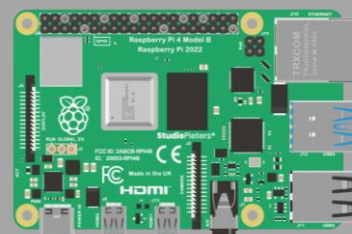


CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL UTILIZANDO UN SISTEMA EMBEBIDO

Darney Rafael Aguas Manzano

DIPLOMADO EN
AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL



Resolución MEN N.º 018143 de 2021

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



**CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO POR MEDIO DE VISIÓN ARTIFICIAL
UTILIZANDO UN SISTEMA EMBEBIDO**

Autor

DARNEY RAFAEL AGUAS MANZANO

MSc(c). EMILI CATHERINE TRUJILLO BARAJAS

directora de trabajo de grado

Docente Universidad de Pamplona

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PAMPLONA
2022**

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



Dedicatoria

Primeramente, dedicar la culminación de este proyecto a Dios, a mi familia, amigos y cada una de esas personas que me apoyaron incondicionalmente durante mi carrera universitaria, a mis abuelos que están en los cielos, gracias a todos ellos este proyecto llegó a feliz término.

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



Pensamiento

“La mejor forma de predecir el futuro es creándolo”

Peter Drucker

“El éxito es una combinación de suerte y persistencia, muchas personas de éxito simplemente han tenido suerte, mi respeto para quienes persisten.”

Alexander Torrenegra.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme sabiduría necesaria para tomar decisiones de manera correcta a lo largo de mi vida universitaria, por brindarme las oportunidades que llevaron a obtener conocimientos y experiencias enriquecedoras para mi vida personal.

Gracias a mis padres Neyla y Darwin por confiar en mí y en mis capacidades, por su apoyo emocional y económico que llevaron a la culminación de este camino, por todas esas palabras de aliento cuando más necesitaba, a Danessa por ser mi hermana y parte importante en mi vida, a mi familia en general por el apoyo, a Kalhen por ser mi compañera en los momentos más difíciles y enseñarme lo bonito de compartir tiempo de calidad con personas leales.

A Leiner y Heider por ser incondicionales, a Eduar y Derian por ser mis compañeros de estudio, a Oscar por su apoyo, a Sergio por su amistad estos últimos semestres, a la Ing. Emili Trujillo por aceptar ser directora de este proyecto, su apoyo y mentoría en los periodos académicos, este logro es de todos.

A Jarvis y Roma por enseñarme el amor verdadero.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



RESUMEN

En la actualidad, la prioridad de muchas empresas se basa en la automatización de procesos, esto implica aumentos al nivel de producción ya sea de un producto o servicio, hace mucho más eficiente la línea de operación en cuanto a maquinaria y de la materia prima a utilizar, por esta razón, el siguiente proyecto tiene como objetivo primordial el diseño e implementación de un sistema inteligente con visión artificial en la tarjeta embebida Raspberry pi4 para el control de llenado de tanque en un prototipo en el laboratorio de automatización y control de la universidad de pamplona, el sistema inteligente con visión artificial se apoya con inteligencia artificial a partir de una red neuronal entrenada en una máquina virtual configurada con cuadernos escritos en lenguaje Python, con Google colab, el sistema se desarrollará en tres fases principales, una fase principal que realiza la creación de una base de datos simétrica alimentada por imágenes, en segunda fase se realiza el preprocesamiento de imágenes junto a la aplicación de técnicas matemáticas, y la clasificación de imágenes. En la fase de creación de base de datos primeramente se recolectaron imágenes utilizando la cámara de la Raspberry pi4 junto al etiquetado de cada imagen con el tipo de nivel de líquido, en la fase de procesamiento de imágenes se aplicaron técnicas con el fin de destacar las zonas de interés y crear patrones característicos los cuales se utilizarán en la fase de clasificación de imágenes por medio de la creación y entrenamiento de un modelo de red neuronal que fue capaz de diferenciar los niveles de líquido con una alta precisión, además se muestra la detección del porcentaje de nivel para controlar una válvula de bola automáticamente con un nivel de líquido requerido por el usuario, a su vez se realizó el diseño e implementación de una interfaz gráfica programada en Python en sincronía con el modelo de red neuronal entrenado y la detección del porcentaje para controlar el nivel de llenado de tanques en el prototipo desde la tarjeta embebida raspberry pi4, por último se desarrolló una página web tipo estática programada desde cero utilizando HTML, CSS y JavaScript, en ella se encuentra la documentación que fue necesaria para la realización de este proyecto, teniendo en cuenta la necesidad de que personas accedan a esta información.

Palabras clave: Red neuronal, Raspberry pi4, Visión artificial, Automatización.



ABSTRACT

Currently, the priority of many companies is based on the automation of processes, this involves increases in the level of production of either a product or service, it makes the operation line much more efficient in terms of machinery and raw material to be used, for this reason, the following project has as its primary objective the design and implementation of an intelligent system with artificial vision in the Raspberry Pi4 embedded card for the control of tank filling in a prototype in the laboratory of automation and control of the university of Pamplona (Figure 1), the intelligent system with artificial vision is supported with artificial intelligence from a neural network trained in a virtual machine configured with notebooks written in python language, with Google colab, the system was developed in three main phases, a main phase that performs the creation of a symmetric database fed by images, in the second phase is performed image preprocessing with the application of mathematical techniques, and image classification. In the database creation phase, images were first collected using the Raspberry Pi4 camera and each image was labeled with the type of liquid level, In the image processing phase, techniques were applied in order to highlight the areas of interest and create characteristic patterns which will be used in the image classification phase through the creation and training of a neural network model that was able to differentiate the liquid levels with high accuracy, also shows the detection of the percentage of level to control a ball valve automatically with a liquid level required by the user, In turn, the design and implementation of a graphical interface programmed in Python in synchrony with the trained neural network model and the detection of the percentage to control the level of filling tanks in the prototype from the embedded card raspberry pi4, finally a static web page programmed from scratch using Html, Css and JavaScript was developed, it contains the documentation that was necessary for the realization of this project, taking into account the need for people to access this information.

Keywords: Neural network, Raspberry pi4, Computer vision, Automation.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



CONTENIDO

Dedicatoria.....	5
Pensamiento	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	8
Contenido.....	10
Lista de Figuras.....	14
Lista de tablas	16
Índice de anexos.....	17
Introducción	18
CAPÍTULO I	19
Generalidades.....	19
1.1. Planteamiento del problema y justificación	19
Problema científico	19
Justificación.....	20
1.2. Delimitación.....	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos.....	21
Acotaciones	21
CAPITULO II	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Estado del arte.....	22
2.2 Análisis y procesamiento de imágenes	24
2.2.2 Visión Artificial	25
2.3 Inteligencia artificial	26
Ramas que componen la inteligencia artificial.....	26
2.3.1 Lógica difusa:.....	26
2.3.2 Redes neuronales artificiales.....	27
2.3.3 El Algoritmo Genético (AG):	28
2.4 Automatización	28
2.4.1 Ventajas de la automatización industrial.....	29

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



2.4.2	Desventajas de la automatización industrial	30
2.5	Sistemas de control	31
2.5.1	Topologías.....	31
2.5.2	Acción de control de dos posiciones o de encendido y apagado (on/off).....	33
2.6	Matlab	33
2.7	Simulink.....	34
2.8	Modelado tanque de nivel.....	34
2.8.1	Ecuaciones de las válvulas.....	35
2.8.2	Modelado Matemático de un Tanque de Nivel	36
2.9	Método de Ziegler-Nichols	36
2.9.1	Sintonización por la respuesta al escalón.....	37
2.9.2	Ziegler y nichols método 1.....	37
2.9.3	Ziegler y nichols método 2.....	38
2.10	Raspberry pi4.....	39
2.10.1	Sistemas operativos.....	39
2.10.2	Características Técnicas De la Raspberry Pi4.....	40
2.10.3	Instalación del sistema operativo	41
2.10.4	Sensor de cámara Raspberry Pi NOIR.....	41
2.10.5	Sensor de cámara Webcam Tipo USB 2.0	43
2.11	Python 3	44
2.12	Válvula de bola Controlada por corriente	45
2.12.1	Características técnicas válvula de bola DN-10.....	46
2.12.2	Ventajas válvula de bola DN-10.	46
2.13	Módulo Conversor de Voltaje a Corriente A228	47
2.14	Google Colab	47
2.14.1	Aplicaciones de Google Colab.....	48
2.14.2	Ventajas.....	48
2.15	HTML5	48
2.16	CSS	49
2.17	JavaScript.....	49
CAPITULO III.....		51
METODOLOGÍA.....		51

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



3.1	Resumen.....	51
3.2	Sistema de Inteligencia artificial.....	52
3.2.1	Adquisición de la Data.....	52
3.2.2	Preprocesamiento de imágenes	53
3.2.3	Creación de la Red Neuronal	55
3.2.4	Entrenamiento de la Red Neuronal	57
3.3	Identificación y modelado de la planta	57
3.4	Sintonización de la planta y diseño de controladores	59
3.5	Control de porcentaje de nivel con visión artificial	62
3.5.1	Extracción de la zona de interés.....	62
3.5.2	Relación de aspecto.....	64
3.5.3	Detección de objetos	64
3.5.4	Medición de distancia entre objetos.....	66
3.5.5	Control de nivel.....	67
CAPITULO IV.....		69
RESULTADOS		69
4.1	Resumen.....	69
4.2	Sistema de inteligencia artificial	69
4.2.1	Métricas de aprendizaje Red neuronal Convolutacional con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberry pi4	70
4.2.2	Métricas de aprendizaje Red neuronal Convolutacional con imágenes capturadas desde la cámara webcam USB.	71
4.2.3	Elección de la Red Neuronal.....	73
4.2.4	Validación de nuevas imágenes	73
4.2.5	Entrenamiento de la red Neuronal con imágenes capturadas desde la cámara webcam	74
4.2.6	Parámetros de la sesión activa en Google Colab	75
4.3	Detección del porcentaje de nivel con visión artificial	76
4.4	Lazo de control implementado.....	77
4.4.1	Controlador On-Off implementado	77
4.5	Controladores P, PI, PID.....	78
4.6	Interfaz Gráfica	80
4.7	Circuito electrónico.....	81
4.8	Página web desarrollada.....	82

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



CAPITULO V	83
Conclusiones.....	83
Trabajos futuros	85
Presupuesto	86
Bibliografía	87
Anexos	90
1. Configuración inicial Raspberry pi4	90
1.1 Configuración de usuario para acceso.....	90
1.2 Configuración de interfaces en Raspberry pi4.....	91
2. Instalación de librerías Python en Raspberry pi4.....	92
2.1 Paquete manejo de gráficos (Matplotlib)	93
2.2 Paquete de manejo de ficheros (Numpy)	93
2.3 Paquete de visión artificial (Opencv).....	93
2.4 Paquete de creación de interfaz Gráfica (Tkinter)	94
2.5 Paquete de acceso a puertos de propósito general (GPIO).....	94
2.6 Paquete de aprendizaje automático, e inteligencia artificial (Tensorflow)	95
2.7 Paquete de redes neuronales (Keras).....	96
3. Link de acceso a la página web creada y publicada.....	97
4. Planos caja de protección	98

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



Lista de Figuras

Figura. 1 Diagrama estructural de sistema de control de presión usando visión artificial [1]	22
Figura. 2 Sistema de control de calidad de botellas basado en visión artificial [2]	23
Figura. 3 Método de procesamiento por medio de Visión artificial [4].	25
Figura. 4 Visión artificial utilizada para la verificación de montajes [4]	25
Figura. 5 Elementos de la lógica difusa [5]	27
Figura. 6 Estructura Red neuronal Modelo McCulloch y Pitts [5].	27
Figura. 7 Automatización industrial en la Medición de liquido [7].	29
Figura. 8 Sistema de control lazo abierto [Autor].	31
Figura. 9 Sistema de control lazo cerrado [Autor].	32
Figura. 10 Sistema de control lazo cerrado retroalimentado [Autor].	33
Figura. 11 Logo Matlab [27].	34
Figura. 12 Logo Simulink [28].	34
Figura. 13 Tanque de nivel [29].	34
Figura. 14 Sistema embebido Raspberry pi 4 Version B [9].	39
Figura. 15 Sensor de cámara Raspberry pi NOIR con flexor para conexión CSI [12].	42
Figura. 16 Cámara webcam USB 2.0 con resolución 1080P [15].	43
Figura. 17 Logo Software python [16].	45
Figura. 18 Válvula de bola DN-10 Controlada por señal de corriente 4-20 mA [18].	45
Figura. 19 Módulo Convertidor de voltaje a corriente A2228 [19].	47
Figura. 20 Logo Google colab [21].	48
Figura. 21 Logo de HTML [22].	49
Figura. 22 Logo de CSS [23].	49
Figura. 23 Logo de javascript [24].	50
Figura. 24 Identificación y modelado del tanque [Autor].	58
Figura. 25 Importación de los datos en el ident de matlab [Autor].	58
Figura. 26 Identificación y modelado del tanque [Autor]	59
Figura. 27 identificación de la planta en simulink [Autor].	60
Figura. 28 Identificación y modelado del tanque [Autor].	60
Figura. 29 Simulación Controlador proporcional [Autor].	61
Figura. 30 Simulación Controlador proporcional integral [Autor].	61
Figura. 31 Simulación Controlador proporcional integral derivativo [Autor].	61
Figura. 32 Simulación Controlador proporcional [Autor].	62
Figura. 33 Tanque prototipo con marcadores para detección del porcentaje de nivel [autor].	63
Figura. 34 Imagen escala de grises del tanque del prototipo para detección de nivel [autor].	63
Figura. 35 Imagen binaria (Th), umbralizada con zona de interés [autor].	63
Figura. 36 Imágen en espacio de color (HSV), umbralizada con zona de interés [autor].	65
Figura. 37 Imágen filtrada para encontrar contornos, zona de interés [autor].	65
Figura. 38 Imagen con detección de líquido y medición del porcentaje de nivel [autor].	67
Figura. 39 Esquemático circuito de amplificación diseñado [autor].	67
Figura. 40 Diagrama de conexionado de válvula de bola DN-10 [18]	68
Figura. 41 Métricas de precisión Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberrypi4 [autor].	70
Figura. 42 Métricas de pérdida Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberrypi4 [autor].	71
Figura. 43 Métricas de precisión Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara usb [autor].	72

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



Figura. 44 Métricas de pérdida Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberrypi4 [autor].	72
Figura. 45 Métricas de precisión desde la época 1 hasta la época 20 [autor].	74
Figura. 46 Métricas de precisión desde la época 21 hasta la época 40 [autor].	75
Figura. 47 Métricas de precisión desde la época 41 hasta la época 50 [autor].	75
Figura. 48 Datos de sesión activa en Google Colab [autor].	76
Figura. 49 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].	78
Figura. 50 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].	79
Figura. 51 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].	79
Figura. 52 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].	80
Figura. 53 interfaz de usuario creada [autor].	81
Figura. 54 sistema embebido y circuito electrónico [autor].	81
Figura. 55 página web diseñada, publicada en línea [autor].	82
Figura. 56 creación de nuevo usuario para acceso a escritorio [autor].	90
Figura. 57 Habilitación de interfaces en la raspberrypi4 [autor].	91
Figura. 58 instalación de protocolo de comunicación escritorio remoto [autor].	92
Figura. 59 Instalación de entorno de desarrollo integrado python3 [autor].	92
Figura. 60 Revisión de la version de python instalado [autor].	92
Figura. 61 Instalación de paquete matplotlib [autor].	93
Figura. 62 instalación de paquete numpy [autor].	93
Figura. 63 instalación de paquete de visión artificial OpenCv [autor].	94
Figura. 64 instalación de paquete de manejo de interfaz gráfica Tkinter [autor].	94
Figura. 65 instalación de paquete gestor de puertos GPIO [autor].	94
Figura. 66 Información física de los puertos GPIO en la Raspberrypi4 [autor].	95
Figura. 67 Distribución Física de los puertos GPIO en la Raspberrypi4 [autor].	95
Figura. 68 instalación de paquete de computación numérica de aprendizaje profundo Tensorflow [autor]	95
Figura. 69 Instalación de paquete de redes neuronales [autor].	96

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



Lista de tablas

Tabla 1 Sintonización de controladores Ziegler y Nichols [31].	37
Tabla 2 Sintonización de controladores Ziegler y Nichols [31]	38
Tabla 3 Detalles técnicos sistema embebido Raspberry pi4 4Gb [9].	40
Tabla 4 Características técnicas Cámara Raspberry pi 4V2 con infrarrojos [13].	43
Tabla 5 Características Técnicas Cámara webcam usb2.0 Jaltech c178 1080P [15].	44
Tabla 6 Especificaciones técnicas de la válvula de bola DN-10 [18].	46
Tabla 7 Detalles Técnicos Módulo conversor de voltaje a corriente A228 [19].	47
Tabla 8 Estructura Red neuronal Convolutiva [autor].	56
Tabla 9 Método 1 sintonización Ziegler y Nichols [autor]	61
Tabla 10 conexionado de cada pin de la válvula [18].	68
Tabla 11 Comparación de nuevas imágenes en cada una de las redes neuronales entrenadas [autor].	74
Tabla 12 Medición porcentual de diferentes niveles de líquido [autor].	77
Tabla 13 Costos de implementación del proyecto [autor].	86

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



Índice de anexos

Anexos	90
1. Configuración inicial Raspberry pi4	90
1.1 Configuración de usuario para acceso.....	90
1.2 Configuración de interfaces en Raspberry pi4.....	91
2. Instalación de librerías Python en Raspberry pi4.....	92
2.1 Paquete manejo de gráficos (Matplotlib)	93
2.2 Paquete de manejo de ficheros (Numpy)	93
2.3 Paquete de visión artificial (Opencv).....	93
2.4 Paquete de creación de interfaz Gráfica (Tkinter)	94
2.5 Paquete de acceso a puertos de propósito general (GPIO).....	94
2.6 Paquete de aprendizaje automático, e inteligencia artificial (Tensorflow)	95
2.7 Paquete de redes neuronales (Keras).....	96
3. Link de acceso a la página web creada y publicada.....	97
4. Planos caja de protección.....	98

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



INTRODUCCIÓN

En la actualidad múltiples tareas en la ingeniería están siendo apoyadas por el uso de herramientas basadas en inteligencia artificial, muchas de estas tareas son requeridas en el campo de la automatización industrial es por ello que nace la idea de este proyecto, un estudio e implementación de técnicas de inteligencia artificial apoyada con redes neuronales convolucionales para clasificar imágenes previamente etiquetadas de nivel de líquido en tanques.

Se presenta la metodología necesaria para abordar la creación, entrenamiento y validación de una red neuronal convolucional que mostró excelentes resultados previamente entrenada en Google colab mediante una máquina virtual gestionada con tarjeta gráfica para acelerar el entrenamiento escrita en Python, con lotes ejecutables en celdas, con imágenes capturadas desde un sistema embebido capaz de ejecutar un sistema operativo de 64bits basado en Linux, y gestionadas desde Google drive, además se presentan las técnicas de procesamiento de imágenes para al final lograr medir el porcentaje de nivel de líquido en el tanque y la creación de una interfaz gráfica estática mediante la cual el usuario puede verificar el llenado del tanque según un nivel de líquido establecido, a partir del control de una válvula de bola controlada con señal de corriente, y finalmente se muestran las métricas de desempeño de la red, las épocas de entrenamiento los parámetros de funcionabilidad de la red neuronal convolucional junto con la detección porcentual del nivel de líquido, y la estructura de una interfaz gráfica programada en Python en la que el usuario puede interactuar y verificar el nivel de llenado en el tanque.



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

PROBLEMA CIENTÍFICO

Este proyecto radica en brindar solución a un proceso de control de nivel de tanques que actualmente es ejecutado por medio de un control básico en la planta ubicada en el laboratorio de automatización industrial de la universidad de pamplona – sede pamplona, pero esta necesita la supervisión para el control de las variables, más allá de la supervisión necesita mantenimiento preventivo – correctivo, esto implica que la persona debe acercarse al tanque, ya que los sensores se ubican justo debajo, dentro o al lado de los tanques, es decir, no se podrá trabajar con líquidos altamente peligrosos, líquidos inflamables o sustancias corrosivas, a diferencia del control por medio de visión artificial la toma de datos es a distancia y garantiza poder hacer mantenimiento correctivo al instante, por otro lado si los sensores fallan y estos están conectados al sistema de control basados en PLC puede ocasionar costosos tiempos de inactividad, importante mencionar la ventaja de implementar un sistema de control basado en visión artificial, esto garantiza poder hacer mantenimiento de manera remota cuando el problema implica una falla a nivel de software, la eficiencia, la precisión, el diseño y la estabilidad del sistema son parámetros a tener en cuenta cuando se habla de inteligencia artificial.

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



JUSTIFICACIÓN

La automatización de procesos industriales al día de hoy se ha convertido en un tema importante para empresas que optan por mejorar su eficiencia al momento de producir sus productos o bien sea servicios, sabiendo esto, la unión entre la automatización industrial y visión artificial soluciona de manera innovadora los problemas presentados, sensores infrarrojos o cualquier otro sensor análogo mejoran el rendimiento para supervisar y controlar un sistema de llenado, no obstante la combinación de un proceso automatizado con visión artificial integrada, permite simular la inspección visual por una persona, pero a diferencia de esta, la visión artificial utiliza tecnología que supera las capacidades sensoriales humanas, no menos importante la visión artificial tiene directamente una ventaja en comparación con los sensores, al hacer la medición a distancia están del tanque se pueden trabajar líquidos peligrosos, con esta implementación se busca mejorar aspectos como viabilidad, tiempo de producción y costos.



