

**DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES
COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA
PROPAGACIÓN DEL COVID-19**



*“Una universidad incluyente y comprometida con el
desarrollo integral”*

**DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO
EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL
PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19**

Autor

Eduard Mosquera Gongora

Director

German Arley Portilla Gonzalez

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA
SEPTIEMBRE**



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: Germán Arley Portilla González

**DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES
COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA
PROPAGACIÓN DEL COVID-19**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

TEMA:

**DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES
COMERCIALES BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL
COVID-19**

**FECHA DE INICIO DEL TRABAJO:
FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO:**

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA LA SUSTENTACIÓN:

**EDUARD MOSQUERA GONGORA
AUTOR**

**GERMAN ARLEY PORTILLA
DIRECTOR**

**YESID EUGENIO SANTAFE RAMÓN
DIRECTOR DE PROGRAMA**

JURADO CALIFICADOR:

DIEGO ALFONSO PELÁEZ CARRILLO

LUIS ALBERTO MUÑOZ BEDOYA

GERMAN ARLEY PORTILLA

**PAMPLONA NORTE DE SANTANDER
COLOMBIA
SEPTIEMBRE 1 DEL 2021**



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: Germán Arley Portilla González

Primero agradecer a DIOS por permitirme la vida, a mis padres que han ayudado a consolidar mis triunfos, a mi hija que día a día es mi inspiración y al profe German portilla por confiar en mis capacidades para desarrollar esta idea.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

RESUMEN

El nuevo coronavirus (covid-19) ha llegado a Colombia, después de haber pasado por muchos países del mundo. tomando medidas de precaución para reducir el riesgo de infección, esto ha llevado a realizar estudios, aplicando algunas normas de bioseguridad, tales como utilizar tapa bocas, aplicar gel constantemente, evitar el contacto con superficies, evitar aglomeraciones y no sobrepasar el aforo en recintos cerrados etc. y es aquí donde los ingenieros aplican sus conocimientos, diseñando un sistema para reconocer el número de cedula, entonces podemos constatar el aforo en el recinto, si se superó dicho aforo emite una alerta visual y sonora, también se verifica el día de pico y cedula, utilizando una cámara, después de verificar dicho reconocimiento y de ser negativo su día de pico y cedula, da un aviso de no seguir, y si es positivo el sistema emite un aviso, de seguir al reconocimiento facial, ubicándose al frente a la cámara, donde se verifica si utiliza la tapa bocas, si es negativo emite una alerta visual y sonora, el sistema le dice que continúe a la medición de temperatura corporal, acercando el antebrazo al sensor sin contacto alguno, si su temperatura es igual o mayor a 38°C, emite una alerta visual y sonora, y si su temperatura es menor que 38°C, el sistema le dice que continúe al dispensador de gel.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

1 Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	1
	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
	JUSTIFICACIÓN.....	3
	DELIMITACIONES	4
	1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
	1.1.2 OBJETIVO ESPECIFICOS.....	4
	1.1.3 ACOTACIONES	4
2.	REFERENTES TEÓRICOS.....	6
2.1	ESTADO DEL ARTE	7
2.2	COVID 19.....	7
	2.2.1 ¿CÓMO SE TRANSMITE EL CORONAVIRUS (NCOV)?	9
	2.2.2 SINTOMATOLOGÍA.....	9
	2.2.3 AGENTE ETIOLÓGICO	10
	2.2.4 ESTRUCTURA VIRAL	11
2.3	PROTOCOLO DE BIOSEGURIDAD	12
	2.3.1 DISTANCIAMIENTO SOCIAL EN ESTABLECIMIENTOS.....	13
	2.3.2 CONTROLES CON BARRERAS FÍSICAS/DIVISORES	13
	2.3.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).....	14
	2.3.4 USO DE MASCARILLAS	15
	2.3.5 DISTANCIAMIENTO SOCIAL.....	16
	2.3.6 EVITAR GRANDES AGLOMERACIONES Y ESPACIOS NO VENTILADOS.....	17
	2.3.7 REALIZACIÓN DE PRUEBAS PARA PREVENIR LA PROPAGACIÓN	17
	2.3.8 LAVADO DE MANOS FRECUENTE	18
	2.3.9 CÚBRIRSE LA NARIZ Y LA BOCA AL TOSER Y ESTORNUDAR.....	19
	2.3.10 LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE SUPERFICIES	19
	2.3.11 MONITORIZACIÓN DE LA SALUD TODOS LOS DIAS.....	19
2.4	MEDIDAS PARA PREVENIR LA PROPAGACIÓN EN CASO DE CONTAGIARSE CON EL COVID19	20
	2.4.1 PERMANECER EN CASA PARA RECIBIR ATENCIÓN MÉDICA	20
	2.4.2 MANTENERSE ALEJADO DE OTRAS PERSONAS.....	20
	2.4.3 VIGILAR Y CONTROLAR LOS SINTOMAS	21
	2.4.4 CUANDO BUSCAR SERVICIOS MÉDICOS DE EMERGENCIA	21



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

2.4.5	CONTACTO MÉDICO POR TELÉFONO.....	22
2.4.6	REALIZACIÓN DE UNA PRUBA DE DETECCIÓN	22
2.4.7	USO DE MASCARILLA EN CASO DE CONTAGIO	22
2.4.8	CUBRIR LA NARIZ Y BOCA AL ESTORNUDAR.....	23
2.4.9	LIMPIEZA DE MANOS CON FRECUENCIA	23
2.4.10	EVITAR COMPARTIR ARTICULOS DEL HOGAR.....	23
2.4.11	LIMPIEZA DE SUPERFICIE DE ALTO CONTACTO	24
2.5	LEGISLACIÓN Y DECRETOS ESTABLECIDOS EN PAMPLONA.....	25
2.6	VISIÓN ARTIFICIAL	25
2.7	LA NEURONA BIOLÓGICA	26
2.8	LA NEURONA ARTIFICIAL.....	27
2.9	REDES NEURONALES ARTIFICIALES	28
2.10	REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES.....	29
2.10.1	RED PRE-ENTRENADA MOBILENETV2.....	30
2.11	RASPBERRY PI4.....	30
2.11.1	CONEXIÓN DE PERIFERICOS DE ENTRADA-SALIDA	31
2.11.2	DESCARGA E INSTALACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO.....	32
2.11.3	ACCEDIENDO A RASPBIAN DESDE ESCRITORIO REMOTO	33
2.11.4	INSTALACIÓN DE IDE PYTHON3.....	33
2.11.5	INSTALACIÓN DE LIBRERIAS PARA PYTHON3	34
2.11.6	PUERTOS DE ENTRADA-SALIDA DE PROPÓSITO GENERAL GPIO	35
2.11.7	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN RASPBERRY PI4	35
2.11.7.1	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN I2C	35
2.11.7.2	SENSOR DE TEMPERATURA MLX90614.....	36
2.12	TERMÓMETRO INFRARROJO MÉDICO JZK-601	37
2.13	CAMARA WEBCAM USB	39
2.14	PYTHON	40
2.15	TENSORFLOW Y KERAS	40
2.16	OPENCV	41
2.17	GOOGLE COLABORATORY	41
2.18	TKINTER	42
3.	METODOLOGIA.....	42
3.1	OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE DATOS PARA DETECCIÓN DE MASCARILLAS	44
3.1.1	CONJUNTO DE IMÁGENES	44
3.2	MODELO DE RED NEURONAL	50
3.2.1	MODELO RED NEURONAL CONVOLUCIONAL.....	50
3.2.2	CONSTRUCCIÓN DE LAS CAPAS DEL MODELO BASE.....	52
3.2.3	ENTRENAMIENTO DEL MODELO.....	54
3.2.3	EXPORTACIÓN DEL MODELO	55
3.3	PYTESERACTS.....	56



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

3.4	LECTURA DE DATOS SENSOR MLX 90614 EN RASPBERRY PI4	58
3.4.1	CALIBRACIÓN DE LA MEDIDA DEL SENSOR MLX90614 CON PISTOLA CONVENCIONAL PARA MEDIR TEMPERATURA CORPORAL	58
3.5	ACTIVACIÓN DE SERVOMOTOR EN RASPBERRY PI4	59
4.	RESULTADOS	61
4.1	MODELO MOVILNETV2 ENTRENADO	62
4.2	DETECCIÓN DEL TAPABOCAS.....	66
4.3	DETECCIÓN DEL ÚLTIMO DIGITO DE LA CÉDULA.....	67
4.4	MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL	69
4.5	HABILITACIÓN DE ENTRADA.....	69
4.6	INTERFAZ GRÁFICA	70
5.	CONCLUSIONES	76
6.	REFERENCIAS.....	78



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

ÍNDICE DE FIGURAS

figura 1 comparación del modelo por grupos (A) modelo entrenado estándar, (b) modelo entrenado con aumento de datos [23]	7
figura 2 coronavirus y hospedador intermediario [6].....	8
figura 3 géneros de coronavirus: alfa, beta, gamma y delta y su estructura genética [5]	9
figura 4 (A) Microfotografía del virión. (B) Esquema de la estructura del SARS-CoV-2[3]	12
figura 5 visión artificial [8].....	26
figura 6 estructura simplificada de una red biológica [9]	27
figura 7 neurona artificial de tipo McCulloch-Pitts, su estructura y comparación con la neurona biológica [9]	27
figura 8 estructura básica de una red neuronal artificial[10].....	29
figura 9 estructura básica de una red convolucional tradicional[10]	29
figura 10 Raspberry pi 4b [12]	31
figura 11 comparativa entre la raspberry pi 4b y la raspberry pi3 b+ [12].....	31
figura 12 Pines de entrada, salida y protocolos de comunicación Raspberry pi 4 [21]	35
figura 13 Protocolo de comunicación I2C [15].....	36
figura 14 Sensor de temperatura MLX90614 [16]	37
figura 15 pistola infrarroja convencional para medir temperatura corporal [27].....	38
figura 16 Cámara webcam usb utilizada en la evaluación de imágenes [27]	39
figura 17 Librerías de inteligencia artificial [22].....	41
figura 18 imágenes obtenidas del repositorio en GitHub	45
figura 19 Imágenes utilizadas para la red neuronal.....	46
figura 20 imágenes de entrenamiento de la red neuronal.	46
figura 21 imágenes de validación de la red neuronal.....	47
figura 22 imágenes de muestra rostros con mascarillas.	48
figura 23 imágenes de muestra rostros sin mascarillas.	49
figura 24 Calibración de medida de temperatura corporal con pistola convencional	59
figura 25 Métricas de aprendizaje del modelo MOVILNETV2 de la época 1 a la época 10	62
figura 26 Métricas de aprendizaje del modelo MOVILNETV2 de la época 11 a la época 20	63
figura 27 Métricas del rendimiento del entrenamiento y validación de la red.....	63
figura 28 métricas de pérdida de entrenamiento y validación	64
figura 29 métricas de precisión de entrenamiento y validación	65
figura 30 Estructura de la red neuronal convolucional entrenada	65
figura 31 Rostro detectado sin Tapabocas	66
figura 32 Rostro detectado con tapabocas	67
figura 33 Detección del número de la cédula	67
figura 34 Validación del último dígito de la cédula en tiempo real con cámara web.....	68
figura 35 Reproducción de audio "Número De Cédula Detectado"	68
figura 36 Temperatura leída del sensor MLX 90614.....	69
figura 37 Servomotor Controlando el acceso	70
figura 38 Interfaz Gráfica creada	71



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

<i>figura 39 Carta de validación de un experto en protocolos de bioseguridad</i>	<i>72</i>
<i>figura 40 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 1.....</i>	<i>73</i>
<i>figura 41 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 2.....</i>	<i>73</i>
<i>figura 42 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 2-2.....</i>	<i>74</i>
<i>figura 43 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 3 hospital san juan de dios.</i>	<i>74</i>
<i>figura 44 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 4 hospital san juan de dios.</i>	<i>75</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Diagrama en bloques del sistema electrónico</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 2 Diagrama en bloques detección de mascarillas.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 3 Diagrama en bloques creación, entrenamiento, validación red neuronal artificial.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 4 Diagrama en bloques para detectar el último dígito de la cédula.....</i>	<i>56</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 características clínicas y radiológicas de los casos hospitalizados [6]</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2 Características técnicas Sensor MLX90614 [16]</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3 Especificaciones técnicas pistola de termómetro infrarojo JZK-601 [27]</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4 Características técnicas cámara webcam usb utilizada [27]</i>	<i>40</i>

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 salida de la neurona artificial</i>	<i>28</i>
---------------------------------------------------------	-----------



CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En gran medida las nuevas tecnologías inteligentes han ayudado en el diagnóstico de enfermedades, en el acompañamiento médico, es por ello que se requieren mitigar las consecuencias a raíz del covid-19, declarada pandemia por la organización mundial de la salud, debido a su rápida propagación y sus consecuencias en el sistema respiratorio, además ha golpeado sectores de la economía, provocando el cierre de establecimientos. Las personas que más han sufrido las consecuencias son quienes están al frente de la pandemia los médicos, enfermeros, personal asistente de clínicas, hospitales, la única forma de disminuir el contagio por covid-19 es el uso de protocolos de bioseguridad, tales como el lavado de manos, la neutralización de superficies, el uso de mascarillas faciales, la aplicación de geles antibacterial, la aplicación de alcohol, además establecimientos han empezado a medir temperatura corporal a las personas para evitar que personas con fiebre ingresen al recinto comercial y terminen contagiando a las personas la persona que está en la puerta verificando el cumplimiento de esos protocolos de bioseguridad puede ser contagiada, es por ello que nace la idea de este proyecto, ofrecer un sistema basado en técnicas inteligentes como lo son las redes neuronales artificiales para verificar si la persona utiliza mascarilla, y la medición de temperatura para habilitar la entrada al establecimiento comercial. Se presenta una revisión acerca de las estrategias implementadas para disminuir la propagación emanadas por el gobierno nacional, luego se implementa una red neuronal artificial entrenada con las imágenes de dos tipos de imágenes, una imágenes sin mascarilla, y la otra, imágenes sin mascarillas, para identificar la mascarilla con una cámara web donde una vez detectado el rostro con mascarilla, se habilita la cámara web de nuevo y se verifica el último dígito de la cédula, la medición de la temperatura corporal se realiza por medio de un sensor infrarrojo, previamente calibrada con una pistola de medir temperatura corporal de tipo comercial revisada y calificada por Icontec, la cámara web, y el sensor de temperatura fueron conectados al sistema embebido.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El covid-19 es un virus conocido como SARS-CoV2. Y se dio por primera vez en un grupo de personas que se habían declarado “neumonía vírica” en Wuhan (China), las personas que se contagian presentan síntomas leves, moderada o grave. Ha sido establecido por la Organización mundial de la salud(OMS), como una emergencia en salud de importancia nacional e internacional, muchas empresas y negocios no han implementado un sistema de control de acceso y esto conlleva a no contar con los permisos, para poder abrir las puertas al público. Algunas empresas han abierto sus puertas al público y por no contar con la implementación de un sistema que cumpla con los protocolos de bioseguridad han sido multadas. Y por otra parte sus trabajadores están expuestos a contaminarse del covid-19.

Según el informe del día 20 del mes de marzo del 2021, generado por la dirección local salud municipal de pamplona, dice que, en la zona céntrica y comercial hay más personas contagiadas por el coronavirus covid-19, con un total 330 con respecto a las otras zonas, y a nivel municipal hay un total de 20406 personas contagiadas del coronavirus covid-19. En dicha zona es donde se encuentra ubicado el comercio en general, viendo la necesidad de implementar el sistema de control de aforo aplicado en ambientes comerciales basado en visión artificial para mitigar la propagación del covid-19, En cualquier empresa y negocio que lo necesite para cumplir dichos protocolos de bioseguridad.

La transmisión rápida del virus ha hecho que los sistemas de salud colapsen, las personas infectadas pueden presentar síntomas leves, o graves, donde incluso puede ocasionar la muerte, como consecuencia se han implementado estrategias como el cierre de establecimientos, implementar pico-cédula para evitar que varias personas ingresen a un lugar, control de aforo para evitar la reunión en multitud, para reducir los efectos de la pandemia se han implementado varios protocolos de bio-seguridad y es el sentido de este proyecto, acudir a procesos electrónicos e inteligentes para sustituir la acción humana y de paso prevenir al humano, y utilizar un sistema inteligente simple para ayudar a verificar el cumplimiento de dos acciones para prevenir la propagación del virus como lo es la detección de tapabocas, y la identificación del último dígito de la cédula.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

JUSTIFICACIÓN

Para evitar contagiarse del covid-19 se pueden tomar algunas precauciones, por ejemplo, no salir seguido de la casa, evitar el contacto físico, llevar puesta la mascarilla, desinfectar las habitaciones, evitar las aglomeraciones, utilizar gel glicerinado en las manos constantemente, por ello nace la idea de disminuir la propagación del covid-19 en el comercio, implementando un sistema electrónico basado en inteligencia artificial con el uso de redes neuronales artificiales, y la detección de números en una imagen con pyteseracts, paquete con algoritmos de inteligencia artificial basado en el motor de búsqueda de Google para controlar la entrada de personas a las empresas o lugares públicos y así ayudar en la reactivación del comercio cuidando tanto a usuarios como a las personas que ingresan al establecimiento ya que por covid-19 muchos establecimientos comerciales se vieron obligados a cerrar.

En la actualidad se pueden encontrar diferentes sistemas que permiten el procesamiento de datos de manera rápida como lo son equipos de cómputo equipados con tarjetas de procesamiento gráfico, servidores alojados con modelos inteligentes, pero de alto costo, por ello nace el auge de este proyecto un sistema inteligente con red neuronal artificial que implemente técnicas de visión artificial previamente entrenado en Google colab, plataforma que ofrece al usuario tarjetas gráficas para el entrenamiento de modelos lo que facilita las tareas de uso y seguimiento, y la exportación del modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales como Raspberry Pi4 que da pie a implementar un sistema inteligente de bajo costo que garantice la salud de los clientes o usuarios en los entornos económicos a partir de ayudar con la verificación y el cumplimiento de los protocolos de bioseguridad.



DELIMITACIONES

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un sistema de control de aforo aplicado en ambientes comerciales basados visión artificial para mitigar la propagación del covid-19.

1.1.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

- Realizar un análisis documental de normativas, protocolos y pautas en entornos comerciales para mitigación del covid-19
- Realizar una selección de equipos y sensores que permitan la medición de variables y la captura de las imágenes
- Implementar algoritmos para la extracción y medición de variables en el entorno comercial
- Diseñar una interfaz asistida que integre los algoritmos de visión artificial y el monitoreo de variables.
- Validar el sistema con un experto en redes neuronales y protocolos de bioseguridad

1.1.3 ACOTACIONES

Este proyecto se realizará en la ciudad de Pamplona y se utilizará el módulo Raspberry porque es uno de los mini ordenadores más populares y utilizados, por su calidad y facilidad de programar. Su ensamble será hecho en un ambiente óptimo con sus pruebas de resistencia, manteniendo los protocolos de bioseguridad y tendrá un prototipo puesto en marcha en el término estipulado. El sistema de control va dirigido a detectar la mascarilla en el rostro de una persona si lo lleva puesto o no, si es su día pico y cedula, y de la misma manera va a controlar el aforo contando las personas que entran y salen del recinto, y también medir la temperatura corporal, todo este proceso se visualiza en una pantalla HDMI.

Gracias a su tecnología de visión artificial, la cámara detectará el último dígito



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

de la cedula y después, detectara el rostro humano y con el sensor de temperatura hacemos la medición corporal. Los datos son almacenados localmente, Por lo tanto, no vamos a trabajar con base de datos porque la idea es iniciar con un sistema pequeño, todo esto tendremos mayor efectividad y precisión.



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

CAPÍTULO 2

2. REFERENTES TEÓRICOS

En este capítulo se dará a conocer trabajos del estado del arte como referencia a la temática principal de esta tesis, así como también se describirán las bases teóricas necesarias para comprender conceptos como lo es el virus covid-19, los modelos de inteligencia artificial y métodos de visión artificial, medición de temperatura sin contacto para implementarlas en el proyecto.



