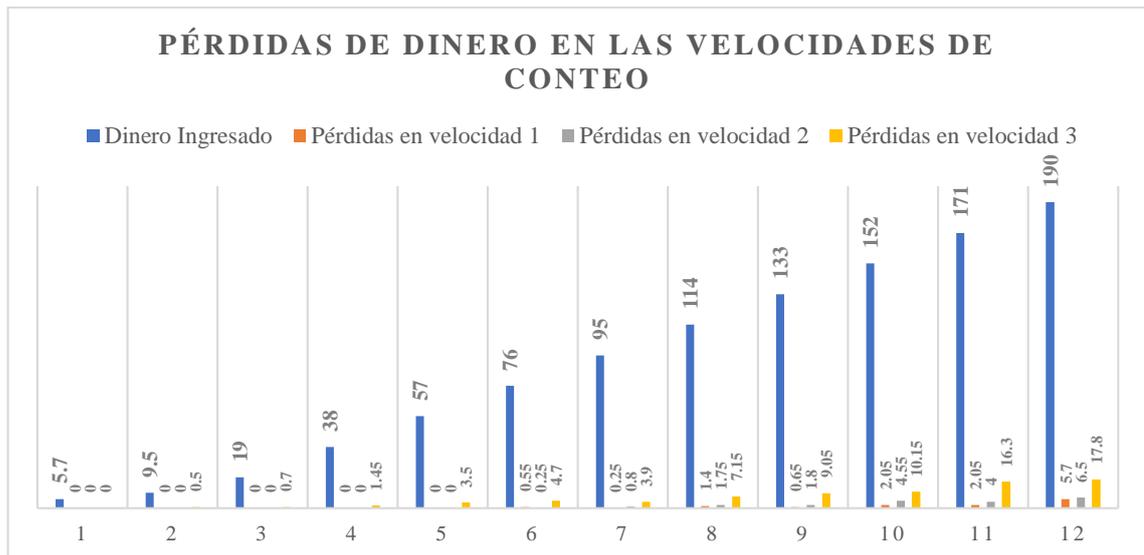


Gráfico 2-3. Pérdidas de dinero en las velocidades de conteo.
Realizado por: Manobanda, M. 2019.

Analizando la gráfica, se determinó que mientras el dinero ingresado aumentaba, las pérdidas producidas por las velocidades de conteo también se incrementaban. Teniendo en cuenta que en las operaciones de dinero la admisión de errores es mínima, se definió a la velocidad 2 como la más adecuada para la identificación y conteo de monedas con un valor de 57 dólares entre las divisas de diez, cinco, veinticinco, cincuenta centavos y un dólar como el límite máximo de ingreso de dinero en la tolva.

3.4. Análisis de costos del prototipo

En la presente sección se hizo un análisis de costos en la implementación del prototipo, para lo cual se muestran todos los dispositivos y materiales utilizados en la elaboración en la tabla 12-3 con su respectivo valor.

Tabla 12-3: Costo de la implementación del prototipo.

	Detalle	Cantidad	Valor total
Implementación de la parte electrónica	Tinker Board S	1	\$112,00
	Arduino Uno	1	\$18,00
	Picamera V1.3	1	\$25,00
	Cable para Picamera de 30cm	1	\$9,00
	LCD 20x4	1	\$12,00
	Motor a pasos Nema 17	1	\$20,00
	Driver DRV8825	1	\$6,00
	Fuente de alimentación	1	\$20,00
	Otros	1	\$25,00

	Costo de la implementación electrónica		\$247,00
Implementación la parte mecánica	Plancha de MDF de 4mm	1	\$20,40
	Retazo 30x60cm de acrílico de 4mm	1	\$20,00
	Corte láser	1	\$64,00
	Otros	1	\$60,00
	Costo de la implementación mecánica		\$164,40
Costo total de la implementación del prototipo			\$411,40

Realizado por: Manobanda, M. 2019

3.5. Cumplimiento de objetivos

Al finalizar el presente capítulo se puede afirmar que se ha cumplido cada uno de los objetivos planteados. Esto se lo puede evidenciar en el desarrollo de los tres capítulos que componen este trabajo.

En el capítulo uno se cumplió el primer objetivo específico con el análisis de cada tipo de máquina que se dispone en el mercado para los procesos de clasificación y conteo de las monedas.

En el capítulo 2 se cumplió con el segundo objetivo específico estableciendo los requerimientos de los usuarios a los que se destina el prototipo. Además, se cumplió el objetivo específico tres, al diseñar una arquitectura capaz de separar las monedas una por una para que sean captadas por la cámara en el proceso de visión artificial, y el objetivo específico cuatro, al definir la tecnología utilizada en cada proceso del prototipo.

Finalmente, en el capítulo tres se cumplió con el objetivo específico cinco con las pruebas realizadas y su respectivo análisis, evaluando de esa forma el funcionamiento del prototipo.

CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño e implementación de un prototipo de máquina clasificadora y contadora de monedas basada en visión artificial como una nueva técnica de identificación y conteo.
- El diseño mecánico realizado es el óptimo para separar las monedas y lograr que se trasladen una por una para poder realizar la captura de las imágenes.
- En el mecanismo de separación en donde se realiza la identificación y conteo con la visión artificial, el color oscuro con acabado mate es el más adecuado para el disco y la base con el fin de diferenciar a las monedas.
- La técnica de iluminación directa utilizada en el prototipo es la más adecuada para trabajar con las monedas debido al reflejo que éstas producen, y para evitar errores en la identificación por la suciedad que generan al rozar con el disco y la base del mecanismo de separación.
- Tomando en cuenta las pruebas de determinación de las características de las monedas, se concluye que la técnica de visión artificial no permite una captura efectiva de las monedas de un centavo debido a su color marrón oscuro que posee en su mayoría de especies circulantes.
- Basado en los resultados arrojados por las pruebas de estabilidad en la identificación y conteo de monedas del prototipo, se concluye que la visión artificial es una técnica de baja velocidad en comparación a las velocidades de las máquinas comerciales, estableciendo las 72 monedas por minuto como el límite máximo sin porcentaje de error para el conteo de \$57 entre las divisas de diez, cinco, veinticinco, cincuenta centavos y un dólar como la cantidad máxima de dinero ingresado en la tolva.