1.2. DELIMITACIÓN

OBJETIVO GENERAL

- Implementar un control de nivel de líquido por medio de visión artificial utilizando un sistema embebido.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

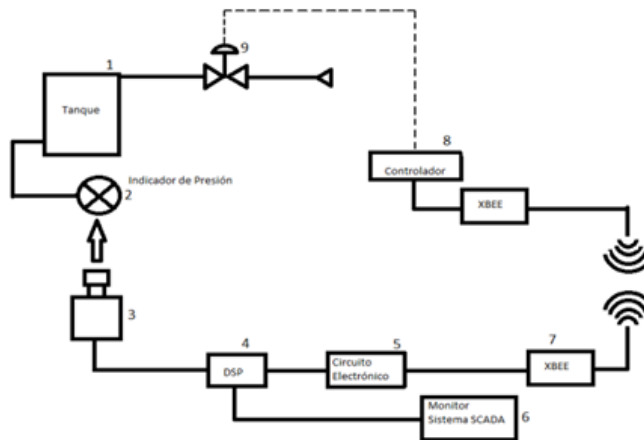
- Aplicar técnicas de procesamiento a las imágenes capturadas para entrenar múltiples redes neuronales para la clasificación del nivel de líquido.
- Seleccionar la mejor red neuronal capaz de medir el porcentaje del nivel de líquido presente en el tanque del prototipo.
- Implementar el modelo de red neuronal en la raspberry pi4 realizando captura de imágenes en tiempo real para determinar el porcentaje de nivel de líquido en el tanque.
- Programar e implementar una interfaz gráfica en Python que permita el control de nivel de líquido en el tanque.

ACOTACIONES

Se utilizó para el entrenamiento y validación de la red neuronal en lenguaje de programación Python, se tuvo en cuenta la cantidad de documentación que hay sobre inteligencia artificial, tiene una comunidad muy grande y diversa en el área, además, tener en cuenta que Python ofrece librerías que hacen posible una creación de interfaz gráfica integrada en el sistema embebido raspberry pi4, como se mencionó anteriormente la industria tiene en cuenta la automatización de procesos, para ello actualmente se necesitan equipos costosos y de alto nivel, por eso se propuso trabajar un sistema embebido económico pero con muchas ventajas ya que posee entradas para periféricos que pueden ser de mucha utilidad, finalmente se diseñó e implementó un sistema embebido para controlar el nivel de líquido en tanques por medio de visión artificial teniendo en cuenta el tiempo estipulado para la realización del mismo.

MARCO TEÓRICO

CONTROL DE PRESIÓN USANDO VISIÓN ARTIFICIAL A TRAVÉS DE UN PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES DSP, Este proyecto consiste en el diseño de un sistema de control de presión con visión artificial, y el enfoque del proyecto consiste en el desarrollo de algoritmos que puedan realizar este proceso de manera confiable en tiempo real. Por ello, acuden a la implementación de MATLAB Toolbox, software dedicado al procesamiento de imágenes, que facilita el análisis e implementación del sistema. Después de la implementación en MATLAB, realizaron un análisis para convertir el sistema a un procesador de señal digital (DSP) ADSP-BF533. una descripción general de su estructura (hardware y software) y el desarrollo de nuevos sistemas que pueden implementar nuevas tecnologías que pueden mejorar el rendimiento y los procesos del DSP y generar automatización en tareas comunes como el monitoreo directo de manómetros. con alta potencia de procesamiento y rendimiento en análisis de imagen como DSP puede variar. Finalmente Utilizan técnicas de inteligencia artificial para ejecutar procesos de manera eficiente y confiable simultáneamente [1].



22



DESARROLLO DE SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA CONTROL DE CALIDAD DE BOTELLAS EN LA EMPRESA CARTAVIO RUM COMPANY, El presente artículo desarrolla un sistema de control de calidad de bebidas embotelladas para la empresa cartavio rum company mediante el software visual studio 2017, empleando el algoritmo transformado de hough y canny para los bordes y aplicación de filtros morfológicos (erode). Este sistema consta de una banda transportadora que genera el movimiento de las botellas, hasta ser detectadas por la cámara, la cual obtiene las imágenes que son procesadas. Para ello se tiene un sistema para el ingreso de las botellas hacia la faja transportadora que serán llevadas hasta el lugar de captura de las imágenes realizada mediante un software que se encarga de identificar del nivel de llenado del producto, evaluar la alineación y el correcto color de las etiquetas de la botella, también verificar el control de sedimentos o pequeños cuerpos extraños en el contenido de las botellas, para luego realizar el pre procesamiento de las mismas. Al finalizar el preprocesamiento y determinar las características finales del producto mediante parámetros preestablecidos en bebidas embotelladas de ron, mediante el uso de visión artificial, las botellas que pasen el control continúan hacia un proceso de ubicación en las cajas donde serán despachadas y aquellas que no cumplen son rechazadas y reprocesadas. Se realizaron diversas pruebas que concluyen que el sistema de visión artificial muestra una eficiencia del 95% comparado al de la inspección visual del ojo humano con 55%, corroborando la efectividad de la visión artificial en el proceso de calidad en la empresa [2].

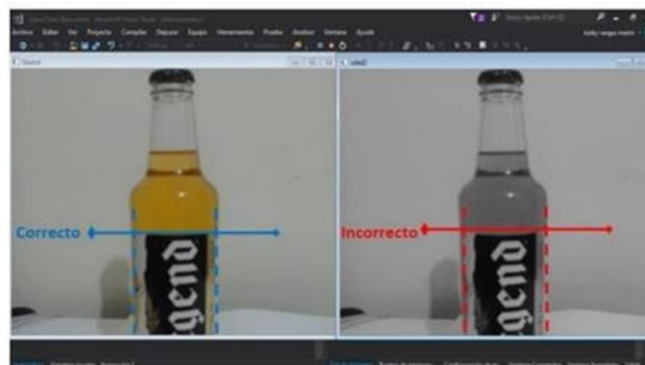


Figura. 2 Sistema de control de calidad de botellas basado en visión artificial [2]



2.2 Análisis y procesamiento de imágenes

El área de ingeniería que se encarga de extracción y mediciones de datos o información contenida en una imagen, la conocemos como análisis digital de imágenes, Incluyendo aquellas técnicas que buscan facilitar, interpretar la información que en ellas está, Se puede distinguir un sistema de análisis Ya que tienen como parámetro de entrada una imagen y el resultado es una salida numérica en lugar de otra imagen [3].

2.2.1 Técnicas del procesamiento de imágenes

Binarización: Convierte la imagen recibida en una imagen binaria separando así el fondo de los objetos a analizar.

Análisis de documento: Trata de analizar la estructura de un documento y entender la información contenida en sus componentes.

Segmentación: Se refiere a delimitar las regiones que nos interesan. En el caso del reconocimiento de caracteres se refiere a las líneas y caracteres individuales.

Normalización: Trata de ajustar la forma, tamaño y posición del carácter esto con el objetivo de minimizar la variación entre imágenes de la misma clase.

Extracción de características: Permite conocer las características como lo son el tamaño, perímetro, área, etc. Así como características topográficas como lo es la orientación de segmentos.

Reconocimiento: Convierte la imagen binaria en una representación electrónica. Misma que permite realizar operaciones de validación y análisis.

Pros proceso: Se refiere a mejorar el proceso de reconocimiento mediante el uso de información contextual como lo es análisis a nivel lingüístico [3].

2.2.2 Visión Artificial

Es un método de procesamiento y adquisición de datos que utiliza hardware (cámaras) para tomar muestras, procesarlas y convertirlas en datos numéricos, compararlos y mejorar sus propiedades, la visión artificial es utilizada en el procesamiento de imágenes junto con técnicas matemáticas para realizar una tarea en específico. La visión artificial (Figura 3) está aquí, es una tecnología madura y fiable que nos puede ahorrar tiempo, mejorar nuestra calidad y en definitiva generar un ahorro de costos [4].



Figura. 3 Método de procesamiento por medio de Visión artificial [4].

Entre sus aplicaciones más importantes encontramos:

- **Visión artificial para la Verificación de montajes:** Cada día se realizan montajes más y más complejos, con más piezas o conexiones. La visión artificial (Figura 4), nos permite comprobar, paso a paso, que cada pieza está en su lugar, o al final del proceso, que el montaje final es correcto. Esta aplicación es muy útil para el montaje de maquinaria, equipos, placas electrónicas o pre-montajes con mucha complejidad. Estos sistemas reducen considerablemente tiempos de ciclo de operaciones muy complejas y tiempos de recuperación [4].

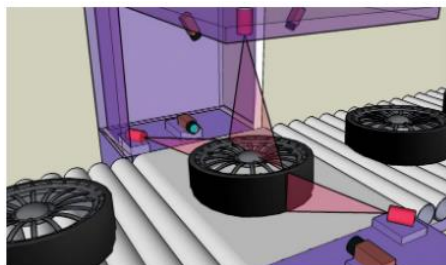


Figura. 4 Visión artificial utilizada para la verificación de montajes [4]



2.3 Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) tiene como objetivo estudiar y analizar el comportamiento humano en las áreas de comprensión, percepción, resolución de problemas y toma de decisiones para que pueda reproducirse con la ayuda de computadoras. Las aplicaciones de la IA son principalmente para simular la actividad intelectual humana. Es decir, imita tantas actividades mentales como sea posible, generalmente con la ayuda de máquinas electrónicas, y quizás mejore las capacidades humanas en estos aspectos para manipular información simbólica [5].

Ramas que componen la inteligencia artificial

2.3.1 Lógica difusa: La lógica difusa es una rama de la IA que permite a las computadoras analizar información del mundo real en una escala entre verdadero y falso. La lógica difusa no puede usar valores únicos para saber si un elemento pertenece. Debe tomar valores entre 0 y 1, por lo que, si el sistema o fenómeno en estudio no está bien delimitado, las posibles respuestas pueden ser grandes e incluso infinitas. La figura 4 ilustra mejor la diferencia entre las dos propuestas y también muestra el rango de posibilidades que maneja la lógica difusa. Del mismo modo, se puede prever una situación similar para varios campos del conocimiento, la ciencia o la tecnología. La lógica difusa consta de tres etapas para lograr el resultado deseado. La primera etapa se basa en un proceso con cierta incertidumbre metalingüística en las variables. Por lo tanto, el rango de valores (universo discursivo) de cada variable se puede clasificar por conjuntos borrosos [5].

En el primer cuadro de la izquierda, podemos distinguir entre blanco y negro (0 o 1), por lo que funcionan los sistemas lógicos booleanos o binarios. En la imagen de la derecha, aparte de los extremos, es muy difícil definir qué es blanco o negro, por lo que hay un rango de respuestas (0 a 1). La lógica difusa funciona de manera similar. En este caso, debe otorgar al elemento cierto grado de pertenencia. En este caso, la cantidad de color blanco y negro en el elemento [5].

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz

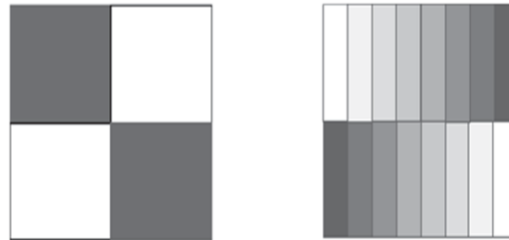


Figura. 5 Elementos de la lógica difusa [5]

2.3.2 Redes neuronales artificiales: Las redes neuronales artificiales (ANN) son el paradigma del procesamiento de la información se inspiró originalmente en la forma en que lo hace el cerebro. Un elemento clave de este paradigma es su estructura. Una ANN consta de un número específico de elementos de procesamiento (neuronas) que trabajan juntos para resolver un problema específico. Las redes neuronales modernas se basan en el modelo matemático de neuronas propuesto por McCulloch y Pitts en 1943. En este modelo (Figura 6), cada neurona recibe una secuencia de entradas $\{x_1, x_2, x_D\}$ y devuelve una sola salida y . Además, dentro de una ANN hay muchas conexiones entre las distintas neuronas que la componen. Estas conexiones simulan las conexiones interneuronales del cerebro y, como éstas, pueden construirse de forma más o menos intensa. Para las ANN, esta fuerza está determinada por pesos sinápticos (o simplemente pesos). Así, cada entrada x_i de la neurona se ve afectada por pesos w_i [5].

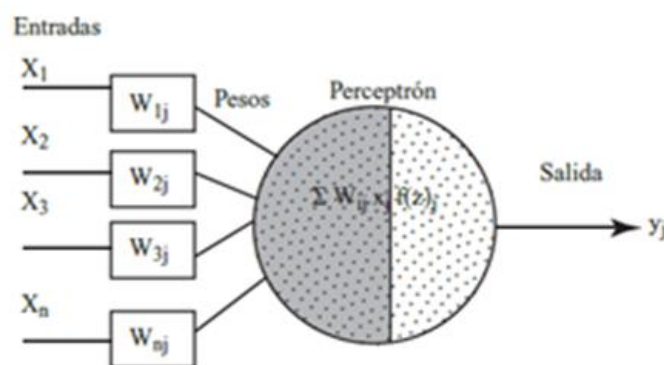


Figura. 6 Estructura Red neuronal Modelo McCulloch y Pitts [5].



2.3.3 El Algoritmo Genético (AG): Es una técnica de búsqueda iterativa inspirada en el principio de la selección natural. GA no tiene como objetivo modelar la evolución biológica, sino derivar estrategias de optimización. Este concepto se basa en la generación de la población a través de la crianza parental. En el curso de la evolución, los genes con una evolución más lenta fueron reemplazados por genes con mejores estrategias evolutivas. Por lo tanto, se esperan estrategias altamente eficientes en animales y plantas modernos. Muchos problemas tienen funciones objetivas complejas y la optimización tiende a terminar en mínimos/máximos locales. La idea de GA es optimizar (encontrar el valor máximo o mínimo) una función objetivo aplicando el principio de selección natural a los parámetros de la función [5].

2.4 Automatización

La Ingeniería en Automatización y Control Industrial es una rama de la ingeniería que aplica la integración de tecnologías de punta utilizadas en las áreas de automatización y control de automatización industrial, complementadas con disciplinas paralelas como los sistemas de control y monitoreo de datos. Instrumentación industrial, control de procesos y redes de comunicación industrial [6], La tecnología se basa en una sólida formación en matemáticas, física, química, ingeniería eléctrica y electrónica, y cubre sistemas de control, instrumentación, control de procesos, sistemas digitales.

La ingeniería en automatización y control industrial es una carrera que cada día se ve con mayor demanda en el ámbito industrial debido a que cada día los procesos de producción que tienen las empresas están en una constante carrera contra el tiempo debido a que los retardos en los procesos de producción en algunas empresas pueden incluso generar grandes pérdidas de carácter monetario. Entre las áreas donde se desarrolla esta disciplina se destacan sectores industriales en rubros como la minería, celulosa, metalmecánica, automotriz, textil, alimentos, integración ingenieril entre otras que requieran de una optimización en su sistema de producción [6].

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz

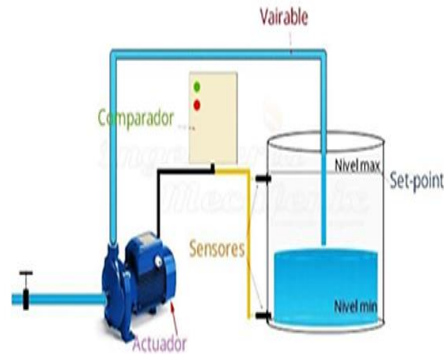


Figura. 7 Automatización industrial en la Medición de líquido [7].

- **Ventajas y Desventajas de la automatización**

En general, la automatización industrial pretende incrementar la competitividad de la industria, esta involucra ciertas desventajas, las cuales habrá que sopesar, junto con sus ventajas, a la hora de decidir si resulta conveniente embarcarse en un proceso de modernización [6].

2.4.1 Ventajas de la automatización industrial

- Repetitividad permanente. Una vez que un proceso de automatización se ha implementado y depurado, las operaciones se repiten de forma idéntica continuamente.
- Calidad “cero defectos”. Al alcanzarse la repetitividad es posible ajustar el proceso de manera que se logren niveles óptimos de calidad.
- Disponibilidad 24 horas al día. Una vez ajustadas, las máquinas pueden trabajar día y noche sin necesidad de descansar.
- Reducir el costo de mano de obra.
- Reducir o eliminar trabajos rutinarios (en planta u oficinas).
- Mejorar la seguridad del trabajador. Pasa a supervisar en lugar de “manipular”.
- Mejora de calidad en el producto.
- Uniformidad, Ajuste a especificaciones, Menos piezas defectuosas.
- Reducir el tiempo de Manufactura.
- Ventaja competitiva frente al cliente, y ahorro en material inmovilizado.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



- Realizar tareas imposibles a mano.
- Reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- Flexibilidad para adaptarse a nuevos productos.
- Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.
- Se obtiene un mejor conocimiento del funcionamiento y performance de los equipos y máquinas que intervienen en el proceso.
- Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.
- Factibilidad para la implementación de funciones de análisis, optimización y auto diagnóstico.
- Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.
- Disminución de la contaminación y daño ambiental.
- Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.
- Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores [6]

2.4.2 Desventajas de la automatización industrial

- Inflexibilidad. Es sumamente costosa o lenta la adaptación o el cambio de un proceso automatizado para producir modelos diferentes de productos compuestos por partes diferentes entre sí.
- Personal altamente calificado. A lo largo de todo el proceso de implantación, desde el diseño de la línea y los equipos, hasta el mantenimiento regular y las modificaciones de mejora. Este personal es muy caro y escaso.
- Elevado costo de inversión. El capital requerido para invertir en estos equipos es muy elevado [6].

2.5 Sistemas de control

Un sistema de control es aquel en el que las variables de salida se comportan según las órdenes dadas por las variables de entrada [26], Actualmente una de las alternativas más utilizadas en la industria son los sistemas de control, para cumplir un objetivo en una empresa que requiera un proceso necesita de una ingeniería de control, la función de este sistema radica en regular y gestionar el comportamiento para evitar fallas en la producción, estos sistemas están formados por diversos dispositivos, ya sea eléctrico, hidráulico, neumático y demás, el tipo que se implementa varía en función del objetivo a alcanzar, para cumplir esto se debe tener en cuenta de elementos bases, una variable que es aquella que se busca controlar, un actuador y por ultimo un punto de referencia o set – point.

2.5.1 Topologías

Los sistemas de control se pueden clasificar teniendo en cuenta el objetivo a cumplir en el proceso de la planta, en sistema de control de lazo abierto y por otra parte en sistema de control lazo cerrado.

2.5.1.1 Lazo de control abierto

Un sistema de control en lazo abierto utiliza un regulador o actuador de control para obtener una respuesta deseada, tal como se muestra en la figura 8, un sistema de lazo abierto es un sistema sin retroalimentación.

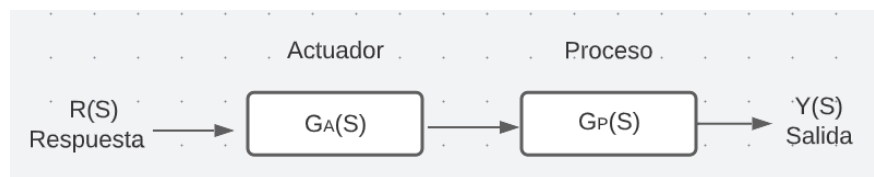


Figura. 8 Sistema de control lazo abierto [Autor].

2.5.1.2 Lazo de control cerrado

Un sistema de control en lazo cerrado (Figura 9), utiliza una medida de la salida real, para compararla con la señal deseada. La lectura de la salida se denomina señal de retroalimentación.

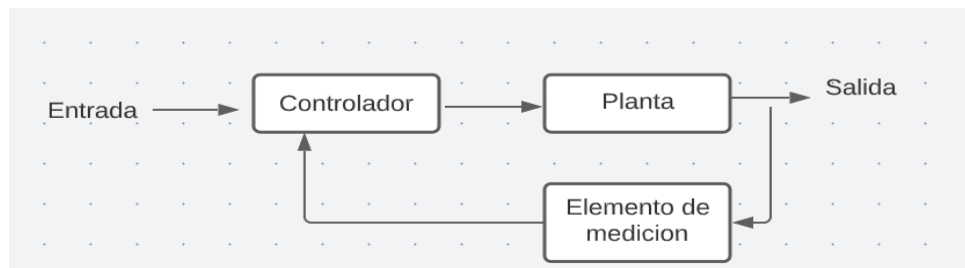


Figura. 9 Sistema de control lazo cerrado [Autor].

2.5.1.3 Lazo de control cerrado retroalimentado

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. La mayoría de los controladores industriales emplean como fuente de energía la electricidad o un fluido presurizado, como el aceite o el aire. Los controladores también pueden clasificarse, según el tipo de energía que utilizan en su operación, como neumáticos, hidráulicos o electrónicos. El tipo de controlador que se use debe decidirse basándose en la naturaleza de la planta y las condiciones de operación, incluyendo consideraciones tales como seguridad, costo, disponibilidad, fiabilidad, precisión, peso y tamaño [25].