2.1 ESTADO DEL ARTE

Un enfoque novedoso de aumento de datos para la detección de máscaras utilizando transferencia de aprendizaje, en este artículo presentan un modelo YOLOv3 de última generación con transferencia profunda, basado en la técnica de detección de objetos, desarrollando un modelo de detección de mascarillas, el enfoque está basado en aumento de datos. El modelo se centra en caracterizar u conjunto de datos mediante el filtrado previo de imágenes con técnicas de visión artificial como el escalamiento de niveles en gris de la imagen, desenfoques gaussianos, y se crea un conjunto de datos aumentado, muestran una precisión media para la detección de la mascarilla superior al 98%, mientras que en el entrenamiento de la red estándar fue de apenas 94%, 93% y 91% por imágenes para varios individuos, logrando concluir que para el modelo propuesto de detección de máscaras basado en aumento de datos los resultados son mejores en comparación a un modelo entrenado con imágenes estándar [23].



figura 1 comparación del modelo por grupos (A) modelo entrenado estándar, (b) modelo entrenado con aumento de datos [23]

2.2 COVID 19

A lo largo de los últimos años han aparecido diversos tipos de Coronaviridae, en el año 2003 aparece en china el coronavirus SARS el cual fue contenido rápidamente evitando así una posible epidemia, luego de unos años más tarde en el 2012 aparece el síndrome respiratorio de Oriente Medio comúnmente llamado MERS el cual presentaba síntomas de dificultad respiratorias, fiebre, etc. El MERS fue detectado por



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

primera vez en Arabia Saudita. El nuevo coronavirus también llamado COVID-19 surge en el año 2019 con origen en Wuhan-China el cual a día de hoy se ha convertido en una pandemia global. [5] El covid-19 pertenece a la familia de virus de los Coronaviridae. Su material genético contiene principalmente ácido ribonucleico (ARN) de polaridad positiva de entre 26 y 32 kilobases de longitud, este tipo de virus contiene envoltantes redondas u ovaladas y polimórfica. Su diámetro aproximadamente vario de 60 a 140 nm. Poseen una nucleocápside de simetría helicoidal y en su envoltura presenta una estructura glicoproteica (glycoprotein spike), codificada en la región S de su genoma, que es la proteína responsable de la unión con las células de su hospedador y, por tanto, responsable del tropismo del virus. [6][7]

Como se muestra en la Figura 2, los camellos están asociados con el virus del síndrome respiratorio de Oriente Medio. Sobre el camello, se muestra el gato algalia, que está asociado con el coronavirus del SARS. El murciélago es la fuente original del coronavirus que causa el SARS y el síndrome respiratorio de Oriente Medio. También se ha demostrado que el nuevo coronavirus proviene de murciélagos; específicamente, la evidencia existente sugiere que se origina en el murciélago crisantemo. Su huésped intermedio aún no se ha determinado, pero los estudios han demostrado que puede estar relacionado con animales salvajes como pangolines o serpientes. [6]

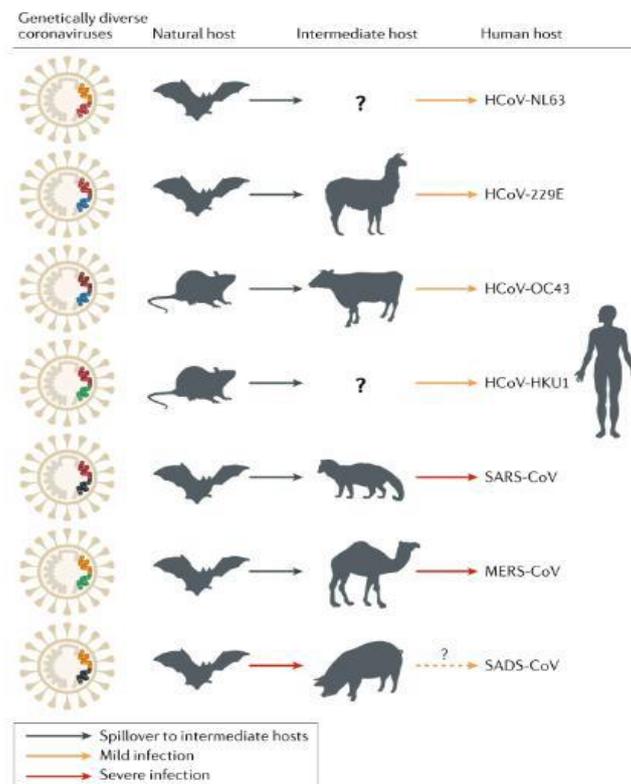


figura 2 coronavirus y hospedador intermediario [6]



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

En la Figura 3 se muestran los cuatro géneros de coronavirus, alfa, beta, gamma y delta (α -CoV, β -CoV, γ -CoV y δ -CoV), se puede apreciar que estos tipos de coronavirus tienen diferentes estructuras genéticas. Incluso en el mismo género, por ejemplo, beta, los coronavirus de diferentes especies son bastante diferentes en su estructura cambiando su forma de afectar a sus huéspedes por ejemplo el alfa y beta afectan principalmente el sistema nervioso central, gastrointestinal y respiratorio de humanos y mamíferos, mientras que los de tipo gamma y delta infectan principalmente a las aves. [5]

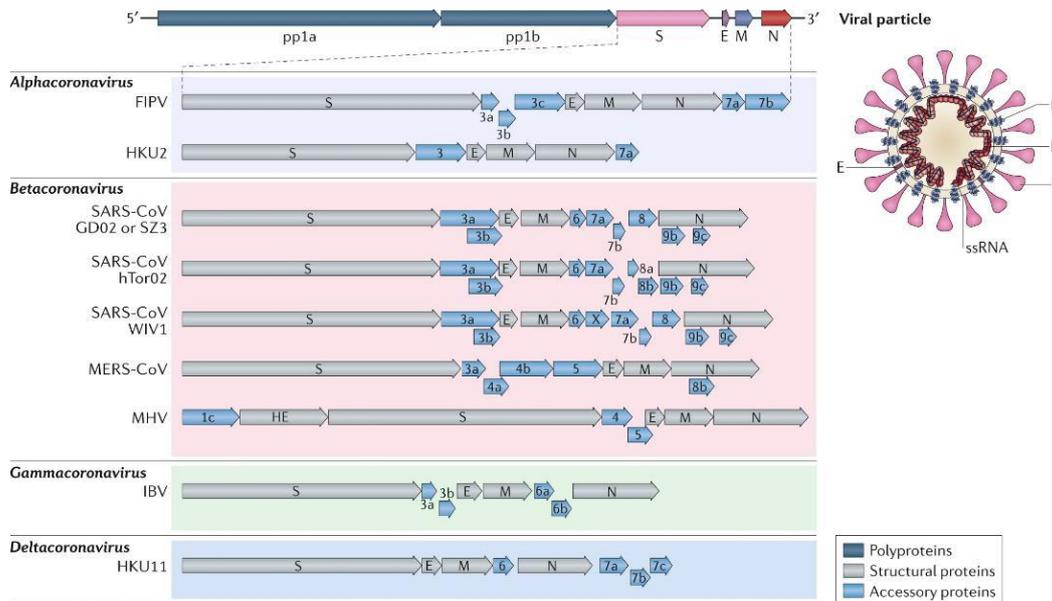


figura 3 géneros de coronavirus: alfa, beta, gamma y delta y su estructura genética [5].

2.2.1 ¿Cómo se transmite el coronavirus (nCoV)?

Este virus es originario de una fuente animal y en este momento se conoce que se está transmitiendo de persona a persona. No se conoce que tan intensa puede ser esta transmisión, sin embargo, la infección se produce cuando una persona enferma tose o estornuda y expulsa partículas del virus que entran en contacto con las personas con las que se tiene un contacto estrecho y su entorno. Este mecanismo es similar entre todas las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA). [3]

2.2.2 SINTOMATOLOGÍA

El covid-19 puede afectar de distintas maneras a cada persona, estudios indican que los síntomas más característicos y comunes son: la fiebre, la tos seca y la fatiga, mientras que otros menos frecuentes son: la diarrea, dolor de garganta, dolor de cabeza, etc. Por otro lado, los síntomas de



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

gravedad suelen ser dolor o presión en el pecho y dificultad para respirar. [6]

Características clínicas	%
Signos y síntomas	
Fiebre	98,6
Tos	59,4
Astenia	96,6
Anorexia	39,9
Mialgias	34,8
disnea	31,2
Tos con expectoración	26,8
Dolor de garganta	17,4
Diarrea	10,1
Náuseas	10,1
Mareo	9,4
Cefalea	6,5
Hallazgos radiológicos en el tórax	100
Neumonía bilateral o patrón en vidrio esmerilado	100

Tabla 1 características clínicas y radiológicas de los casos hospitalizados [6]

2.2.3 AGENTE ETIOLÓGICO

El virus del síndrome respiratorio agudo severo tipo-2 (SARS-CoV-2), causante de COVID-19, se ubica taxonómicamente en la familia Coronaviridae [6]. Esta familia se subdivide en cuatro géneros: Alphacoronavirus, Betacoronavirus, Gammacoronavirus y Deltacoronavirus. Los coronavirus humanos circulan libremente [3].

En la población de todos los continentes, suelen causar enfermedad respiratoria leve. Se estima que producen entre el 10% y el 30% de los casos de resfriado común. Por el contrario, los coronavirus zoonóticos circulan transitoriamente, pero pueden generar grandes epidemias de enfermedad respiratoria grave [9]. El origen de los coronavirus de importancia médica, incluidos los coronavirus humanos, parece ser zoonótico. En particular, los betacoronavirus zoonóticos están



filogenéticamente relacionados con coronavirus de murciélagos, los cuales podrían haber sido su fuente para el hombre, ya sea directamente o a través de un hospedero intermediario; dicho intermediario para el SARSCoV fue la civeta, un animal silvestre del grupo de los vivérridos, y para el MERS-CoV fue el dromedario. Aún no es claro cuál pudo haber sido el intermediario para el SARS-CoV-2, o si pasó directamente del murciélago al humano [3].

2.2.4 ESTRUCTURA VIRAL

Los coronavirus tienen forma esférica o irregular, con un diámetro aproximado de 125 nm. Su genoma está constituido por RNA de cadena sencilla, con polaridad positiva, y con una longitud aproximada de 30.000 ribonucleótidos. Poseen una cápside de simetría helicoidal, constituida por la proteína de nucleocápside (N). La proteína N es la única presente en la nucleocápside y se une al genoma viral en forma de rosario; se cree que participa en la replicación del material genético viral en la célula y en el empaquetamiento del mismo en las partículas virales. Los coronavirus tienen una envoltura lipídica con tres proteínas ancladas en ella, denominadas E (envoltura), M (membrana) y S (del inglés, spike, o espícula), la cual le da al virión (partícula infecciosa) la apariencia de una corona y es la proteína que media la unión al receptor y facilita su fusión con la membrana celular (figura 4). Las funciones de las proteínas M y E aún no están bien establecidas, pero se considera que podrían participar en el ensamblaje y liberación del virión [3].



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

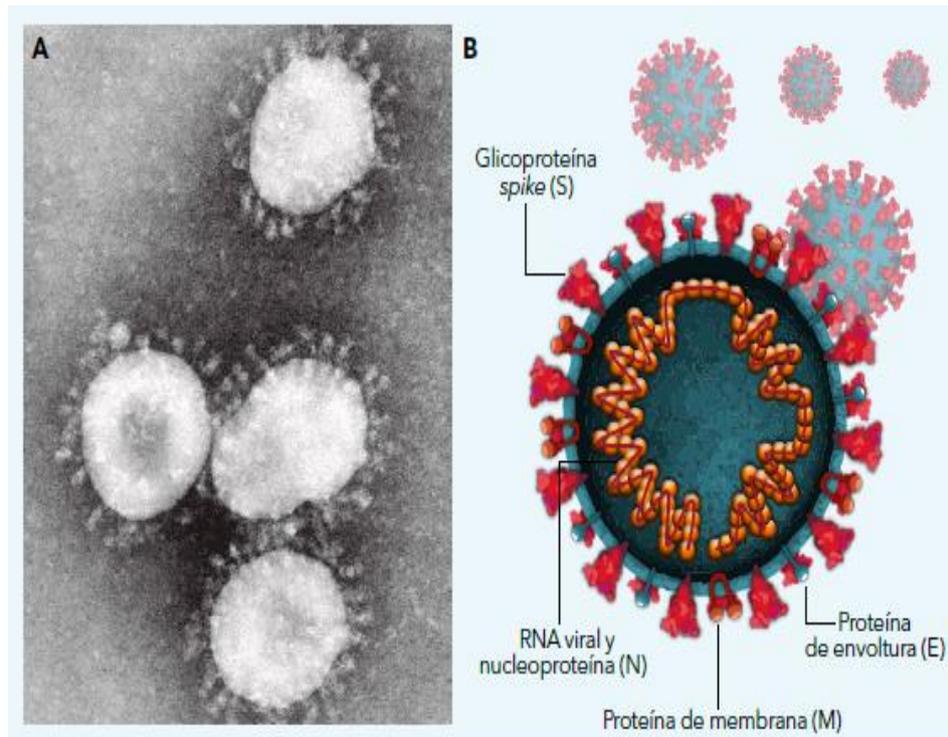


figura 4 (A) Microfotografía del virión. (B) Esquema de la estructura del SARS-CoV-2[3]

2.3 PROTOCOLO DE BIOSEGURIDAD

Es el conjunto de medidas específicas que se deben implementar para prevenir que haya contagio de covid-19 y si hay contagio como actuar, en la resolución 666 le otorgo al ministerio de salud la facultad para expedir los protocolos de bioseguridad que se utilicen en todas las empresas, negocios y sociedad, establecer sistema de limpieza y desinfección medidas antes de entrar y salir del trabajo, medidas durante permanencia en el lugar de trabajo [2].

Las medidas generales de los protocolos de bioseguridad son:

Medidas generales

- Lavado de manos y técnica de lavado de manos
- Distanciamiento físico
- Elementos de protección personal
- Manejo de tapabocas
- Tapabocas convencional



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- Limpieza y desinfección
- Manipulación de insumos y productos
- Manejo de residuos [2]

Prevención y manejo de situaciones de riesgo de contagio.

- Trabajo remoto o trabajo a distancia
- Alternativas de organización laboral
- Interacción en tiempo de alimentación
- Medidas locativas
- Herramientas de trabajo y elementos de dotación
- Interacción con terceros
- Desplazamiento desde y hacia el lugar del trabajo [2].

2.3.1 DISTANCIAMIENTO SOCIAL EN ESTABLECIMIENTOS

Pida a los empleados que se tomen la temperatura ellos mismos antes de llegar al trabajo o una vez que lleguen. Al llegar, párese al menos a 6 pies de distancia del empleado y pida al empleado que confirme que la última vez que se tomó la temperatura tenía menos de 100.4 F, (38 °C), Haga una inspección visual para detectar signos de enfermedad en el empleado, que podrían incluir mejillas enrojecidas, sudoración excesiva para la temperatura ambiente o dificultad para realizar tareas habituales [24]:

- El personal a cargo de las evaluaciones no necesita usar EPP si puede mantener una distancia de 6 pies; sin embargo, tanto el personal de evaluación como los empleados evaluados deben usar mascarillas [24].

2.3.2 CONTROLES CON BARRERAS FÍSICAS/DIVISORES

Durante la evaluación, el evaluador debe ubicarse detrás de una barrera física, como una ventanilla o divisor de vidrio o plástico, que proteja su rostro y sus membranas mucosas de las gotitas respiratorias que podría producir el empleado al estornudar, toser, hablar o respirar. Al llegar, el evaluador debe usar una mascarilla y lavarse las manos con agua y jabón por al menos 20 segundos o, si no hay agua y jabón disponibles, usar desinfectante de manos con al menos un 60 % de alcohol. Esto es lo que debe hacer con cada empleado [24]:



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- Evaluar visualmente al empleado para detectar signos de enfermedad, que podrían incluir mejillas enrojecidas, sudoración excesiva para la temperatura ambiente o dificultad para realizar tareas habituales [24].

- Medir su temperatura y evaluarlo para detectar síntomas

Colóquese guantes desechables.

- Verifique la temperatura del empleado desde la mampara o a través de la ventanilla. Asegúrese de que la cara del examinador permanezca detrás de la barrera en todo momento durante la evaluación [24].
 - Los termómetros de contacto se deben limpiar y desinfectar después de cada toma de temperatura siguiendo las instrucciones del fabricante y de conformidad con las políticas del establecimiento. Los termómetros sin contacto se deben limpiar y desinfectar según las instrucciones del fabricante y las políticas del establecimiento [24].
- Quitarse y desechar los guantes y lavarse las manos con agua y jabón por al menos 20 segundos entre cada empleado. Si no hay agua y jabón disponibles, use un desinfectante de manos que contenga al menos un 60 % de alcohol [24].
- Si se usan termómetros desechables o sin contacto y el examinador no tiene contacto físico con la persona evaluada, no es necesario que se cambie los guantes antes de la siguiente evaluación. Se deben quitar y descartar los guantes si están sucios o dañados. No se deben usar guantes de manera constante por más de cuatro horas. Después de quitarse los guantes, los examinadores deben lavarse las manos con agua y jabón por al menos 20 segundos o usar un desinfectante de manos si no hay agua y jabón disponibles. Siempre debe quitarse y descartar guantes que estén sucios o dañados [24].

2.3.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

Se debe capacitar a los examinadores en la correcta colocación, remoción y descarte de todo el EPP. Al llegar, el evaluador debe lavarse las manos con agua y jabón por al menos 20 segundos o usar un desinfectante de manos con al menos un 60 % de alcohol y colocarse



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

una mascarilla o mascarilla de respiración, protección para los ojos (gafas o un protector facial desechable que le cubra todo el frente y los lados de la cara) y un par de guantes desechables. Se puede implementar el uso prolongado de una mascarilla o mascarilla de respiración y protección para los ojos. Puede usar una bata si tendrá un contacto prolongado con el empleado [24].

- Evaluar visualmente al empleado para detectar signos de enfermedad, que podrían incluir mejillas enrojecidas, sudoración excesiva para la temperatura ambiente o dificultad para realizar tareas habituales [24].
- Medir su temperatura y evaluarlo para detectar síntomas:
 - Si toma la temperatura a varias personas, el examinador debe cambiarse los guantes y lavarse las manos, o usar un desinfectante de manos con al menos un 60 % de alcohol entre cada empleado [24].
 - Los termómetros de contacto se deben limpiar y desinfectar después de cada toma de temperatura siguiendo las instrucciones del fabricante y de conformidad con las políticas del establecimiento. Los termómetros sin contacto se deben limpiar y desinfectar según las instrucciones del fabricante y las políticas del establecimiento [24].
 - Si se usan termómetros desechables o sin contacto y el examinador no tiene contacto físico con la persona evaluada, no es necesario que se cambie los guantes antes de la siguiente evaluación. No se deben usar guantes de manera constante por más de cuatro horas. Después de quitarse los guantes, los examinadores deben lavarse las manos con agua y jabón por al menos 20 segundos o usar un desinfectante de manos si no hay agua y jabón disponibles [24].
 - Deben quitarse y desechar cualquier tipo de EPP, incluidos guantes, mascarillas, mascarillas de respiración, protección para los ojos y bata si están sucios o dañados [24].

2.3.4 USO DE MASCARILLAS

Todas las personas de 2 años de edad o más que no estén totalmente



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

vacunadas deben usar una mascarilla en lugares públicos cerrados, en general, no es necesario que use mascarilla al aire libre, en áreas con una gran cantidad de casos de COVID-19. En áreas con una gran cantidad de casos de COVID-19 con otras personas que no están totalmente vacunadas [24].

Las personas que tienen alguna afección o que toman medicamentos que debilitan el sistema inmunitario posiblemente no estén totalmente protegidas, incluso si tienen la vacuna completa. Deberían seguir tomando todas las medidas de precaución recomendadas para las personas no vacunadas, como usar una mascarilla que se ajuste bien a la cara, hasta que su proveedor de atención médica le indique lo contrario. Si está totalmente vacunado, para obtener la máxima protección contra el COVID-19 y evitar contagiar posiblemente a los demás, use una mascarilla en público si se encuentra en espacios cerrados en áreas con transmisión sustancial o alta [24].

El uso de una mascarilla que cubra su boca y su nariz es obligatorio en aviones, autobuses, trenes y otros medios de transporte público que viajan hacia, dentro de o fuera de los Estados Unidos y en centros de transporte cerrados como aeropuertos y estaciones de los Estados Unidos. No es obligatorio que los viajeros usen mascarilla en zonas abiertas del medio de transporte (como áreas de cubierta al aire libre en un ferry o el segundo piso de un autobús sin techo) [24].

2.3.5 DISTANCIAMIENTO SOCIAL

El distanciamiento social o distanciamiento físico pone distancia entre las personas. Al mantenernos alejados unos de otros, quienes están infectados con el virus tienen menos probabilidades de contagiar a otros. El virus se transmite principalmente cuando una persona infectada respira, habla, tose o estornuda, lo cual esparce pequeñas gotitas en el aire. Estas gotitas pueden caer en los ojos, la nariz o la boca de las personas que están paradas a poca distancia, o estas personas pueden respirarlas [26].

Debido a que las personas infectadas pueden no presentar síntomas, se aconsejó mantener una cierta distancia de los demás. Esto es especialmente importante para las personas con mayor riesgo de



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

contraer COVID-19, como aquellas con sistemas inmunitarios débiles o con ciertas afecciones médicas, o personas que no están completamente vacunadas contra el COVID-19. Esto es muy importante en áreas donde la infección por coronavirus es alta [26].

Dentro de su casa

- Evite el contacto cercano con las personas que están enfermas.
- De ser posible, mantenga una distancia de 6 pies entre la persona enferma y otros miembros de su hogar [24].

Fuera de su casa

- Recuerde que algunas personas que no tienen síntomas pueden propagar el virus.
- Mantenga una distancia de al menos 6 pies (aproximadamente la longitud de 2 brazos extendidos) de otras personas, especialmente si corre mayor riesgo de enfermarse gravemente [24].