RECOMENDACIONES

- Utilizar materiales más duraderos como el metal en el mecanismo de separación y clasificación de monedas, ya que con el constante rozamiento producido en las pruebas el acrílico utilizado sufrió un desgaste significativo, reduciendo la velocidad en la clasificación.
- Se recomienda utilizar un disco de separación con material rígido, ya que los discos diseñados mediante impresión 3D tienden a doblarse cuando se tienen muchas monedas agrupadas.
- Antes de realizar las conexiones de todos los dispositivos electrónicos en el prototipo, se recomienda etiquetar cada cable para no generar una conexión errónea y agilizar la operación.
- Trabajar con el sistema operativo Debian en su versión 2.0.7 disponible en la página oficial de Asus, debido a que en las versiones posteriores no se han desarrollado en su totalidad los drivers para trabajar con el puerto MIPI CSI para la cámara.
- Evitar el uso de la función `cv2.HoughCircles` de OpenCV para aplicaciones de precisión debido a la inestabilidad que genera en la identificación.
- Para mediciones de precisión en la variación de luz, se recomienda utilizar un sensor diferente al LDR debido a su respuesta exponencial que genera en la medición de voltaje producido por la variación de resistencia ante la cantidad de luz.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA, D., *ELECTRÓNICA - Plataformas Arduino y Raspberry Pi*. [en línea], 1 a Ed. Buenos Aires: s.n. 2014. [Consulta: 12 mayo 2018]. ISBN 978-987-1949-56-4. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=QDS5DQAAQBAJ&pg=PA179&lpg=PA179&dq=familia+raspberry+pi&source=bl&ots=SqpGuW6m86&sig=8GAFC7DcBPW47o6yoH9Mi51QUZs&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-h8_H8oDbAhUFneAKHdLrA0Y4ChDoAQhdMA0#v=onepage&q=familia+raspberry+pi&f=false.

ARANDA DELGADILLO, M., MEDINA MUÑOZ, L., RODRIGUEZ ESPINOZA, I. y GONZÁLEZ LÓPEZ, S. *Aplicación de Técnicas de Visión Artificial y Sistemas Expertos para la Determinación del Valor de Monedas*. [en línea], 2017. p. 7-12. [Consulta: 9 mayo 2018]. Disponible en: http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Prototipos_Tecnologicos/vol3num7/Revista_de_Prototipos_Tecnologicos_V3_N7_2.pdf.

ASUS. *Tinker Board*. [en línea], 2017. [Consulta: 16 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.asus.com/us/Single-Board-Computer/Tinker-Board/>.

CAJAS 10. *Máquina Clasificadora FAC*. [en línea], 2018. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: <https://cajas10.com/elementos-de-seguridad/contadoras-totalizadoras/serie-fac-clasificadora.html>.

CHAMPMAN, S.J. *Máquinas Eléctricas*. Quinta Edi. S.l.: s.n. 2012. ISBN 978-607-15-0724-2.

COGNEX. *INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN ARTIFICIAL Una guía para la automatización de procesos y mejoras de calidad*. [en línea], S.l.: 2016. [Consulta: 23 abril 2019]. Disponible en: http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction to Machine Vision.pdf.

FIGUEROA, S. *Análisis e importancia del arqueo de caja como herramienta de control interno y su tratamiento contable*. [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Machala. 2016. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/8951/1/ECUACE-2016-CA-CD00138.pdf>.

GALANTZ. *Contadora Galantz s.r.l. - CS-10*. [en línea], 2018. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.galantz.com.ar/cs-10.html>.

GARCÍA, I. y CARANQUI, V. *La visión artificial y los campos de aplicación*. [en línea], 2015. p. 94. Disponible en: revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/tierrainfinita/article/download/76/112/.

GIL, J. *Funcionamiento de las Contadoras de Monedas*. [en línea], 2016. [Consulta: 24 abril 2018]. Disponible en: <https://www.comercialtpv.com/blog/2016/08/09/como-funcionan-las-contadoras-de-monedas-de-safescan/>.

GONZÁLEZ, A., MARTÍNEZ, F., PERNÍA, A., ALBA, F., CASTEJÓN, M., ORDIERES, J. y VERGARA, E. *Técnica y algoritmos básicos de visión artificial*. [en línea], S.l.: s.n. 2006. [Consulta: 19 mayo 2018]. ISBN 84-689-9345-X. Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/VisionArtificial.pdf>.

GUÍAS PRÁCTICAS. *Contadora de monedas*. [en línea], 2013. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.guiaspracticass.com/detectores-de-billetes-falsos/contadora-de-monedas>.

HARTMONETIC AUTOMATION. *Los contadores de monedas y el arqueo de caja* » *Hart Monetic*. [en línea], 2013. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.hartmonetic.com/es/los-contadores-de-monedas-y-el-arqueo-de-caja/>.

HUBER-MORK, R., NOLLE, M., BUBIK MICHAEL, HODLMOSER, M., KAMPEL, M. y ZAMBANINI, S. *Automatic Coin Classification and Identification*. [en línea], 2012. p. 127-128. [Consulta: 9 mayo 2018]. DOI 10.5772/35795. Disponible en: http://cdn.intechopen.com/pdfs/36682/InTech-Automatic_coin_classification_and_identification.pdf.

JENNINGS, S. *Motores paso a paso*. [en línea], S.l.: 2002. Disponible en: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/download/899/988.

LLAMAS, L. *Motores paso a paso con Arduino y driver A4988 o DRV8825*. [en línea], 2016. [Consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>.

MOTT, R.L. y GONZÁLEZ Y POZO, V. *Diseño de elementos de máquinas*. [en línea], S.l.: Pearson Prentice-Hall. 2006. [Consulta: 14 febrero 2019]. ISBN 9789702608127. Disponible en:

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nrYd_BjTLOUC&oi=fnd&pg=PA1&dq=concepto+de+maquina&ots=1CMm3cq9aK&sig=gIVNTmtjcISqyuecwxD8u5Da98c#v=onepage&q=concepto+de+maquina&f=true.

PASTOR, J., Tinkerboard de Asus y Raspberry Pi. [en línea]. 2017. [Consulta: 18 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.xataka.com/accesorios/la-tinkerboard-de-asus-intenta-competir-con-la-raspberry-pi-pero-lo-tiene-crudo>.

PLATERO, C. *Introducción a la Visión Artificial*. [en línea], 2009. p. 25. [Consulta: 10 marzo 2018]. Disponible en: http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf.

POLOLU, Pololu - Stepper Motor. [en línea]. 2019. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/1200>.

POMARES BAEZA, J. *Control por Computador Manual de arduino*. [en línea], 2009. p. 2-3. [Consulta: 9 mayo 2018]. Disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33673478/arduino_manual_piolaAAA.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1525923945&Signature=AJEMcd%2F%2FpPuQ2k6MwG0k1ImkNw%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DControl_por_Computad.

RASPBERRY PI ORG, Camera Module - Raspberry Pi Documentation. [en línea]. 2016. [Consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>.

SAFESCAN. *Coin Counters and Sorters*. [en línea], 2018. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.safescan.com.my/en-my/store/coin-counters>.

SALAS, J. *Lcd 16x2*. [en línea], 2013. [Consulta: 25 febrero 2019]. Disponible en: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>.

SCAN COIN. *Clasificación de monedas*. [en línea], 2017. [Consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: http://www.scancoin.es/Product_Guide/CoinSolutions/Coin_Sorters.aspx#!/ICXActive9.

SCHULZ, L. *Características de las principales divisas.* [en línea], 2017. [Consulta: 23 abril 2019]. Disponible en: <https://tendenciasfx.com/caracteristicas-los-principales-pares-divisas/>.

TORRENTE, Ó. *Arduino: curso práctico de formación.* [en línea], S.l.: s.n. 2013. [Consulta: 16 febrero 2019]. ISBN 9786077076483. Disponible en: www.FreeLibros.me.