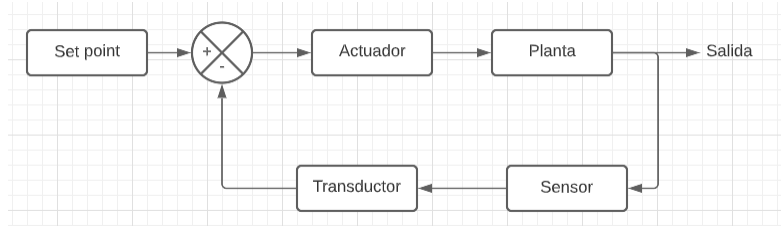


Figura. 10 Sistema de control lazo cerrado retroalimentado [Autor].

2.5.2 Acción de control de dos posiciones o de encendido y apagado (on/off).

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación sólo tiene dos posiciones fijas, que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado. El control de dos posiciones o de encendido y apagado es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos. Supóngase que la señal de salida del controlador es $u(t)$ y que la señal de error es $e(t)$. En el control de dos posiciones, la señal $u(t)$ permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa [25].

$$\begin{aligned} u(t) &= U_1, & \text{para } e(t) > 0 \\ u(t) &= U_2, & \text{para } e(t) < 0 \end{aligned}$$

donde U_1 y U_2 son constantes. Por lo general, el valor mínimo de U_2 es cero o $-U_1$. Es común que los controladores de dos posiciones sean dispositivos eléctricos, en cuyo caso se usa extensamente una válvula eléctrica operada por solenoides [25].

2.6 Matlab

Matlab es una herramienta interactiva basada en matrices para cálculos científicos y de ingeniería (de hecho, el termino Matlab procede de matriz laboratory). Desde el punto de vista del control, Matlab se puede considerar un entorno matemático de simulación que puede utilizarse para modelar y analizar sistemas. Permitir a el estudio de sistemas continuos, discretos, lineales y no lineales, mediante descripción interna y externa, en el dominio temporal y frecuencia. Matlab

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



constituye un entorno abierto, para el cual numerosos paquetes específicos adicionales (toolboxes) han sido desarrollados. En el caso que nos ocupa se utilizara fundamentalmente el Control System Toolbox. Estos paquetes específicos adicionales están constituidos por un conjunto de funciones que pueden ser llamadas desde el programa y mediante las cuales se pueden realizar multitud de operaciones [27].

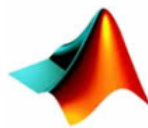


Figura. 11 Logo Matlab [27].

2.7 Simulink

Simulink, es un programa de programación gráfico para simular, modelar y analizar sistemas dinámicos. El programa está desarrollado por Mathworks y es ampliamente utilizado en control automatizado y transmisión de señal digital, simulink integra bien con el entorno de Matlab.



Figura. 12 Logo Simulink [28].

2.8 Modelado tanque de nivel

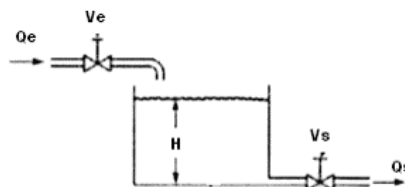


Figura. 13 Tanque de nivel [29].

Si se considera que la presión manométrica entre los puntos 1 y 2 son cero. Que m es la masa de las partículas de fluido entre el punto 1 y 2. Y que v es la velocidad de salida de la partícula 1 y 2. se tiene que:



$$\frac{1}{2}mv^2 = mgH$$

$$v = \sqrt{2gH}$$

El flujo de salida del tanque para el caso de una sección transversal es:

$$Q = S_v = S\sqrt{2gH}$$

2.8.1 Ecuaciones de las válvulas

En la entrada del elemento final de control explicamos en detalle el modelado matemático de una válvula y como puede expresarse su comportamiento dinámico en relación al tipo de válvula instalada en el proceso. Considerando el flujo que circula a través de la válvula se encuentra en estado estacionario, podemos plantear la siguiente ecuación [29]:

$$Q_v = K_v A \sqrt{\Delta P}$$

$Q_v = \text{Flujo a traves de la valvula}$

$K_v = \text{Constante}$

$A = \text{Area de paso}$

$\Delta p = \text{Presion diferencial a traves de la valvula}$

Se puede concluir que el flujo que pasa por la válvula es proporcional al área de abertura de la válvula en el caso que la diferencia de presión sea constante, de manera practica tomamos una válvula con un comportamiento inteligente, donde sea posible hacer una aproximación más o menos lineal entre el flujo Q_v y la abertura de la válvula [29].

$$Q_s = K_2 a_2 \sqrt{2gH}$$

Vamos a suponer que el flujo de entrada Q_e es proporcional a la abertura de la válvula de entrada considerando un suministro constante.



$$Q_e = k_1 a_1$$

2.8.2 Modelado Matemático de un Tanque de Nivel

Para obtener las ecuaciones matemáticas del tanque de nivel partimos inicialmente del balance de masas del sistema para obtener las ecuaciones diferenciales (EDO) del tanque: En este balance, básicamente todo lo que le entra al tanque menos todo lo que le sale al tanque es igual a su capacitancia:

$$A \frac{dH}{dt} = q_e - q_s$$

Remplazando en Q_e y Q_s :

$$A \frac{dH}{dt} = k_1 a_1 - k_2 a_2 \sqrt{2gH}$$

2.9 Método de Ziegler-Nichols

El método de Ziegler-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un controlador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o del sistema controlado. Estas reglas de ajuste propuestas por Ziegler y Nichols fueron publicadas en 1942 y desde entonces es constituyen uno de los métodos de sintonización más ampliamente difundido y utilizado, los valores propuestos por este método intentan conseguir en el sistema realimentado una respuesta al escalón con un sobre impulso máximo del 25%, que es un valor robusto con buenas características de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas, el método de sintonización de reguladores PID de Ziegler-Nichols permite definir las constantes o ganancias proporcional, integral y derivativa (K_p , K_i y K_d) a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema.



2.9.1 Sintonización por la respuesta al escalón

Este método de sintonización se adapta bien a los sistemas que son estables en lazo abierto y que presentan un tiempo de retardo desde que reciben la señal de control hasta que comienzan a actuar, para poder determinar la respuesta al escalón de la planta o sistema controlado, se debe retirar el controlador PID y sustituirlo por una señal escalón aplicada al accionador [30].

2.9.2 ZIEGLER Y NICHOLS MÉTODO 1

Control	K_p	t_i	t_d
P	$\frac{\tau}{KL}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{\tau}{KL}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$

Tabla 1 Sintonización de controladores Ziegler y Nichols [30].

Factor de incontrolabilidad

$$0.1 \leq \frac{L}{\tau} \leq 0.3$$

2.9.2.1 Función de transferencia

$$G_c(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{t_i S} + t_d S \right)$$

2.9.2.2 Controlador proporcional

$$G_c(S) = \frac{\tau}{KL}$$

2.9.2.3 Controlador proporcional integral

$$G_c(S) = 0.9 \frac{\tau}{KL} \left(1 + \frac{1}{\frac{L}{0.3} S} \right)$$

2.9.2.4 Controlador proporcional integral derivativo

$$G_c(S) = 1.2 \frac{\tau}{KL} \left(1 + \frac{1}{2LS} + 0.5L S \right)$$



2.9.3 ZIEGLER Y NICHOLS MÉTODO 2

Control	K_p	t_i	t_d
P	$0.5K_U$	∞	0
PI	$0.45K_U$	$\frac{P_U}{1.2}$	0
PID	$0.6K_U$	$0.5P_U$	$0.125P_U$

Tabla 2 Sintonización de controladores Ziegler y Nichols [30].

Ganancia limite, ganancia ultima o ganancia critica

$$K_U$$

Y a partir del gráfico podemos calcular el periodo critico

$$P_U$$

o a partir de la frecuencia

$$P_U = \frac{2\pi}{W_U}$$

2.9.3.1 Función de transferencia

$$G_c(S) = K_P \left(1 + \frac{1}{t_i S} + t_d S \right)$$

2.9.3.2 Controlador proporcional:

$$G_c(S) = 0.5K_U$$

2.9.3.3 Controlador proporcional Integral:

$$G_c(S) = 0.45K_U \left(1 + \frac{1}{\frac{P_U}{1.2} S} \right)$$

2.9.3.4 Controlador proporcional Integral derivativo

$$G_c(S) = 0.6K_U \left(1 + \frac{1}{0.5P_U S} + 0.125P_U S \right)$$

2.10 Raspberry pi4

La Raspberry Pi 4 (Figura 14), es un sistema embebido que cuenta con procesador de cuatro núcleos con arquitectura de 64 bits que funciona a 1,5 ghz con memoria RAM de 4Gb SDRAM LPDDR4-2400, puertos USB 3.0, LAN inalámbrica de banda dual de 2,4 ghz y 5 ghz, puerto Ethernet de un Gigabit más y capacidad poe a través de un poe HAT separado [8], además permite la instalación de Python3 e instalación de librerías o paquetes que permiten el procesamiento de imágenes, la ejecución de modelos de inteligencia artificial, entrenados en Google colab y la creación de interfaces gráficas en Python 3 a través de Tkinter. Además, la Raspberry pi4 cuenta con puertos GPIO ver tabla 1, es decir entradas y salidas digitales las cuales permiten la conectividad de sensores y actuadores, gracias a sus puertos USB podemos conectar una cámara de tipo webcam para adquirir imágenes ya sea a través de la interfaz de comandos o directamente desde un script en Python, también cuenta con su propio sensor de cámara que es posible conectar al puerto CSI.

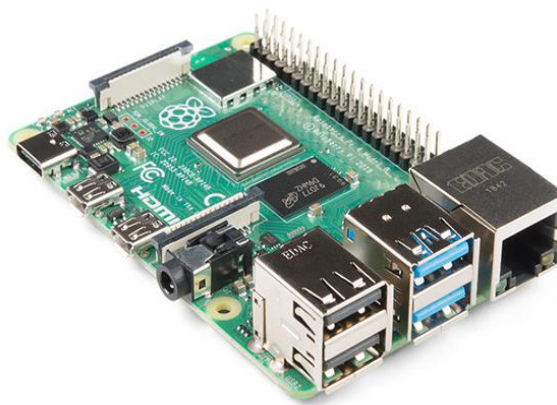


Figura. 14 Sistema embebido Raspberry pi 4 Version B [9].

2.10.1 Sistemas operativos

Existen varias distribuciones de Linux promocionadas por la fundación Raspberry Pi: La oficial Raspbian (basada en Debian), Arch Linux ARM y Ubuntu Mate. Todos los sistemas operativos se pueden descargar gratuitamente de la página oficial de Raspberry. También puede descargar NOOBS que permite la instalación de todos los sistemas operativos

soportados [8], la Raspberry pi 4 está construida con procesador basado en arquitectura de 64 Bits por ello la imagen del sistema operativo instalada debe ser descargada con 64 Bits.

2.10.2 Características Técnicas De la Raspberry Pi4

PERIFERICO	DETALLES
Procesador	BCM2711, Córtex núcleo cuádruple-A72 (ARM v8) 64-bit Soc @ 1.5 GHz
Memoria RAM	SDRAM LPDDR4-2400 DE 4GB
Protocolos de interconexión	2,4 GHz y 5,0 GHz IEEE 802.11ac inalámbrico, Bluetooth 5.0, BLE
Puerto Ethernet	Gigabit Ethernet (1Gb/S)
Puertos USB	2 puertos USB 3.0; 2 puertos USB 2.0
Pines GPIO	Cabezal GPIO estándar de 40 pines de Raspberry Pi (totalmente compatible con las placas anteriores)
Micro HDMI	2 � puertos micro-HDMI (soportados hasta 4kp60)
Puerto de Pantalla	Puerto de pantalla MIPI DSI de 2 vías
Puerto de Cámara	Puerto de cámara MIPI CSI de 2 carriles
Puerto de audio	Puerto de audio estéreo de 4 polos y de vídeo compuesto
Decodificación	H.265 (decodificación 4kp60), H264 (decodificación 1080p60, decodificación 1080p30)
Gráficos	Gráficos OpenGL ES 3.0
Ranuras	Para tarjetas Micro-SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos
Alimentación	5V DC a través de conector USB-C (Recomendado 3A)
Temperatura de operación	Temperatura de funcionamiento: 0 – 50 grados C ambiente

Tabla 3 Detalles técnicos sistema embebido Raspberry pi4 4Gb [9].



2.10.3 Instalación del sistema operativo

Desde la página oficial de raspberry y dirigiéndonos a la sección de descargas de software [10], podemos seleccionar el sistema operativo a instalarse, este sistema operativo esta soportado para las versiones anteriores a la raspberry Pi4, y se encuentran disponible con interfaz de usuario, basta con comprar una tarjeta microSD de tipo 10 de clase A tipo ultra con capacidad mayor a 10GB, ya que el sistema operativo va a utilizar 8 GB, una vez descargada la imagen debemos flashear la memoria con el sistema operativo, hay múltiples programas como lo es BALENAETCHER, previamente la memoria debe ser formateada en formato FAT32, cuando la capacidad de almacenamiento de la microSD es superior a 32GB, hay que emplear programas para dar formato a FAT32, el programa BALENAETCHER se le debe cargar el archivo .img y empezará a cargar el sistema operativo a la memoria, cuando se instala un sistema operativo en cualquier equipo con procesador la unidad de almacenamiento particiona las unidades de almacenamiento [11]. La Raspberry Pi 4 cuenta con un procesador basado en 64 Bits, por ello se pueden instalar dos tipos de sistema operativo uno basado en 32 Bits, y otro basado en 64 Bits.

2.10.3.1 Actualización de Repositorios

Una vez instalado el sistema operativo basta conectar la Raspberry a una pantalla HDMI, al hacerlo el sistema por defecto reconocerá la pantalla, antes de iniciar el sistema requiere de completar un formulario de usuario, es importante llenar los campos de usuario y contraseña, estos servirán para acceder a la tarjeta a través de escritorio remoto mediante una conexión VNC, seguido actualizamos los repositorios del sistema operativo buscando actualizaciones con los siguientes comandos.

Sudo apt – get update
Sudo apt – get upgrade

2.10.4 Sensor de cámara Raspberry Pi NOIR

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



Raspberry Pi NoIR (Figura 15), es un módulo que incorpora una cámara infrarroja en su versión V2, en la tabla 4 se muestran sus características técnicas, es el remplazó del módulo de cámara PiNoIR. El V2 Pi NoIR tiene un sensor Sony IMX219 de 8 megapíxeles y un lente de enfoque fijo. Incorpora todas las funciones de una cámara normal, con una diferencia: no emplea un filtro de infrarrojos. (NoIR = No Infrared.) Esto significa que las fotografías que tome a la luz del día se verán decididamente curiosas, pero le da la capacidad de ver en la oscuridad con iluminación infrarroja [12].

La cámara funciona con todos los modelos de Raspberry Pi 1, 2, 3 y 4. Se puede acceder a ella a través de las API MMAL y V4L, y existen numerosas bibliotecas de terceros creadas para ella, incluida la biblioteca Picamera Python. Consulta el recurso Introducción a Picamera para aprender a utilizarlo en la página oficial de Raspberry [10].

Este módulo incluye un pequeño cuadrado azul que puede usar con la cámara para monitorear la salud de las plantas verdes. El Pi NoIR es muy popular entre los aficionados a la vida silvestre: con algunos LED infrarrojos, puede monitorear lo que hacen los animales nocturnos en su jardín sin molestarlos [13]

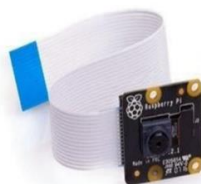


Figura. 15 Sensor de cámara Raspberry pi NOIR con flexor para conexión CSI [12].

2.10.4.1 Características técnicas del Sensor de cámara Raspberry Pi NOIR

ESPECIFICACIONES	DETALLES
Modelo	Pi NoIR Cámara V2
Compatibilidad	Raspberry pi 1, Raspberry pi 2, Raspberry pi 3, Raspberry pi 4.
Cámara	8 megapíxeles
Sensor	IMX219

Resolución de imagen	3280 x 2464
Captura de Video	1080p 30Hz, 720p60Hz, 640x480p90Hz
Visión Nocturna	Si, Infrarrojos integrados
Dimensión	25 mm x 24 mm x 9 mm
Peso	3 gramos, 5 gramos con carcasa
Software	Compatible con el sistema operativo Raspbian

Tabla 4 Características técnicas Cámara Raspberry pi 4V2 con infrarrojos [13].

2.10.5 Sensor de cámara Webcam Tipo USB 2.0

Debido a su capacidad para captar imagen y video en tiempo real, y su accesibilidad al puerto USB de la Raspberry pi, son ideales para la captura y procesamiento de imágenes para el control de nivel de líquido presente en el tanque y la adquisición de nuevas imágenes para la validación del sistema de inteligencia artificial. Las cámaras webcam USB, (Figura 16) capturar las imágenes a razón de varios cuadros (frames) por segundo, pero esta velocidad es inversamente proporcional a su resolución o calidad [14]. A continuación, se presentan las características de la cámara que se adapta en el proyecto en la tabla 5.



Figura. 16 Cámara webcam USB 2.0 con resolución 1080P [15].

2.10.5.1 Características técnicas del Sensor de Sensor de cámara Webcam Tipo USB 2.0

ESPECIFICACIONES	DETALLES
Marca	Genérico
Modelo	Webcams D2-1080P JALTECH C178
Software	Libre
Tipo de Webcam	Webcam



Interfaz	USB 2.0
Tipo de Sensor	ABS Sensor Cmos
Resolución de imágenes	Fullhd-1920X1080
Formato de la foto	Bmp, Jpg, Png
Tipo de enfoque	Fijo
Frecuencia de muestro	50 Hz/ 60Hz
Micrófono	Integrado con reducción de ruido
Tipo de base	Clip, giratorio de 170°
Frame rate	30 fps
Plug and play	Si
Rango de enfoque	20 mm – Extreme
Optimización del motor contraste	Balance de contraste
Motor VM	Procesador de alta velocidad 180 m/ BMP
Dimensiones	Webcam 8x3x2,5 Cm (Sin base)
Longitud del cable	145 Cm
Peso	25 gr
Compatibilidad	Windows Xp,7,8.1,10, Linux, Mac os

Tabla 5 Características Técnicas Cámara webcam usb2.0 Jaltech c178 1080P [15].

2.11 Python 3

Python es un potente lenguaje de programación fácil de aprender. Tiene estructuras de datos eficientes de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo para la programación orientada a objetos. La elegante sintaxis y la escritura dinámica de Python, junto con su naturaleza interpretada, lo convierten en un lenguaje ideal para la creación de scripts y el rápido desarrollo de aplicaciones en muchas áreas en la mayoría de las plataformas. El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están disponibles gratuitamente en formato fuente o binario para todas las plataformas principales desde el sitio web de Python [16].

El mismo sitio también contiene distribuciones y referencias a muchos módulos, programas y herramientas de Python gratuitos de terceros, y documentación adicional, El intérprete de Python se amplía fácilmente con nuevas funciones y tipos de datos implementados en C o C ++ (u otros lenguajes invocables desde C). Python también es adecuado como lenguaje de extensión para aplicaciones personalizables [16].

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



Permite el procesamiento de imágenes mediante su librería openCV, la creación de modelos de inteligencia artificial y el entrenamiento de modelos con redes neuronales, además librerías externas permiten la creación de interfaces gráficas, es compatible con micro-Python dando la posibilidad a controlar las salidas y las entradas digitales en la raspberry pi4.



Figura. 17 Logo Software python [16].

2.12 Válvula de bola Controlada por corriente

La válvula de bola (Figura 18), de gran caudal bidireccional Swagelok serie GB está diseñada para ofrecer altos caudales a una presión de servicio de 413 bar (6000 psi) en diversas aleaciones, simplificando la instalación, minimizando los requisitos de reparación y ofreciendo un rendimiento de cierre fiable [17].



Figura. 18 Válvula de bola DN-10 Controlada por señal de corriente 4-20 mA [18].

Puede ser utilizada en aplicaciones donde se requiere controlar el paso de agua, o aire, cuenta con un circuito interno que se encarga de la apertura proporcional de la válvula, cuenta con señal de control de corriente con estándar industrial de 4-20mA. A continuación, se muestran las características técnicas de la válvula de bola.



2.12.1 Características técnicas válvula de bola DN-10.

Especificaciones	Detalles
Tamaño del producto	1 pulgada
Válvula material del cuerpo	Bronce
Funcionamiento	Dc 9V-24 V
Actuador	Proporcional
Corriente de trabajo	500 mA
Señal de control	4-20 mA opcional 0 a 10V ó 0 a 5 VDC
Tiempo de giro 90°	7 segundos
Presión máxima de trabajo	150 psi
Tiempo de vida	100.0000 ciclos
Material del actuador	Ppo
Material de sello	FKM y PTFE
Ángulo de rotación actuador	90°
Fuerza de par torsión	2 Nm
Longitud del cable	500 Cm
Temperatura ambiente	-15 °C a 60°C
Accionamiento Manual	Ninguno
Clase de protección	IP67
Temperatura del líquido	1° a 95 °C
Aplicación	Agua, Aire
Conexionado	½ Pulgada

Tabla 6 Especificaciones técnicas de la válvula de bola DN-10 [18].