2.3.6 EVITAR GRANDES AGLOMERACIONES Y ESPACIOS NO VENTILADOS

- Estar en lugares con muchas personas como restaurantes, bares, gimnasios o cines aumenta su riesgo de contraer COVID-19 [24].
- En lo posible, evite los espacios cerrados donde no hay circulación de aire fresco del exterior [24].
- Si está en un espacio cerrado, procure incorporar aire desde el exterior al abrir puertas y ventanas siempre que sea posible [24].

2.3.7 REALIZACIÓN DE PRUEBAS PARA PREVENIR LA PROPAGACIÓN

- Una prueba de detección puede aportarle información sobre su riesgo de propagar el COVID-19. Puede elegir entre diferentes tipos de pruebas [24].
- Más allá del tipo de prueba que elija, un resultado positivo en la prueba de detección significa que está infectado y debería aislarse e informar a sus contactos cercanos para evitar contagiar a otras personas [24].
- Las pruebas caseras de venta libre le permiten hacerse una prueba en casa o en cualquier otro lado, son fáciles de usar y los resultados



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- son rápidos. Cualquier persona puede hacerse una prueba casera, más allá de que esté vacunada o no, tenga o no síntomas [24].
- Evalúe hacerse una prueba casera antes de sumarse a un encuentro en un espacio cerrado con otras personas que no viven en su hogar [24].
 - Una prueba casera con resultado positivo significa que está infectado y debe evitar los encuentros en espacios cerrados para reducir el riesgo de propagar la enfermedad a otras personas [24].
 - Una prueba casera con resultado negativo significa que podría no estar infectado. Para tener mayor seguridad, puede volver a hacerse la prueba al menos 24 horas después de la primera [24].
 - Consulte a su proveedor de atención médica si necesita ayuda para interpretar los resultados de su prueba [24].

2.3.8 LAVADO DE MANOS FRECUENTE

- Lávese las manos con frecuencia con agua y jabón por al menos 20 segundos, especialmente después de haber estado en un lugar público, o después de sonarse la nariz, toser o estornudar [24].
- Es de suma importancia lavarse las manos:
 - Antes de comer o preparar la comida
 - Antes de tocarse la cara
 - Después de ir al baño
 - Después de salir de lugares públicos
 - Después de sonarse la nariz, toser o estornudar
 - Después de manipular su mascarilla
 - Después de cambiar pañales
 - Después de cuidar a una persona enferma
 - Después de tocar animales o mascotas
- Si no dispone de agua y jabón, use un desinfectante de manos que contenga al menos un 60 % de alcohol. Cubra toda la superficie de las manos y frótelas hasta que las sienta secas [24].
- Evite tocarse los ojos, la nariz y la boca sin antes lavarse las manos.



2.3.9 CÚBRIRSE LA NARIZ Y LA BOCA AL TOSER Y ESTORNUDAR

- Si tiene una mascarilla puesta: puede toser o estornudar en su mascarilla. Colóquese una mascarilla nueva y limpia lo antes posible y lávese las manos [24].
- Si no tiene puesta una mascarilla:
 - Siempre cúbrase la boca y la nariz con un pañuelo desechable al toser o estornudar, o hágalo en la parte interna del codo y no escupa [24].
 - Bote los pañuelos desechables usados a la basura [24].
 - Lávese las manos inmediatamente con agua y jabón por al menos 20 segundos. Si no dispone de agua y jabón, límpiense las manos con un desinfectante de manos que contenga al menos un 60 % de alcohol [24].

2.3.10 LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE SUPERFICIES

- Limpie las superficies de alto contacto de manera regular o según sea necesario y después de recibir visitas en su casa. Esto incluye las mesas, las manijas de las puertas, los interruptores de luz, los mesones, las barandas, los escritorios, los teléfonos, los teclados, los inodoros, los grifos, los lavamanos y los lavaplatos [24].
- Si hay una persona enferma o tiene un resultado positivo en la prueba de detección del COVID-19, desinfecte las superficies que se tocan con frecuencia [24].
 - Use un producto desinfectante de uso doméstico de la Lista N de la EPA: Desinfectantes para coronavirus (COVID-19) ícono de sitio externo siguiendo las instrucciones del fabricante que figuran en la etiqueta [24].
 - Si las superficies están sucias, límpielas con detergente o agua y jabón antes de desinfectarlas [24].

2.3.11 MONITORIZACIÓN DE LA SALUD TODOS LOS DIAS

- Esté atento a la aparición de síntomas [24]:
 - Esté atento a la aparición de fiebre, tos, dificultad para respirar u



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

otros síntomas del COVID-19.

- Controle su temperatura si presenta síntomas.
 - No controle su temperatura dentro de los 30 minutos posteriores a ejercitarse o después de tomar medicamentos que podrían reducir su temperatura, como el acetaminofeno.
 - Siga la guía de los CDC si presenta síntomas.
- Controlar su salud para detectar síntomas es particularmente importante si debe hacer trámites, ir a la oficina o a su lugar de trabajo, y en entornos donde puede ser difícil mantener una distancia física de 6 pies [24].

2.4 MEDIDAS PARA PREVENIR LA PROPAGACIÓN EN CASO DE CONTAGIARSE CON EL COVID19

Si tiene COVID-19 o cree que podría tener COVID-19, la persona deberá seguir estas medidas para cuidarse y ayudar a proteger a otras personas de su hogar y su comunidad [25].

2.4.1 PERMANECER EN CASA PARA RECIBIR ATENCIÓN MÉDICA

- Permanezca en el hogar. La mayoría de las personas con COVID-19 presentan una enfermedad leve y pueden recuperarse en casa sin necesidad de atención médica. No salga de su casa, excepto para buscar atención médica. No visite áreas públicas [25].
- Cuídese. Descanse y manténgase hidratado. Tome medicamentos sin receta médica, como acetaminofeno, que le ayuden a sentirse mejor [25].
- Manténgase en contacto con su médico. Llame antes de recibir atención médica. Asegúrese de obtener atención médica si tiene problemas para respirar o tiene algún signo de advertencia de emergencia, o si considera que se trata de una emergencia [25].
- Evite el transporte público, los vehículos compartidos y los taxis [25].

2.4.2 MANTENERSE ALEJADO DE OTRAS PERSONAS



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- En la medida de lo posible, permanezca en una determinada habitación y alejado de otras personas y mascotas en su casa. Debería usar otro baño, si es posible. Si necesita estar con otras personas o animales dentro o fuera de su casa, use una mascarilla [25].
- Dígales a sus contactos cercanos que pueden haber estado expuestos al COVID-19. Una persona infectada puede propagar el COVID-19 desde 48 horas (o 2 días) antes de que la persona haya manifestado algún síntoma o dado positivo en la prueba de detección. Al informarles a sus contactos cercanos que pueden haber estado expuestos al COVID-19, está ayudando a protegerlos a todos [25].
- Hay una guía adicional disponible para las personas que viven en espacios reducidos y viviendas compartidas [24].
 - Vea COVID-19 y los animales si tiene preguntas sobre las mascotas [25].
 - Si le diagnostican COVID-19, es posible que alguien del departamento de salud lo llame. Responda la llamada para desacelerar la propagación [25].

2.4.3 VIGILAR Y CONTROLAR LOS SINTOMAS

- Los síntomas del COVID-19 incluyen fiebre, tos u otros síntomas.
- Siga las instrucciones de cuidado de su proveedor de atención médica y departamento de salud local. Las autoridades de salud locales le brindarán indicaciones sobre cómo verificar sus síntomas y notificar la información [25].

2.4.4 CUANDO BUSCAR SERVICIOS MÉDICOS DE EMERGENCIA

Esté atento a los signos de advertencia de emergencia* del COVID-19. Si alguien presenta alguno de estos signos, busque atención de servicios médicos de emergencia de inmediato [25]:

- Dificultad para respirar
- Dolor o presión persistente en el pecho
- Confusión



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- Incapacidad de despertarse o permanecer despierto
- Piel, labios o lechos de uñas pálidos, grises o azulados, según el tono de la piel

Llame al 911 o llame antes a su centro de emergencias local: notifique al operador que necesita atención para alguien que tiene o podría tener COVID-19 [25].

2.4.5 CONTACTO MÉDICO POR TELÉFONO

- Llame antes. Muchas visitas médicas de rutina se están posponiendo o realizando por teléfono o telemedicina [25].
- Si tiene una cita para una consulta médica impostergable, llame al consultorio de su médico para informarle que tiene o podría tener COVID-19. Esto ayudará al personal del consultorio a protegerse y proteger a otros pacientes [25].

2.4.6 REALIZACIÓN DE UNA PRUBA DE DETECCIÓN

- Si tiene síntomas de COVID-19, hágase una prueba de detección. Mientras espera los resultados de la prueba, manténgase alejado de otras personas, incluso de las personas que viven en su hogar [25].
- Las pruebas de detección caseras son una de las diferentes opciones para hacerse una prueba de detección del virus que causa el COVID-19 y pueden ser una opción más conveniente que las pruebas de laboratorio y las que se hacen en los puntos de atención. Consulte a su proveedor de atención médica o a su departamento de salud local si necesita ayuda para interpretar los resultados de su prueba [25].

2.4.7 USO DE MASCARILLA EN CASO DE CONTAGIO

- Debe usar una mascarilla que cubra la nariz y la boca si debe estar rodeado de otras personas o animales, incluidas las mascotas (incluso en su casa) [25].
- Si está solo, no es necesario que use la mascarilla. Si no puede usar una mascarilla (porque tiene dificultad para respirar, por ejemplo),



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

cúbrase de alguna otra forma al toser y estornudar. Procure mantenerse a al menos 6 pies de distancia de otras personas. Esto ayudará a proteger a las personas que lo rodean [25].

- No se debe colocar mascarillas a niños menores de 2 años, personas con dificultad para respirar o personas que no pueden quitarse la mascarilla sin ayuda [25].

Nota: Durante la pandemia del COVID-19, las mascarillas de uso médico están reservadas para los trabajadores de la salud y cierto personal de respuesta a emergencias [25].

2.4.8 CUBRIR LA NARIZ Y BOCA AL ESTORNUDAR

- Cúbrase la boca y la nariz con un pañuelo desechable al toser o estornudar.
- Bote los pañuelos desechables usados en un cesto de basura con bolsa.
- Al retirar el tapabocas Lávese las manos inmediatamente con agua y jabón por al menos 20 segundos. Si no dispone de agua y jabón, límpielas con un desinfectante de manos a base de alcohol que contenga al menos un 60 % de alcohol [25].

2.4.9 LIMPIEZA DE MANOS CON FRECUENCIA

- Lávese las manos con frecuencia con agua y jabón por al menos 20 segundos. Esto es de suma importancia luego de sonarse la nariz, toser o estornudar, después de ir al baño, y antes de comer o preparar comidas [25].
- Use un desinfectante de manos si no tiene agua y jabón. Use un desinfectante de manos a base de alcohol con al menos un 60 % de alcohol, y cubra toda la superficie de sus manos frotándolas entre sí hasta sentirlas secas [25].
- El agua y el jabón son la mejor opción, en especial si las manos están visiblemente sucias [25].
- Evite tocarse los ojos, la nariz y la boca con las manos sin lavar [25].

2.4.10 EVITAR COMPARTIR ARTICULOS DEL HOGAR



- No comparta platos, vasos, tazas, cubiertos, toallas o ropa de cama con otras personas de su casa [25].
- Luego de usar estos artículos, lávelos bien con agua y jabón o colóquelos en el lavaplatos [25].

2.4.11 LIMPIEZA DE SUPERFICIE DE ALTO CONTACTO

- Limpie y desinfecte las superficies de contacto frecuente en la "habitación del enfermo" y el baño; use guantes desechables. Permita que otra persona limpie y desinfecte las superficies en las áreas comunes, pero, en lo posible, usted debería limpiar su habitación y baño [25].
- Si un cuidador u otra persona necesita limpiar y desinfectar la habitación o el baño de una persona enferma, debe hacerlo según sea necesario. La persona encargada de los cuidados u otra persona debería usar una mascarilla y guantes desechables antes de limpiar [25].
- Las superficies de contacto frecuente incluyen teléfonos, controles remotos, mostradores, mesones, manijas de puertas, grifería del baño, inodoros, teclados, tabletas y mesas de noche [25].
- Limpie y desinfecte las áreas que puedan tener sangre, heces o líquidos corporales en su superficie [25].
- Use limpiadores y desinfectantes de uso doméstico. Limpie el área u objeto con agua y jabón u otro detergente si está sucio. Luego, use un desinfectante de uso doméstico [25].
- Asegúrese de seguir las instrucciones que figuran en la etiqueta para garantizar un uso seguro y eficaz del producto. Muchos productos recomiendan mantener la superficie húmeda durante algunos minutos para asegurar la eliminación de los microbios. Muchos también recomiendan tomar ciertas precauciones, como usar guantes y asegurarse de tener buena ventilación mientras



esté usando el producto [25].

2.5 LEGISLACIÓN Y DECRETOS ESTABLECIDOS EN PAMPLONA

(Resolución 666 del 24 de abril de 2020), adopta el protocolo general de bioseguridad para todas las actividades económicas, sociales y sectores de la administración pública contenido en el anexo técnico, el cual hace parte integral de esta resolución. Dicho protocolo está orientando a minimizar los factores que pueden generar la transmisión de la enfermedad y deberá ser implementado por los destinatarios de este acto administrativo en el ámbito de sus competencias [4].

GOBIERNO NACIONAL, DECRETO 206 DE 2021 DEL 26 DE FEBRERO DE 2021, EL ARTICULO PRIMERO, en virtud de emergencia provocada por el coronavirus **COVID-19**, se decreta el aislamiento selectivo con distanciamiento individual para la reactivación del comercio [1].

ARTÍCULO SEGUNDO el gobierno nacional decreta la medida “toque de queda” en toda la ciudadanía, desde el día dos de marzo de 2021 hasta el primero de abril de 2021, en el horario siguiente, desde 00:00 hasta 05:00 del día siguiente [1].

ALCALDIA DE PAMPLONA, DECRETO No 0031 DE 1 DE MARZO 2021, ARTÍCULO CUARTO: PICO Y CEDULA, teniendo en cuenta los protocolos de bioseguridad decretados por el ministerio de salud y protección social, ocasionado por el coronavirus. Y con el fin de garantizar la salud de las personas, se toman medidas de pico y cedula, dicha medida es aplicada de esta manera: el día par solo podrán ingresar los numero de cedula terminadas en (0,2,4,6,8) y el día impar solo podrán ingresar los números de cedula terminada en (1,3,5,7,9) a los establecimientos (supermercados, tiendas, venta de víveres, demás elementos alimenticios, la utilización de los servicios bancarios, pagos y similares en los establecimientos bancarios casas de cambio y demás centros de pagos destinados al recibo y recaudo de cobros de toda naturaleza) [1].

ALCALDIA DE PAMPLONA, ARTICULO QUINTO: se prohíbe el aforo superior a 10 personas en espacios públicos y privados [1].

ALCALDIA DE PAMPLONA, ARTICULO SEXTO: se deben implementar todos los protocolos de bioseguridad que ha establecido el ministerio de salud y protección social, a toda empresa o negocio, para evitar la propagación del coronavirus que expida el municipio, departamento o gobierno nacional. [1]

2.6 VISIÓN ARTIFICIAL



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

Es un método de procesamiento y adquisición de datos, utilizando hardware (cámaras, sensores) la cual toma muestras y las procesa para convertirlas en datos numéricos y los compara para mejorar las características. [8]

Un sistema de reconocimiento facial (aplicación de visión artificial) que ha sido desarrollado con reconocimiento de patrones para la clasificación de imágenes tomadas y recopiladas en una base de datos donde se consideran algunas características. [8]

Sus aplicaciones en la industria son muchas:

- mejora la automatización industrial.
- precisión y rapidez al proceso en curso.
- Analiza los procesos de producción.
- Reconstrucción de imágenes.

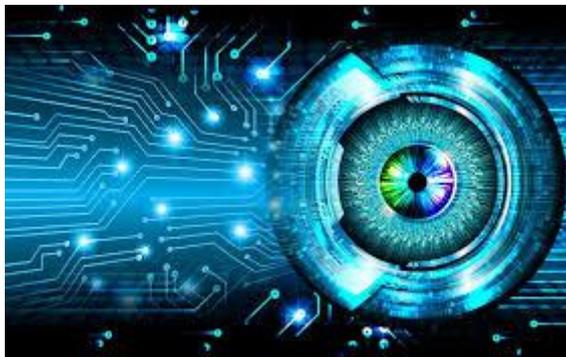


figura 5 visión artificial [8]

2.7 LA NEURONA BIOLÓGICA

La neurona biológica puede dividirse en un sistema de tres partes principales, las dendritas, el soma y el axón (figura 6). Las dendritas son las encargadas de recoger las señales procedentes de otras neuronas estas señales son procesados por el soma para luego emitir un impulso de actividad eléctrica a través de la larga extensión del axón y su salida se conectará a otras neuronas. Una neurona por sí sola no puede hacer mucho, pero cientos de estas conectadas pueden lograr multitud de posibilidades, son tan complejas estas conexiones que hace que el cerebro sea el órgano más difícil de comprender y estudiar. [9]



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

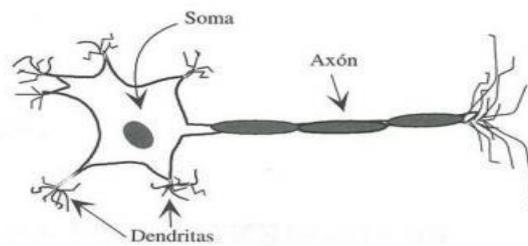


figura 6 estructura simplificada de una red biológica [9]

2.8 LA NEURONA ARTIFICIAL

La neurona artificial es una de las estructuras más simples tanto de la inteligencia artificial como de las redes neuronales, es un modelo matemático de la neurona biológica y al igual que una neurona biológica la neurona artificial es la unidad básica de una red neuronal artificial, la figura 6 representa una neurona artificial de tipo McCulloch-Pitts y como se puede apreciar en la figura las entradas a la neurona artificial estas representan las dendritas de la neurona biológica mientras que la suma ponderada equivale al soma y la función de activación representa el axón. [9]

La neurona artificial es el procesador elemental de la red, procesa el vector $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$ de entrada y genera una respuesta lógica. De la Ecuación 1 (y) representa la salida de la neurona que no es más que una suma ponderada de todas las entradas multiplicado por un valor w más el bias que representa el punto de corte del eje vertical, luego esta suma ponderada de valores será pasada por una función de activación que en el caso de la neurona artificial es la función escalón. El aprendizaje de la neurona está dado por el valor del vector de pesos los cuales serán actualizados en una serie de épocas hasta dar con la solución del problema. [9]

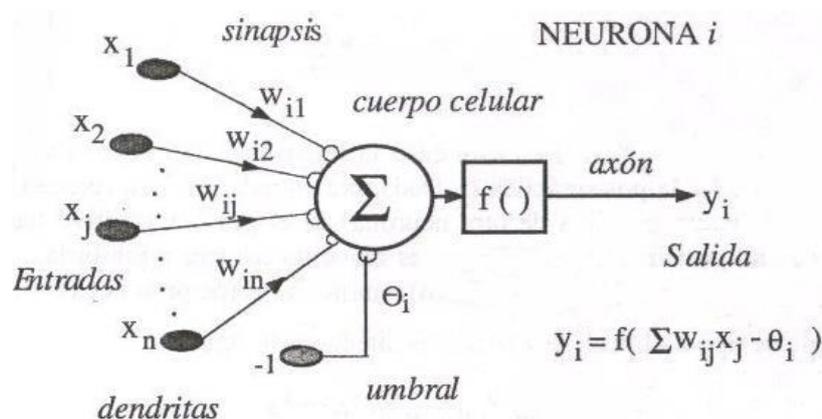


figura 7 neurona artificial de tipo McCulloch-Pitts, su estructura y comparación con la neurona biológica [9]

Cabe destacar que esta arquitectura solo admite entradas y salidas de tipo lógica y solo puede dar soluciones a problemas de tipo linealmente separables.



- y_i es la salida de la neurona que es de tipo lógica.
- f es la función de activación.
- θ representa la constante de bias.
- w_{ij} es el peso de la conexión.
- x_j representa el valor de entrada.

$$y = f \left(\sum_k^{\infty} w_{kx} x + \theta \right)$$

Ecuación 1 salida de la neurona artificial

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Ecuación 2 función de activación para cada neurona artificial.