TORRES, H. *Arduino vs Raspberry Pi comparativa.* [en línea]. 2017. [Consulta: 18 febrero 2019]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/arduino-vs-raspberry-pi/>.

VERA, W., *Medición del Circulante en Dolarización: Ecuador 2000-2007.* [en línea], 2007. p. 135. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en: https://www.bce.fin.ec/cuestiones_economicas/images/PDFS/2007/No2/Vol.23-2-2007WilsonVera.pdf.

VERA, W. *Medición del Circulante en Dolarización: Ecuador 2000-2007.* [en línea], 2007. p. 135. [Consulta: 8 mayo 2018]. Disponible en: https://www.bce.fin.ec/cuestiones_economicas/images/PDFS/2007/No2/Vol.23-2-2007WilsonVera.pdf.

VIGARDO, J. *Primeras máquinas contadoras de monedas inventadas durante la Edad Media.* [en línea], 2015. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en: <https://www.electropolis.es/blog/las-primeras-maquinas-contadoras-de-monedas-se-inventaron-durante-la-edad-media/>.

ANEXOS

ANEXO A: Programación del proceso de visión artificial en Python.

PROGRAMACIÓN PROCESO DE VISIÓN ARTIFICIAL

```
#### DECLARACION DE BIBLIOTECAS Y VARIABLES
```

```
import numpy as np
import cv2
import smbus
import time
```

```
#Direccion del esclavo (Arduino Uno)
```

```
I2C_address = 0x08
```

```
#Bus de comunicacion
```

```
bus = smbus.SMBus(1)
```

```
#Variables
```

```
area=0
```

```
diezCent=0
```

```
unCent=0
```

```
cincoCent=0
```

```
veintCent=0
```

```
dolar=0
```

```
cincuentaCent=0
```

```
aux1=0
```

```
aux2=0
```

```
radio=0
```

```
vacioAR=0
```

```
vacioRD=0
```

```
vacAREA=0
```

```
vacRADIO=0
```

```
#Valores determinantes para monedas
```

```
#10 centavos
```

```
minAR1=0
```

```
maxAR1=0
```

```
#1 centavo
```

```
minRD2=0
```

```
maxRD2=0
```

```
#5 centavos
```

```
minAR3=0
```

```
maxAR3=0
```

```
minRD3=0
```

```
maxRD3=0
```

```
#25 centavos
```

```
minAR4=0
```

```
maxAR4=0
```

```
minRD4=0
```

```
maxRD4=0
```

```

#1 dolar
minAR5=0
maxAR5=0
minRD5=0
maxRD5=0
#50 centavos
minRD6=0
maxRD6=0

x=0

#### ADQUISICION DE LA IMAGEN

img = cv2.VideoCapture("v4l2src ! video/x-
raw,format=NV12,width=320,height=240 ! videoconvert ! appsink")
while True:
    ret,frame = img.read()
    salida = frame.copy()

#### TRANSFORMACION Y FILTRADO DE LA IMAGEN

gris=cv2.cvtColor(frame,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
capCirc = gris.copy()
capCirc[capCirc<100] = 0
capCirc=cv2.GaussianBlur(capCirc,(21,21),0)
gris1=cv2.GaussianBlur(gris,(5,5),1)
gris1[gris1<100] = 0
umbral = cv2.threshold(gris1, 145, 255, cv2.THRESH_BINARY)[1]
mult=cv2.Canny(umbral,250,255)

try:
    circulos=cv2.HoughCircles(umbral,cv2.HOUGH_GRADIENT,1,500,
    param1=150,param2=42,minRadius=40,maxRadius=120)
    circulos=np.uint16(np.around(circulos))
    for i in circulos[0,:]:
        cv2.circle(salida,(i[0],i[1]),i[2],(255,0,0),2)
        radio=i[2]
except:
    mult[mult>1] = 0
    radio=0
    #print(" ")

#### DETECCION DE MONEDAS

x = bus.read_byte(I2C_address)
if x==1:
    #10 centavos
    minAR1=12213
    maxAR1=13742
    #1 centavo
    minRD2=51
    maxRD2=69
    #5 centavos
    minAR3=16644

```

```
maxAR3=18387
#25 centavos
minAR4=20860
maxAR4=22658
#1 dolar
minAR5=24390
maxAR5=26268
#50 centavos
minRD6=100
maxRD6=117
#Cotrol vacio
vacAREA=15
vacRADIO=10
```

```
if x==2:
  #10 centavos
  minAR1=12256
  maxAR1=14412
  #1 centavo
  minRD2=44
  maxRD2=69
  #5 centavos
  minAR3=16678
  maxAR3=18215
  #25 centavos
  minAR4=20648
  maxAR4=23408
  #1 dolar
  minAR5=24897
  maxAR5=26689
  #50 centavos
  minRD6=97
  maxRD6=112
  #Cotrol vacio
  vacAREA=15
  vacRADIO=10
```

```
if x==3:
  #10 centavos
  minAR1=12897
  maxAR1=15362
  #1 centavo
  minRD2=54
  maxRD2=75
  #5 centavos
  minAR3=17147
  maxAR3=19933
  #25 centavos
  minAR4=21870
  maxAR4=24647
  #1 dolar
  minAR5=25035
  maxAR5=28293
  #50 centavos
```

```
minRD6=98
maxRD6=114
#Cotrol vacio
vacAREA=15
vacRADIO=10
```

```
im, contornos, hierarchy = cv2.findContours(mult,cv2.
RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
if len(contornos)>0:
    cnt=contornos[0]
    area=cv2.contourArea(cnt)
    #print(area)

    if area>10000 :

        cv2.drawContours(salida,contornos,-1,(0,255,255),3)

        # 10 CENTAVOS -----

        if area>minAR1 and area<maxAR1 and vacioAR>vacAREA:
            diezCent=diezCent+1
            bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
            ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])
            vacioAR=0

        # 5 CENTAVOS -----

        if area>minAR3 and area<maxAR3 and vacioAR>vacAREA:
            cincoCent=cincoCent+1
            bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
            ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])
            vacioAR=0

        # 25 CENTAVOS -----

        if area>minAR4 and area<maxAR4 and vacioAR>vacAREA:
            veintCent=veintCent+1
            bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
            ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])
            vacioAR=0

        # 1 DOLAR -----

        if area>minAR5 and area<maxAR5 and vacioAR>vacAREA:
            dolar=dolar+1
            bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
            ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])
            vacioAR=0
```

```

        area=0
        radio=0

if radio>40:
    #print(radio)

    # 50 CENTAVOS -----

    if radio>minRD6 and radio<maxRD6 and vacioRD>vacRADIO:
        cincuentaCent=cincuentaCent+1
        bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
        ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])
        vacioRD=0

    # 1 CENTAVO -----

    if radio>minRD2 and radio<maxRD2 and vacioRD>vacRADIO:
        unCent=unCent+1
        bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
        ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])
        vacioRD=0

if area<1000:
    vacioAR=vacioAR+1

if radio<30:
    vacioRD=vacioRD+1

#print(vacioAR)
#print(vacioRD)

#cv2.imshow("F10",salida)
if x==5:
    diezCent=0
    unCent=0
    cincoCent=0
    veintCent=0
    dolar=0
    cincuentaCent=0
    aux1=1
    aux2=1
    bus.write_i2c_block_data(I2C_address,unCent,[cincoCent
    ,diezCent,veintCent,cincuentaCent,dolar,aux1,aux2])

aux1=0

key = cv2.waitKey(1) & 0xFF
if key == ord("s"):
    break

cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