2.12.2 Ventajas válvula de bola DN-10.

- Esta única válvula motorizada compacta se utiliza para aplicaciones específicas en bombas de aire o calor geotérmicas, sistemas de agua potable, calentadores de agua solares y otros equipos industriales.
- Esta válvula de bola de construcción de bola flotante única requiere un par de torsión muy bajo y se puede controlar con un pequeño actuador compacto.
- Reduce automáticamente la potencia una vez completamente abierta o completamente cerrada; Esto reduce la posibilidad de sobrecalentamiento, por lo que es una gran alternativa a las válvulas solenoides para proyectos donde una válvula necesita ser abierta durante un período de tiempo prolongado.

- Sin plomo, seguro para beber agua y comida [17].

2.13 Módulo Conversor de Voltaje a Corriente A228

Este convertidor (Figura 19) de voltaje a corriente permite comunicar o enviar datos desde microcontroladores o dispositivos con salida en voltaje a equipos que soportan el estándar industrial de señales de corrientes 4-20mA [19].

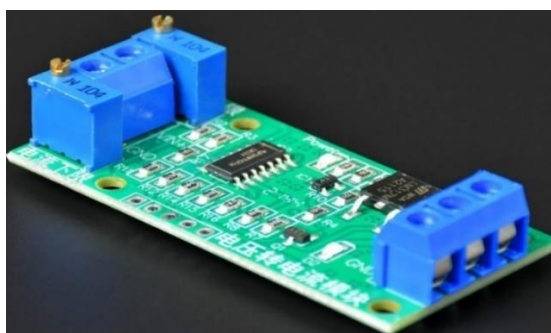


Figura. 19 Módulo Convertidor de voltaje a corriente A228 [19].

A continuación, se muestra en la tabla 7 las características técnicas del módulo conversor de corriente A228.

ESPECIFICACIONES	DETALLES
Voltaje Fuente de alimentación	12-24 V
Señal de voltaje de entrada	0-10 V
Corriente de salida Conversión	4-20 mA
Ajuste 1	Potenciómetro Ajuste Limite Superior
Ajuste 2	Potenciómetro Ajuste Límite inferior

Tabla 7 Detalles Técnicos Módulo conversor de voltaje a corriente A228 [19].

2.14 Google Colab

Colab, también conocido como "Colaboratory", te permite programar y ejecutar Python en tu navegador. Los cuadernos de Colab te permiten combinar código ejecutable y texto enriquecido en un mismo documento, además de imágenes, HTML, LaTeX y mucho más. Los cuadernos que creas en Colab se almacenan en tu cuenta de Google Drive [20].

Con Colab, puedes aprovechar toda la potencia de las bibliotecas más populares de Python para analizar y visualizar datos (Figura 20), Puedes importar un conjunto de datos de imágenes, entrenar

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



un clasificador de imágenes con dicho conjunto de datos y evaluar el modelo con tan solo usar unas pocas líneas de código. Los cuadernos de Colab ejecutan código en los servidores en la nube de Google, lo que te permite aprovechar la potencia del hardware de Google, incluidas las GPU y TPU, independientemente de la potencia de tu equipo lo único que necesitas es un navegador, Colab es una herramienta muy utilizada en la comunidad de aprendizaje automático [20].



Figura. 20 Logo Google colab [21].

2.14.1 Aplicaciones de Google Colab

Estos son algunos ejemplos de las aplicaciones que tiene Colab:

- Dar los primeros pasos con TensorFlow
- Desarrollar y entrenar redes neuronales
- Experimentar con TPUs
- Divulgar datos de investigación sobre IA [20].

2.14.2 Ventajas

- Puedes importar tus propios datos a los cuadernos de Colab desde tu cuenta de Google Drive, incluidas las hojas de cálculo, y también desde GitHub y muchas fuentes más.
- Permite compartir contenido fácilmente
- Acceso a GPUs sin coste adicional [20].

2.15 HTML5

HTML (Lenguaje de Marcas de Hipertexto, del inglés HyperText Markup Language) es el componente más básico de la Web. Define el significado y la estructura del contenido web. Además de HTML, generalmente se utilizan otras tecnologías para describir la apariencia/presentación de una página web (CSS) o la funcionalidad/comportamiento (JavaScript).

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



"Hipertexto"; hace referencia a los enlaces que conectan páginas web entre sí, ya sea dentro de un único sitio web o entre sitios web. Los enlaces son un aspecto fundamental de la Web. Al subir contenido a Internet y vincularlo a las páginas creadas por otras personas, te conviertes en un participante activo en la "World Wide Web" (Red Informática Mundial) [22].



Figura. 21 Logo de HTML [22].

2.16 CSS

Hojas de Estilo en Cascada (del inglés Cascading Style Sheets) o CSS es el lenguaje de estilos utilizado para describir la presentación de documentos HTML o XML (en-US) (incluyendo varios languages basados en XML como SVG, MathML o XHTML). CSS describe como debe ser renderizado el elemento estructurado en la pantalla, en papel, en el habla o en otros medios. CSS es uno de los lenguajes base de la Open Web y posee una especificación estandarizada por parte del W3C. Anteriormente, el desarrollo de varias partes de las especificaciones de CSS era realizado de manera sincrónica, lo que permite el versionado de las recomendaciones. Probablemente habrás escuchado acerca de CSS1, CSS2.1, CSS3. Sin embargo, CSS4 nunca se ha lanzado como una versión oficial [23].



Figura. 22 Logo de CSS [23].

2.17 JavaScript

JavaScript (JS) es un lenguaje de programación ligero, interpretado, o compilado justo-a-tiempo (just-in-time) con funciones de primera clase. Si bien es más conocido como un lenguaje de

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



scripting (secuencias de comandos) para páginas web, y es usado en muchos entornos fuera del navegador, tal como Node.js, Apache CouchDB y Adobe Acrobat JavaScript es un lenguaje de programación basada en prototipos, multiparadigma, de un solo hilo, dinámico, con soporte para programación orientada a objetos, imperativa y declarativa (por ejemplo, programación funcional) [24].



Figura. 23 Logo de javascript [24].

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Resumen

Para el desarrollo de este proyecto se creó la base de datos alimentada por imágenes capturadas mediante la raspberry pi 4 para el entrenamiento de la red neuronal capaz de diferenciar cuatro posibles niveles de líquido (Gráfico 1), para cada nivel se capturaron 100 imágenes con diversos niveles de llenado de referencia, al final la base de datos comprendía 400 imágenes correspondientes a los cuatro tipos de nivel a detectar, para la creación de la red neuronal y el entrenamiento de la red neuronal fue necesario la implementación de Google colab; la interfaz permite la ejecución de código Python.

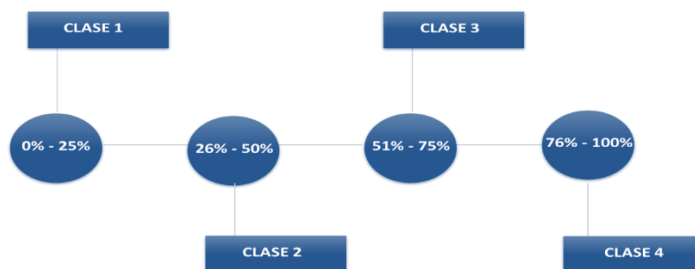


Gráfico 1. Distribución de clases según porcentajes de nivel [autor].

Una vez creada la red neuronal se utilizó el 90% del total de las imágenes como imágenes de entrenamiento y el 10% del total de las imágenes como imágenes de validación (Gráfico 2), para el entrenamiento de la red neuronal, una vez completado el entrenamiento de la red neuronal se guarda en el directorio la red neuronal con sus respectivos pesos y se descarga al directorio de la raspberry pi4, desde donde allí y una vez capturadas las imágenes, se ejecuta la función de predicción y los resultados se muestran mediante la interfaz gráfica, esta interfaz gráfica se complementa con la medición porcentual del nivel de líquido presente en el tanque del prototipo, y el control mediante botones de usuario de la apertura, cerrado de la electroválvula, en la sección de anexos se explica la instalación del sistema operativo y librerías en la raspberry pi4 para la ejecución del modelo de inteligencia artificial, a continuación se describe las métricas de

funcionamiento de la inteligencia artificial basada en red neuronal convolucional, además el uso de técnicas de procesamiento de imagen para la medición porcentual del nivel de líquido.

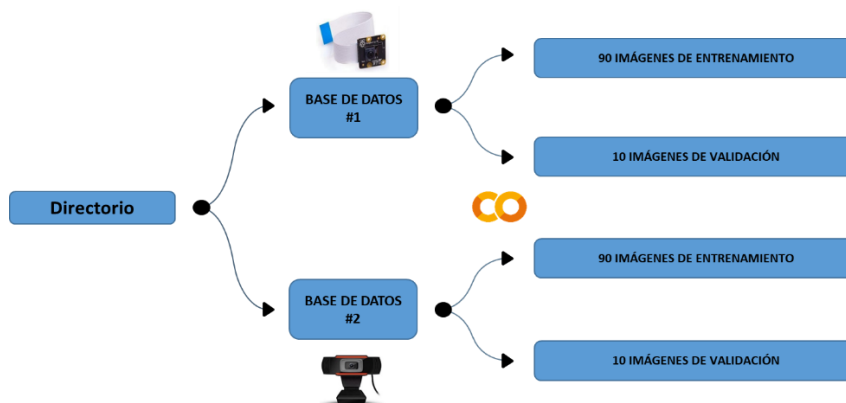


Gráfico 2 Estructura directorio [autor].

3.2 Sistema de Inteligencia artificial

Para llevar a cabo la implementación del sistema de inteligencia artificial basado en una red neuronal convolucional, se propuso la siguiente estructura (Gráfico 3), cada bloque se explica a continuación junto con las técnicas, procedimientos necesarios que se implementaron en Google colab, tanto como en el sistema embebido.

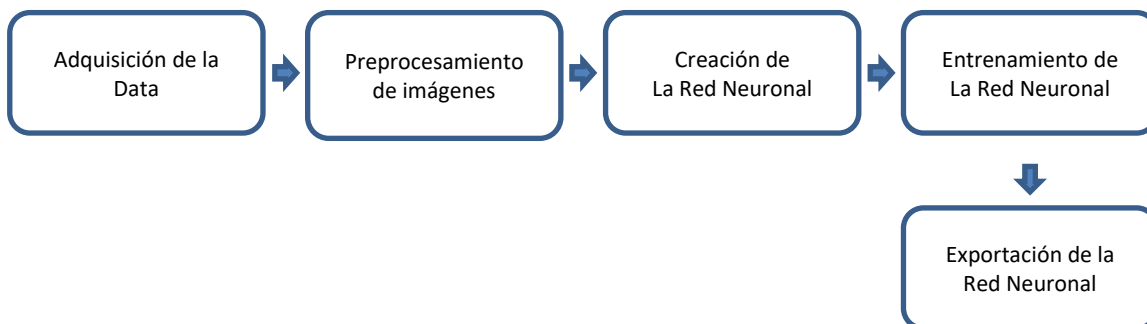


Gráfico 3 Diagrama de distribución en bloques de sistema de inteligencia artificial [autor].

3.2.1 Adquisición de la Data

Para entrenar la red neuronal es necesario previamente tener organizadas las imágenes y etiquetadas según el nivel de líquido presente en el tanque del prototipo, la red neuronal se encargará de la clasificación de cuatro posibles niveles de líquido, para cada nivel se

capturaron cien imágenes distribuidas como se muestra en el Gráfico 4, estas imágenes fueron capturadas mediante la cámara USB desde la raspberry pi4, y variando el nivel de líquido en el tanque del prototipo la base de datos es simétrica es decir la cantidad de imágenes por cada nivel de líquido es la misma, el uso de arquitectura de red neuronal que se usó presenta una ventaja ya que no es necesario una base de datos simétricas a aunque en este trabajo se considera.

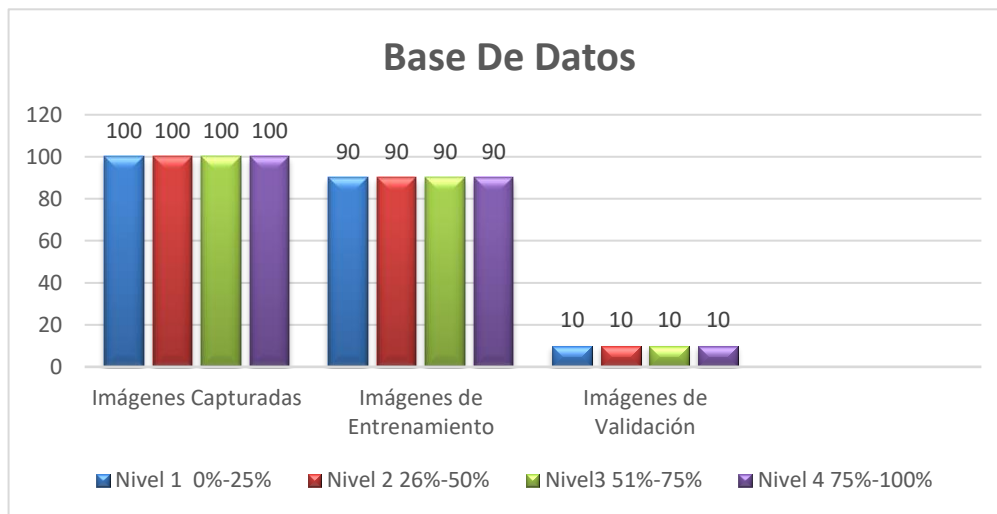


Gráfico 4 distribución de las imágenes por cada nivel en la base de datos [autor].

Una vez obtenidas las cuatrocientas imágenes de los cuatro tipos de nivel se organizan en carpetas que se considerarán en Google colab como directorios, estas imágenes se ordenan en dos grandes grupos, imágenes de entrenamiento, e imágenes de validación, estas carpetas se alojan en Google Drive mediante una cuenta de Google, la misma que se usará al momento de crear un cuaderno donde se ejecutará el código Python, se creará y se entrenará la red neuronal.

3.2.2 Preprocesamiento de imágenes

Las imágenes capturadas son almacenadas en una cuenta gratuita de Google Drive para gestionar los dos directorios usados en Google colab, luego de encender la máquina virtual,

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



se exportaron las imágenes desde Google drive, un directorio tendrá imágenes de entrenamiento y otro para validación, es importante enfatizar que el preprocesamiento aplicado a las imágenes de entrenamiento sea el mismo para las imágenes de validación.

En esta etapa de preprocesamiento se inició la creación de las clases a partir de la data adquirida y posteriormente subida en Google drive para incorporarlas en el código de Google colab correspondiente a cuatro clases, una para cada nivel asignado y de este modo realizar el entrenamiento y validación. Luego se normalizan todas las imágenes (Gráfico 5); proceso que cambia el rango de intensidad de píxeles con la finalidad que se reconozcan las imágenes como entradas de la red neuronal, el propósito de la normalización en las diversas aplicaciones suele ser llevar la imagen, u otro tipo de señal, a un rango que sea más familiar o normal.

Una vez aplicada la normalización a todas las imágenes, se elige establecer el modo de salida de las clases como una clase de modo “categórica”, (Gráfico 5), con el fin de establecer una salida 2D (también conocida como lista de números de longitud N), [0, 0, 1, 0], que es una codificación one-hot, esto es para etiquetas mutuamente excluyentes. Un nivel 1 no puede ser un nivel 2, así como un nivel 2 no es un nivel 3 y así en consideración con todos los posibles argumentos. Finalmente se aplica una redimensión (Gráfico 5), a todas las imágenes es decir definir los atributos de longitud; alto y ancho de todas las imágenes por igual, la longitud y la altura de todas las imágenes se estableció en imágenes 256x256 píxeles.

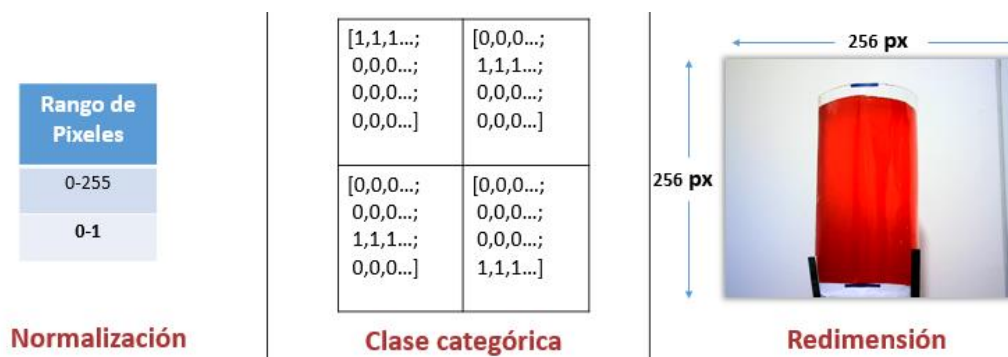


Gráfico 5 Preprocesamiento imágenes en Google colab [autor].

3.2.3 Creación de la Red Neuronal

Importante aclarar que las entradas de la red neuronal son las imágenes redimensionadas con los tres canales de color RGB, en cuanto a la creación de la red neuronal convolucional, se tiene en cuenta la implementación del modelo keras donde primero se definió la estructura de la red (Gráfico 6), con la función `model = keras.Sequential`, con esto se está indicando que el número de capas van de manera jerárquica (Tabla 6), en este caso son de dos tipos keras. layers. Flatten y keras. layers. Dense. se estableció un tipo de relleno simétrico. En cada capa la función de activación se seleccionó un tipo diferente, en dense es tipo “Relu”, ya que tiene una rápida convergencia en el entrenamiento al no tener zonas de saturación en comparación con otras funciones de activación. Para Flatten es de tipo “Softmax” la cual define la capa de salida que consta de 4 neuronas equivalente al número total de clases (4 tipos de niveles), para lograr obtener resultados porcentuales y elegir la mayor convergencia correspondiente al nivel detectado por la red neuronal, la función de activación va a seleccionar como salida la neurona con mayor porcentaje de activación.

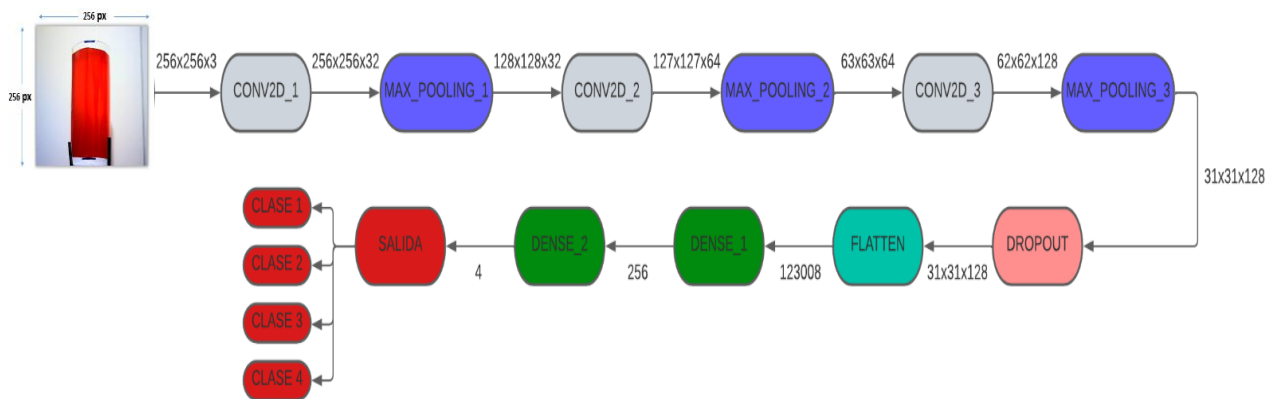


Gráfico 6 Capas de la Red neuronal convolucional [autor].

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



NÚMERO DE CAPA	NOMBRE DE LA CAPA	PROPIEDADES DE LAS CAPAS
1	Imágenes de entrada	256 x 256 x 3 [R, G, B]
2	Convolutacional	256x256x32 convolución con paso [2,2] y rellenado “padding”, same
3	Unidad lineal rectificada	RELU
4	Dropout	50% Dropout
5	Max pooling	2x2 max pooling con paso [2,2] y Padding [0 0 0 0]
6	Convolutacional	127x127x64 convolución con paso [2,2] y rellenado “padding”, same
7	Unidad lineal rectificada	RELU
8	Dropout	50% Dropout
9	Max pooling	2x2 max pooling con paso [2,2] y Padding [0 0 0 0]
10	Convolutacional	62x62x128 convolución con paso [2,2] y rellenado “padding”, same
11	Unidad lineal rectificada	RELU
12	Dropout	50% Dropout
13	Max pooling	2x2 max pooling con paso [2,2] y Padding [0 0 0 0]
14	Convolutacional	31x31x128 convolución con paso [2,2] y rellenado “padding”, same
15	Unidad lineal rectificada	RELU
16	Dropout	50% Dropout
17	Max pooling	2x2 max pooling con paso [2,2] y Padding [0 0 0 0]
18	Conexionado completo (Fully Conected)	1024 neuronas ocultas, capa (FC).
19	Unidad lineal rectificada	RELU
20	Conexionado completo (Fully Conected)	4 neuronas ocultas multiconectadas a las capas
21	Softmax	Función de activación porcentual
22	Neuronas de salida, Clasificación	4 salidas, clases “1” para nivel 1, “2” para nivel 2, “3” para nivel 3, “4” para nivel 4.