2.9 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Consisten en la agrupación de neuronas artificiales conectadas entre sí, su estructura está inspirada en las características biológicas del sistema nervioso del ser humano. Las redes neuronales artificiales están constituidas a grandes rasgos de tres capas, la primera es la capa de entrada de datos, la segunda es la capa oculta que puede contener una o más capas y por último tenemos la capa de salida que generalmente tiene el mismo número de neuronas que de clases, en la Figura 8 se puede apreciar las diferentes layers que constituyen la red neuronal. [9][10]

Con la introducción de nuevas funciones de activación como la relu, softmax, tangencial, etc. las neuronas ahora tienen la capacidad de arrojar valores reales y no solo limitarse a salidas lógicas como en el caso del perceptrón simple. El aprendizaje de la red se basa en los pesos de conexión de entre cada neurona para optimizar estos pesos y hallar los valores correctos, en el entrenamiento se hace uso de técnicas de aprendizaje una de las más usadas y extendidas es el BackPropagation este método de entrenamiento se basa en calcular el error y propagarlo desde la última capa hacia atrás de ahí su nombre, esto lo hace con el fin de hallar los vectores gradientes y así minimizar el error. [9][10]



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

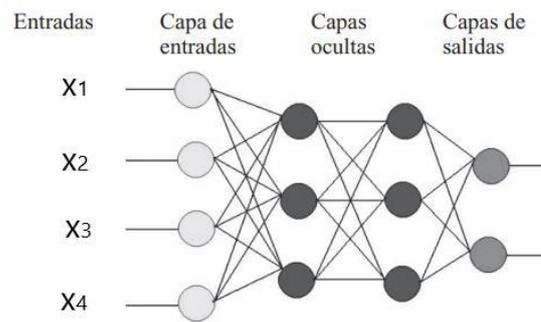


figura 8 estructura básica de una red neuronal artificial[10]

2.10 REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES

Las Redes Neuronales Convolucionales también conocidas por sus siglas en ingles de CNN, son un tipo de redes neuronales multicapa que se especializan en el reconocimiento de patrones en imágenes. Como las estructuras anteriores las neuronas artificiales y las redes neuronales artificiales las CNN están inspiradas en características biológicas en este caso las redes convolucionales están basadas en el córtex visual de ojo humano. Se basan en la operación de la convolución, lo cual radica en filtrar una imagen utilizando una serie de kernels que consiste en tomar grupos de píxeles próximos y cada píxel de salida es combinación lineal de los píxeles de entrada el formato de entrada es el alto x ancho x profundidad de la imagen, ver figura 9. [10]

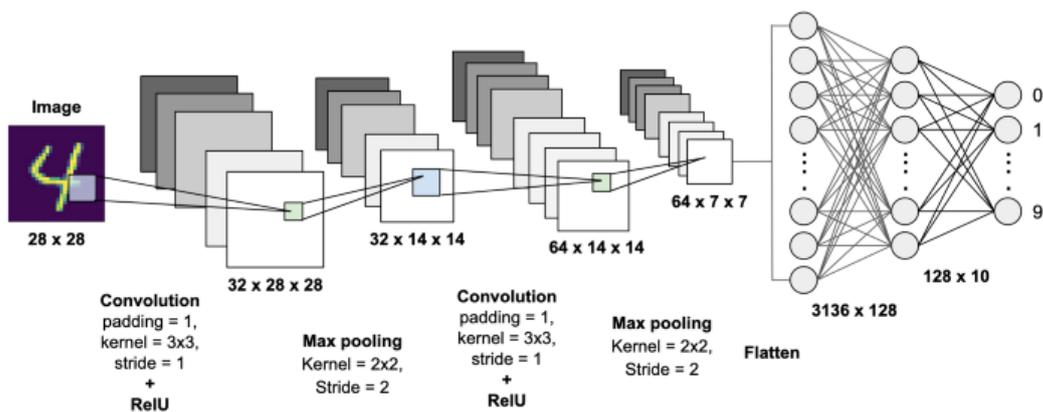


figura 9 estructura básica de una red convolucional tradicional[10]

Este tipo de redes neuronales se forman empleando capas de 3 categorías: capas de convolución, capas de pooling y por último la capa de clasificación que vendría siendo una red neuronal artificial tradicional. Las CNN al contener en su estructura varias capas ocultas su conocimiento se jerarquiza esto quiere decir que las primeras capas de convolución pueden detectar características básicas como curvas, líneas, texturas, etc. Mientras que las capas más avanzadas se van especializando en detectar rostros,



autos, personas. [10]

2.10.1 RED PRE-ENTRENADA MOBILENETV2

Utiliza bloques residuales invertidos con características de cuellos de botella. Tiene un recuento de parámetros drásticamente más bajo que el MobileNet original. MobileNets admite cualquier tamaño de entrada superior a 32 x 32, con tamaños de imagen más grandes que ofrecen un mejor rendimiento. Esta función devuelve un modelo de clasificación de imágenes de Keras, opcionalmente cargado con pesos previamente entrenados en ImageNet [11].

Argumentos de entrada:

- `include_top`: booleano, si se debe incluir la capa completamente conectada en la parte superior de la red. Por defecto es `True`.
- `weights`: Cadena, uno de `None` (inicialización aleatoria), `'imagenet'` (preentrenamiento en ImageNet) o la ruta al archivo de pesos que se cargará.
- `input_tensor`: tensor de Keras opcional (es decir, salida de `layers.Input()`) para usar como entrada de imagen para el modelo.

2.11 RASPBERRY PI4

La raspberry pi 4 es un sistema embebido con microprocesador con arquitectura de 32 bits, al que se le pueden instalar varios sistemas operativos como Raspbian basado en Debian, Noobs. Tiene puertos digitales de entrada y salida de propósito general con lógica TTL, e implementa protocolos de comunicación como el protocolo de comunicación I2c, el protocolo de comunicación SPI, el Protocolo de comunicación UART, cuenta con características de un ordenador personal como memoria RAM, en la que podemos elegir entre 3 tipos, con memoria RAM DDR4 de 2GB, 4GB, 8GB, para el desarrollo de este proyecto contamos con la versión de 4GB, se cuenta con un procesador ARM, 2 puertos USB 2.0 y 2 puertos USB 3.0, salida de audio, 2 salidas HDMI con resolución 4K, slot para memoria SD[12].

Cuenta con 2 conectores para instalar un display táctil, y un puerto para conectar una cámara, aunque en el mercado se consiguen estas cámaras a un bajo costo, la desventaja radica en la corta distancia de la Flex, y es por ello que tomamos la decisión de utilizar una cámara usb con una resolución 720P, para alimentar la tarjeta los desarrolladores recomiendan usar una fuente de 5V con salida tipo C, de 3 Amperios, además posee la comunicación a wifi de 5 generación y bluetooth en su versión más utilizada, la raspberry pi4 posee un puerto para conectar un cable ethernet, este



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

puerto permite aceptar velocidades de giga-ethernet.

El sistema operativo provee programas como juegos, reproductor multimedia, buscador web, paquetes de office, y entornos integrados de programación como JAVA, y Python.

Python es un lenguaje de alto nivel, gratuito y está fundamentado en C++, además su comunidad es muy diversa, y permite la creación de aplicaciones, creación de páginas web.



figura 10 Raspberry pi 4b [12]

En la figura 11 se puede ver diferencias entre su predecesora la raspberry pi3 b+, su diferencia más significativa es el alto consumo de energía, pero compensa con mayor potencia computacional.

PRUEBA	RPI 3B+	RPI 4	Cambio
Tiempo de carga	39.9	41.7	-4.5%
Energía en espera (Amps)	0.505	0.684	-35.4%
Energía al máximo (Amps)	1.14	1.12	1.8%
CPU - sysbench primes - 1 hilo	317.7	250.4	21.2%
CPU - sysbench primes - 4 hilos	86.2	62.8	27.1%
Ancho de banda RAM - mbw	1420	2983	110.1%
OpenGL - videogl32	30.9	35.8	15.9%
Ethernet - iperf3 (Mbps)	332	933	181.0%
WiFi 2.4Ghz - iperf3 (Mbps)	38.6	39.6	2.6%
WiFi 5Ghz (ac) - iperf3 (Mbps)	98.6	107	8.5%
Escritura de disco USB externo - dd	35	155	342.9%
Lectura de disco USB externo - dd	32	233	628.1%

figura 11 comparativa entre la raspberry pi 4b y la raspberry pi3 b+ [12]

2.11.1 CONEXIÓN DE PERIFERICOS DE ENTRADA-SALIDA



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

Para poder usar la tarjeta Raspberry Pi se requieren los siguientes accesorios para la instalación del sistema operativo y configuraciones iniciales, estos accesorios son:

- Una memoria SD (16 GB).
- Monitor con entrada HDMI
- Teclado y mouse USB.
- Cargador con puerto tipo C.
- Cable HDMI a microHDMI

2.11.2 DESCARGA E INSTALACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO

Para poder usar el sistema embebido es necesario instalar el sistema operativo en la tarjeta microSD, siguiendo los siguientes pasos:

- Formatear la memoria a formato FAT32, este tipo de formato llamado “universal”, da la posibilidad de cargar un archivo tipo .img
- Descargar la imagen del sistema operativo que queramos utilizar, disponible en su página oficial [12]. La distribución de Raspbian basada en Debían.
- Descargado el archivo con extensión .zip, se procede a descomprimir y montar la imagen contenida allí en una memoria SD para conectarla a la Raspberry PI y ser ejecutada. Para ello, debemos insertar la memoria SD a un ordenador y con la ayuda del programa BALENAETCHER [13], cargar (flashear) la imagen en la memoria SD desde Windows.
- Ejecutado el programa BALENAETCHER se direccionará la imagen del sistema operativo Raspbian, además, la unidad de destino de la tarjeta SD donde se va a cargar la imagen.
- Una vez cargada la imagen en la memoria, la tarjeta SD debe ser insertada en el puerto microSD de la tarjeta.
- Al energizar la tarjeta la pantalla con puerto HDMI debe estar encendida, el bootloader de la tarjeta reconocerá el chip de video y ajustará la resolución de salida de acuerdo a las características de la



pantalla, una vez completado ello el sistema estará listo para usarse.

- Conectar la tarjeta a la red de internet a través de wifi, es importante conocer que dirección ip le asigna automáticamente (enrutamiento-dinámico) hay diferentes aplicaciones móviles que permiten escanear la red y determinar cuál dirección ip tienen los dispositivos conectados, esto da la posibilidad de acceder al sistema operativo de la raspberry por escritorio remoto desde Windows.

2.11.3 ACCEDIENDO A RASPBIAN DESDE ESCRITORIO REMOTO

Para poder acceder remotamente al escritorio de la Raspberry Pi se debe instalar el servidor de escritorio remoto “Xrdp”. Esta aplicación permitirá acceder desde Linux, Windows o Mac al entorno Raspbian de Raspberry, para ello se accede al LXTerminal de la tarjeta y se ejecuta el siguiente comando seguido de la tecla enter.

```
sudo apt – get install xrdp
```

Finalizado el proceso de instalación, es necesario reiniciar la Raspberry con el comando:

```
sudo reboot
```

Finalizada la instalación, la Raspberry Pi ya está lista para acceder remotamente desde cualquier sistema operativo anteriormente mencionado.

Los pasos para acceder desde Windows al entorno gráfico de la Raspberry Pi son los siguientes:

Configurar el uso compartido de internet a través de ordenador.

- Identificar la IP asignada por el modem a la Raspberry pi a través de wifi usando la aplicación móvil de Android Fing [14].
- Con ayuda de la aplicación de Windows llamada (Conexión a Escritorio remoto) que se encuentra en: inicio\CMD. Se debe ingresar la IP de la Raspberry pi y conectar.
- Una vez conectado accedemos al entorno grafico de la Raspberry Pi. En la cual aparecerá la aplicación Xrdp instalada anteriormente, en ella se ingresa el usuario (pi) y contraseña (raspberry) configurados por el sistema por defecto.

2.11.4 INSTALACIÓN DE IDE PYTHON3



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

Actualizamos los paquetes y programas instalados a la última versión disponible de Raspbian, ingresando a una terminal y ejecutando los siguientes comandos:

```
sudo apt – get update
sudo apt – get upgrade
sudo apt – get install python3
sudo apt – get install python – idle
sudo apt – get install idle
sudo reboot
```

2.11.5 INSTALACIÓN DE LIBRERIAS PARA PYTHON3

Ingresar a la terminal y ejecutar los siguientes comandos:

- Paquete manejo de gráficos (Matplotlib).
`sudo apt – get install python3 – matplotlib`

- Paquete manejo de ficheros (numpy).

```
sudo apt – get install python3 – numpy
```

- Biblioteca libre de visión artificial (OpenCV)

```
Sudo apt – get install libhdf5 – dev libhdf5 – serial –
dev libatlas – base – dev libjasper – dev libqtgui4 libqt4 –
test
```

```
sudo pip3 install opencv – contrib – python == 4.1.0.25
```

- Biblioteca de herramientas y algoritmos matemáticos (Scipy)

```
sudo apt – get install python3 – scipy
```

- Plataforma de código abierto para aprendizaje automático (Tensorflow).

```
sudo wget https://github.com/Qengineering/Tensorflow – Raspberry
–Pi/raw/master/libtensorflow_1_15_2.tar.gz
```

```
sudo tar – C /usr/local – xzf libtensorflow_1_15_2.tar.gz
```

```
sudo reboot
```



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- Biblioteca estándar para creación de interfaz gráfica (Tkinter)

sudo apt – get install python – tk

2.11.6 PUERTOS DE ENTRADA-SALIDA DE PROPÓSITO GENERAL GPIO

Los puertos de señales de propósito general GPIO de Raspberry Pi4 dispone de 40 pines (figura 12). Nótese la descripción de cada uno de los pines de cada uno de los dos modelos y sus protocolos de comunicación de bajo nivel (SPI, I2C, y UART).

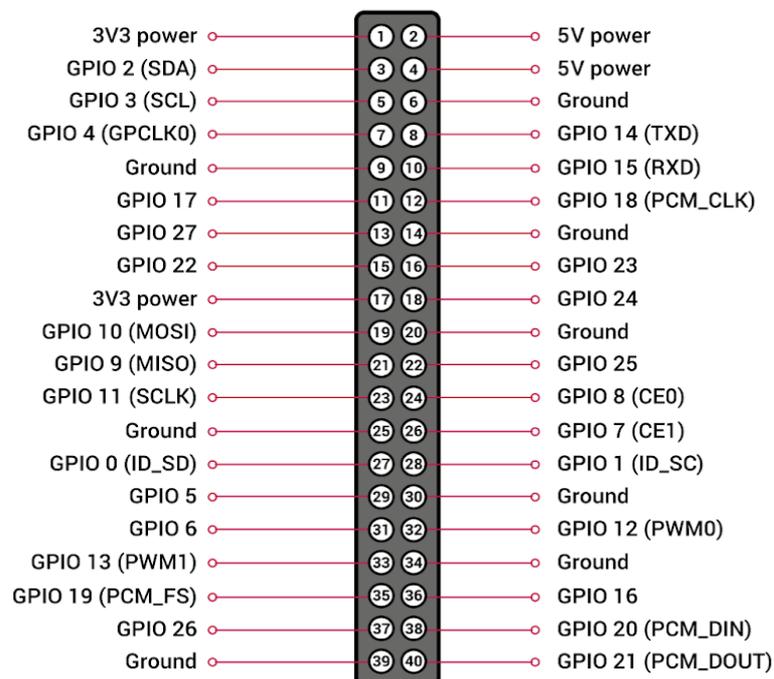


figura 12 Pines de entrada, salida y protocolos de comunicación Raspberry pi 4 [21]

2.11.7 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN RASPBERRY PI4

A continuación, se realizará una descripción general de los protocolos de comunicación que se emplearan en el desarrollo del proyecto, el protocolo I2C es necesario para establecer una comunicación entre la raspberry pi4, y el módulo para adquirir temperatura MLX90614.

2.11.7.1 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN I2C

I2C es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. El puerto incluye dos cables de comunicación, SDA y SCL. Además,



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

el protocolo permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos con esas dos líneas (figura 13), con hasta velocidades de 100, 400 y 1000 kbits/s [15].

Los modos de comunicación en I2C se refieren a las distintas tramas que pueden formarse en el bus. Estas tramas o modos dependen de, por ejemplo, si queremos leer al sensor esclavo, o si lo queremos configurar. Existen principalmente dos modos de comunicación [15].

- Maestro-Transmisor y Esclavo-Receptor. Este modo se usa cuando se desea configurar un registro del esclavo I2C.
- Maestro-Receptor Y Esclavo-Transmisor. Se usa cuando queremos leer información del sensor I2C.

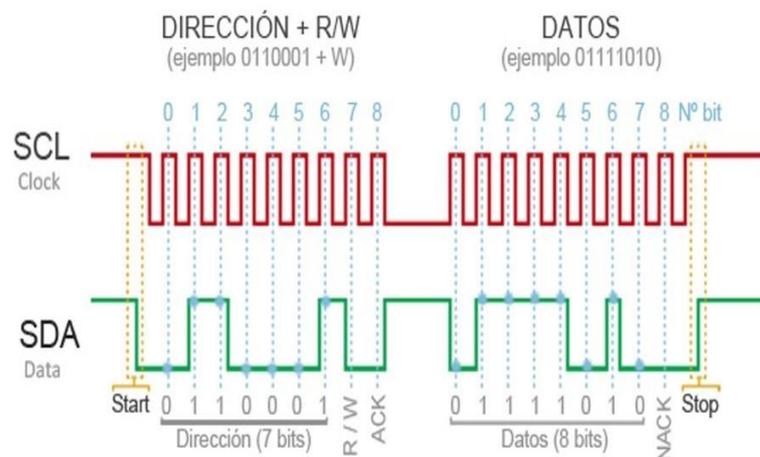


figura 13 Protocolo de comunicación I2C [15]

2.11.7.2 SENSOR DE TEMPERATURA MLX90614

El Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614 (figura 14) fabricado por la empresa Melexis permite medir la temperatura de un objeto a distancia (sin contacto). El Sensor MLX90614 es un chip de silicio con una fina membrana micromecanizada, diseñada para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia. El sensor posee internamente una etapa de amplificación y digitalización (ADC) de la señal procedente de la membrana. La salida del sensor es lineal y se compensa de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente. El sensor MLX90614 integra un circuito de filtrado de ruido, un convertor A/D (ADC) de 17 bits de resolución y un procesador digital de señales, entregando un amplio rango de trabajo para objetos desde -70°C hasta 380°C , con una precisión de 0.5°C . La salida del sensor es una interfaz de comunicación digital tipo SMBus, que es un



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

subconjunto del protocolo I2C [16].



figura 14 Sensor de temperatura MLX90614 [16]

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Módulo	GY-906
Chip Sensor	MLX90614ESF-BAA
Voltaje de operación	3.3V-5V DC (Raspberry pi4)
Protocolo de comunicación	SMBUS (Subconjunto de I2C)
Rango de temperatura ambiente de trabajo	-40°C hasta +170°C
Rango de temperatura en objeto	-70°C hasta 380°C
Precisión	+/- 0.5%
Profundidad en bits ADC interno	17 bits
Procesador digital de señal	Interno CLK's
Regulador de voltaje en placa	3.3 V
Resistencia a VIN en placa	Pull-up
Dimensiones	16*6*6 milímetros (mm)
Valor en dólares	15

Tabla 2 Características técnicas Sensor MLX90614 [16]

2.12 TERMÓMETRO INFRARROJO MÉDICO JZK-601

JZK-601, termómetro infrarrojo médico puede medir la temperatura de una persona



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

con el uso de termómetros infrarrojos sin contacto. se utiliza para reducir el riesgo de contaminación cruzada y minimizar el riesgo de propagación de enfermedades, Aunque normalmente 37,0 ° C se considera una temperatura "normal", algunos estudios han demostrado que la temperatura corporal "normal" puede estar dentro de un amplio rango, de 36,1 ° C a 37,2 ° C. Cuando la temperatura supera los 37,2 ° C, debes prestarle atención, JZK-601, termómetro infrarrojo médico puede medir la temperatura de una persona con el uso de termómetros infrarrojos sin contacto. se utiliza para reducir el riesgo de contaminación cruzada y minimizar el riesgo de propagación de enfermedades, Aunque normalmente 37,0 ° C se considera una temperatura "normal", algunos estudios han demostrado que la temperatura corporal "normal" puede estar dentro de un amplio rango, de 36,1 ° C a 37,2 ° C. Cuando la temperatura supera los 37,2 ° C, debes prestarle atención [28].

Ventaja:

- prueba de temperatura de la superficie del cuerpo u objetos
- Lectura visual y audible
- Operación de una tecla
- 64 juegos de memoria para modos duales
- Apagado automático
- Luz de fondo inteligente tres
- Soporte °C y °F conmutable



figura 15 pistola infrarroja convencional para medir temperatura corporal [27].