```

PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA ARDUINO UNO

```
//ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
//FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA
//ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
//AUTOR: MIGUEL MANOBANDA

//DECLARACION DE BIBLIOTECAS Y VARIABLES
#include <Wire.h>
#define SLAVE_ADDRESS 0x08

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);

const int dirPin = 8;
const int stepPin = 9;

int velocidad=2;
int pulsos;
int IN_MOTOR;

#define S_HOME      0
#define S_PARAMETROS 1
#define S_CONTEO    2

uint8_t estado = S_HOME; //Estado actual

#define BTN_INICIO 0
#define BTN_SET    1
#define BTN_SALIR  2

uint8_t button[3] = {
    10,
    11,
    12
};

uint8_t button_state[3];

uint8_t unCent =0;
uint8_t cincoCent = 0;
uint8_t diezCent =0;
uint8_t veintCent = 0;
uint8_t cincuentaCent = 0;
uint8_t dolar = 0;
uint8_t aux1 = 0;
uint8_t aux2 = 0;
int res[8];
int i;
int respuesta;
int numOfBytes;
float a,b,c,d,e,f,tot;
```

```

uint8_t flancoSubida(int btn){
    uint8_t valor_nuevo = digitalRead(button[btn]);
    uint8_t result = button_state[btn]!=valor_nuevo && valor_nuevo == 1;
    button_state[btn] = valor_nuevo;
    return result;
}

//SETEO DE LAS FUNCIONES
void setup() {
    pinMode(stepPin,OUTPUT);
    pinMode(dirPin,OUTPUT);

    pinMode(button[BTN_INICIO], INPUT_PULLUP);
    pinMode(button[BTN_SET], INPUT_PULLUP);
    pinMode(button[BTN_SALIR], INPUT);
    button_state[0] = HIGH;
    button_state[1] = HIGH;
    button_state[2] = HIGH;

    lcd.begin(20,4);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("*****");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("*      BIENVENIDO      *");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("*                          *");
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("*****");
    delay(2000);
    lcd.clear();
    //Serial.begin(9600);
    Wire.begin(SLAVE_ADDRESS);
    //Wire.onReceive(receiveData);
    //Wire.onRequest(sendData);
    menuPrincipal();
}

void menuPrincipal() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print("CONTADORA V1.0");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("  Menu principal  ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("Velocidad");
    lcd.setCursor(11,2);
    lcd.print("Resultado");
    lcd.setCursor(2,3);
    lcd.print("*");
    lcd.setCursor(17,3);
    lcd.print("*");
}

void menuVelocidad() {

```

```

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print("VELOCIDAD");
    lcd.setCursor(9,2);
    lcd.print(velocidad);
    lcd.setCursor(2,3);
    lcd.print("<<");
    lcd.setCursor(7,3);
    lcd.print("INICIO");
    lcd.setCursor(16,3);
    lcd.print(">>");

}

void resultLCD(){
    lcd.clear();
    a=unCent*0.01;
    b=cincoCent*0.05;
    c=diezCent*0.1;
    d=veintCent*0.25;
    e=cincuentaCent*0.5;
    f=dolar;
    tot=a+b+c+d+e+f;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" 1:");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" 5:");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("10:");
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print("25:");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print("50:");
    lcd.setCursor(7,2);
    lcd.print("100:");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print("TOTAL");
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.print(unCent);
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(cincoCent);
    lcd.setCursor(3,2);
    lcd.print(diezCent);
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print(veintCent);
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(cincuentaCent);
    lcd.setCursor(11,2);
    lcd.print(dolar);
    lcd.setCursor(14,1);
    lcd.print(tot,2);
    lcd.setCursor(7,3);
    lcd.print("Reset");
    lcd.setCursor(16,3);

```

```

    lcd.print("MENU");
}

void loop() {
    switch(estado) {
        case S_HOME:/**Menu inicial**/
            if(flancoSubida(BTN_INICIO)){
                estado = S_PARAMETROS;
                menuVelocidad();
                break;
            }
            if(flancoSubida(BTN_SALIR)){
                IN_MOTOR = 0;
                estado = S_CONTEO;
                resultLCD();
                break;
            }
            break;/**Fin Menu inicial**/
        case S_PARAMETROS:/**Inicio Menu Velocidad**/
            if(flancoSubida(BTN_INICIO)){
                velocidad = velocidad-1;
                if(velocidad<1){
                    velocidad=1;
                }
                menuVelocidad();
                break;
            }
            if(flancoSubida(BTN_SET)){
                IN_MOTOR = 1;
                estado = S_CONTEO;
                Wire.onReceive(receiveData);
                resultLCD();
                break;
            }
            if(flancoSubida(BTN_SALIR)){
                velocidad = velocidad+1;
                if(velocidad>3){
                    velocidad=3;
                }
                menuVelocidad();
                break;
            }
            if(velocidad==1){
                pulsos=8000;
            }
            if(velocidad==2){
                pulsos=6000;
            }
            if(velocidad==3){
                pulsos=4000;
            }
            respuesta=velocidad;
            Wire.onRequest(sendData);

```

```

        break;/**Fin Menu Velocidad**/
        case S_CONTEO:/**Inicio Menu Resultado**/
        if(IN_MOTOR==1){
            stepMotor();
        }
        if(flancoSubida(BTN_SET)){
            respuesta=5;
            Wire.onRequest(sendData);
        }
        if(flancoSubida(BTN_SALIR)){
            estado = S_HOME;
            menuPrincipal();
            break;
        }
        resultLCD();
        break;/**Fin Menu Resultado**/
    }
}

//ENVIO DE DATOS I2C
void sendData(){
    Wire.write(respuesta);
}

//ENTRADA DE DATOS I2C
void receiveData(int howMany) {
    numOfBytes=Wire.available();
    for(i=0;i<numOfBytes;i++){
        res[i]=Wire.read();
        unCent=res[0];
        cincoCent=res[1];
        diezCent=res[2];
        veintCent=res[3];
        cincuentaCent=res[4];
        dolar=res[5];
        aux1=res[6];
        aux2=res[7];
    }
    if(aux1>0){
        respuesta=0;
    }
}

//FUNCION PARA EL MANEJO DEL MOTOR A PASOS
void stepMotor(){
    digitalWrite(dirPin,HIGH);
    for(int j = 0; j < 80; j++) {
        digitalWrite(stepPin,HIGH);
        delayMicroseconds(pulsos);
        digitalWrite(stepPin,LOW);
        delayMicroseconds(pulsos);
    }
}
}