Tabla 8 Estructura Red neuronal Convolutacional [autor].



3.2.4 Entrenamiento de la Red Neuronal

En la compilación se configura el proceso de aprendizaje, primero se implementa el algoritmo de optimización, es decir, el método de Adam (Adaptive, moment, estimation), el cual, es adecuado para grandes parámetros y se adapta dependiendo de los resultados de la predicción y función de pérdida, en otras palabras, calcula cuanto necesita para reducir la pérdida entre la entrada y la predicción. Luego se determina la función de pérdida, debido a que se tiene cuatro clases se hace uso del `categorical_crossentropy` el cual calcula la pérdida entre la etiqueta y la predicción. Por último, para la medición del aprendizaje del modelo se define “accuracy” que permite establecer preferencias en la precisión del modelo. El entrenamiento del modelo se realizó con la función “fit ()”; el cual recibió como parámetro las 360 imágenes, 4 etiquetas para el entrenamiento, 1 por cada tipo de nivel, 50 épocas de reiteración.

3.3 Identificación y modelado de la planta

Para identificar la planta abrimos el lazo de control y guardamos los datos de porcentaje de nivel calculados desde la cámara web en un archivo de texto para posterior tratar los datos desde Matlab, excitando el sistema con una entrada de escalón correspondiente al 50% del nivel de líquido. Estos datos se cargan en un archivo de texto y se cargan desde matlab para su tratamiento, en la figura 24, se puede apreciar la gráfica del escalón con ganancia de 50, y la medición del porcentaje de nivel.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz

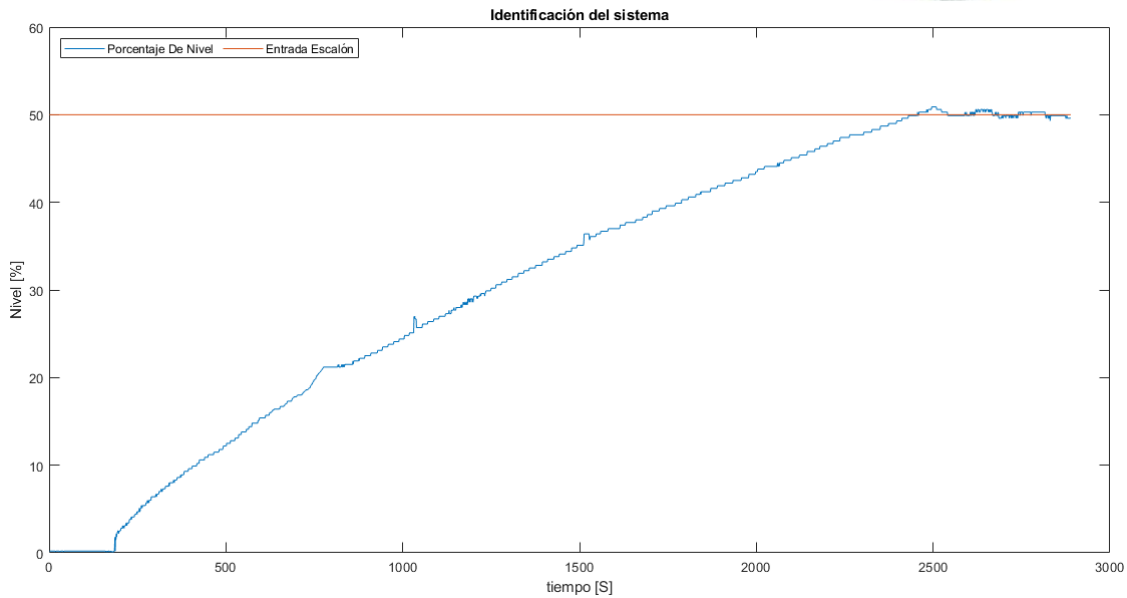


Figura. 24 Identificación y modelado del tanque [Autor].

En la figura 25 se aprecia la importación de datos de entrada correspondiente a la excitación de escalón con ganancia de 50, y los datos de salida correspondientes a los porcentajes de nivel, con un tiempo de muestreo de 0.77, es decir cada dato se guarda cada 0,77 segundos, al final los datos se tomaron en un tiempo de 6 minutos.

The 'Import Data' dialog box is shown with the following settings:

- Data Format for Signals:** Time-Domain Signals
- Workspace Variable:**
 - Input: ut
 - Output: datos
- Data Information:**
 - Data name: mydata
 - Starting time: 1
 - Sample time: 0.77

Buttons at the bottom: Import, Reset, Close, Help.

Figura. 25 Importación de los datos en el ident de matlab [Autor].

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



En la figura 26 se aprecia la identificación de la planta, para obtener su función de transferencia, en este caso con una estimación del 94,99%, se asignaron 2 polos y 1 zero

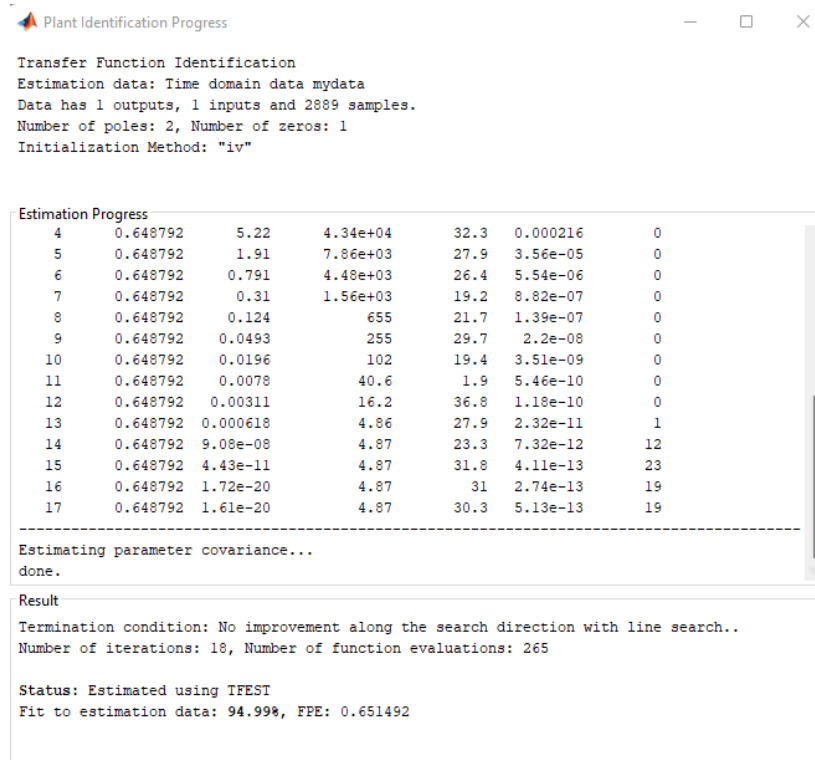


Figura. 26 Identificación y modelado del tanque [Autor]

, a continuación, se presenta la función de transferencia de la planta.

$$\frac{Input[S]}{Output[S]} = \frac{Num[S]}{Den[S]} = \frac{-0.0009639 S + 2.044 e - 05}{S^2 + 0.02231 S + 1.495 e - 05}$$

3.4 Sintonización de la planta y diseño de controladores

Para sintonizar la planta, establecemos la función de transferencia del sistema, y aplicamos una excitación constante de 50, así como se muestra en la figura 27, es importante abrir el lazo de control.

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz

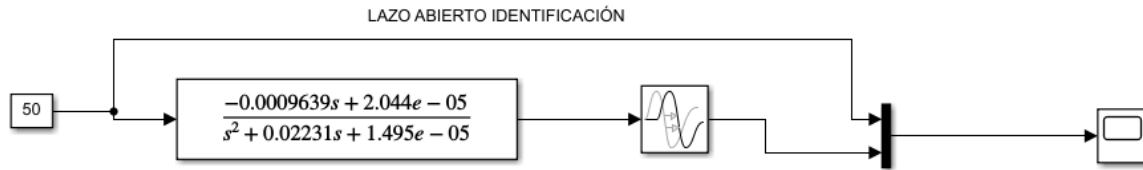


Figura. 27 identificación de la planta en simulink [Autor].

Al final obtenemos una gráfica con una señal sigmoideal, allí calculamos por inspección visual el τ , y puede apreciarse como la respuesta del sistema presenta un retardo, también llamado tiempo muerto, representado por L en la figura **

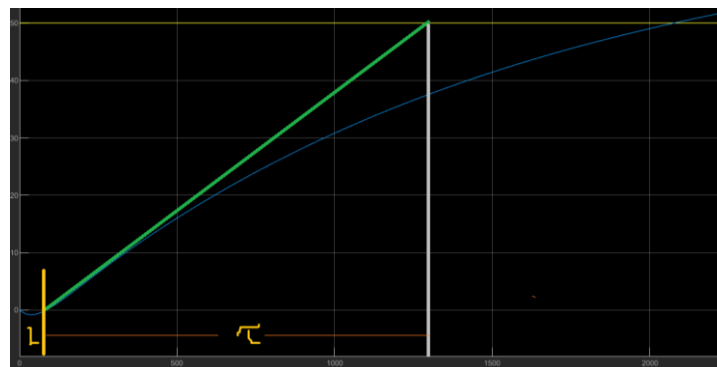


Figura. 28 Identificación y modelado del tanque [Autor].

$$L = 110$$

$$\tau = 1190$$

Factor de incontrolabilidad:

$$0.1 \leq \frac{L}{\tau} \leq 0.3$$

$$0.1 \leq \frac{110}{1190} \leq 0.3$$

$$0.1 \leq 0.09 \leq 0.3$$

Como la respuesta es sigmoideal, (Figura 28), utilizamos el método 1 de Ziegler y Nichols, los valores calculados se muestran en la tabla 9, correspondientes al cálculo de las ganancias proporcionales, y los tiempos derivativos e integrativos de cada tipo de controlador, controlador

proporcional (Figura 29), controlador proporcional integral (Figura 30), controlador proporcional derivativo integrativo (Figura 31).

Control	K_p	t_i	t_d
P	$\frac{1190}{50 * 110}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{1190}{50 * 110}$	$\frac{110}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{1190}{50 * 110}$	$2 * 110$	$0.5 * 110$

Tabla 9 Método 1 sintonización Ziegler y Nichols [autor]

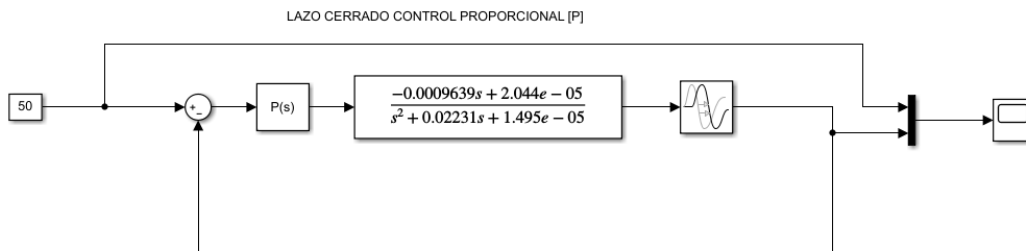


Figura. 29 Simulación Controlador proporcional [Autor].

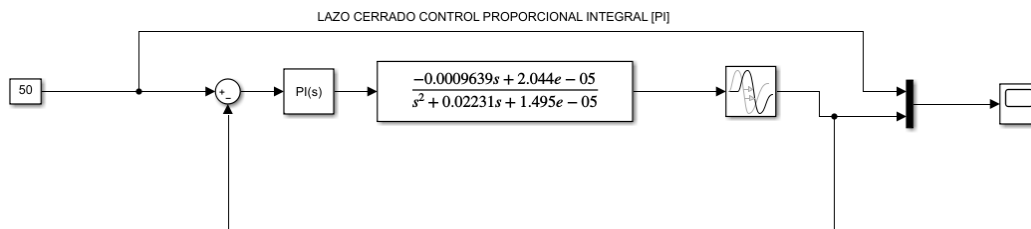


Figura. 30 Simulación Controlador proporcional integral [Autor].

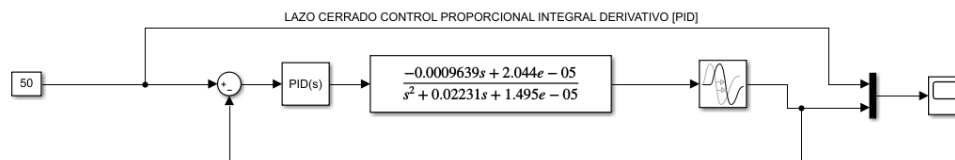


Figura. 31 Simulación Controlador proporcional integral derivativo [Autor].

En la figura 32 se muestra el tipo de controlador implementado, corresponde a un controlador On-Off, retroalimentado con señal de error, y entrada constante de 50.

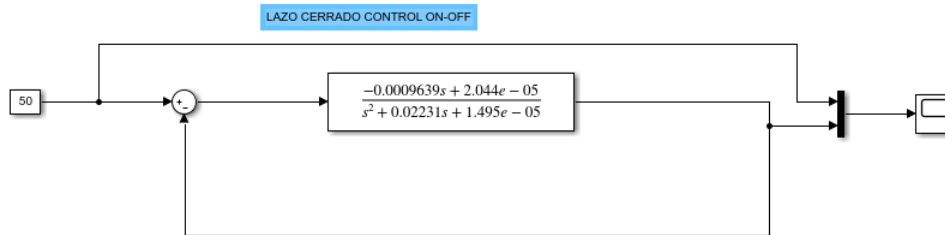


Figura. 32 Simulación Controlador proporcional [Autor].

3.5 Control de porcentaje de nivel con visión artificial

Se explica a continuación las técnicas de procesamiento de imágenes, y procedimientos necesarios que se implementaron en Python junto con la interfaz de usuario desde el sistema embebido, Para llevar a cabo la implementación de la detección del porcentaje de nivel presente en el tanque y el control de la válvula de bola con un nivel de referencia establecido por el usuario en la interfaz.

3.5.1 Extracción de la zona de interés

Dado que el fondo de la imagen detrás donde se ubica el prototipo es de color blanco, y el tanque transparente (Figura 33), aplicamos técnicas de visión artificial para separar la región donde se aloja el líquido de la región de fondo, para ello dentro de la imagen de entrada, transformamos en escala de grises (Figura 34), y luego aplicamos umbralización simple, de este modo podremos obtener una imagen binaria (th), (Figura 35) en la que el área en negro representará la región del tanque donde hay presencia de líquido. A continuación, aplicaremos cv2.findContours y luego seleccionamos el contorno más grande.

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



Figura. 33 Tanque prototipo con marcadores para detección del porcentaje de nivel [autor].



Figura. 34 Imagen escala de grises del tanque del prototipo para detección de nivel [autor].

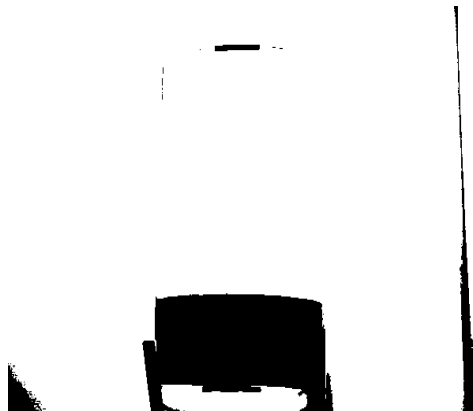


Figura. 35 Imagen binaria (Th), umbralizada con zona de interés [autor].



3.5.2 Relación de aspecto

Para calcular la relación de aspecto es necesario conocer las medidas de la zona donde se captura la imagen con el fin de establecer esta medida como la referencia para establecer ya sea el ancho o el alto de la imagen para que la medida calculada como se explica en la sección 3.5.4 corresponda a la distancia real entre objetos ya sea marcadores o marcador nivel de líquido.

$$Aspect_{radio} = \frac{Ancho}{Alto}$$

Con la relación de aspecto se establecen las medidas de la imagen capturada, pero en pixeles, y obtenemos una imagen resultante con 720 pixeles de ancho. El cálculo de la relación de aspecto nos establece una referencia de medida, ahora el dispositivo de captura puede moverse y así la medida de referencia no cambia abruptamente lo que supone una ventaja al mantener la medición del nivel de líquido presente en el tanque. De este modo se establecen las dimensiones de la imagen capturada 720 pixeles de ancho y 509 pixeles de alto.

3.5.3 Detección de objetos

Se declara un array vacío para más tarde almacenar los puntos correspondientes a cada marcador detectado o si existiese nivel de líquido. Luego se transforma la imagen redimensionada con la ayuda de la relación de aspecto de BGR a HSV (Figura 36), se establecen los límites bajo y alto para establecer la umbralización del color rojo del líquido, y azul de los marcadores en el formato de color HSV para filtrarlos y así dejar en blanco los marcadores y la presencia de líquido.

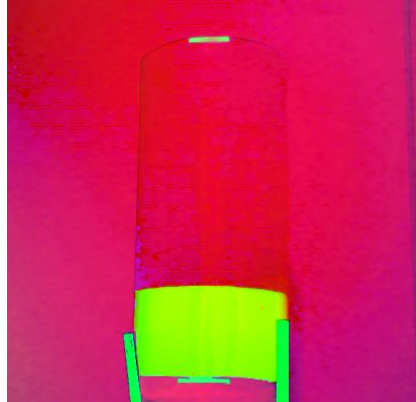


Figura. 36 Imágen en espacio de color (HSV), umbralizada con zona de interés [autor].

Se obtiene una imagen binaria cuya zona de interés estará de color blanco y representará la región de interés donde se alojará la presencia de líquido o marcadores azules para así calcular la distancia entre estos objetos como se discute en la sección 3.5.4, y en color negro la región que no interesa (Figura 37).

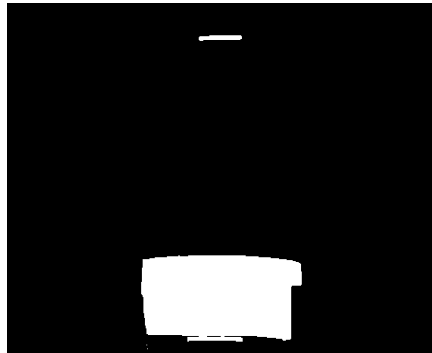


Figura. 37 Imágen filtrada para encontrar contornos, zona de interés [autor].

Se detectan los contornos presentes filtrados en (Figura 37) para seleccionar los dos contornos más grandes (Asumiendo que estos contornos corresponden a los marcadores azules, o al marcador azul y el nivel de líquido presente en el tanque), se tiene en cuenta los dos contornos seleccionados, y de cada uno de ellos se extraen las coordenadas x, y ancho y alto del contorno con ayuda de cv2.boundingRect. Estos datos permiten dibujar un rectángulo que rodeará a cada contorno (Figura 38) y así almacenar los puntos encontrados (x, y ancho y alto) para medir la distancia entre objetos.



3.5.4 Medición de distancia entre objetos

Para poder hacer la relación entre píxeles - centímetros se debe conocer el objeto que se encuentre arriba y abajo, de este modo se conoce cuánto están separados entre sí. No sabiendo cuál de ellos está hacia arriba y hacia abajo, se debe comparar sus coordenadas en el eje Y.

En esta condición puede existir dos escenarios:

Escenario 1: El contorno con y1 es menor, es decir está a la izquierda, mientras que a y2 a esta hacia arriba. Entonces se aplica la diferencia entre el punto más alejado (y2) y el punto del primer contorno (y1+h1).

Escenario 1: El contorno con y2 es menor, es decir está a la izquierda, mientras que a y1 está hacia abajo. Entonces se aplica la diferencia entre el punto más alejado (y1) y el punto del segundo contorno (y2+h2).

Al realizar una regla de tres, con la información del ancho de la imagen capturada y el de la imagen, además de la distancia en Y obtenida en distancia correspondiente a píxeles y la distancia real medida entre los marcadores en el tanque.

$$720 \text{ píxeles} \leftrightarrow 29.7 \text{ cm}$$

$$\text{distancia píxeles} \leftrightarrow ?$$

$$\text{distancia}_{cm} = \frac{(\text{distancia_píxeles})(29.7 \text{ Cm})}{720 \text{ Píxeles}}$$

Una vez calculada la distancia en centímetros se dibujó una línea vertical (Figura 38), con la ayuda de las coordenadas encontradas que cubre dicha distancia entre los objetos encontrados, (Asumiendo que estos contornos corresponden a los marcadores azules, o al marcador azul y el nivel de líquido presente en el tanque), el mismo procedimiento aplica al escenario 2 con la diferencia que ahora Y2 será menor a Y1, es decir que Y2 corresponde al contorno de arriba y Y1 al contorno de abajo.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**

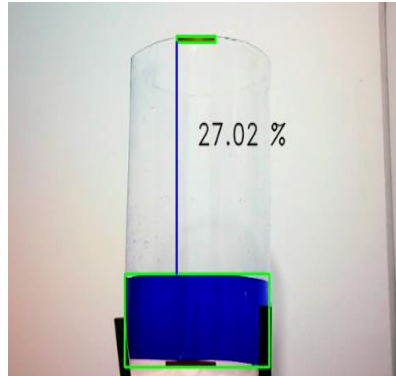


Figura. 38 Imagen con detección de líquido y medición del porcentaje de nivel [autor].