PARAMETROS TÉCNICOS	
Módulo de visualización	Pantalla LCD
Datos de memoria	64 juegos de memoria para modos duales
Unidad de temperatura	°C o °F



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

Gestión de energía	Apagado inteligente, control de consumo de energía ultra trabajo, pantalla de energía, alarma de bajo voltaje
Fuente de alimentación	DC 3V (2 baterías AA)
Rango de temperatura mostrada	32 °C hasta 43°C para cuerpo humano 0°C hasta 32 °C, 80 °C para objetos
Tiempo de medición	Menos de 1 segundo
Error máximo permitido	35,0 °C o 42,0 °C +/- 0,2 °C < 35,0 °C o 42,0 °C +/- 0,3 °C
Iluminación desde el fondo	Backlight de tres colores
Temperatura de medición	16°C hasta 35°C
Peso	135 gramos
Resolución de pantalla	0,1 °C
Distancia de sensado	De 2 Cm hasta 5 Cm

Tabla 3 Especificaciones técnicas pistola de termómetro infrarojo JZK-601 [27]

2.13 CAMARA WEBCAM USB

En la figura 15 se aprecia una cámara webcam de conexión tipo usb para conectarla con la raspberry y hacer la adquisición y detección de rostros con mascarillas y sin mascarillas en tiempo real para habilitar el circuito de entrada, la cámara webcam será utilizada en la evaluación de nuevas imágenes. En la tabla 3 se muestran las características técnicas este tipo de cámara a pesar de ser de bajo costo y con una resolución 720p funciona muy bien con el proyecto ya que es soportada por el sistema operativo y la arquitectura de construcción de la raspberry pi4.



figura 16 Cámara webcam usb utilizada en la evaluación de imágenes [27]

CARACTERISTICAS TÉCNICAS



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

Marca	HCO
Modelo	720p
Voltaje de operación	5V DC
Resolución máxima de video	720
Interfaces	Cable Usb
Chip	DSP sin controlador
Enfoque	Automático
Balance de blancos	Automático
Corrección de colores	Automático
Sensor de imagen	CMOS
Lente	Vidrio calidad superior
Resolución dinámica	1280X720
Velocidad de fotogramas	30 FPS
Longitud de la línea	140 Cm
Dimensiones	8X3X11 Cm
Peso	130 gramos

Tabla 4 Características técnicas cámara webcam usb utilizada [27]

2.14 PYTHON

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. El mismo sitio también contiene referencias a muchos módulos, programas y herramientas de Python gratuitos de terceros, y documentación adicional. [17]

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. [17]

2.15 TENSORFLOW Y KERAS

Compila y entrena modelos innovadores sin sacrificar la velocidad ni el rendimiento. TensorFlow te brinda la flexibilidad y el control con funciones como la API funcional de Keras y la API de subclases de modelos para la creación de topologías complejas. Para lograr un prototipado fácil y una depuración rápida, usa la ejecución inmediata. [18]

TensorFlow también es compatible con un ecosistema de potentes bibliotecas de



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

complementos y modelos para experimentar, entre los que se incluyen Ragged Tensors, TensorFlow Probability, Tensor2Tensor y BERT. [18]



figura 17 Librerías de inteligencia artificial [22]

Keras es una biblioteca de Redes Neuronales de Código Abierto escrita en Python. Es capaz de ejecutarse sobre TensorFlow (Figura 17), Microsoft Cognitive Toolkit o Theano. Está especialmente diseñada para posibilitar la experimentación en más o menos poco tiempo con redes de Aprendizaje Profundo. ofrece API consistentes y simples, minimiza la cantidad de acciones del usuario necesarias para los casos de uso comunes y proporciona mensajes de error claros y procesables.

2.16 OPENCV

Open source computer vision library más conocido como Opencv, es una biblioteca de código abierto de visión por computadora y de aprendizaje automático. Está escrita de forma nativa en c++, esta librería consta de más de 2500 algoritmos completamente funcionales y optimizados, que abarca un conjunto diverso de algoritmos de última generación. Estos algoritmos pueden emplearse para la detección y reconocimiento de rostros, identificar objetos, clasificar acciones humanas, rastreo de movimiento, detección de objetos y un largo etc. Tiene soporte e interfaces para múltiples entornos y lenguajes como lo son c++, Python, MATLAB. Es compatible con los sistemas operativos Windows, Linux, Android y mac OS. [20]

2.17 GOOGLE COLABORATORY

Google colabory o más conocido como Google colab, permite codificar y ejecutar código Python en la nube. Las ventajas de esta plataforma es que no se necesita de ninguna configuración en la maquina pues solo es necesario el acceso a internet, permite el acceso de hardware especializado como GPUs y TPUs. Esta plataforma está



pensada para estudiantes, científico de datos o investigadores de IA. [21]

la interfaz de Google colab es igual al jupyter notebook por lo tanto permite desarrollar código Python de manera dinámica posibilitando la ejecución de código como la escritura de texto junto a imágenes, HTML, latex y mucho más, lo anterior agrega una capa de interactividad tomando el código una forma de documento interactivo. [21]

2.18 TKINTER

Es una librería que permite la creación de interfaces gráficas, está disponible en formato de objeto, permite la creación de interfaces de tipo estática o dinámica, podemos cargar imágenes navegar por los directorios, proporciona la creación de botones, widgets, funciones de cálculo, entre otras funcionalidades permite la manipulación fluida de clases, como imágenes, videos.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA

En este capítulo se describirá la metodología para desarrollar el proyecto para adquirir, procesar, las imágenes de entrenamiento, validación de la red neuronal para la detección de tapabocas en el rostro, así como la exportación del modelo a la raspberry pi4 para clasificación de nuevas imágenes, la detección del último dígito de la cédula



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

DETECCIÓN DE MASCARILLAS

Se pueden apreciar las fases iniciales (ilustración 2) para la manipulación del conjunto de imágenes, este diagrama corresponde al análisis, y manipulación de las imágenes para subir a Google drive el conjunto de datos de entrenamiento y validación para la creación de una red neuronal que aprenda a distinguir entre rostros sin mascarillas, y rostros con mascarillas.



Ilustración 2 Diagrama en bloques detección de mascarillas

3.1 OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DEL CONJUNTO DE DATOS PARA DETECCIÓN DE MASCARILLAS

El aprendizaje de la red neuronal requiere un conjunto de imágenes con dos clases de imágenes rostro con mascarilla, y rostro sin mascarilla, se consideró que para el aprendizaje del modelo el conjunto de datos debe dividirse en dos tipos imágenes de validación e imágenes de entrenamiento, una vez el aprendizaje de la red neuronal sea mayor al 90%, el modelo está listo para exportarse e implementarse en la raspberry pi4.

3.1.1 CONJUNTO DE IMÁGENES

Este repositorio de imágenes está libre para descarga en GitHub que está libre de uso para el público, se puede descargar como un archivo.zip en Windows o clonar desde Linux, o Raspbian, en nuestro caso lo clonamos desde la raspberry pi4. consta de 3833 imágenes de personas, figura 18 con rostro descubierto y



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

rostro con mascarilla, para el uso de Google colab y su máquina virtual es necesario ingresar con un correo electrónico de Google Gmail, entonces estas imágenes fueron subidas al drive alojado a la misma cuenta y una vez subidas en una carpeta que contiene dos carpetas una con imágenes de rostro con mascarilla y otra carpeta de rostros sin mascarilla. Google colab proporciona una herramienta para importar imágenes desde Google drive, la carga de estas imágenes a la máquina virtual depende de la velocidad de conexión de nuestro internet y finalmente importadas las imágenes ya se pueden aplicar técnicas de procesamiento de imágenes.

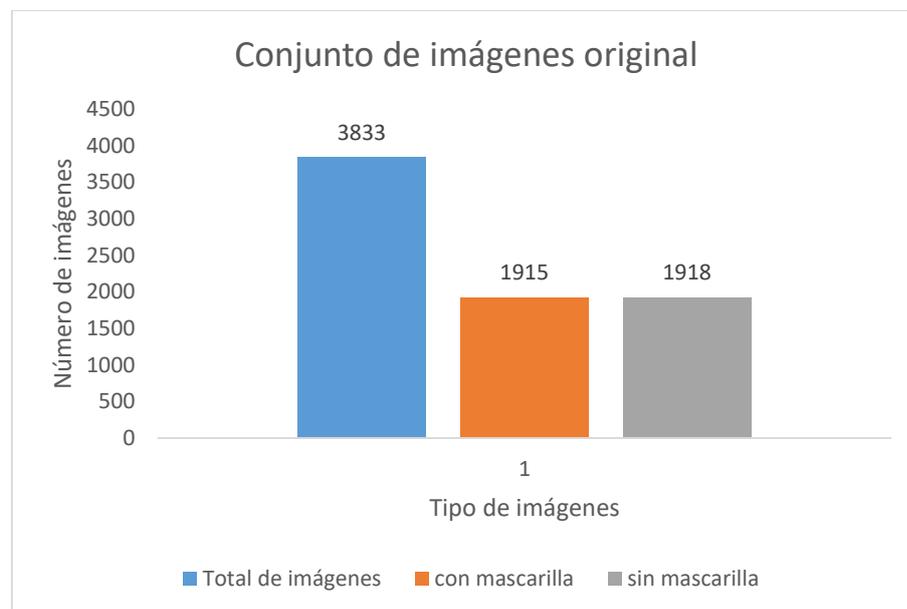


figura 18 imágenes obtenidas del repositorio en GitHub

El conjunto de imágenes inicialmente constaba de 3833 imágenes, pero agregamos 100 imágenes para alimentar el conjunto de datos con imágenes propias, 1965 imágenes pertenecen a rostros con mascarillas, y 1968 imágenes pertenecen a rostros sin mascarillas, en la figura 19, se puede apreciar la distribución de imágenes para cada clase, nótese que no necesariamente el número de imágenes para cada clase es igual esto es una ventaja de las redes neuronales a diferencia de otras técnicas de clasificación que exigen que el conjunto de datos deba ser igual.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

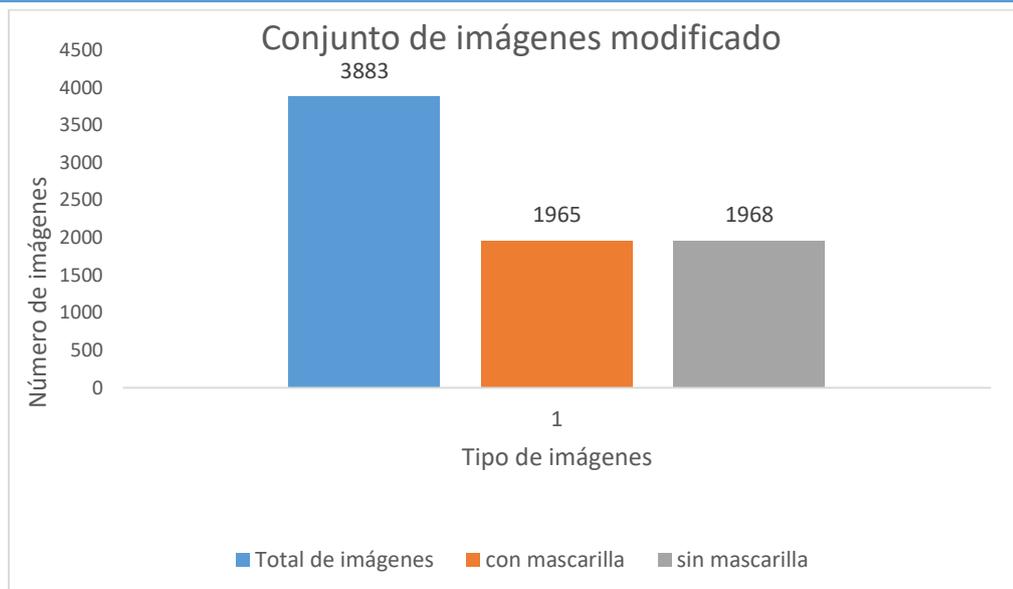


figura 19 Imágenes utilizadas para la red neuronal

Para entrenar el modelo y verificar que la red neuronal encontró una frontera de separabilidad es necesario dividir el conjunto de datos en dos secciones imágenes de entrenamiento e imágenes de validación, para el conjunto de imágenes de entrenamiento utilizamos el 95% como se muestra en la figura 20. y para la validación utilizamos el 5% de las imágenes distribuidas como se muestra en la figura 21.

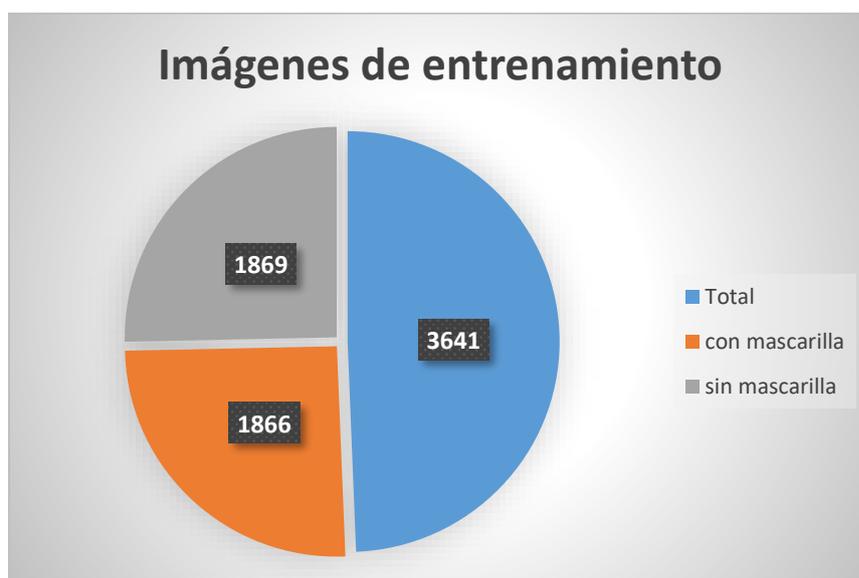


figura 20 imágenes de entrenamiento de la red neuronal.



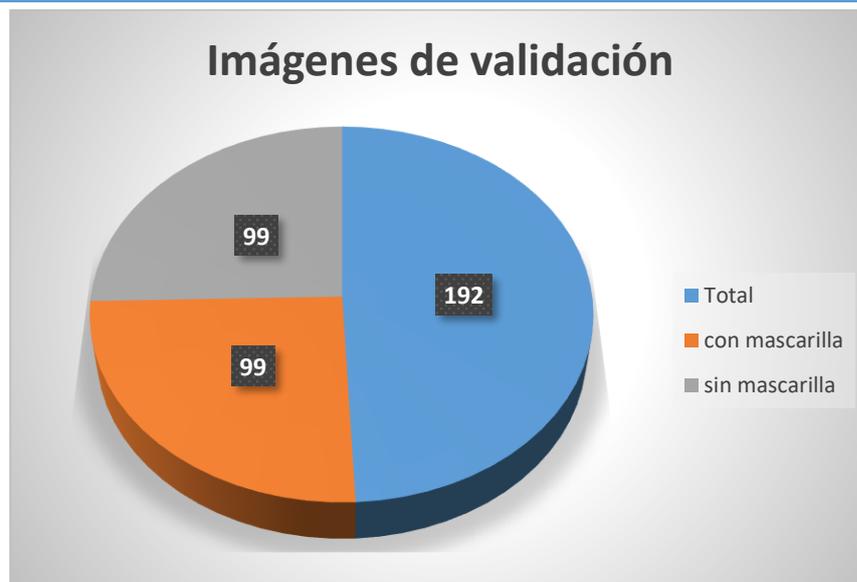


figura 21 imágenes de validación de la red neuronal

En la figura 22 se pueden apreciar 40 imágenes del conjunto de clases con mascarillas, además se aprecia también el uso de varios tipos de mascarillas y varios colores, al momento de procesar las imágenes seleccionamos los 3 canales de color del espacio RGB. Para tener en cuenta la diferencia de todos los tipos de mascarillas.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

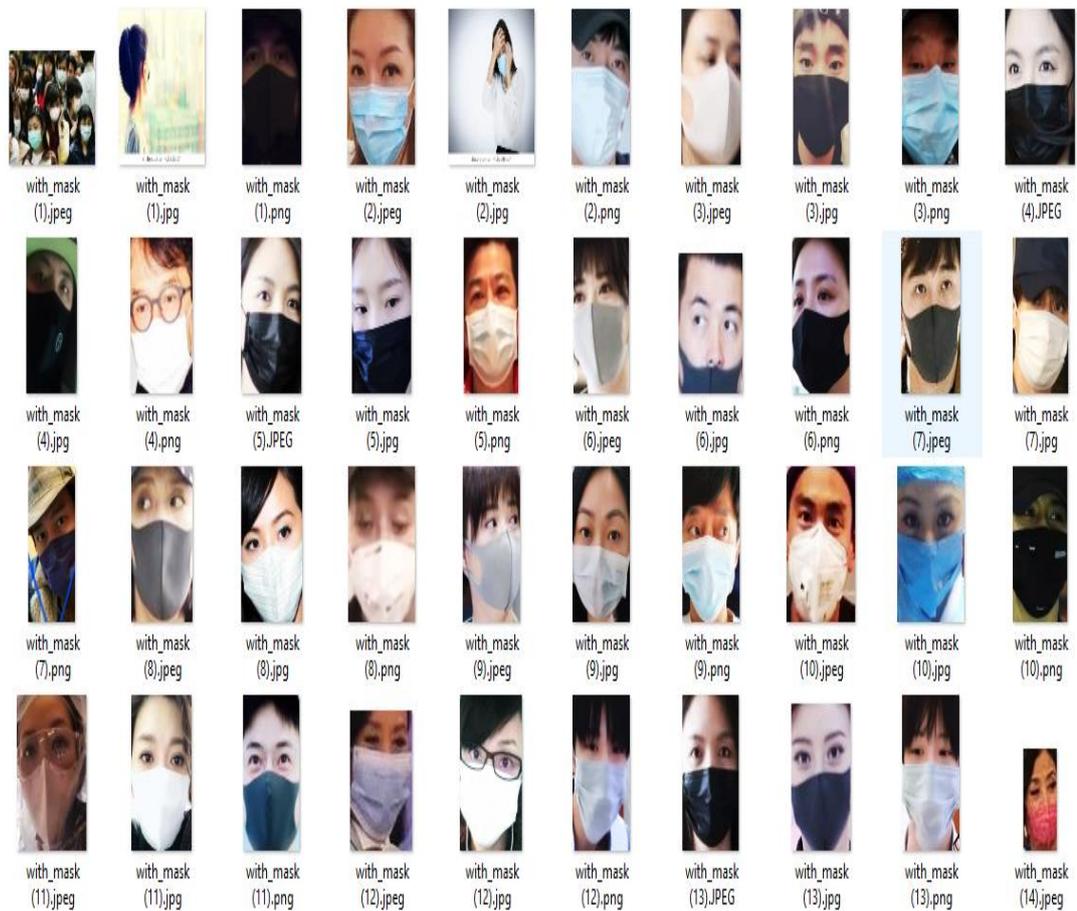


figura 22 imágenes de muestra rostros con mascarillas.

En la figura 23 se pueden apreciar 40 imágenes del conjunto de clases con mascarillas, además se aprecia también el uso de varios tipos de mascarillas y varios colores, al momento de procesar las imágenes seleccionamos los 3 canales de color del espacio RGB. Para tener en cuenta la diferencia de todos los tipos de mascarillas.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

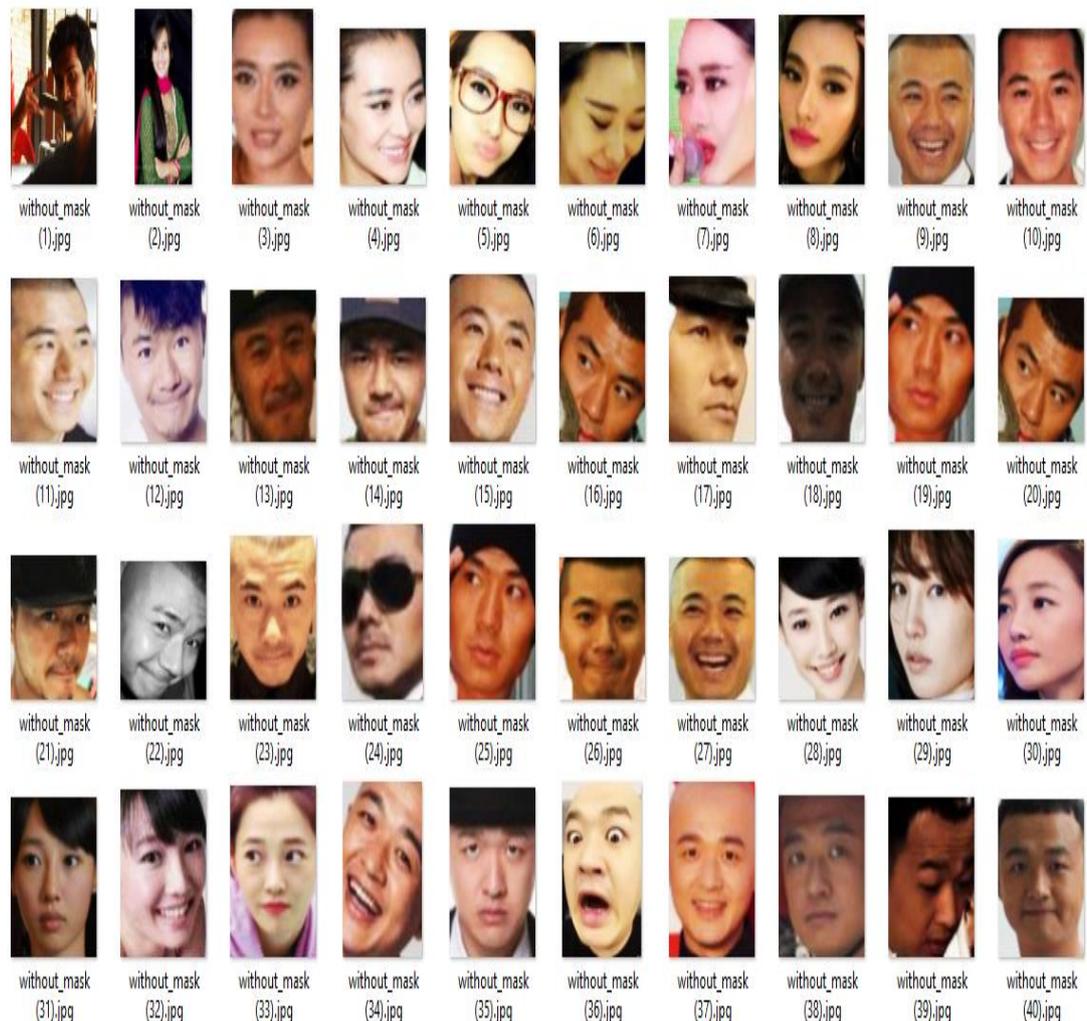


figura 23 imágenes de muestra rostros sin mascarillas.