```

ANEXO B: Documentos técnicos de los dispositivos electrónicos

Tinker Board S



E13446
First Edition
December 2017

TINKER BOARD S

Innovatively enjoy a whole new digital experience

革新的なデジタル体験
革新的的數字體驗
Profitez d'une toute nouvelle expérience numérique et innovante
Наслаждайтесь новыми инновационными технологиями
いまだかつてない新感覚のデジタル体験を堪能します。
Sperimentate un'esperienza di interazione digitale completamente nuova!
Иновативно, наслаждавайтесь на изцело нова цифрово изживяване
Zcela nový převratný digitální zážitek
Nyid en hal ny digital optéaváise
Geniet innovatief van een volledig nieuwe digitale ervaring
Nauai innovativesei kogu uut digitalset kogemust
Nauai innovativeseia, aivan uudesta digitaalisesta kokemuksesta
Genießen Sie ein rundum neues Digitalerlebnis
Κατανοική απόλαυση μιας εξ ολοκλήρου νέας εμπειρίας
Vadonnaúj digitális élmény
Menikmati pengalaman digital yang benar-benar baru secara inovatif.
Толькымен жана сандык текнобеге иновациялык түрдө кал жеткнн
관련의 자프론 디지털 제게를 혁신적으로 즐겨보세요
Gūstiet pilnīgi jaunu digitālo baudījumu inovatīvā veidā
Megaulltes visīstāļ naujais skaitļmenītais potīriais
Tā gūstis av en helt ny, innovativ digital opplevelse
Korzystaj z zupełnie nowego cyfrowego doświadczenia
Distruite de uma nova experiência digital de forma inovadora
Buzuntj-vā In cal mai inovator mod de noua experiență digitală
Inovativno uživaje u celom novem digitalnom iskustvu
Inovativno si vychutnavaje uplne nový digitálny zážitek
Sea el primero en disfrutar de una nueva experiencia digital total
Innovativ njuiting av en helt ny digital opplevelse
Tāmmen yeni yaratici bir digital deneyim yapayın
Tān hūng bāi nghiēm sō hoān toān mōi heo cách cải tiến
المشروع التجريبي رقمي جديد بشكل مثالي

Copyright © ASUSTeK Computer Inc.
All Rights Reserved



ASUS Tinker Board S specifications summary

Processor	Rockchip RK3288 Cortex-A17 Quad-core SoC* * The CPU will operate at full capacity, take note of heat dissipation and Ad adaptor stability.
GPU	ARM Mali™-T760 MP4 GPU 1 x HDMI** supports up to 4K
Display	1 x 15-pin MIPI DSI supports up to HD * HDMI supports a maximum resolution of up to 4K, and the IGPU only supports H.264/H.265 4K hardware decoders.
Memory Size	Dual-CH LPDDR3 2GB
Storage	Micro SD(TF) card slot 16GB eMMC
Connectivity	RTL8211E-VB-CG GB LAN AW-NB177NF 802.11 b/g/n wireless & BT 4.0 + EDR RTL ALC4040 Codec with 1 x 3.5mm audio jack * Hardware ready for audio jack plug detection.
Audio	4 x USB 2.0 ports
USB	1 x 15-pin MIPI CSI slot for camera
Camera Interface	1 x 40-pin header includes: - up to 28 x GPIO pins - up to 2 x SPI bus - up to 2 x I2C bus - up to 4 x UART - up to 2 x PWM - up to 1 x PCM/IGS - 2 x 5V power pins - 2 x 3.3V power pins - 8 x ground pins - 1 x 4-pin header for Power On and eMMC Recovery
Internal Headers	1 x 2-pin contact point includes: - 1 x PWM signal - 1 x S/PDIF signal Micro USB
Power Connector	* Supports low power voltage detection. ** We recommend using the Tinker Power Supply or a qualified 5V/3A power supply.
OS Support	Debian
Dimension	3.37" x 2.125"
Warranty	1 Year

Thank you for purchasing ASUS Tinker Board S!

Tinker Board is more than a dream for the DIY-obsessed. It's a gateway to new ideas and new relationships. Experienced makers will love Tinker Board's performance-to-price ratio and strong brand heritage, while novices and younger users will appreciate its accessibility and ease of use. But all will come together to create — Together We Make!

Package contents

Check your Tinker Board S package for the following items:

- 1 x Tinker Board S/2G
- 1 x Heatsink*
- 1 x Shielding bag
- 1 x Quick start guide

* Beware of high temperatures when only using the bundled heat sink.

Safety Information

- Power supply used with the Tinker shall comply with relevant regulations and applicable standards.
- DO NOT overlock the board, as this may cause damage to the board.
- Ensure that the board is placed in a well ventilated environment.
- The board should be placed on a flat, stable, non-conductive surface.
- Avoid handling the board while powered. Handle the board by the edges to minimize risk of Electronic Static Damage (ESD).

Getting Started

Booting from onboard eMMC

Requirement:

- 1 x Micro USB cable with data transfer function
- 1 x Tinker Power Supply** or other qualified 5V/3A power supply**
- 1 x Monitor with HDMI cable
- 1 x Keyboard and Mouse set

** The Tinker Power Supply is purchased separately.
** Ensure that the cable is able to deliver up to 3A of power current.

- Connect the Tinker Board S to a PC using a Micro USB cable, then wait for the PC to recognize the device.
- Download the TinkerOS image from the Tinker Board website and burn it into the Tinker Board S using a third-party ISO software, such as Win32DiskImager or Etcher.
- Connect the power supply, keyboard, mouse, and monitor to your Tinker Board S to boot up.

Booting from external Micro SD card

Requirement:

- 1 x Micro SD card with at least 8GB capacity
- 1 x Tinker Power Supply** or other qualified 5V/3A power supply**
- 1 x Monitor with HDMI cable
- 1 x Keyboard and Mouse set

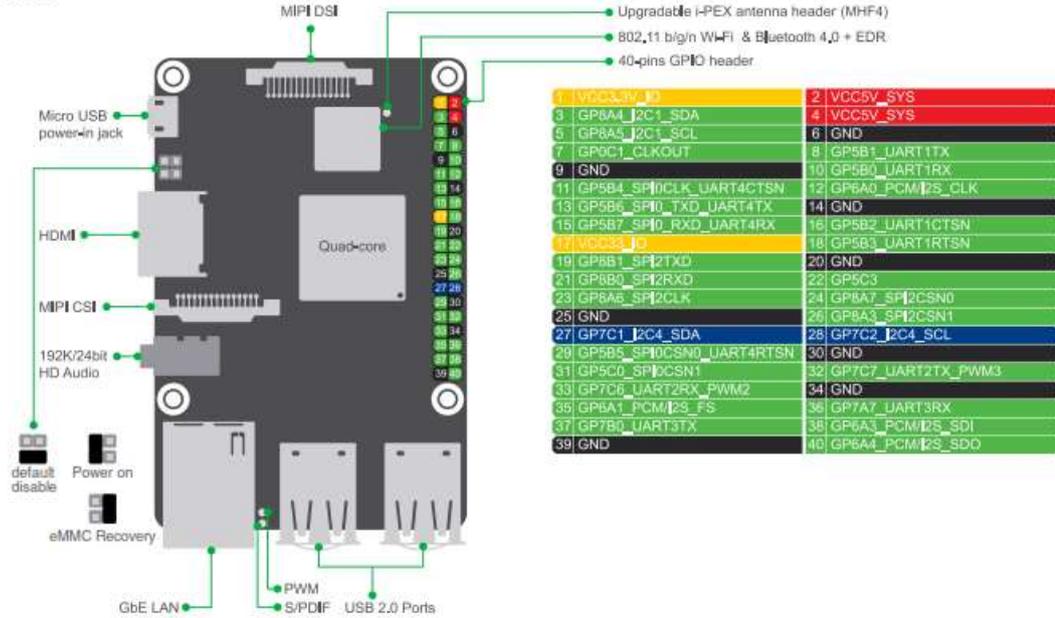
** The Tinker Power Supply is purchased separately.
** Ensure that the cable is able to deliver up to 3A of power current.