3.5.5 Control de nivel

Para controlar el estado de la válvula que funciona de 4mA - 20mA fue necesario el uso de un conversor módulo A228 de voltaje a corriente, sabiendo que los puertos de salida digital del sistema embebido entregan 3.3 V y el módulo funciona de 0V - 10 V se implementó un circuito amplificador no inversor de voltaje con ganancia retroalimentada de 3 (Figura 39), con el fin de elevar este voltaje el rango de 0V - 10 V, donde la válvula estará apagada cuando el demodulo suministre 4mA y encendida cuando entregue 20mA.

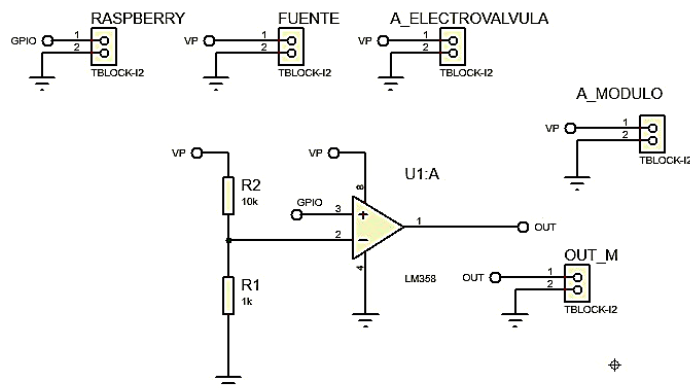


Figura. 39 Esquemático circuito de amplificación diseñado [autor].

El voltaje de salida en alto del sistema embebido solo proporciona una salida de 3,3 voltios además que debido a que se puede controlar la activación y desactivación del puerto de

salida digital del sistema embebido, pero la activación de esta salida es netamente una salida de voltaje por ello se diseñó el siguiente circuito de amplificación (Figura 39), se conectó la salida con la entrada del convertidor de voltaje a corriente el módulo A228.

El diagrama de conexionado de la válvula de bola se muestra en la tabla 10 donde:

Pin	Conexionado
RD (cable rojo)	A la fuente de alimentación del circuito de amplificación es decir 12V de corriente directa.
BK (cable negro)	A (gnd) la tierra del circuito de amplificación.
GR (cable verde)	Con la salida del módulo A228 posición de entrada +, controla la corriente +/- control de voltaje +(4-20Ma, 0-5V, 0-10V) polo positivo.
WT (cable blanco)	Con señal común de entrada y salida de señal negativa.
YW (cable amarillo)	no se conecta porque no es necesario una salida de corriente de referencia.
Resistencia de carga, RL	Cuando la señal de salida esta activa 4-20 mA, es el voltaje de potencia de entrada por ello utilizamos una resistencia de 600Ω.

Tabla 10 conexionado de cada pin de la válvula [18].

En la Figura 40, se muestra el conexionado interno de la válvula de bola, notesé como GR es la conexión a control de giro del motor interno para dar paso al flujo de agua.

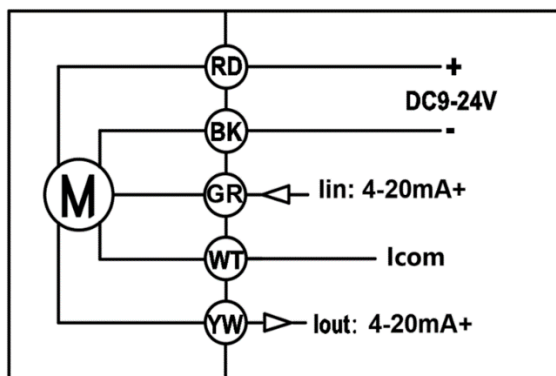


Figura. 40 Diagrama de conexionado de válvula de bola DN-10 [18]



CAPITULO IV RESULTADOS

4.1 Resumen

En esta sección se mostrarán los resultados de entrenamiento de la red neuronal convolucional entrenada, además las métricas de desempeño de la red como el aprendizaje al transcurso de las épocas, las imágenes una vez aplicado el procesamiento de imágenes para detectar el porcentaje de nivel y finalmente el diseño de la interfaz programada capturando imágenes en tiempo real, para validar la funcionabilidad de la red neuronal convolucional desde la raspberry pi4, así como los botones de interacción entre el usuario y la interfaz para el control de la válvula de control con un nivel de referencia ingresado desde la interfaz.

Además, se presenta el aplicativo web desarrollado para que el lector pueda consultar la base de datos de imágenes capturada, el acceso al cuaderno propuesto en Google colab donde se creó el modelo de red neuronal y el entrenamiento de la red, y links de contacto con el autor.

4.2 Sistema de inteligencia artificial

El sistema está constituido con una red neuronal convolucional entrenada en una máquina virtual, en las siguientes secciones se discuten las métricas de aprendizaje, el aprendizaje al transcurso de las épocas; esta red creada fue entrenada por dos tipos de base de datos, una con las imágenes capturadas por el sistema embebido desde su cámara, y se presentan las métricas de desempeño de la red neuronal, y entrenada con las imágenes capturadas desde la cámara webcam USB, se explica la elección del tipo de red neuronal entrenada, además se muestra la respuesta de cada red a nuevas imágenes comparadas y finalmente se aborda la predicción de la red en tiempo real con imágenes capturadas desde la interfaz. Para conocer la precisión con la que la red fue entrenada se acude a la función tensorboard, función que permite visualizar las métricas de desempeño, muestra gráficas del aprendizaje de la red al transcurrir las épocas y la precisión del modelo al finalizar el entrenamiento, se guardan los datos en el directorio para lanzar la aplicación desde Google colab.

4.2.1 Métricas de aprendizaje Red neuronal Convolutacional con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberry pi4

La base de datos 1, está constituida con 100 imágenes de cada tipo de nivel, y cada tipo de nivel contiene cantidad de imágenes simétrica, se eligen 90 imágenes de cada tipo de nivel como imágenes de entrenamiento, y 10 imágenes de cada tipo de nivel como imágenes de validación para entrenar la red neuronal convolutacional creada.

Los resultados de precisión al transcurso de las épocas se pueden ver en la (Figura 41), al principio el porcentaje de acierto en clasificación era casi menor al 50%, y como después de la época 15, mejoró el porcentaje de precisión por encima del 95%, lo cual hace una red eficiente a la hora de comparar nuevas imágenes, a pesar de ello esta red no fue la exportada al sistema embebido.

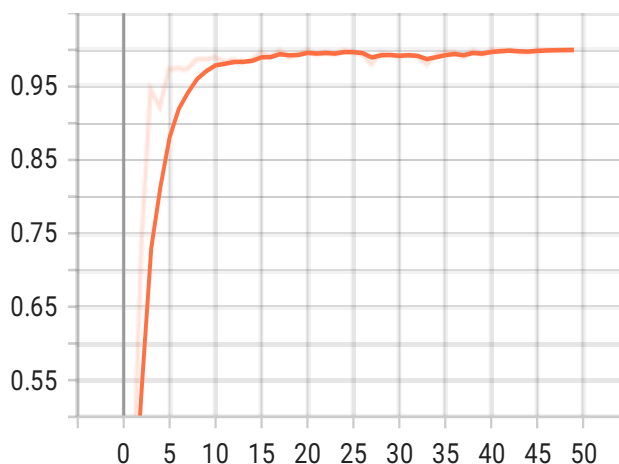


Figura. 41 Métricas de precisión Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberry pi4 [autor].

En la Figura 42 se puede apreciar la función de pérdida de la red al transcurso de las épocas, nótese como al principio la función de pérdida era muy alta, y una vez transcurridas las

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



primeras 15 épocas la red disminuía la función de pérdida en efecto un aprendizaje automático capaz de diferenciar las imágenes de cada tipo de nivel.

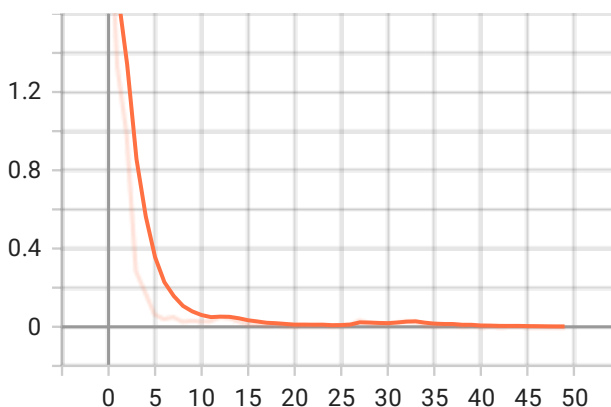


Figura. 42 Métricas de pérdida Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberrypi4 [autor].

4.2.2 Métricas de aprendizaje Red neuronal Convolutacional con imágenes capturadas desde la cámara webcam USB.

La base de datos 2, está constituida con 100 imágenes de cada tipo de nivel, y cada tipo de nivel contiene cantidad de imágenes simétrica, se eligen 90 imágenes de cada tipo de nivel como imágenes de entrenamiento, y 10 imágenes de cada tipo de nivel como imágenes de validación para entrenar la red neuronal convolutacional creada.

Los resultados de precisión al transcurso de las épocas se aprecian en la (Figura 43), nótese como al principio el porcentaje de acierto en clasificación era casi menor al 82%, y como después de la época 15, mejoró el porcentaje de precisión por encima del 98%, lo cual hace una red bastante decente a la hora de comparar nuevas imágenes, este modelo de red neuronal fue elegido, descargado, y exportado al directorio principal del sistema embebido debido a su alta precisión, para distinguir, clasificar imágenes, otra razón fundamental por el que fue escogida esta red es que fue más rápida para lograr alcanzar un porcentaje de acierto, en la época 10, esto la hace una red que aprende rápido y con muy alto desempeño.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz

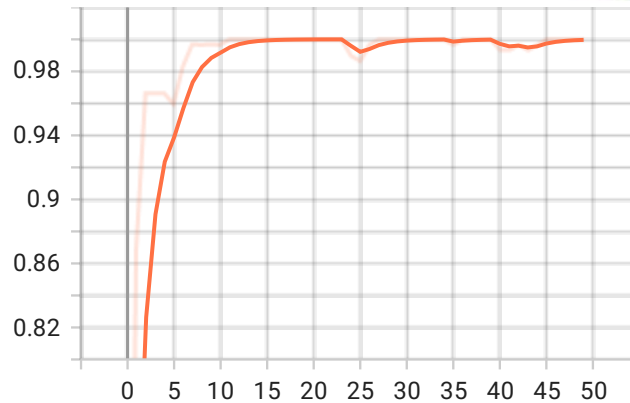


Figura. 43 Métricas de precisión Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara usb [autor].

En la (Figura 44) se puede apreciar la función de pérdida de la red al transcurso de las épocas, nótese como al principio la función de pérdida era muy alta, superior al 80% y una vez transcurridas las primeras 10 épocas la red disminuía la función de pérdida en efecto a un factor menor del 2%, un aprendizaje automático rápido capaz de diferenciar las imágenes de cada tipo de nivel con una tasa de función de pérdida acelerado, allí reside la principal ventaja del uso de redes neuronales convolucionales en la clasificación de imágenes, y su usabilidad en la automatización industrial.

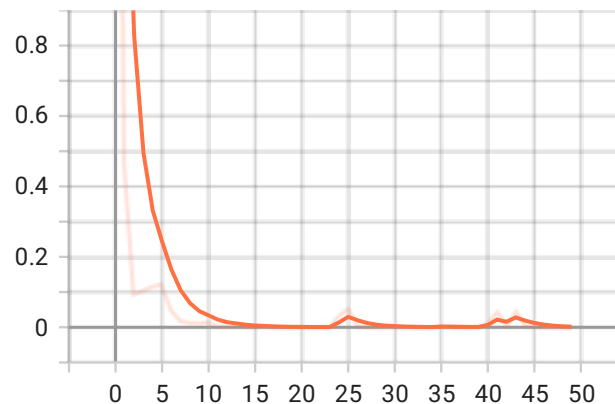
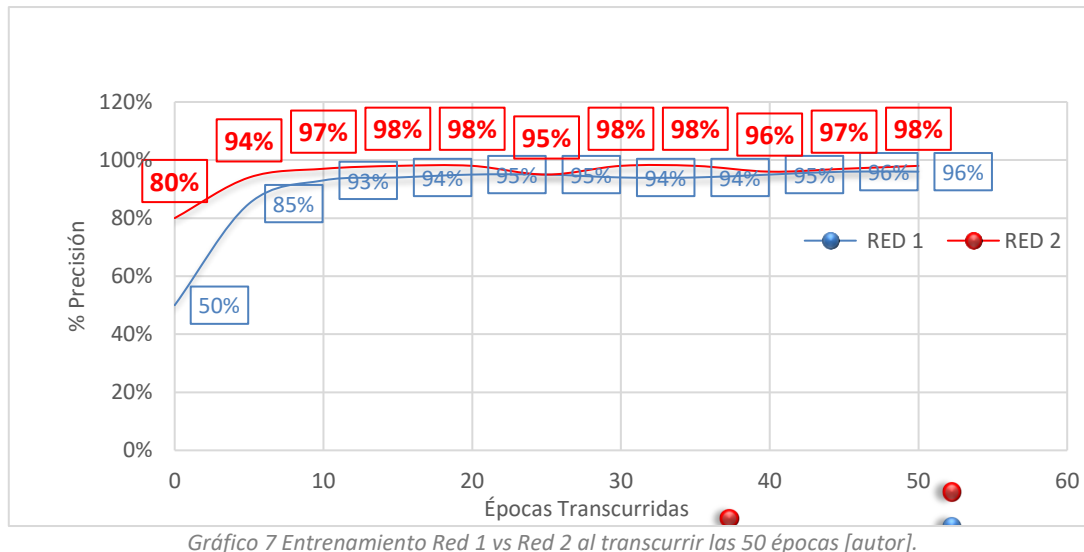


Figura. 44 Métricas de pérdida Red entrenada con imágenes capturadas desde la cámara de la raspberry4 [autor].

4.2.3 Elección de la Red Neuronal

En el gráfico 7 se muestran las métricas de desempeño de la red entrenada con la base de datos 1, y las métricas de desempeño de la red entrenada con la base de datos 2, se tomó la red entrenada con la base de datos 2, porque fue la que más porcentaje de clasificación alcanzó, al finalizar la red 2 entrenada con la base de datos 2, obtuvo un porcentaje de clasificación en la fase de entrenamiento superior al 98%.



4.2.4 Validación de nuevas imágenes

Finalmente, para la última etapa del sistema de identificación del nivel de líquido en el tanque del prototipo, se guardó el modelo y los pesos en la biblioteca de trabajo, luego se cargó el modelo entrenado y sus pesos en Google colab, con el fin de dar validación desde su entorno de trabajo para adaptarlo y cargarlo desde la interfaz para capturar nuevas imágenes y validar el funcionamiento de la red neuronal con nuevas imágenes para inspeccionar el nivel de líquido presente en el tanque. En la tabla 11, se puede apreciar la detección de nuevas imágenes con su etiqueta de nivel detectado, la validación de estas imágenes corresponde a las capturadas por la cámara y procesadas desde el sistema embebido.

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz

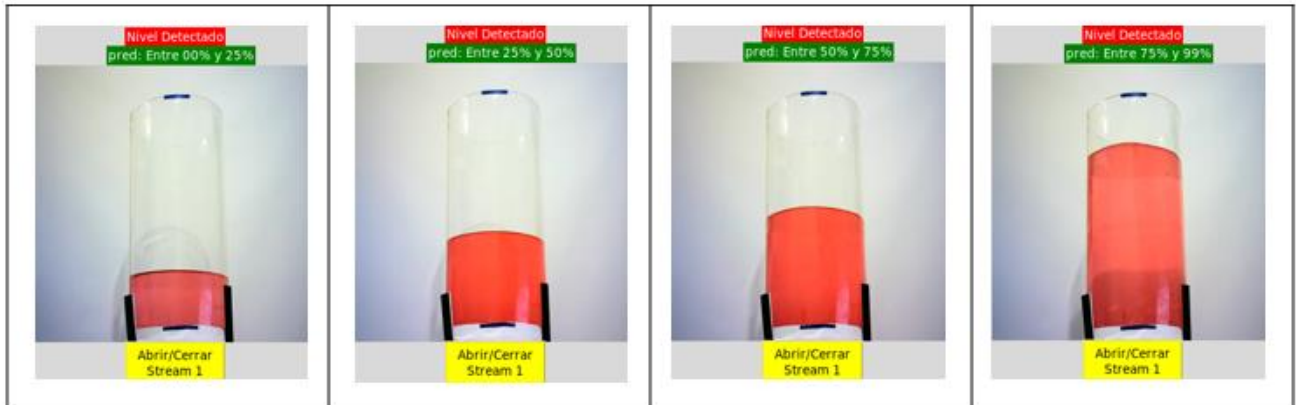


Tabla 11 Comparación de nuevas imágenes en cada una de las redes neuronales entrenadas [autor].

4.2.5 Entrenamiento de la red Neuronal con imágenes capturadas desde la cámara webcam

```
Epoch 1/50
10/10 [=====] - 12s 424ms/step - loss: 3.4787 - accuracy: 0.3658 - val
Epoch 2/50
10/10 [=====] - 3s 263ms/step - loss: 0.4610 - accuracy: 0.8691
Epoch 3/50
10/10 [=====] - 3s 290ms/step - loss: 0.0946 - accuracy: 0.9664
Epoch 4/50
10/10 [=====] - 3s 280ms/step - loss: 0.1048 - accuracy: 0.9664
Epoch 5/50
10/10 [=====] - 3s 260ms/step - loss: 0.1169 - accuracy: 0.9664
Epoch 6/50
10/10 [=====] - 3s 262ms/step - loss: 0.1222 - accuracy: 0.9597
Epoch 7/50
10/10 [=====] - 3s 264ms/step - loss: 0.0506 - accuracy: 0.9832
Epoch 8/50
10/10 [=====] - 3s 287ms/step - loss: 0.0190 - accuracy: 0.9969
Epoch 9/50
10/10 [=====] - 3s 263ms/step - loss: 0.0146 - accuracy: 0.9966
Epoch 10/50
10/10 [=====] - 3s 287ms/step - loss: 0.0120 - accuracy: 0.9969
Epoch 11/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 0.0157 - accuracy: 0.9966
Epoch 12/50
10/10 [=====] - 3s 264ms/step - loss: 0.0038 - accuracy: 1.0000
Epoch 13/50
10/10 [=====] - 3s 265ms/step - loss: 0.0036 - accuracy: 1.0000
Epoch 14/50
10/10 [=====] - 3s 288ms/step - loss: 0.0055 - accuracy: 1.0000
Epoch 15/50
10/10 [=====] - 3s 264ms/step - loss: 0.0018 - accuracy: 1.0000
Epoch 16/50
10/10 [=====] - 3s 268ms/step - loss: 0.0016 - accuracy: 1.0000
Epoch 17/50
10/10 [=====] - 3s 270ms/step - loss: 0.0023 - accuracy: 1.0000
Epoch 18/50
10/10 [=====] - 4s 363ms/step - loss: 5.6980e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 19/50
10/10 [=====] - 3s 268ms/step - loss: 6.0522e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 20/50
10/10 [=====] - 4s 350ms/step - loss: 3.9288e-04 - accuracy: 1.0000
```

Figura. 45 Métricas de precisión desde la época 1 hasta la época 20 [autor].

```

Epoch 21/50
10/10 [=====] - 3s 264ms/step - loss: 5.7972e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 22/50
10/10 [=====] - 3s 265ms/step - loss: 4.4447e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 23/50
10/10 [=====] - 3s 263ms/step - loss: 3.4148e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 24/50
10/10 [=====] - 3s 269ms/step - loss: 8.2528e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 25/50
10/10 [=====] - 3s 263ms/step - loss: 0.0333 - accuracy: 0.9899
Epoch 26/50
10/10 [=====] - 3s 266ms/step - loss: 0.0534 - accuracy: 0.9866
Epoch 27/50
10/10 [=====] - 3s 262ms/step - loss: 0.0055 - accuracy: 0.9966
Epoch 28/50
10/10 [=====] - 3s 268ms/step - loss: 0.0011 - accuracy: 1.0000
Epoch 29/50
10/10 [=====] - 3s 274ms/step - loss: 4.1796e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 30/50
10/10 [=====] - 3s 263ms/step - loss: 6.1443e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 31/50
10/10 [=====] - 3s 267ms/step - loss: 0.0011 - accuracy: 1.0000
Epoch 32/50
10/10 [=====] - 3s 268ms/step - loss: 5.1260e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 33/50
10/10 [=====] - 3s 268ms/step - loss: 5.8228e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 34/50
10/10 [=====] - 3s 269ms/step - loss: 1.7891e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 35/50
10/10 [=====] - 3s 287ms/step - loss: 2.5035e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 36/50
10/10 [=====] - 3s 264ms/step - loss: 0.0044 - accuracy: 0.9966
Epoch 37/50
10/10 [=====] - 3s 260ms/step - loss: 0.0017 - accuracy: 1.0000
Epoch 38/50
10/10 [=====] - 3s 267ms/step - loss: 7.1558e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 39/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 2.4777e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 40/50
10/10 [=====] - 3s 263ms/step - loss: 0.0012 - accuracy: 1.0000

```

Figura. 46 Métricas de precisión desde la época 21 hasta la época 40 [autor].

```

Epoch 41/50
10/10 [=====] - 3s 295ms/step - loss: 0.0149 - accuracy: 0.9933
Epoch 42/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 0.0446 - accuracy: 0.9933
Epoch 43/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 0.0062 - accuracy: 0.9966
Epoch 44/50
10/10 [=====] - 3s 262ms/step - loss: 0.0463 - accuracy: 0.9933
Epoch 45/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 0.0058 - accuracy: 0.9966
Epoch 46/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 0.0024 - accuracy: 1.0000
Epoch 47/50
10/10 [=====] - 3s 258ms/step - loss: 6.1852e-04 - accuracy: 1.0000
Epoch 48/50
10/10 [=====] - 3s 261ms/step - loss: 8.7541e-05 - accuracy: 1.0000
Epoch 49/50
10/10 [=====] - 3s 262ms/step - loss: 1.4322e-05 - accuracy: 1.0000
Epoch 50/50
10/10 [=====] - 3s 282ms/step - loss: 2.2299e-05 - accuracy: 1.0000

```

✓ 3 min 32 s completado a las 18:39

Figura. 47 Métricas de precisión desde la época 41 hasta la época 50 [autor].