Una vez subidas las imágenes a Google drive podemos empezar a manipularlas, y a aplicarles técnicas de procesamiento de imágenes, y conversión de datos para establecer las imágenes como entradas de la red neuronal, seguido la creación de una red neuronal convolucional con sus capas, sus filtros, sus neuronas, cada una de ellas con sus funciones de activación y la compilación del modelo de red neuronal, para empezar el entrenamiento, una vez que acabe el entrenamiento evaluaremos la respuesta de la red neuronal a nuevas imágenes las cuales se les debe aplicar las mismas técnicas de procesamiento para evaluar validar el modelo, si el porcentaje de acierto del modelo es superior al 90%, el modelo se debe guardar y descargar para ser almacenado en la raspberry pi 4 (ilustración 3).



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19



Ilustración 3 Diagrama en bloques creación, entrenamiento, validación red neuronal artificial

3.2 MODELO DE RED NEURONAL

Una vez subido el conjunto de datos, y separados en dos conjuntos de datos de entrenamiento, y datos de validación, se decide usar redes neuronales convolucionales por su efectividad en la clasificación de imágenes sin requerir tanto tiempo de ejecución en el entrenamiento ya que su efectividad radica en la creación de capas de convolución que obtienen las características principales de una imagen, este tipo de redes son muy utilizadas en la detección de objetos, reconocimiento de rostros, clasificación de enfermedades en plantas.

En esta sección se describirán los pasos que se llevaron para el entrenamiento de la red, su exportación a la raspberry pi4 y el entrenamiento de una red preentrenada, la red neuronal MobileNetV2.

3.2.1 MODELO RED NEURONAL CONVOLUCIONAL

Una vez cargadas las imágenes a Google drive se dividen en dos categorías



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

imágenes de rostros con mascarillas e imágenes con rostros sin mascarilla, para cada directorio cargamos las imágenes con ayuda de la biblioteca "tensorflow.keras.preprocessing.image" y redimensionamos cada imagen a un tamaño de 224 de alto X 224 pixeles de ancho, utilizando los 3 canales r (rojo),g (verde),b (azul), después cada imagen se convierte a un arreglo y se guardan los datos que contiene las entradas preprocesadas de cada imagen para las dos clases, Y se guarda cada imagen en la última posición de la lista.

Al final obtendremos una lista que contiene la cantidad de imágenes de rostros con mascarillas, y rostros sin mascarilla etiquetadas según su categoría de la siguiente forma:

```
CATEGORIES = ["with_mask", "without_mask"]
```

```
data = []
labels = []

for category in CATEGORIES:
    path = os.path.join(DIRECTORY, category)
    for img in os.listdir(path):
        img_path = os.path.join(path, img)
        image = load_img(img_path, target_size=(224, 224))
        image = img_to_array(image)
        image = preprocess_input(image)

        data.append(image)
        labels.append(category)
```

Cada imagen se convierte a formato float32, parámetro necesario en caso de utilizar las TPUs de Google colab para el entrenamiento, y se convierten las imágenes a un formato de tipo arreglo y cada etiqueta también.

```
data = np.array(data, dtype="float32")
labels = np.array(labels)
```

Con la ayuda del paquete SCIKIT-LEARN asignamos la cantidad de imágenes que usaremos para entrenamiento , y la cantidad de imágenes que usaremos para validación, además Controlamos la mezcla aplicada a los datos antes de aplicar la división, para una salida reproducible a través de múltiples llamadas a funciones. El conjunto de imágenes de validación corresponde a 5%, por ello la asignación de 0.05 a la variable tamaño de imágenes de validación. Al final tendremos en la variable trainX la cantidad de imágenes de entrenamiento (3641 imágenes) y en testX la cantidad de imágenes de validación (192 imágenes) así como en trainY, obtendremos las etiquetas de la cantidad de imágenes de entrenamiento, y en testY las etiquetas de las imágenes de validación.



```
(trainX, testX, trainY, testY) = train_test_split(data, labels,  
test_size=0.05, stratify=labels, random_state=42)
```

Para la creación de un modelo de inteligencia artificial que permita distinguir el tipo de imagen a comparar, se considera el aumento de datos, que consiste en aplicar aleatoriamente diversas técnicas como lo son:

- Rotar las imágenes
- Hacer zoom a las imágenes
- Desplazar las imágenes aleatoriamente, ya sea hacia la izquierda o hacia la derecha.
- Desplazar las imágenes aleatoriamente, ya sea hacia la arriba o hacia abajo.
- Intensidad de corte (ángulo de corte en sentido antihorario en grados)
- Girar la imagen horizontalmente
- Los puntos fuera de los límites de la entrada se llenan de acuerdo con el más cercano

```
aug = ImageDataGenerator(  
    rotation_range=20,  
    zoom_range=0.15,  
    width_shift_range=0.2,  
    height_shift_range=0.2,  
    shear_range=0.15,  
    horizontal_flip=True,  
    fill_mode="nearest")
```

Una vez realizado el aumento de datos cargamos la red MobileNetV2, asegurándonos de que los conjuntos de capas FC principales estén detenidos, y además que los datos de entrada de los tensores sea el mismo que se usó para redimensionar las imágenes (224 píxeles de alto por 224 píxeles de ancho), y los 3 canales, correspondientes al espacio de color RGB.

```
baseModel = MobileNetV2(weights="imagenet", include_top=False,  
input_tensor=Input(shape=(224, 224, 3)))
```

3.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS CAPAS DEL MODELO BASE

Average pooling, nos permite reducir el número de parámetros, lo que acorta el tiempo de entrenamiento y combate el sobreajuste. Las capas agrupadas reducen la resolución de cada mapa de características de forma independiente, reduciendo la altura y el ancho, manteniendo intacta la profundidad. Flatten crea capas planas equivalentes a multiplicar la cantidad de píxeles de ancho con la cantidad de píxeles de alto, con el número de canales del espacio de color RGB, las capas densas de activación relu permite que la red aprenda múltiples



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

camino para lograr la separabilidad, y el dropout la estimación de una red neuronal porcentual que cada vez que evalúe una imagen y este por encima o por debajo del 50% se aproxime a 1 o 0 respectivamente dependiendo de la clase, ya sea para detectar una imagen con rostro sin mascarilla, o un rostro con mascarilla. Luego de esto pasará a una capa plana final con activación Softmax para ofrecer una etiqueta de salida de 2 tipos para cada clase, o imagen detectada sin mascarilla o con mascarilla.

```
headModel = baseModel.output
```

Luego de cada capa de convolución se agrega una capa de pooling de tipo maxPooling esto reducirá en un factor de 7 las dimensiones de las imágenes, pero manteniendo la profundidad y sus patrones característicos.

```
headModel = AveragePooling2D(pool_size=(7, 7))(headModel)
```

La salida del último bloque de maxPooling apiladas (el apilamiento es la profundidad) se aplanando convirtiéndolo en un vector fila, las dimensiones del vector característico corresponde al multiplicar las dimensiones de salida de la capa de maxPooling por la profundidad que equivale al número de filtros.

```
headModel = Flatten(name="flatten")(headModel)
```

De la estructura de la red de clasificación se define la capa de salida que consta de 2 neuronas equivalente al número total de clases, cada clase representa rostros sin mascarillas, o rostros con mascarillas se define la función de activación relu para lograr obtener resultados por clase según la activación.

```
headModel = Dense(128, activation="relu")(headModel)
```

Para evitar un posible sobreajuste del modelo, se implementó la técnica de *dropout*, al transcurrir una época el 50% de las conexiones de las neuronas se deshabilita, logrando que la red no se aprenda solo un camino, sino que al final haya múltiples conexiones, factor ventaja de las redes neuronales convolucionales.

```
headModel = Dropout(0.5)(headModel)
```

De la estructura de la red de clasificación se define la capa de salida que consta de 2 neuronas 1 por cada clase, la función de activación softmax obtiene resultados porcentuales. Y el mayor resultado porcentual corresponde a la mejor clasificación encontrada de la red neuronal.

```
headModel = Dense(2, activation="softmax")(headModel)
```

- Para la red neuronal es necesario un optimizador Adam, y una compilación del modelo de red neuronal con factores de pérdida de tipo



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

binary_crossentropy al tratarse de una separabilidad de la red neuronal de dos clases, con unas métricas de precisión, es decir o corresponde a una clase o a otra. La optimización de Adam es un método de descenso de gradiente estocástico que se basa en la estimación adaptativa de momentos de primer y segundo orden, el método es computacionalmente eficiente, tiene pocos requisitos de memoria, invariante al reajuste diagonal de gradientes y es muy adecuado para problemas que son grandes en términos de datos / parámetros.

```
opt = Adam(lr=INIT_LR, decay=INIT_LR / EPOCHS)
```

Luego de terminar de pasar un lote a través de la red, generar resultados de predicción y calcular la diferencia con la función de pérdida, se calcula cuanto se necesita para reducir esta pérdida entre la entrada y la predicción, el algoritmo que determina ese paso se conoce como algoritmo de optimización. Se usó el método de Adam (Adaptive moment estimation) ya que es adecuado para problemas que son grandes en términos de parámetros.

En la compilación se configura el proceso de aprendizaje, primero se configura la función de pérdida, debido a que se tiene dos clases se hace uso del Binary_crossentropy, la función calcula la pérdida entre la etiqueta y la predicción, para que esta pérdida sea lo más mínima posible se indican métricas de precisión logrando reducir las pérdidas por ejecución al pasar las épocas, guardando en cada época las mejores conexiones de la red neuronal.

```
model.compile(loss="binary_crossentropy", optimizer=opt, metrics=["accuracy"])
```

3.2.3 ENTRENAMIENTO DEL MODELO

Una vez creadas las capas del modelo simplemente queda entrenarlo, para ello es necesario indicar el conjunto de imágenes de entrenamiento, el conjunto de imágenes de validación, el tamaño del lote, para evitar el sobreajuste en la red, y el etiquetado de todas las imágenes, las del conjunto de etiquetas de entrenamiento, y el conjunto de etiquetas de validación, así como las épocas y los pasos por épocas para mejorar la validación de la red neuronal, y obtener un modelo para el cual el porcentaje de aprendizaje sea superior a 90%, para esto utilizamos la GPU que proporciona Google en sus máquinas virtuales para evitar tiempos de entrenamiento en computadoras habituales, y así evitar forzar nuestros equipos de cómputo, le asignamos los pasos por época, los pasos de validación y las épocas.



```
H = model.fit(  
    aug.flow(trainX, trainY, batch_size=BS),  
    steps_per_epoch=len(trainX) // BS,  
    validation_data=(testX, testY),  
    validation_steps=len(testX) // BS,  
    epochs=EPOCHS)
```

Como se estableció una tasa de aprendizaje simplemente asignamos una sola época, el tamaño de lote seleccionado fue de 32 imágenes.

INIT_LR = 1e-4

EPOCHS = 20

BS = 32

Validation_steps = 40

3.2.3 EXPORTACIÓN DEL MODELO

Google colab permite guardar el modelo en el directorio de Google drive desde el que estamos trabajando o guardar el modelo en su espacio de trabajo, una vez que guardamos el modelo en formato h5, descargamos el modelo y lo pasamos a la raspberry pi4 para empezar a hacer la comparación de nuevas imágenes. Es necesario que al momento de ejecutar el algoritmo se considere que el modelo debe de permanecer en el mismo directorio, y que el procesamiento de imágenes que se realiza a la nueva imagen a comparar sea el mismo procesamiento que se le realizó a las imágenes para validar, entrenar la red neuronal igualmente para el tamaño de cada imagen, TensorFlow permite la transformación del modelo a formato tensorflowlite para evaluación del modelo desde dispositivos móviles, o plataformas con capacidad computacional inferior así como el caso de un microcontrolador, una tarjeta Jetson nano, o una raspberry pi anterior a la versión 4, también permite la exportación de modelos a páginas web, o a servidores Cloud.

```
model.save("mask_detector.model", save_format="h5")
```

Una vez guardado el modelo y los pesos, en el directorio de Google colab, se descarga el modelo desde Google drive y una vez obtenido se guarda en una memoria usb y se copia y pegan los pesos, y los modelos a una carpeta directorio en la raspberry pi4, para tener la evaluar nuevas imágenes y el uso de mascarillas en los rostros.

DETECCIÓN DE PICO Y CÉDULA

Para validar el último dígito de la cédula Python proporciona una librería enfocada a la detección de cadena de caracteres, donde encuentra las letras, números encontrados



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

en la imagen, la librería está alimentada con Librerías de inteligencia artificial de Google, la misma que se implementa en aplicaciones móviles de traducción por imagen, búsqueda por imágenes, una vez extraemos la cadena de caracteres, elegimos simplemente los números encontrados para posterior buscar en la lista el último dígito encontrado y compararlo con los datos establecidos para verificar si la persona puede o no ingresar al lugar (ilustración 4).

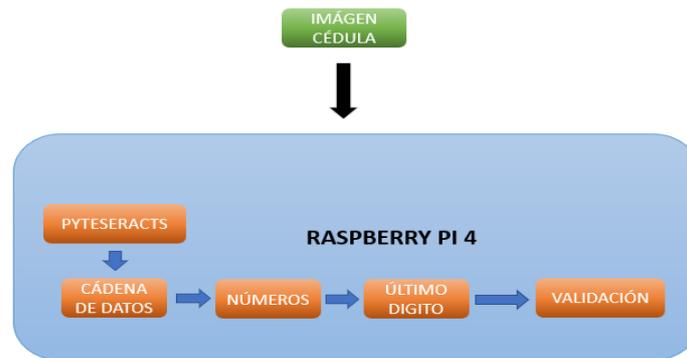


Ilustración 4 Diagrama en bloques para detectar el último dígito de la cédula

3.3 PYTESERACTS

El paquete pyteseracts busca texto en la imagen capturada, y lo guarda, podemos exportar a un archivo .txt los caracteres detectados, con la función re.findall administramos los datos encontrados y seleccionamos los números, luego buscamos el ultimo digito guardado en la lista e imprimimos el digito detenido, la cámara usb tomará imágenes, y se analizan por cuadros la lectura de imágenes se hará hasta que encuentre un digito, una vez encontrado el digito terminamos con la función y continuamos hacia la lectura de datos del sensor de temperatura.



```
cap = cv2 . VideoCapture ( 0 )
while(cap.isOpened()):
    ret, frame = cap.read()
    if ret==True:
        cv2.imshow('frame',frame)

        my_image=frame
        txt = tess.image_to_string(my_image)
        temp_string = txt

        numbers=([int(s) for s in re.findall(r'\d', temp_string)])

        print(numbers)

        wq=list(numbers)

        aw=len(wq)
        if aw>0:
            dig=int(numbers[aw-1])
            print(dig)

            if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('s'):
                break
        else:
            break

cap.release ()
cv2.destroyAllWindows ()
```

Para validar el número encontrado debemos establecer el número de pico-cédula correspondiente con el día que está abierto el establecimiento, este digito será ingresado por teclado en la interfaz gráfica.

MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Para medir la temperatura corporal se utilizó el sensor MLX_90614, este dispositivo contiene un conversor digital de datos, y podemos enviar los datos leídos con protocolo de comunicación I2C, la comunicación por protocolo I2C representa una ventaja, porque solo se necesitan 2 hilos de comunicación y la señal no está alterada por ruidos externos. El sensor MXL_90614 mide la temperatura ambiente, además podemos medir la temperatura del objeto sin contacto, el sensor envía un haz infrarojo y según la temperatura del objeto el conversor analógico a digital lo convierte a una trama de 17 bits, y la envía por el puerto de datos, los dos hilos que componen el I2C constan de 1 señal de datos, y una señal de reloj.



3.4 LECTURA DE DATOS SENSOR MLX 90614 EN RASPBERRY PI4

```
import board
import adafruit_mlx90614
import busio as io
import time
from datetime import datetime
ESPERA = 1]
i2c = io.I2C(board.SCL,board.SDA, frequency=100000)
mlx=adafruit_mlx90614.MLX90614(i2c)
while True:
    now = datetime.now()
    p1=now.date()
    p2=now.time()
    obj_temp="{:.2f}".format(mlx.object_temperature)
    amb_temp="{:.2f}".format(mlx.ambient_temperature)
    print(" Fecha: ",p1)
    print(" Hora: ",p2)
    print(" Temperatura Ambiente=",amb_temp,"\n","Temperatura objeto=",obj_temp)
    time.sleep(ESPERA)
    print("\t")
```

Adafruit pone la librería a disposición de nosotros, basta con importar la librería, y la librería de Python datetime para poder guardar la fecha en que se realizó la medida, después usamos la librería indicando la comunicación por protocolo I2C, con una frecuencia de 100000 Hz, y leemos los datos del puerto I2C, ahora basta con medir la temperatura ambiente y la temperatura objeto, la temperatura del objeto corresponde a una medida del antebrazo a una distancia de 5 cm, para evitar el contacto con la superficie, finalmente imprimimos los datos con la fecha en que se realizó la medida, si la medida está por debajo de la temperatura establecida, indica al sistema que la persona esta sana y puede entrar al establecimiento.

3.4.1 CALIBRACIÓN DE LA MEDIDA DEL SENSOR MLX90614 CON PISTOLA CONVENCIONAL PARA MEDIR TEMPERATURA CORPORAL

Para calibrar (figura 24) la medida de temperatura corporal y la distancia a la cual se debe hacer la medición con el sensor MLX90614 se utilizó una pistola de medir temperatura convencional calificada por Icontec ver figura 15.



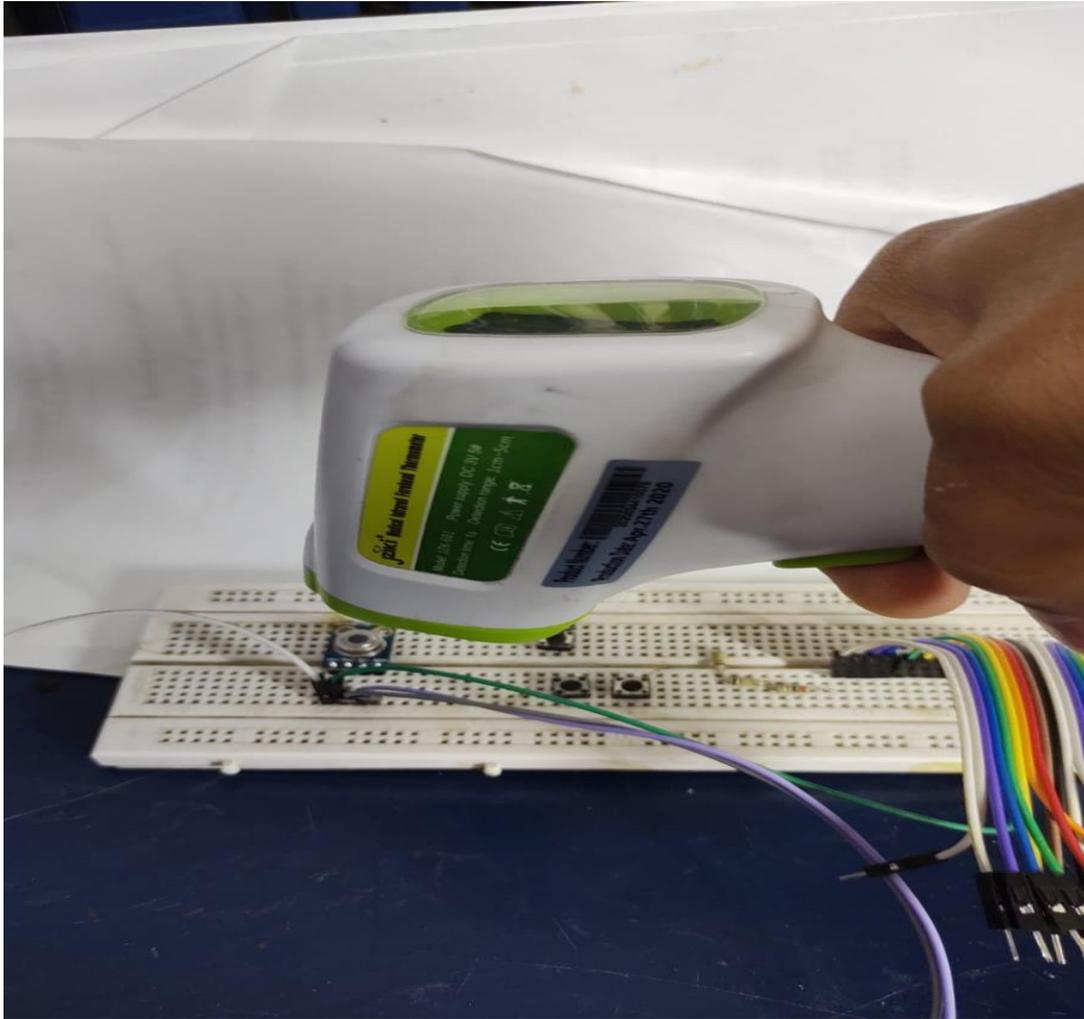


figura 24 Calibración de medida de temperatura corporal con pistola convencional

HABILITACIÓN DE ENTRADA

3.5 ACTIVACIÓN DE SERVOMOTOR EN RASPBERRY PI4

Para habilitar la entrada se ha dispuesto una talanquera controlada por un servomotor de 2Kg de fuerza, una vez la detección de mascarilla, la detección de pico-cédula, y



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

medición de temperatura hayan finalizado exitosas, el sistema desplegará la talanquera para permitir la entrada al establecimiento comercial.