- Insert the micro SD card into a Windows* PC
- Download the TinkerOS image from the Tinker Board website and burn it into the micro SD card using a third-party ISO software, such as Win32DiskImager or Etcher.
- Insert the bootable micro SD card into your Tinker Board, then connect the power supply, keyboard, mouse, and monitor to boot up.



If the eMMC cannot be recognized, please refer to www.asus.com for more details on eMMC Recovery.

Top view



Arduino Uno

Arduino Uno



Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328P (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM output), 6 analog inputs, a 5V DC power jack, a USB connector, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller, simply upload it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega16U2 (datasheet) up to revision R2 programmed as a USB-to-serial converter.

Revision 3 of the Uno board has a resistor pulling the RST HWB line to ground, making it easier to put into deep sleep mode.

Revision 3 of the board has the following new features:

- I/O pinout: added SD4 and SD3 pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the J5REF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVCC, which operate with 5V and with the Arduino DUE that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET pin.
- ATmega 16U2 replace the ATmega 16U1.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [page of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (min)	0-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current per 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

CAD12 files: [arduino-uno-16u2-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer).

Schematic: [arduino-uno-16u2-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an ATmega328, 328P, or 328L. Current models use an ATmega16U, but an alternative is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.3mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vcc pin headers of the POWER connector. The board can operate on an external supply of 0 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts. The power pins are as follows:

- **VCC.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through the pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pin.

Memory

The ATmega328P has 32 KB (with 0.5 KB used by the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [digitalWrite\(\)](#), [digitalRead\(\)](#), and [pinMode\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega328P USB-to-TTL serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPF: D0 (SW), L1 (MOS1), L2 (MOS0), L3 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: L3.** There is a built-in LED connected to digital pin L3. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the [ADMUX pin](#) and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring the low *RESET* to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to boards which lack the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega168 pins](#). The mapping for the ATmega168, 166, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega168 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins D0 (RX) and D1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this same communication over USB and appears as a virtual COM port to software on the computer. The 16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and so external driver is needed. However, on Windows, a [DFU mode is available](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being processed via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1). A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins. The ATmega16U2 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, see the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference and tutorials](#).

The ATmega168 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([tutorial](#), or [loader files](#)).

You can also burn the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [ICSP programming](#) for details.

The ATmega16U2 (or 16U1 in the next and next boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/16U1 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the MCU.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 16U2/16U1 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can burn the [Arduino DFU software](#) (Windows) or the [DFU bootloader](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can burn the ISP needed to load the DFU programmer (overwriting the DFU bootloader). See [DFU mode](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega16U2/16U1 is connected to the reset line of the ATmega168 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (driven low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply opening the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be self-contained with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to other a computer running Mac OS X or Linux, it needs extra line a connection is made to it from software (via USB). For the following refresh second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will interrupt the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives any-line configurations or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending any data. The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET_EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [Dale Gribble's board fix details](#).

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

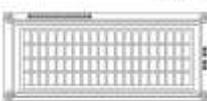
Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

LCD 2004

WISHAY www.wishay.com **LCD-020N004L** **Wishay**

20 x 4 Character LCD



FEATURES

- Type: Character
- Display format: 20 x 4 characters
- Backlight: optional, 21 VDC (no regulator)
- Duty cycle: 50%
- 2 x 4 dot matrix option
- +2-3 power supply (also available for +5V)
- LED can be driven by pin 3, pin 2, pin 15, pin 16 or A and K
- R/V optional for +3.0 power supply
- Material composition: For definition of symbols please see www.wishay.com/2004

MECHANICAL DATA

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Display dimensions	145.2 x 32.5	mm
Mounting hole	100.0 x 3.0	mm
Pin pitch	2.54 x 1.27	mm
Pin length	3.00 x 1.27	mm
Mounting hole	100.0 x 3.0	mm
Mounting hole	145.2 x 3.0	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Operating Voltage (V _{CC})	5.0	VDC
Operating Current (I _{CC})	10.0	mA
Peak Current	10.0	mA

Note: See www.wishay.com/2004

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Operating Voltage (V _{CC})	5.0	VDC
Operating Current (I _{CC})	10.0	mA
Peak Current	10.0	mA

OPTIONS

TU	R/V	REV							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

For detailed information, please see the "Product Manufacturing System" document.

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE

Display Position	Address																			
1st Row Address	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C	0x0D	0x0E	0x0F	0x10	0x11	0x12	0x13
2nd Row Address	0x40	0x41	0x42	0x43	0x44	0x45	0x46	0x47	0x48	0x49	0x4A	0x4B	0x4C	0x4D	0x4E	0x4F	0x50	0x51	0x52	0x53
3rd Row Address	0x80	0x81	0x82	0x83	0x84	0x85	0x86	0x87	0x88	0x89	0x8A	0x8B	0x8C	0x8D	0x8E	0x8F	0x90	0x91	0x92	0x93
4th Row Address	0xC0	0xC1	0xC2	0xC3	0xC4	0xC5	0xC6	0xC7	0xC8	0xC9	0xCA	0xCB	0xCC	0xCD	0xCE	0xCF	0xD0	0xD1	0xD2	0xD3

Revised: 08/04/10 1 For technical questions, contact sales@wishay.com

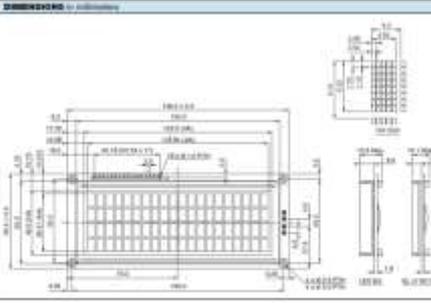
THIS DOCUMENT IS UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE. FOR INFORMATION ON HOW TO OBTAIN UNCLASSIFIED AND SUBJECT TO EXECUTIVE ORDER 13526, VISIT www.wishay.com/unclassified

WISHAY www.wishay.com **LCD-020N004L** **Wishay**

INTERFACE PIN FUNCTION

PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
2	GND	Ground reference pin
3	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
4	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
5	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
6	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
7	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
8	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
9	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
10	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
11	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
12	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
13	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
14	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
15	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
16	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
17	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
18	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
19	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
20	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
21	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
22	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
23	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
24	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
25	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
26	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
27	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
28	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
29	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)
30	V _{CC}	+5V DC (0-1.5V)

DIMENSIONS (millimeters)



Revised: 08/04/10 1 For technical questions, contact sales@wishay.com

THIS DOCUMENT IS UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE. FOR INFORMATION ON HOW TO OBTAIN UNCLASSIFIED AND SUBJECT TO EXECUTIVE ORDER 13526, VISIT www.wishay.com/unclassified

DRIVER DRV8825

STEPSTICK DRV8825 v1.0 DATASHEET



Author: Matt Weber
Date: 21st of October 2013
Document version: 1.0



Source: DRV8825 Datasheet - ReprapWorld.com 3

PRODUCT OVERVIEW

The stepstick DRV8825 is a breakout board for the Texas Instruments DRV8825 stepper motor controller. You can use this board to act as interface between your microcontroller and stepper motor. The DRV8825 is able to deliver up to 2.5A and can be controlled with a simple step/direction interface. The controller has a resolution of min. 1/32 step and protective features for over-current, short circuit and over-temperature. See the DRV8825 Datasheet for details on the DRV8825 controller.