En las (Figuras 45-47), se muestran los resultados de la función de pérdida, y precisión al transcurso de las épocas para la red entrenada con las imágenes capturadas desde la webcam es decir la base de datos 2, en este caso 50 épocas fueron suficientes para alcanzar un porcentaje de acierto mayor al 98%, y el entrenamiento se puede apreciar al final de la (Figura 47), fueron suficientes tres minutos y treinta y dos segundos (3 min, 32 S), para tener una red entrenada.

4.2.6 Parámetros de la sesión activa en Google Colab

Al momento de conectar con Google colab, la sesión (Figura 48), proporciona hardware que son utilizados a lo largo del entrenamiento de la red, en la figura se puede apreciar la memoria RAM utilizada, y la capacidad de la tarjeta gráfica utilizada, en este caso

corresponde a 3.05 GB de memoria utilizada, y 7.84 GB de tarjeta gráfica utilizada, es importante destacar que una vez que cada celda se ejecuta la sesión aguarda un momento para esperar que el usuario ejecute otra celda, si pasado un tiempo el usuario no ejecuta celdas, la sesión se desconecta y se pierde toda la información tratada, el usuario cuenta con una disponibilidad de 12 horas para hacer uso de la sesión, esto si es el caso de acceso con una cuenta gratuita de Google.

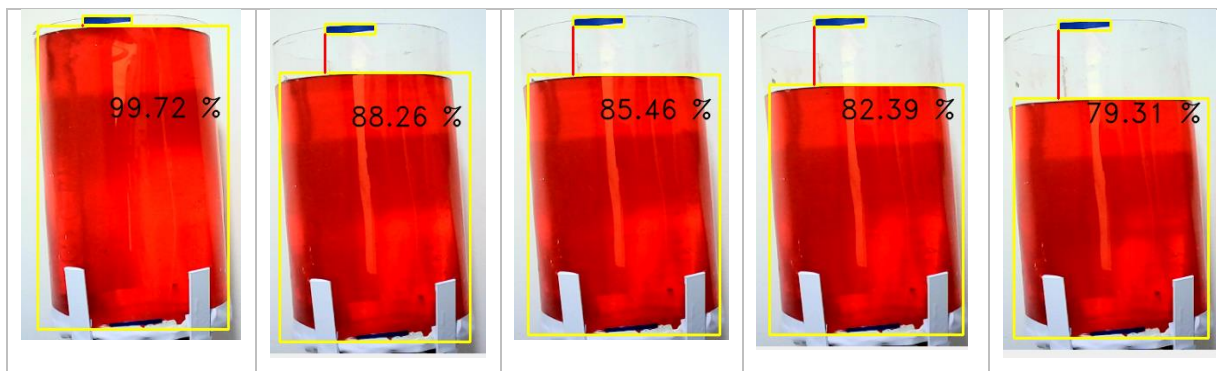
Sesiones activas

Título	Última ejecución	RAM usada	GPU usada	
 red_neuronal_4niveles_llenado.ipynb Sesión actual	GPU	hace 0 minutos	3.05 GB	7.84 GB FINALIZAR

Figura. 48 Datos de sesión activa en Google Colab [autor].

4.3 Detección del porcentaje de nivel con visión artificial

A continuación, se muestra la medición de diferentes porcentajes de nivel de líquido (Tabla 12), presente en el tanque del prototipo, donde se dibuja un rectángulo en la zona donde se aloja un contorno, sobre la imagen capturada, y una línea vertical limitada por las coordenadas donde inicia el contorno hasta donde termina el contorno, así se valida el sistema de detección de nivel de porcentaje basado en técnicas de visión artificial para proporcionar una información en pantalla a través de la interfaz creada para el usuario mediante la cual puede interactuar con el sistema.



Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz

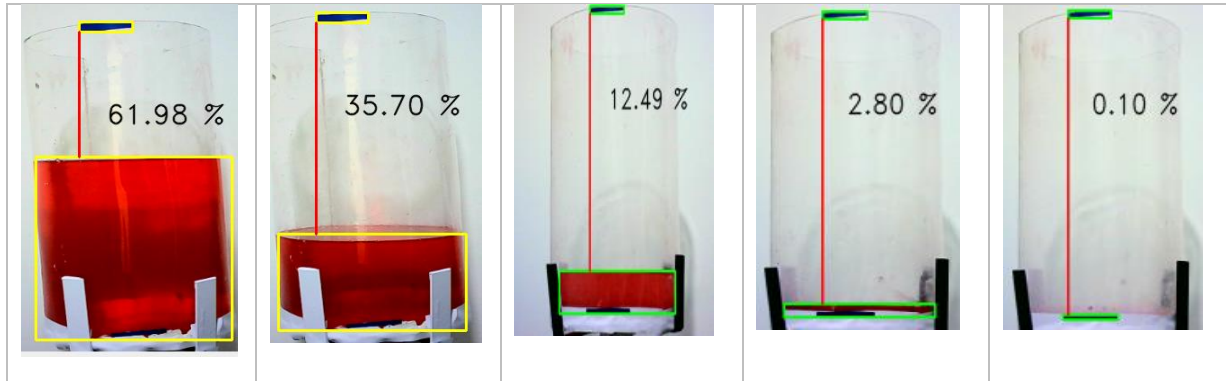


Tabla 12 Medición porcentual de diferentes niveles de líquido [autor].

4.4 Lazo de control implementado

En el gráfico 8 se muestra el diagrama del sistema de control en lazo cerrado, con un punto de establecimiento del 50% del líquido, el punto de bifurcación para la retroalimentación de la señal de error, el conexionado al actuador, en este caso la válvula cuando permanece activa deja entrar agua al tanque, la planta de control correspondiente al tanque y la salida con el nivel de líquido medido que se sensa mediante una cámara usb y el sistema embebido se encarga de calcular el porcentaje de nivel de líquido presente en la planta, para retroalimentarse al punto de bifurcación, y obtener finalmente un tipo de control on-off.

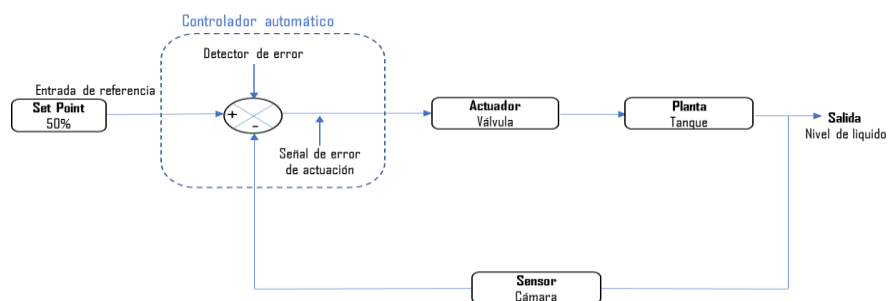


Gráfico 8 Lazo de control cerrado retroalimentado implementado [autor].

4.4.1 Controlador On-Off implementado

En la figura 49 se muestra el controlador on-off retroalimentado implementado con una ganancia de 50, véase como una vez alcanza la ganancia de 50 permanece con pequeñas variaciones en el tiempo, a comparación de los controladores calculados, el sistema

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



presenta una buena respuesta, es importante aclarar que el tiempo que tardó en alcanzar el porcentaje de nivel del 50% fue de 5 minutos.

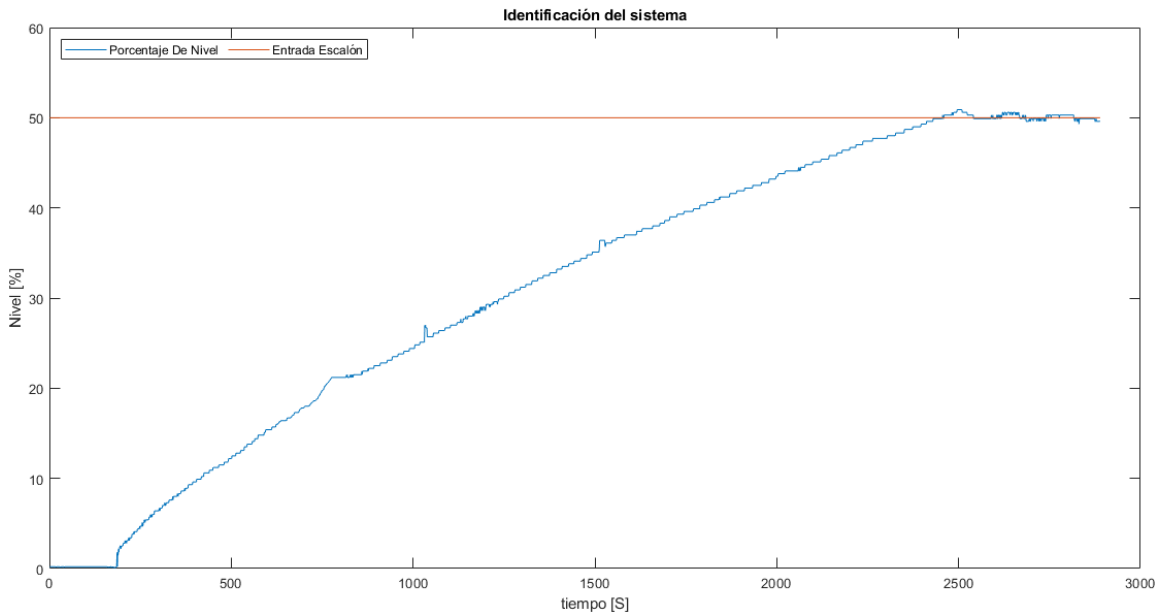


Figura. 49 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].

4.5 Controladores P, PI, PID.

En la figura 50 se puede apreciar la simulación de un controlador proporcional mediante simulink en matlab, nótese como el sistema oscila, pero no alcanza el nivel de porcentaje requerido, es decir la ganancia de escalón de 50, por lo tanto, no es un controlador óptimo para aplicar, porque el sistema nunca alcanzó la ganancia requerida.

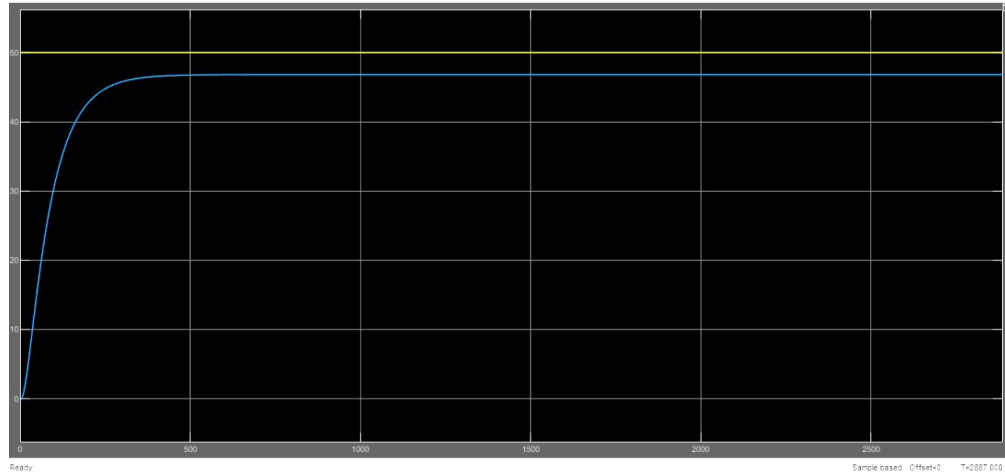


Figura. 50 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].

En la figura 51 se puede apreciar la simulación de un controlador proporcional integral (PI) mediante simulink en matlab, nótese como el sistema oscila de forma abrupta, y no logra estabilizarse en el tiempo, por lo tanto, no es un controlador óptimo para aplicar, porque el sistema oscilará abruptamente y no logra estabilizarse.

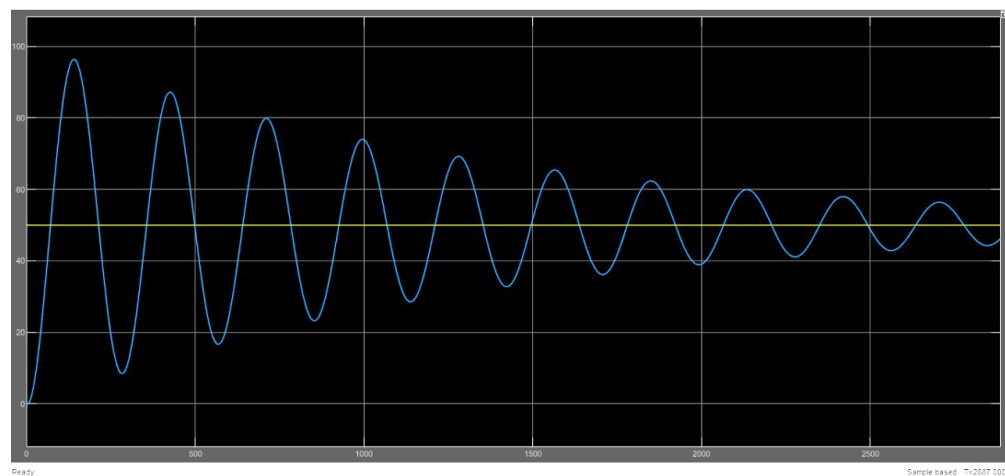


Figura. 51 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].

En la figura 52 se puede apreciar la simulación de un controlador proporcional integral derivativo (PID), mediante simulink en matlab, nótese como el sistema oscila una sola vez, y no logra estabilizarse en un tiempo muy corto, sin embargo, esa oscilación abrupta puede dañar la válvula, es por ello que no lo hace controlador óptimo para aplicar, aunque el sistema se estabiliza en un periodo de tiempo corto, sin oscilaciones abruptas considerables.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz

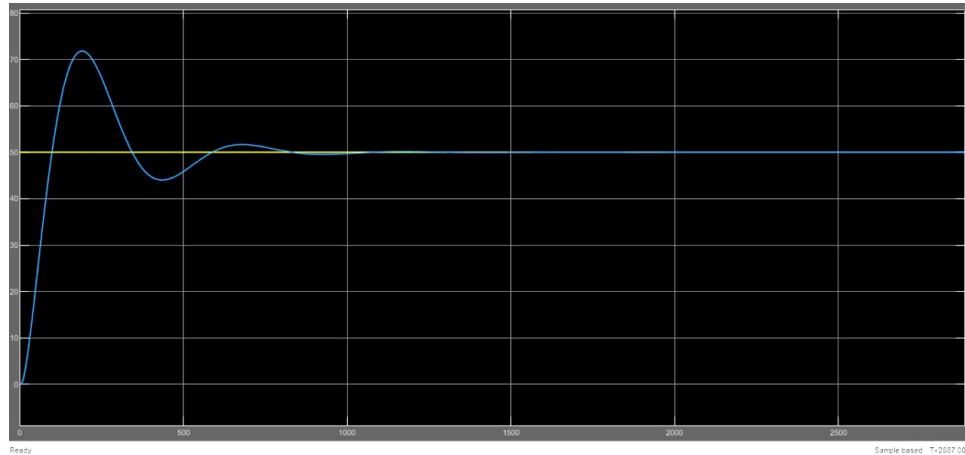


Figura. 52 Respuesta Controlador On-Off Implementado [autor].

4.6 Interfaz Gráfica

A continuación, se muestra la interfaz de usuario gráfica (Figura 53), propuesta para la evaluación de nuevas imágenes mediante la red neuronal, la detección de nivel mediante visión artificial y botones para el control de encendido y apagado de la red neuronal, es importante aclarar que la interfaz fue programada en Python y además cuenta con la posibilidad de agregar un porcentaje según lo requiera el usuario, esta interfaz esta ejecutada en sincronía con el modelo de red neuronal convolucional seleccionada, y desde donde se puede inspeccionar el nivel de llenado y el porcentaje de nivel con captura de imágenes en tiempo real.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



Figura. 53 interfaz de usuario creada [autor].

4.7 Circuito electrónico

En la Figura 54, se muestra el sistema embebido junto a las conexiones del circuito electrónico diseñado para amplificación de señal, y conexionado al módulo para controlar el estado de una electroválvula.



Figura. 54 sistema embebido y circuito electrónico [autor].

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



4.8 Página web desarrollada

Para la creación de la página web fue necesario implementar HTML para su maquetación, CSS para dar estilos y JavaScript para funcionalidad, cuenta con un menú interactivo donde el usuario encontrará un inicio, resumen del proyecto, objetivos, los resultados que se obtuvieron, conclusiones y finalmente un apartado de anexos donde estará alojada la base de datos utilizada y el libro final del proyecto.



Figura. 55 página web diseñada, publicada en línea [autor].



CAPITULO V CONCLUSIONES

- Se implementó un control de nivel de líquido on-off, debido a que la respuesta del controlador no era oscilatoria, y no cambiaba abruptamente como se apreció con otro tipo de controladores, el controlador implementado en lazo cerrado retroalimentado alcanza su punto de establecimiento sin variaciones abruptas en la respuesta, el controlador proporcional nunca alcanzó la ganancia establecida por lo que no lo hace un controlador aplicable, el controlador simulado proporcional integral presentó oscilaciones abruptas que no permiten la implementación, por otro lado el controlador proporcional integral derivativo, alcanza la respuesta transitoria, pero no fue posible su implementación debido a una oscilación abrupta al comienzo, un punto a favor de este controlador es su tiempo de establecimiento menor a todos los controladores considerados, la implementación del controlador on-off simple es visualizado mediante una interfaz gráfica, y se procedió a realizar un procesamiento de imágenes a través de una herramienta de visión artificial en el sistema embebido utilizando OpenCv.
- Se aplicaron técnicas de procesamiento de imágenes capturadas mediante dos bases de datos simétricas, estas técnicas modernas permitieron la medición porcentual del nivel de líquido y a la vez la implementación de una red neuronal convolucional que fue capaz de identificar múltiples niveles de líquido, se describen las métricas de desempeño; la red neuronal propuesta alcanzó un porcentaje de clasificación mayor al 98%, lo cual la hace una red ideal, con un entrenamiento iterativo, liviana, esta red fue entrenada con imágenes capturadas desde la cámara webcam USB, y desde la cámara oficial del sistema embebido, es importante aclarar que la cámara oficial contaba con led infrarrojos, sin embargo no alteraron el desempeño del sistema porque una técnica de cambio de espacio de color fue el pilar para evitar considerar ese factor de incertidumbre.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo país en paz



- Se seleccionó la Red neuronal convolucional entrenada alimentadas con imágenes capturadas desde la webcam, esta red mostró un porcentaje de precisión superior al 98% al finalizar el entrenamiento, a diferencia de la red entrenada por medio de la toma de datos desde la cámara oficial, esta alcanzó solamente un porcentaje del 96%, otro factor de decisión para elegir la red convolucional entrenada con data capturada desde la webcam fue la capacidad de lograr más rápido diferenciar entre las imágenes destinadas a entrenamiento, al transcurso de la época, esto es importante ya que al momento de capturar nuevas imágenes necesitamos entrenar una red y es de especial consideración si esta al transcurrir pocas épocas aprenda a clasificar más rápido.
- Se implementó el modelo de red neuronal previamente entrenada en los servicios gratuitos que ofrece Google Colab en la raspberry pi4, con la capacidad de clasificar imágenes capturadas mientras la interfaz muestra y actualiza el porcentaje de nivel, lo cual asegura un modelo de red neuronal convolucional eficiente, portátil, de rápido aprendizaje y una muy alta precisión, es de considerar además que la base de datos creada fue simétrica, sin embargo si existiese considerar una base de datos asimétrica, para entrenar el sistema la usabilidad de filtrado convolucional, la elección de funciones de activación porcentuales y el apilamiento en capas asegura una red capaz de aprender a diferenciar imágenes sin necesidad de una base de datos simétrica, este es el pilar fundamental de elección en sistemas de inteligencia artificial.
- Se desarrolló una interfaz gráfica programada en lenguaje Python con la finalidad de ofrecer información al usuario de acuerdo al nivel de líquido presente en el tanque, esta a su vez se ejecuta en la raspberry pi4 permitiendo inspeccionar el nivel porcentual de líquido con la posibilidad de ingresar un nivel de líquido requerido para controlar el encendido o apagado de la válvula y el tipo de nivel mediante la red neuronal, además esta interfaz permite actualizaciones y la muestra de datos secundarios como fecha de acceso, y la posibilidad de elegir un control manual mediante botones logrando controlar el encendido o apagado de la válvula.