A continuación, se despliega el código implementado para permitir la activación del servomotor en raspberry pi4.

```
*motor.py - /home/pi/Desktop/motor.py (3.7.3)*
File Edit Format Run Options Window Help
# Importar Librerias
import RPi.GPIO as GPIO
import time

# Establecer pines GPIO de
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
# Establecer pin 11 como salida PWM para el servomotor
GPIO.setup(11,GPIO.OUT)
servo1 = GPIO.PWM(11,100) # pin 11 Para el servo1, Pulso de 100Hz
# Start PWM running, with value of 0 (pulse off)
servo1.start(0)

try:
    while True:
        #Gestionar angulo de giro
        angle = float(input('angulo de giro: '))
        servo1.ChangeDutyCycle(2+(angle/18))
        time.sleep(0.5)
        servo1.ChangeDutyCycle(0)
        print("Abriendo...")
finally:
    #Limpiar el puerto y los pines de salida
    servo1.stop()
    GPIO.cleanup()
    print("Bienvenido")

Ln: 27 Col: 0
```

Primero importamos las Librerias para el control de los pines de salida y entrada digitales de la tarjeta, e importamos la librería time para gestión de pausas en segundos en la ejecución del algoritmo, después establecemos la salida PWM del pin usado, finalmente establecemos el ángulo de giró el motor tiene libertad de giro de 180 °, pero solo necesitamos un giro de 90°, en un sentido, y pasado un tiempo giramos -90 ° para bajar la talanquera.



CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados del sistema, en primera instancia el entrenamiento de la red neuronal, las gráficas que muestran el aprendizaje de la red, y la precisión del modelo, luego la detección del último dígito del número de cédula del documento, la medición de temperatura corporal, y la estrategia para girar el servomotor 90 grados para permitir el ingreso al establecimiento, además la estructura de la red neuronal artificial, así como la interfaz gráfica en donde se van mostrando los resultados, y se guardan los datos establecidos.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

4.1 MODELO MOVILNETV2 ENTRENADO

Los resultados para el entrenamiento del modelo MOVILNETV2 en transcurrir las épocas se muestran en la figura 25 y en la figura 26, el tiempo de entrenamiento tardó 40 minutos, logrando una precisión de entrenamiento del 99,19%, con una pérdida de 0,947 %, lo cual nos ofrece una excelente alternativa, es de recalcar que se usaron 990 pasos de validación por cada época durante 20 épocas. El porcentaje de validación fue de 97,18%.

```
Epoch 1/20
990/990 [=====] - 93s 94ms/step - loss: 0.7326 - accuracy: 0.5626 - val_loss: 0.5822 - val_accuracy: 0.6290
Epoch 2/20
990/990 [=====] - 93s 94ms/step - loss: 0.5465 - accuracy: 0.7253 - val_loss: 0.4429 - val_accuracy: 0.8185
Epoch 3/20
990/990 [=====] - 93s 94ms/step - loss: 0.3708 - accuracy: 0.8354 - val_loss: 0.2568 - val_accuracy: 0.9032
Epoch 4/20
990/990 [=====] - 95s 96ms/step - loss: 0.2679 - accuracy: 0.8970 - val_loss: 0.1807 - val_accuracy: 0.9476
Epoch 5/20
990/990 [=====] - 93s 94ms/step - loss: 0.1917 - accuracy: 0.9303 - val_loss: 0.2207 - val_accuracy: 0.9315
Epoch 6/20
990/990 [=====] - 93s 94ms/step - loss: 0.1749 - accuracy: 0.9343 - val_loss: 0.1249 - val_accuracy: 0.9597
Epoch 7/20
990/990 [=====] - 95s 96ms/step - loss: 0.1238 - accuracy: 0.9576 - val_loss: 0.1258 - val_accuracy: 0.9637
Epoch 8/20
990/990 [=====] - 94s 95ms/step - loss: 0.1037 - accuracy: 0.9616 - val_loss: 0.1243 - val_accuracy: 0.9516
Epoch 9/20
990/990 [=====] - 94s 95ms/step - loss: 0.0893 - accuracy: 0.9687 - val_loss: 0.1095 - val_accuracy: 0.9556
Epoch 10/20
990/990 [=====] - 94s 95ms/step - loss: 0.0540 - accuracy: 0.9828 - val_loss: 0.1193 - val_accuracy: 0.9597
```

figura 25 Métricas de aprendizaje del modelo MOVILNETV2 de la época 1 a la época 10



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

```

Epoch 11/20
990/990 [=====] - 92s 93ms/step - loss: 0.0399 - accuracy: 0.9899 - val_loss: 0.1278 - val_accuracy: 0.9677
Epoch 12/20
990/990 [=====] - 93s 94ms/step - loss: 0.0518 - accuracy: 0.9818 - val_loss: 0.0974 - val_accuracy: 0.9718
Epoch 13/20
990/990 [=====] - 96s 97ms/step - loss: 0.0615 - accuracy: 0.9778 - val_loss: 0.1604 - val_accuracy: 0.9274
Epoch 14/20
990/990 [=====] - 97s 98ms/step - loss: 0.0589 - accuracy: 0.9828 - val_loss: 0.0863 - val_accuracy: 0.9597
Epoch 15/20
990/990 [=====] - 94s 95ms/step - loss: 0.0411 - accuracy: 0.9808 - val_loss: 0.0998 - val_accuracy: 0.9677
Epoch 16/20
990/990 [=====] - 81s 82ms/step - loss: 0.0547 - accuracy: 0.9747 - val_loss: 0.0899 - val_accuracy: 0.9556
Epoch 17/20
990/990 [=====] - 79s 80ms/step - loss: 0.0372 - accuracy: 0.9889 - val_loss: 0.0855 - val_accuracy: 0.9637
Epoch 18/20
990/990 [=====] - 78s 79ms/step - loss: 0.0301 - accuracy: 0.9879 - val_loss: 0.1107 - val_accuracy: 0.9556
Epoch 19/20
990/990 [=====] - 89s 90ms/step - loss: 0.0206 - accuracy: 0.9919 - val_loss: 0.0947 - val_accuracy: 0.9677
Epoch 20/20
990/990 [=====] - 94s 95ms/step - loss: 0.0358 - accuracy: 0.9899 - val_loss: 0.1575 - val_accuracy: 0.9476
    
```

figura 26 Métricas de aprendizaje del modelo MOVILNETV2 de la época 11 a la época 20

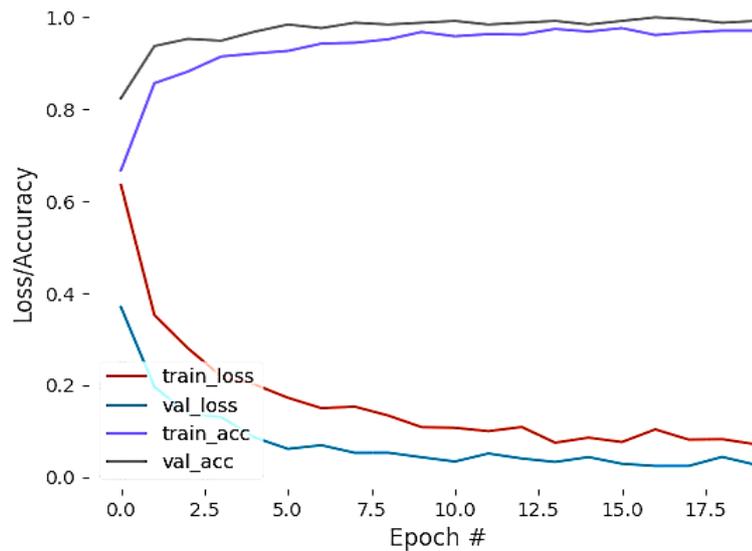


figura 27 Métricas del rendimiento del entrenamiento y validación de la red

En la figura 27 podemos observar la precisión del modelo para los datos de entrenamiento en la línea de color azul, la precisión del modelo para los datos de validación en línea gris, y los valores de pérdida del entrenamiento en línea roja, la línea verde representa los valores de datos de pérdida de la validación, todo correspondiente a 20 épocas de entrenamiento y 20 épocas de validación.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

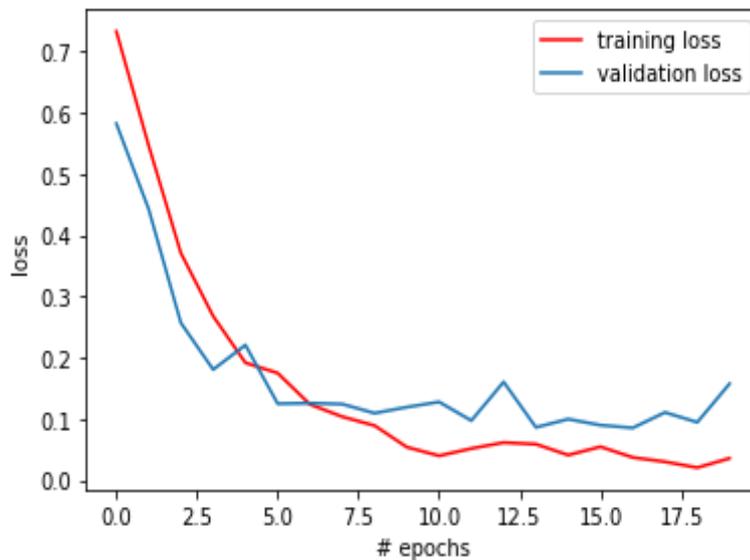
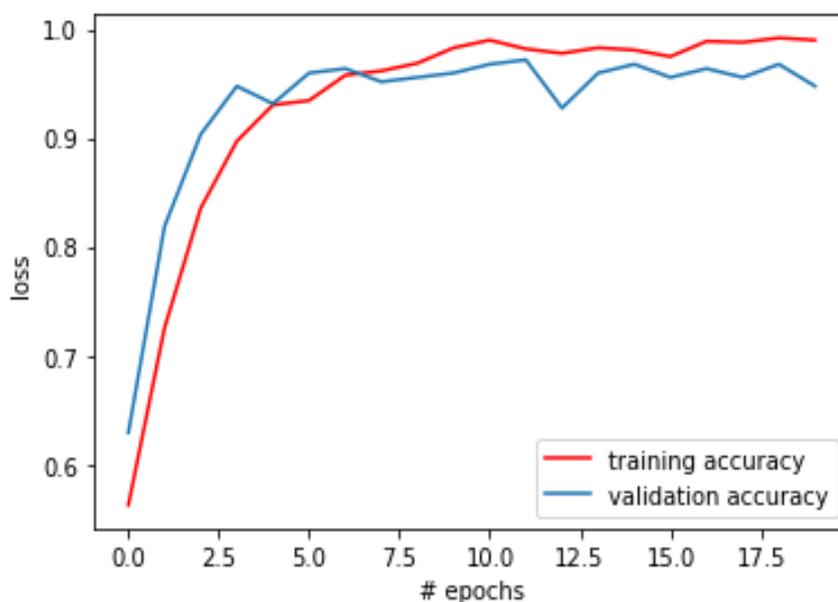


figura 28 métricas de pérdida de entrenamiento y validación

```
from matplotlib import pyplot as plt

plt.plot(history.history['loss'],'r',label='training loss')
plt.plot(history.history['val_loss'],label='validation loss')
plt.xlabel('# epochs')
plt.ylabel('loss')
plt.legend()
plt.show()
```

En la figura 28 se observan las métricas de la función de pérdida del modelo entrenado, notese como al transcurrir las épocas durante el entrenamiento las funciones de pérdida se van haciendo casi cero, en la parte del entrenamiento y en la parte de la validación con el conjunto de imágenes de validación.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

figura 29 métricas de precisión de entrenamiento y validación

```
plt.plot(history.history['accuracy'], 'r', label='training accuracy')
plt.plot(history.history['val_accuracy'], label='validation accuracy')
plt.xlabel('# epochs')
plt.ylabel('loss')
plt.legend()
plt.show()
```

En la figura 29 se observan las métricas de la función de precisión del modelo entrenado, notesé como al transcurrir las épocas durante el entrenamiento las funciones de precisión van tendiendo a 1 esto indica que el modelo de red neuronal implementada está por encima del 98% de precisión y es una red neuronal útil en la implementación del modelo en el sistema embebido, al transcurrir las épocas se aprecia como la red establece múltiples sesgos para conectar las capas ocultas y lograr un aprendizaje en el entrenamiento, mayor al 98%. Afirmándonos la ventaja de utilizar redes neuronales convolucionales para la clasificación de imágenes de dos conjuntos de imágenes, una con rostro sin mascarilla, y la otra de rostros con mascarillas.

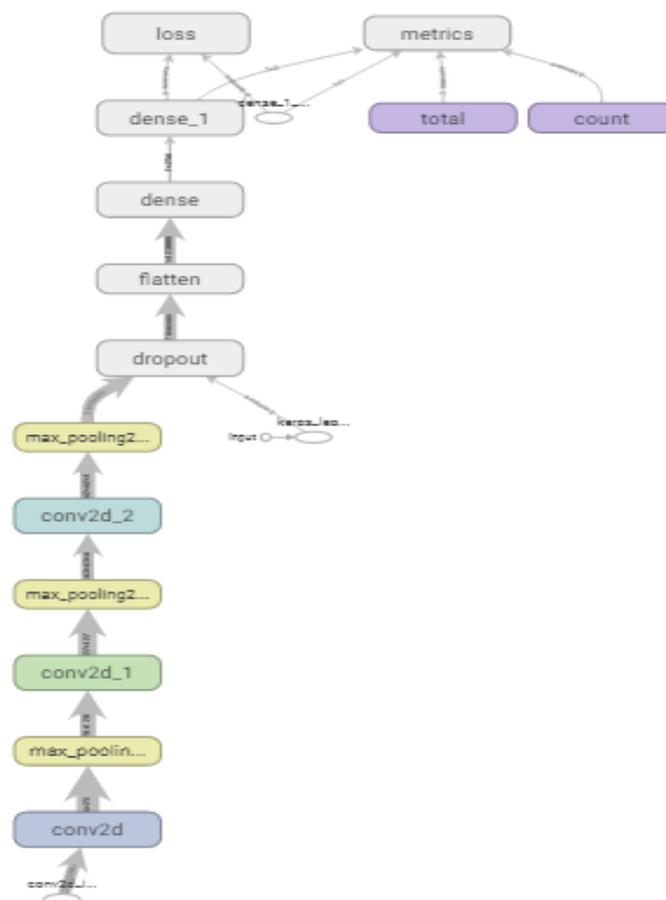


figura 30 Estructura de la red neuronal convolucional entrenada



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

En la figura 30 se muestra la estructura de la red neuronal creada y entrenada, notese la creación de las capas con filtros convolucionales en secuencia con los filtros de Max-pooling, y la transición del modelo hacia una función de salida dropout de 0.5 seguido de capas aplanadas, al final 2 capas densas con 2 neuronas de activación para clasificar las dos clases, y una función de pérdida para comparar los datos de entrenamiento respecto a los datos de validación, y así en el transcurso de capa época poder verificar la mejora del entrenamiento al transcurrir cada época. Las entradas de la red neuronal corresponden o se asocian al conjunto de imágenes de las dos clases con los 3 canales de color, rojo, verde, y azul, espacio de color RGB.

4.2 DETECCIÓN DEL TAPABOCAS

En la figura 31 se muestra un rectángulo rojo indicando que se ha detectado un rostro sin tapabocas, y en letras azules arriba del rectángulo se muestra un mensaje indicando a la persona que debe acomodarse el tapabocas.

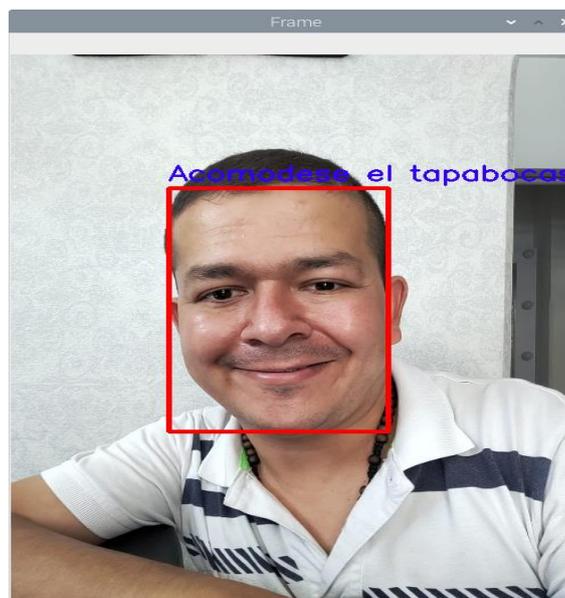


figura 31 Rostro detectado sin Tapabocas



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

En la figura 32 se muestra un rectángulo verde indicando que se ha detectado un rostro con tapabocas, por ello en letras azules se le indica a la persona que el tapabocas ha sido detectado.

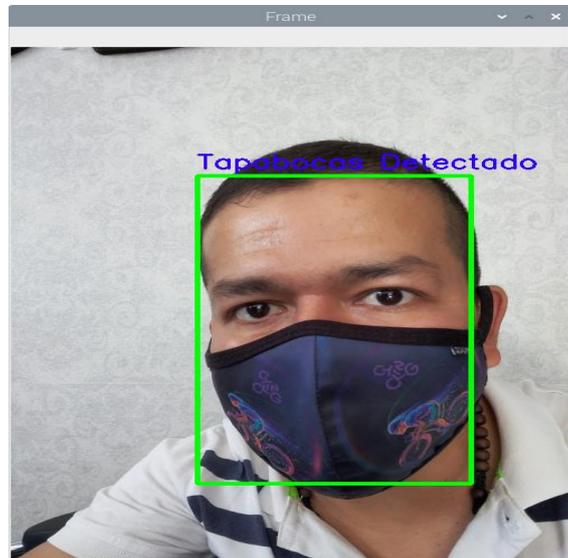


figura 32 Rostro detectado con tapabocas

4.3 DETECCIÓN DEL ÚLTIMO DIGITO DE LA CÉDULA



figura 33 Detección del número de la cédula

En la figura 33 se aprecia un rectángulo que demarca la zona donde se encuentran los números de la cédula, y su identificación a través del paquete implementado en la raspberry pi4. Pyteseracts.



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19



figura 34 Validación del último dígito de la cédula en tiempo real con cámara web.

En la figura 34 se aprecia la imagen capturada en tiempo real desde la raspberry pi4 y la detección del último dígito de la cédula, comparado con el pico y cédula configurado en el establecimiento comercial, así como el número de aciertos de la detección del último dígito en tiempo real.

```
#INICIAMOS PyAudio.
p = pyaudio.PyAudio()

#ABRIMOS STREAM
stream = p.open(format = p.get_format_from_width(f.getsampwidth()),
                channels = f.getnchannels(),
                rate = f.getframerate(),
                output = True)

#LEEMOS INFORMACIÓN
data = f.readframes(chunk)

print("Reproduciendo audio")
#REPRODUCIMOS "stream"
while data:
    stream.write(data)
    data = f.readframes(chunk)
print("Bienvenido...")
#PARAMOS "stream".
stream.stop_stream()
stream.close()

#FINALIZAMOS PyAudio
p.terminate()
```

figura 35 Reproducción de audio "Número De Cédula Detectado"

En La figura 35 se muestra el algoritmo implementado en la raspberry pi4 para cargar un audio de formato WAV, y reproducirlo apenas se detecta el último dígito de la cédula comparado con



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

el pico, cédula establecida en la interfaz gráfica. El audio fue grabado en el motor de reproducción de voz a traducción en el servicio de traducción de Google.