The stepstick DRV8825 supersedes the stepstick A4988, which has been discontinued. The aim is for the stepstick DRV8825 to be a drop-in replacement for Stepstick A4988.

SAFETY WARNINGS

Always disconnect the power source from the board before unplugging the stepper motor and/or adjusting the current. Failure to do so may result in permanent damage to the board and/or injuries due to high voltage spikes.

The stepper driver may get **HOT**, do not touch the device until it had a few minutes to cool down after operation.

It is recommended to drive the stepper motor on current as low as possible to reduce power consumption and increase lifespan.

It is **NOT** recommended to turn the stepper motor while connected to the electronics. While turning the stepper motor, large voltages may be emitted through the VMDT pin, which can damage the electronics.

Source: DRV8825 Datasheet - ReprapWorld.com 2

TECHNICAL SPECIFICATION

Controller	DRV8825
Operating Voltage (logic)	3.3-5V
Operating Voltage (v _{MOT})	12-24V
Max current	2.5A
Dimensions	20.4x15.6mm

MAJOR FEATURES



DRV8825
Powerful DRV8825 with

- High current driver capable up to 2.5A
- Six different step resolutions: full-step, half-step, 1/4-step, 1/8-step, 1/16-step, and 1/32-step
- Protection against over-temperature and over-current
- No logic voltage required



Adjustable current
Using the trimpot on the board you can easily turn the current up or down. Turn left to lower the current, right to output a higher current.

Source: DRV8825 Datasheet - ReprapWorld.com 3

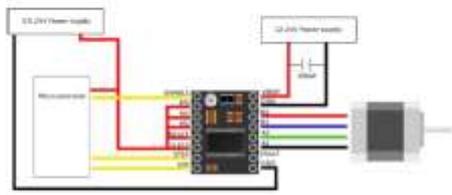
OTHER FEATURES

- Four layer high quality PCB board
- Pre-soldered, no need to solder the headers

Source: DRV8825 Datasheet - ReprapWorld.com 4

EXAMPLE CIRCUIT

The following diagram lists the pins and shows an example circuit.



Name	Descripción
Enable	Enable/disable the stepper driver HIGH - Disable LOW - Enable *
M0 - M2	Step resolution setting, see chapter 'step resolution configuration'
RESET	Enable/disable the H-bridge output * LOW - Disable * HIGH - Enable
SLEEP	Enable/disable low power sleep mode LOW - Sleep * HIGH - Active
STEP	LOW → HIGH: move one step
DIR	LOW / HIGH switches direction
VMOT	Motor power (12-24V)
GND	System ground
FAULT	LOW when the stepper driver is in fault condition. You can provide 5V on this pin for compatibility with stepper's 44988

* this is the default state when the pin is not connected

STEP RESOLUTION CONFIGURATION

The DRV8825 has six step resolution modes, which can be configured using the M0-M2 pins on the stepstick DRV8825. The following table lists the step resolution settings.

M0	M1	M2	Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	1/4 step
High	High	Low	1/8 step
Low	Low	High	1/16 step
High	Low	High	1/32 step
Low	High	High	1/32 step
High	High	High	1/32 step

LEDS DE POTENCIA



LEDS de POTENCIA

Los diodos emisores de luz (LEDs) son elementos de estado sólido (semiconductores) que emiten energía luminosa al aplicar directamente energía eléctrica, los cuales, dependiendo de la aplicación, pueden ser de baja o alta potencia.

Los LEDs de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W; este tipo de LEDs se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color.

Los LEDs de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W; este tipo de LEDs se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calle, permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color.

Características

- Vida promedio de 50,000 hrs.
- Excelente Flujo Luminoso
- Alta Eficiencia
- Control preciso y direccional del flujo luminoso.
- Mínimas emisiones de radiaciones infrarrojas y ultravioletas



NUMERO DE PARTE GENERAL

LED-TTYYLLL-XXX/GH-S

TT= TIPO DE PRODUCTO

P0= LED de potencia de 0.5W	P1= LED de potencia de 1W
P2= LED de potencia de 2W	P5= LED de potencia de 5W
P6= LED de potencia de 6W	P9= LED de potencia de 9W
P10= LED de potencia de 10W	P25= LED de potencia de 25W
P30= LED de potencia de 30W	P50= LED de potencia de 50W
P60= LED de potencia de 60W	P100= LED de potencia de 100W

Y= COLORES DISPONIBLES

Rojo	Amarillo	
Verde	Blanco Cálido	
Azul	Blanco Puro o Luz de Día	

LLLL= FLUJO LUMINOSO

1 a 10, 000 lm

XXX= Ángulo de dispersión

30,40,50,60,80,90,100,110,120 grados

G= TAMAÑO DEL WAFER (chip)

2= 24 mil	3= 30 mil
4= 40 mil	6= 60 mil

H= CANTIDAD DE CHIPS

1 a 100 chips

S= CARACTERISTICAS ESPECIALES

B= Sin dissipador de calor



CONTENIDO

Descripción de número de parte: 1

• LEDS DE POTENCIA

- LEDs de Potencia de 1W sin dissipador: 4
- LEDs de Potencia de 1W: 5
- LEDs de Potencia de 3W: 6
- LEDs de Potencia de 3W: 7
- LEDs de Potencia de 3W: 8
- LEDs de Potencia de 3W: 9
- LEDs de Potencia de 3W: 10
- LEDs de Potencia de 3W: 11
- LEDs de Potencia de 3W: 12
- LEDs de Potencia de 3W: 13
- LEDs de Potencia de 3W: 14
- LEDs de Potencia de 3W: 15
- LEDs de Potencia de 3W: 16
- LEDs de Potencia de 3W: 17
- LEDs de Potencia de 3W: 18
- LEDs de Potencia de 3W: 19

LED DE POTENCIA 1W

LED-P1YLLLL-120/41-N

Flujo Luminoso
Color del LED



Especificaciones

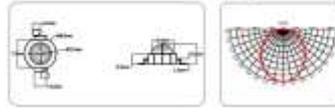
Tipo de LED: POTENCIA de 1W
 Ángulo de apertura: 120 grados
 Dissipador transparente
 Base para dissipador de calor