TRABAJOS FUTUROS

Son muchas las posibles aplicaciones que puede tener un sistema de control de nivel de líquido por medio de visión artificial, en nuestro caso el lazo de control implementado es cerrado y retroalimentado sin embargo es un control on-off, en trabajos futuros se podría implementar un control Smith proporcional a la válvula, control on-off por histéresis, así como se muestra en (Gráfico 9), la interfaz puede diseñarse de forma dinámica y recibir datos desde la red con el internet de las cosas, comunicación de procesos industriales, la ventaja de la visión artificial permitir la medición de líquidos peligrosos, radioactivos por lo que además se puede continuar el proyecto en procesos industriales, procesos químicos entre otros.

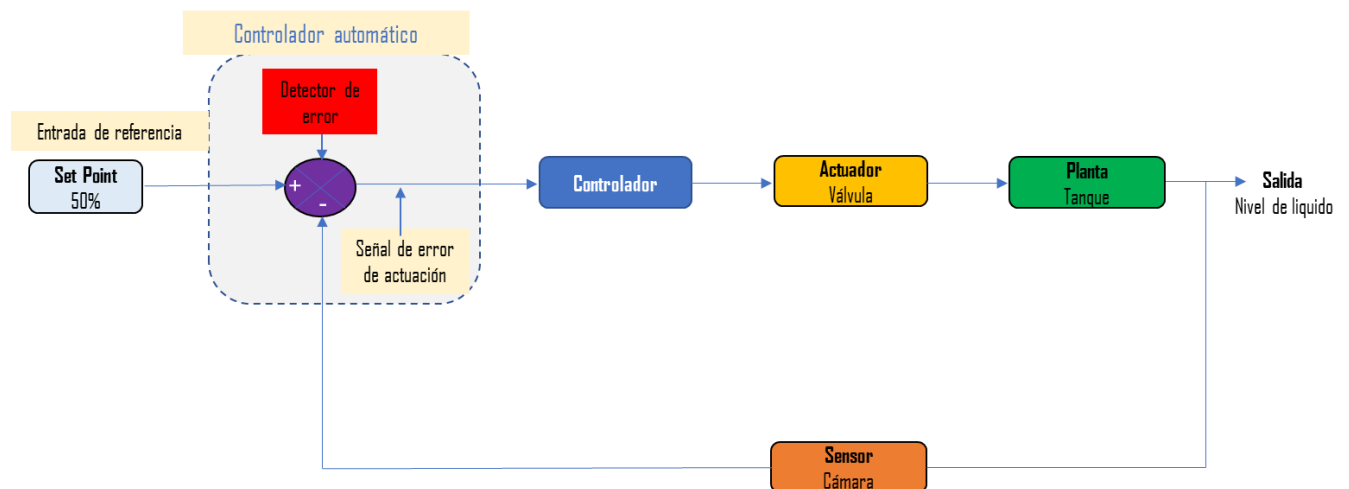


Gráfico 9 Lazo de control realimentado [autor].

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



PRESUPUESTO

Elemento	Costo en dólares
Kit raspberry pi 4 Gb, con fuente de alimentación, carcasa, ventilador.	\$ 300
Conexionado (Tuberías), Mangueras	\$ 50
Elementos de conexión	\$ 50
Válvula de bola DN-10	\$ 200
Sensor de cámara V2	\$ 100
Cámara webcam 1080P	\$ 30
Memoria Sd tipo Ultra Clase 10, A1 de 32 Gb	\$ 10
Módulo A228	\$ 10
Diseño PCB, Amp op no inversor	\$ 10
Fuente de alimentación externa de 12 V, 2.5 A	\$ 10
Caja protección MDF, tornillería	\$ 10
Costos Varios	\$ 30
Total	\$ 800

Tabla 13 Costos de implementación del proyecto [autor].



BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. E. Linares, R. Lauren, y G. Aristizabal, “Control de presión usando visión artificial a través de un Procesador Digital de Señales DSP”, 2017.
- [2] R. Abraham León León *et al.*, “Development of artificial vision system for quality control of bottles in the company Cartavio Rum Company”, 2019.
- [3] A. D. Torres, “Procesamiento digital de imágenes”, *Perfiles Educativos*, vol., núm. 72, p. undefined, 1996, Consultado: nov. 26, 2022. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13207206>
- [4] “7 aplicaciones de la visión artificial | ATRIA Innovation”. <https://www.atriainnovation.com/siete-aplicaciones-vision-artificial/> (consultado nov. 26, 2022).
- [5] P. Ponce Cruz, “Inteligencia Artificial. Con Aplicaciones a la Ingeniería”. [En línea]. Available: www.FreeLibros.me
- [6] M. Carrillo, “Visión artificial para verificar el nivel de llenado en el sistema de embotellado en el laboratorio de control y automatización de la facultad de ingeniería civil y mecánica.”, Ambato-Ecuador 2017.
- [7] “¿Qué es un Sistema de control? (lazo abierto y lazo cerrado)”. <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sistema-de-control/> (consultado nov. 26, 2022).
- [8] “Raspberry Pi 4 Modelo B - 4GB RAM - Electronilab”. <https://electronilab.co/tienda/raspberry-pi-4-modelo-b-4gb-ram/> (consultado nov. 26, 2022).
- [9] “RASPBERRY PI 4 4GB”. <https://tienda.tdrobotica.co/placas-boards-pantallas-cameras/1472-raspberry-pi-4-4gb.html> (consultado nov. 26, 2022).
- [10] O. Raspberry, “Operating system images – Raspberry Pi”. <https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/#raspberry-pi-os-64-bit> (consultado nov. 26, 2022).
- [11] Mogotocoro, O. “Clasificación de tumores cerebrales meningioma, glioma, pituitary a partir de imágenes de resonancia magnética mediante wavelet e inteligencia

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



artificial, ingeniería electrónica universidad de pamplona”, Tesis de Trabajo de Grado, Pamplona, 2022.

- [12] “Modelo: Pi Noir Cámara V2.”. <https://controler.mx/products/camara-raspberry-pi-noir-v2> (consultado nov. 26, 2022).
- [13] “Tresd Cámara Raspberry Pi Noir V2 8mp1080p Original Pi4 Pi3 | Envío gratis”. https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1328128645-tresd-camara-raspberry-pi-noir-v2-8mp1080p-original-pi4-pi3-_JM (consultado nov. 26, 2022).
- [14] “Qué son y cómo funcionan las cámaras web - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com”. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1285331> (consultado nov. 26, 2022).
- [15] “WEB CAM HD D2 - Jaltech SAS”. <https://jaltechsas.com/product/web-cam-hd-d2/> (consultado nov. 26, 2022).
- [16] “The Python Tutorial — Python 3.11.0 documentation”. <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html> (consultado nov. 26, 2022).
- [17] “Válvula de Bola de Gran Caudal, Serie GB | Válvulas de Bola”. <https://products.swagelok.com> (consultado nov. 26, 2022).
- [18] “DN8 25 válvula de bola Tipo V SS304 en forma de V, señal de entrada de 4 20mA, 0 5V, 0 10V, 1/4 1”|Válvula| - AliExpress”. <https://es.aliexpress.com/item/1005003432563994.html> (consultado nov. 26, 2022).
- [19] “MODULO CONVERSOR VOLTAGE A CORRIENTE (0-10 V A 4-20 mA)”. <https://industrialesandes.co/sensores/458-modulo-conversor-voltage-a-corriente-0-10-v-a-4-20-ma.html> (consultado nov. 26, 2022).
- [20] “Te damos la bienvenida a Colaboratory - Colaboratory”. <https://colab.research.google.com> (consultado nov. 26, 2022).
- [21] “Como empezar a analizar datos con Python usando Google Colab | by Gustavo Juantorena | Medium”. <https://gjuantorena.medium.com/como-empezar-a-analizar-datos-con-python-usando-google-colab-1e3cf68cba> (consultado nov. 26, 2022).
- [22] “HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto | MDN”. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML> (consultado nov. 26, 2022).

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



- [23] “CSS | MDN”. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/CSS> (consultado nov. 26, 2022).
- [24] “JavaScript | MDN”. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript> (consultado nov. 26, 2022).
- [25] Enrique. Pinto Bermúdez and Fernando. Matía Espada, *Fundamentos de control con MatLab*. Pearson Educación, 2010.
- [26] “1.5 Sistemas de control | Introducción a la Automatización Industrial.” https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html (accessed Dec. 17, 2022).
- [27] “Definicion Matlab.” <https://juancarlosusomatlab2015.weebly.com/definicion-matlab.html> (accessed Dec. 17, 2022).
- [28] “¿Qué Es Simulink? (de MathWorks).” <https://www.solvusoft.com/es/file-extensions/software/mathworks/simulink/> (accessed Dec. 17, 2022).
- [29] “Tanque de Nivel - Modelo Matemático, Simulación y Control.” <https://controlautomaticoeducacion.com/analisis-de-sistemas/tanque-nivel/> (accessed Dec. 17, 2022).
- [30] “Método de Ziegler-Nichols - Control Automático - Picuino.” <https://www.picuino.com/es/control-ziegler-nichols.html> (accessed Dec. 17, 2022).

ANEXOS

1. Configuración inicial Raspberry pi4

Una de las principales características técnicas de la raspberry pi4 es la arquitectura del procesador de 64 Bits, una vez conectada a una pantalla HDMI y con la imagen del sistema operativo almacenado en la tarjeta microSD podemos conectar periféricos de entrada como mouse y teclado para activar un nuevo usuario en la interfaz que se lanza una vez encendido por primera vez el sistema embebido, seguido conectamos la tarjeta a una red de wifi, o podemos conectar al Router mediante cable ethernet para actualización de sistema operativo o la instalación de nuevos paquetes, sin embargo es recomendable activar los protocolos de comunicación (figura 38), el puerto serial, el puerto consola, los puertos de propósito general y el lanzador de la cámara USB, como se describe a continuación.

1.1 Configuración de usuario para acceso



Figura. 56 creación de nuevo usuario para acceso a escritorio [autor].

Por defecto el usuario es “pi”, y la contraseña de acceso por defecto es “raspberry”, (Figura 56); en nuestro caso creamos un usuario con acceso a todos los directorios, y con permisos para la instalación de paquetes como superusuario “root”. Seguido desde la configuración de raspberry activamos las interfaces, así como se muestra a continuación.

1.2 Configuración de interfaces en Raspberry pi4

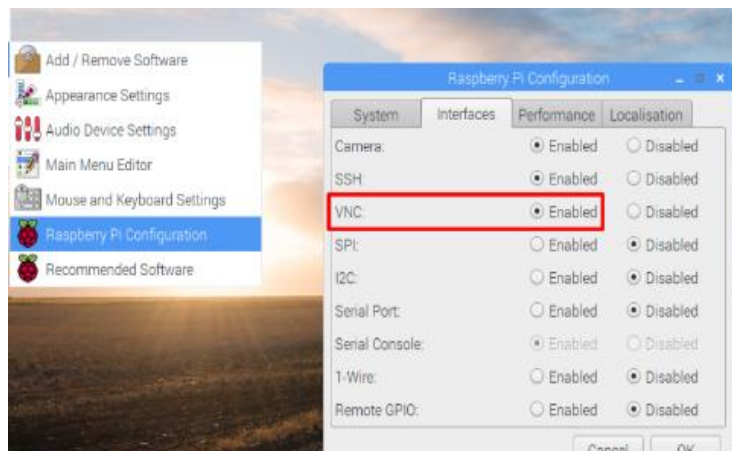


Figura. 57 Habilitación de interfaces en la raspberry pi4 [autor].

Desde el menú es posible acceder a configuración de interfaces para la habilitación “enabled”, (Figura 57), desde donde es posible activar la interfaz para la captura de imágenes mediante cámara USB, desde python3, la activación de secure Shell (ssh), para acceder a la interfaz de comandos y controlar la tarjeta mediante comandos de Linux sin necesidad de estar conectada a una pantalla HDMI, solo es necesario una conexión a una red de internet, la activación de virtual networking computing para el acceso a escritorio a través de un equipo remoto, al igual que en ssh es necesario una conexión a una red de área local mediante el equipo de acceso remoto y el sistema embebido y finalmente la activación de los puertos de entrada salida de propósito general. Una vez terminado el sistema requiere de un reinicio del sistema para aplicar los cambios efectuados.

Finalmente el sistema se reinicia y si existe una conexión de red, a través de wifi, o cable ethernet el servidor DHCP correspondiente al Router asignará una ip, está es requerida mediante el acceso a escritorio remoto multiplataforma, ya sea en Windows, mac o Linux y para completar el acceso al sistema embebido sin necesidad de una pantalla hdmi, se necesita de instalar un paquete encargado del envío de datos a través de escritorio remoto, para ello abrimos la terminal de comando y ejecutamos los siguientes comandos que instalarán Xrdp (protocolo de escritorio remoto de Microsoft).

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo apt install xrdp -y
```

Figura. 58 instalación de protocolo de comunicación escritorio remoto [autor].

2. Instalación de librerías Python en Raspberry pi4

Para instalar Python 3, junto con un entorno de desarrollo integrado sencillamente abrimos la interfaz de comandos y ejecutamos el siguiente comando.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo apt install ide-python3
```

Figura. 59 Instalación de entorno de desarrollo integrado python3 [autor].

Una vez ejecutado el comando anterior procedemos a verificar la versión de Python instalado en la raspberry pi4, con la ejecución del siguiente comando en la interfaz de comandos de la raspberry.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ python3 --version  
Python 3.9.2  
pi@pi:~ $
```

Figura. 60 Revisión de la version de python instalado [autor].

La versión de python3 instalada en el sistema embebido corresponde a la versión 3.9.2, Finalmente, se deben instalar los paquetes necesarios de Python, Paquetes de Inteligencia artificial, paquetes de manejo de puertos GPIO. Los paquetes necesarios para el desarrollo del sistema inteligente basado en redes neuronales artificiales, y la detección del porcentaje de nivel junto con el control de la electroválvula a través de la interfaz gráfica.



2.1 Paquete manejo de gráficos (Matplotlib)

Es una biblioteca compatible con Python 3; creada para la generación de gráficos bidimensionales alojados en listas o arreglos capaz de crear visualizaciones sobre gráficos, para instalar este paquete en la raspberry pi4 es necesario abrir la interfaz de comandos y ejecutar la siguiente línea de comandos.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo apt install python3-matplotlib
```

Figura. 61 Instalación de paquete matplotlib [autor].

2.2 Paquete de manejo de ficheros (Numpy)

Es una biblioteca que da soporte con el lenguaje de programación Python, para el manejo de vectores y matrices de gran tamaño multidimensionales al tanto que funciones matemáticas para instalar esta biblioteca en la raspberry pi es necesario abrir y ejecutar la siguiente línea en la interfaz de comandos.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo apt-get install python3-numpy
```

Figura. 62 instalación de paquete numpy [autor].

2.3 Paquete de visión artificial (Opencv)

OpenCV brinda soporte para diferentes sistemas operativos y diferentes arquitecturas de hardware, pero también proporciona un código fuente que un desarrollador puede compilar para cualquier sistema operativo y arquitectura específicos. (Open Computer Vision) no es un paquete exclusivo de Python, por lo que se debe tener cuidado al instalar este paquete porque la versión debe coincidir con la versión de python3 (Figura 63), OpenCv es una biblioteca libre de visión artificial desarrollada por Intel para instalar esta biblioteca en la raspberry pi es necesario abrir y ejecutar la siguiente línea en la interfaz de comandos.

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo pip3 install opencv-contrib-python==4.4.0.46
```

Figura. 63 instalación de paquete de visión artificial OpenCv [autor].

2.4 Paquete de creación de interfaz Gráfica (Tkinter)

Tkinter es un paquete desarrollado en colaboración de la biblioteca gráfica tcl/tk, considerada una herramienta de desarrollo de aplicaciones de escritorio multiplataforma, con ella podemos materializar la interacción entre el usuario y el programa, fue desarrollada para ser compatible con Python, para instalar esta biblioteca de desarrollo de aplicaciones de interfaz-usuario es necesario abrir y ejecutar la siguiente línea de comandos en la interfaz del sistema embebido.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo apt install python3-tk
```

Figura. 64 instalación de paquete de manejo de interfaz gráfica Tkinter [autor].

2.5 Paquete de acceso a puertos de propósito general (GPIO)

GPIO, (puertos de entrada y salida de propósito general), son puertos a los que se les pueden conectar sensores, actuadores, pueden ser activados mediante Python desde el sistema embebido, pueden ser activados o desactivados, para controlar los pines es necesario disponer de una librería que se instala una vez se ejecuta la siguiente línea de comandos en la interfaz.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~ $ sudo apt-get install python3-rpi.gpio
```

Figura. 65 instalación de paquete gestor de puertos GPIO [autor].

Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



- Para conocer la disposición de los puertos GPIO (Figura 66-67), se debe ejecutar la siguiente línea de comandos: “pinout”

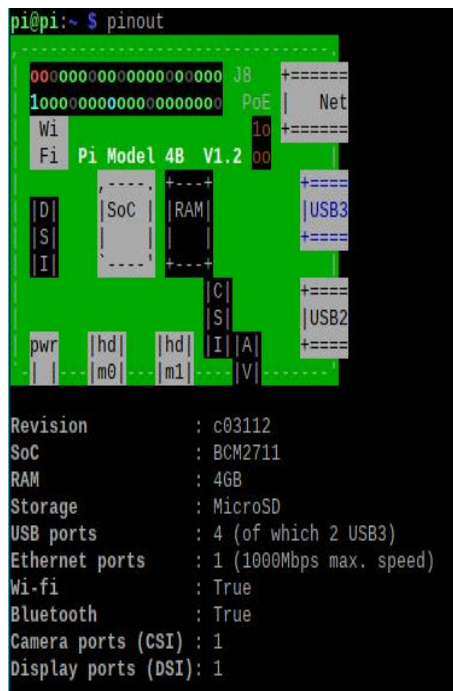


Figura. 66 Información física de los puertos GPIO en la Raspberry pi4 [autor].

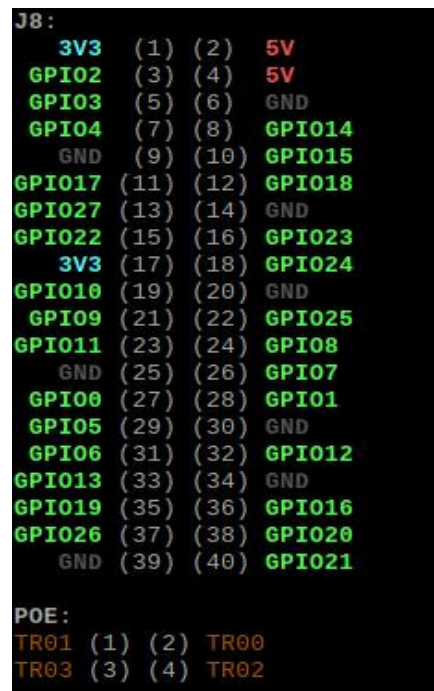


Figura. 67 Distribución Física de los puertos GPIO en la Raspberry pi4 [autor].

2.6 Paquete de aprendizaje automático, e inteligencia artificial (Tensorflow)

Es un sistema de computación numérica de código abierto proporcionado por Google cloud, con énfasis en aprendizaje profundo para crear aplicaciones de inteligencia artificial compatible con Google colab, y pensada para el uso desde Python, antes de instalar el paquete en la raspberry es necesario verificar la versión de Python (Figura 60) instalado en el sistema embebido ya que la versión de Python debe ser compatible con el paquete de tensorflow proporcionado, se puede clonar el repositorio desde github, para la instalación ejecutamos la siguiente línea de comandos en la interfaz de la raspberry pi4.



Figura. 68 instalación de paquete de computación numérica de aprendizaje profundo Tensorflow [autor]

Formando **líderes** para la construcción de un nuevo **país en paz**



Gdown proporciona la descarga de archivos desde un link mediante la interfaz de comandos, es importante además asegurarse que el sistema operativo instalado en el sistema embebido sea de 64 Bits, ya que el desarrollo de Tensorflow a partir de su versión 2.1.0 solo se ejecuta en procesadores con arquitectura de 64 Bits de no tenerlo en cuenta es imposible ejecutar una aplicación de inteligencia artificial con la versión compatible de Python 3.9

2.7 Paquete de redes neuronales (Keras)

Keras es una biblioteca de redes neuronales de código abierto escrita en Python, capaz de ejecutarse sobre Tensorflow, está especialmente diseñada para posibilitar la experimentación en más o menos poco tiempo en aplicaciones de aprendizaje profundo, una interfaz de trabajo para la rápida generación de prototipos usando Redes Neuronales Artificiales, que se engloba dentro de las técnicas de Inteligencia Artificial como aprendizaje profundo o Deep Learning [keras Google], para instalar este paquete en la raspberry debemos ejecutar el siguiente comando en la interfaz.

```
pi@pi: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
pi@pi:~$ sudo pip install keras  
[sudo] password for pi:  
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple  
Requirement already satisfied: keras in /usr/local/lib/python3.9/dist-packages (2.7.0)  
pi@pi:~$
```

Figura. 69 Instalación de paquete de redes neuronales [autor].

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



3. Link de acceso a la página web creada y publicada

<https://tesis-darney.vercel.app/#about>

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz



4. Planos caja de protección