Temperatura de operación: - 25 a 60 °C
 Corriente nominal: 350mA
 Temperatura de soldadura en plomo: 260°C
 3 seg. máximo
 Número de chips internos: 1

Y Color disponible	Longitud de onda (nm) / Temperatura de Color (K)	Ángulo de apertura (°)			Flujo Luminoso (lm)	
		30°	45°	60°	30°	60°
R	660 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
G	525 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
B	470 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
Y	590 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
W	4500-6500K	2.4	2.4	2.4	30	30
W	4000-6500K	2.4	2.4	2.4	30	30

Dimensiones

Ángulo de Distribución Luminosa



3500-Flujo Luminoso (lm)

LED DE POTENCIA 3W

LED-P3YLLLL-120/41

Flujo Luminoso
Color del LED



Especificaciones

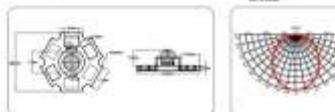
Tipo de LED: POTENCIA de 3W
 Ángulo de apertura: 120 grados
 Dissipador transparente
 Base para dissipador de calor

Temperatura de operación: - 25 a 60 °C
 Corriente nominal: 750mA
 Temperatura de soldadura en plomo: 260°C
 3 seg. máximo
 Número de chips internos: 1

Y Color disponible	Longitud de onda (nm) / Temperatura de Color (K)	Ángulo de apertura (°)			Flujo Luminoso (lm)	
		30°	45°	60°	30°	60°
R	660 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
G	525 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
B	470 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
Y	590 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
W	4500-6500K	2.4	2.4	2.4	30	30
W	4000-6500K	2.4	2.4	2.4	30	30

Dimensiones

Ángulo de Distribución Luminosa



3500-Flujo Luminoso (lm)

LED DE POTENCIA 5W

LED-P5YLLLL-120/44

Flujo Luminoso
Color del LED



Especificaciones

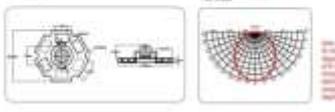
Tipo de LED: POTENCIA de 5W
 Ángulo de apertura: 120 grados
 Dissipador transparente
 Base para dissipador de calor

Temperatura de operación: - 25 a 60 °C
 Corriente nominal: 750mA
 Temperatura de soldadura en plomo: 260°C
 3 seg. máximo
 Número de chips internos: 4

Y Color disponible	Longitud de onda (nm) / Temperatura de Color (K)	Ángulo de apertura (°)			Flujo Luminoso (lm)	
		30°	45°	60°	30°	60°
R	660 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
G	525 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
B	470 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
Y	590 nm	2.4	2.4	2.4	30	30
W	4500-6500K	2.4	2.4	2.4	30	30
W	4000-6500K	2.4	2.4	2.4	30	30

Dimensiones

Ángulo de Distribución Luminosa



3500-Flujo Luminoso (lm)

LDR



SUNROM
New Source for Embedded Systems

Document: LDR001
Date: 26.07.05
Model: R 0705
Product Page: www.sunrom.com/0705001

Light Dependent Resistor - LDR

Two cadmium sulphate (cad) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, hatch counting and burglar alarm systems.



Applications

Photoconductive cells are used in many different types of circuits and applications:

Analog Applications

- Camera Exposure Control
- Auto Side Pockets - dual cell
- Photology Machines - density of tone
- Colorimetric Test Equipment
- Demulcorator
- Electronic Scales - dual cell
- Automatic Gain Control - modulated light source
- Automated Rear View Mirror

Digital Applications

- Automatic Headlight Dimmer
- Night Light Control
- Oil Burner Flame Out
- Street Light Control
- Absence / Presence (beam breaker)
- Position Sensor

Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Cell resistance	1000 Lux	-	430	-	Ohm
	10 Lux	-	0	-	K Ohm
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm
Dark Capacitance	-	-	2.5	-	pF
Rise Time	1000 Lux	-	2.5	-	ms
	10 Lux	-	18	-	ms
Fall Time	1000 Lux	-	48	-	ms
	10 Lux	-	120	-	ms
Voltage AC/DC Peak	-	-	320	-	V rms
Current	-	-	70	-	mA max
Power Dissipation	-	-	100	-	mW max
Operating Temperature	-	-60	-	+125	Deg. C

Guide to source illuminations

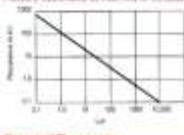
Light source illumination	LUX
Moonlight	0.1
00W Bulb at 1m	50
1W 80W Bulb at 0.1m	100
Fluorescent Lighting	300
Bright Sunlight	30,000



Sensitivity

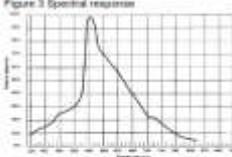
The sensitivity of a photodiode is the relationship between the light falling on the device and the resulting output signal. In the case of a photoconductor, this is dealing with the relationship between the incident light and the corresponding resistance of the cell.

Figure 2 Resistance vs intensity of illumination



Spectral Response

Figure 3 Spectral response

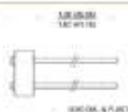


Like the human eye, the relative sensitivity of a photoconductive cell is dependent on the wavelength (color) of the incident light. Each photoconductor material type has its own unique spectral response curve or plot of the relative response of the photoconductor versus wavelength of light.

Dimensions



10.00 ± 0.10
394.0 ± 0.10



1.00 ± 0.05
100.0 ± 0.05



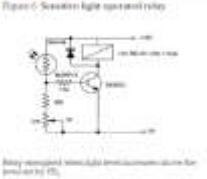
10.00 ± 0.10
394.0 ± 0.10

PLATE CONTACTS
PROTECT AGAIN DAMAGE

100 Ohm, 4% AC/DC VARIATION
NOT EXCEED 100 Ohm, 10% DC
AT 25°C (298.15 K)

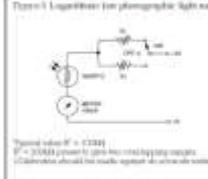
Typical Application Circuits

Figure 6: Sensation light operated relay



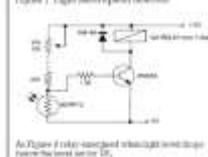
Relay energized when light level is above maximum value for 100ms (at 10% V_{CC})

Figure 7: Light triggered timer for photographic light meter



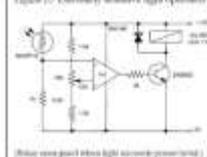
Typical values: R₁ = 100kΩ
R₂ = 200kΩ (power 1/2W) (resistor by light intensity)
C₁ Capacitor should be made up from an air dielectric

Figure 7: Light triggered detection



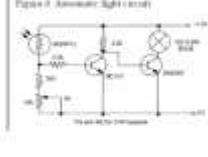
As Figure 7 relay energized when light level drops below the level set by C₁

Figure 10: Extremely sensitive light operated relay



Relay energized when light source is present (and 100% power) - Underlying circuit and operating A, will 100% to be be energized for the photo function

Figure 8: Automatic light control



Relay set for illumination