4.4 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL

En la figura 36 se muestran los resultados de la medición de la temperatura del objeto, junto con la fecha en que fue realizada la medición

```
sensor_mlx90614.py - /home/p...rd/sensor_mlx90614.py (3.7.3) *Python 3.7.3 Shell*
File Edit Format Run Options Window Help
import board
import adafruit_mlx90614
import busio as io
import time
from datetime import datetime
ESPERA = 1
i2c = io.I2C(board.SCL,board.SDA, frequency=100000)
mix=adafruit_mlx90614.MLX90614(i2c)
while True:
    now = datetime.now()
    p1=now.date()
    p2=now.time()
    obj_temp="{:.2f}".format(mix.object_temperature)
    amb_temp="{:.2f}".format(mix.ambient_temperature)
    print(" Fecha:",p1)
    print(" Hora: ",p2)
    print(" Temperatura Ambiente=",amb_temp,"\n","Temperatura objeto="
time.sleep(ESPERA)
print("\n")

Temperatura Objeto= 27.71
Fecha: 2021-11-28
Hora: 11:16:42.825760
Temperatura Ambiente= 21.81
Temperatura objeto= 27.85
Fecha: 2021-11-28
Hora: 11:16:43.899626
Temperatura Ambiente= 21.85
Temperatura objeto= 28.01
Fecha: 2021-11-28
Hora: 11:16:45.006520
Temperatura Ambiente= 21.83
Temperatura objeto= 27.99
Fecha: 2021-11-28
Hora: 11:16:46.116526
Temperatura Ambiente= 21.83
Temperatura objeto= 28.05
Fecha: 2021-11-28
Hora: 11:16:47.230196
Temperatura Ambiente= 21.81
Temperatura objeto= 28.11
Fecha: 2021-11-28
Hora:
```

figura 36 Temperatura leída del sensor MLX 90614

4.5 HABILITACIÓN DE ENTRADA

En la figura 37 podemos observar la talanquera utilizada para habilitar la entrada al recinto comercial para que la persona pueda ingresar al establecimiento comercial, para el desplazamiento de la talanquera se utilizó un servomotor conectado a la raspberry pi4, a través de sus puertos de salida PWM de propósito general.



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

figura 37 Servomotor Controlando el acceso

4.6 INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz consta de una barra para permitir la navegación en el sistema operativo, se estructura con 5 botones que despliegan un menú en archivo podemos cargar una imagen desde el directorio para evaluarla en la red neuronal, además podemos guardar la predicción en el directorio para exportarse, en ejecutar encontramos herramientas como la impresión del número del pico y cedula, en ayuda se despliega una ventana indicando los pasos para usar la interfaz, en protocolos de bio-seguridad se despliega una ventana que permite leer los protocolos de bioseguridad que la organización mundial de salud ha recomendado seguir para evitar la propagación, en opciones se despliega un menú que permite salir de la interfaz, hay un botón donde se muestra el nombre de la persona que diseñó la interfaz y si la persona oprime el botón se desplegará información acerca de las licencias de distribución de la interfaz, si la persona carga una imagen debe seleccionar el botón detectar tapabocas para verificar si la persona cumple o no con el uso de mascarilla, al presionar covid-19 el sistema se habilita para una vez el sensor de proximidad.

En la figura 38 podemos apreciar el diseño de la interfaz gráfica, con la detección del tapabocas, y la detección del número de la cédula, además imprimos los datos leídos del sensor de temperatura.



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

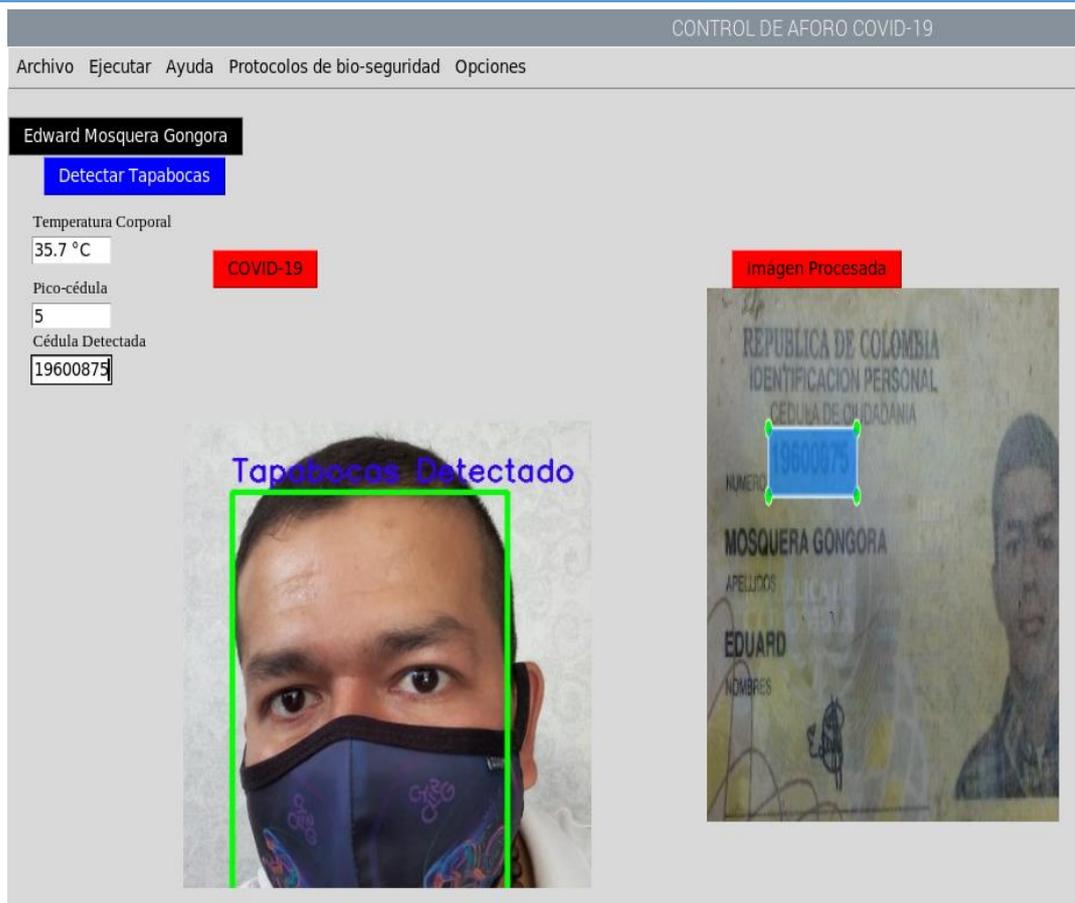


figura 38 Interfaz Gráfica creada

La especialista en seguridad en el trabajo Adriana marcela real capacho valido el sistema una vez probado con diferentes personas ver figura 40, figura 41, figura 42, figura 43, figura 44 con un 99.99% en la detección de tapabocas, además de resultados asertivos (figura 39).



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19



figura 39 Carta de validación de un experto en protocolos de bioseguridad



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

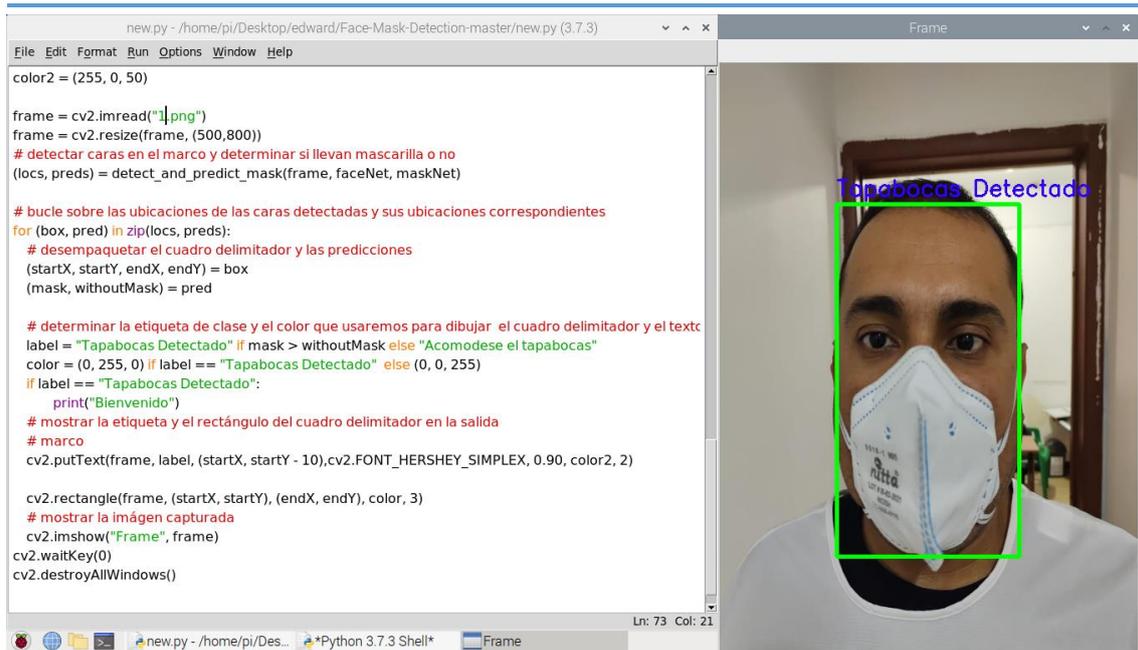


figura 40 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 1

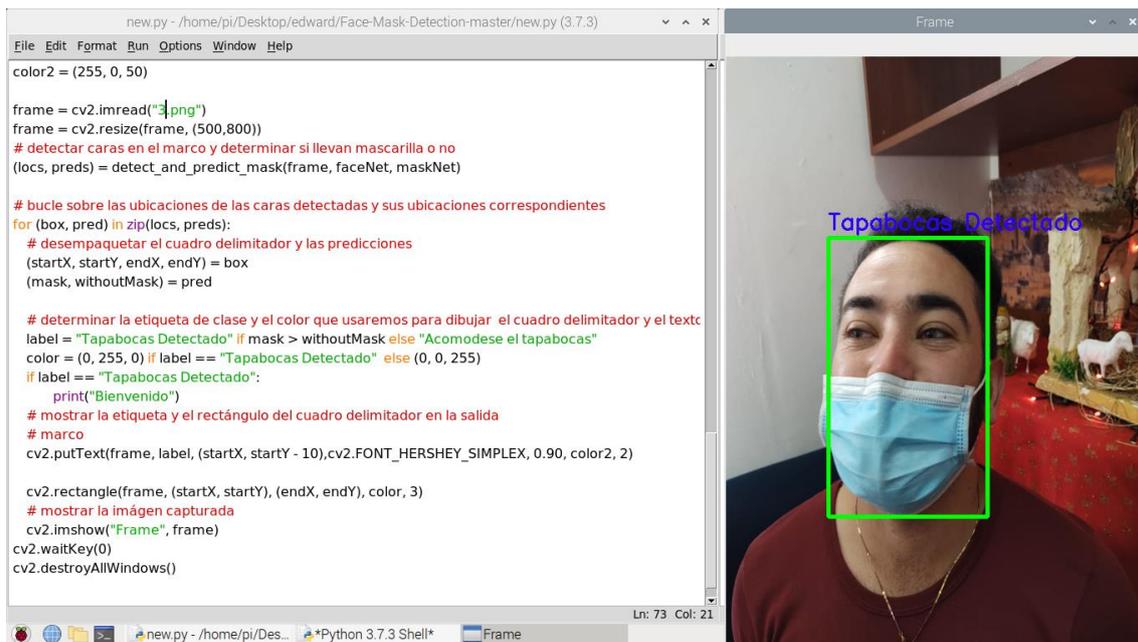


figura 41 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 2



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

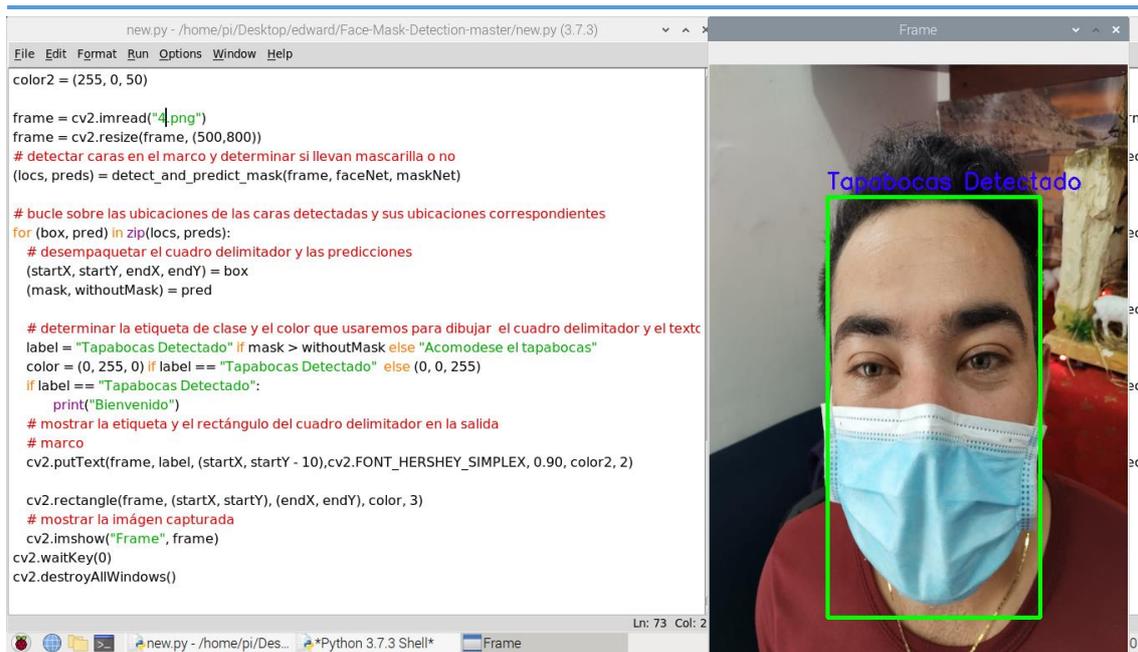


figura 42 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 2-2

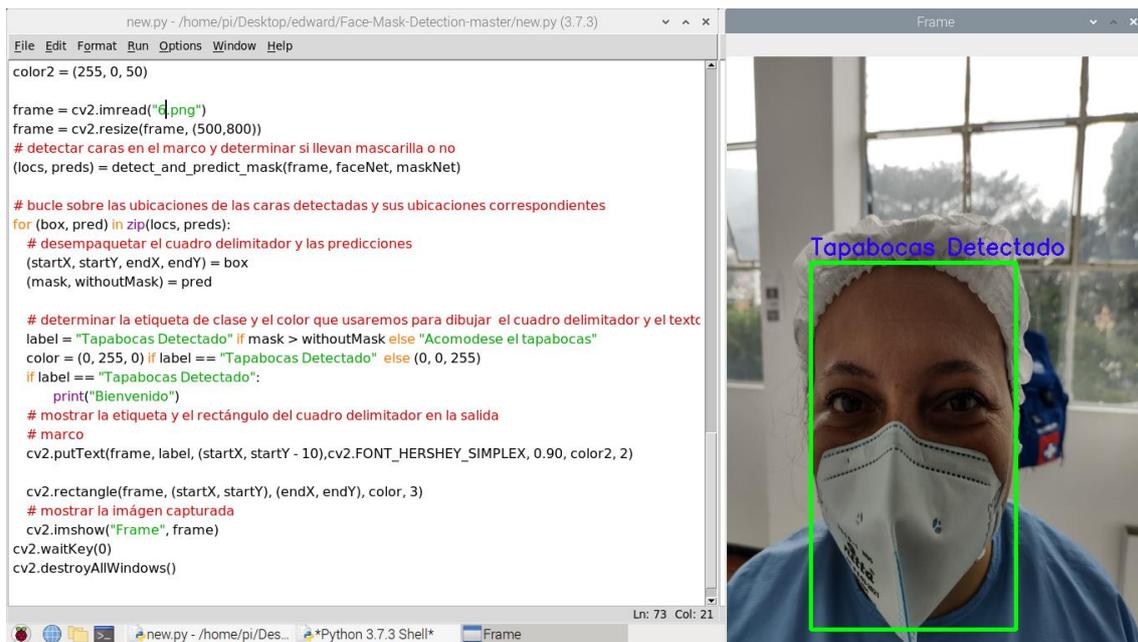


figura 43 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 3 hospital san juan de dios.



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

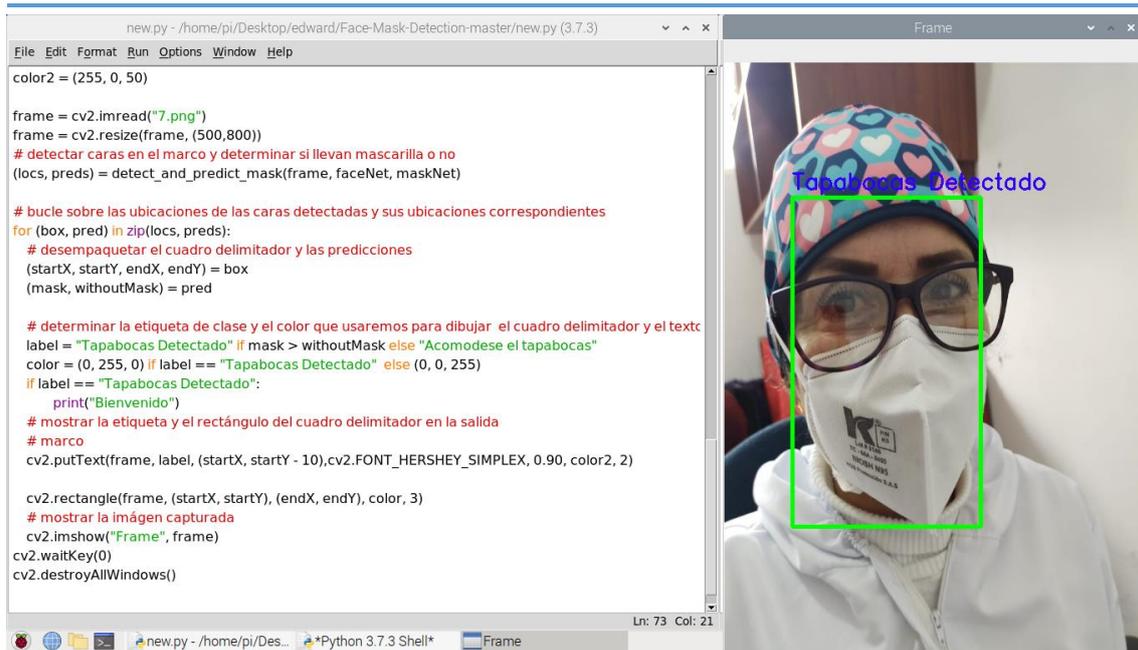


figura 44 Sistema de detección de tapabocas con red neuronal artificial ejecutada en raspberry a persona 4 hospital san juan de dios.



Autor: Eduard Mosquera Gongora
Director: German Arley Portilla González

5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema para controlar el aforo en un ambiente comercial, basado en visión artificial para disminuir los contagios, disminuir la propagación del covid-19 en la ciudad de Pamplona, este sistema en gran medida estuvo destinado a ayudar a proteger las personas a la hora de verificar el cumplimiento de los protocolos de bio-seguridad como lo establecen las normas biosanitarias, así se aporta una alternativa a la disminución de la propagación del covid-19 desde el ámbito de la ingeniería electrónica y se logró una implementación de un sistema para controlar el ingreso, con materiales económicos y de fácil adquisición, este sistema al estar construido y controlado por la Raspberry Pi4 permite la portabilidad sin requerir espacios muy grandes para la instalación.
- Se realizó una revisión a las normativas y leyes que rigen el cumplimiento de las normas de bioseguridad por las personas en la ciudad, además se revisaron las pautas implementadas para disminuir el contagio del covid-19 tales como el control de ingreso a personas con temperatura corporal normal y la no permisibilidad de ingreso a personas con una temperatura alta, mayor a la establecida por los lineamientos o leyes vigentes para la propagación del virus, en la literatura se encuentran avances para disminuir el contagio del COVID 19 así como la detección de coronavirus con redes neuronal artificiales, máquinas de aprendizaje profundo, y máquinas de soporte vectorial, es por ello que se mostró un beneficio al momento de utilizar de técnicas de inteligencia artificial para acompañar la detección del tapabocas y del pico-cédula.
- Se realizó una selección de equipos para adquirir las señales, y procesarlas en el sistema embebido Raspberry Pi4, así como la selección de un equipo de adquisición de imágenes como lo fue una cámara USB de tipo webcam con una resolución 720p, además que el sistema es más económico práctico factor clave a la hora de implementar, el sensor MLX90614 para la medir temperatura mostró una alta efectividad, y su ventaja radica en la posibilidad de medir temperatura sin contacto con la superficie, el sensor mostró una alta eficiencia a la hora de medir temperatura, su principio de funcionamiento se basa en una emisión de haz infrarrojo, que logró evitar que las personas que ingresaron al recinto tocaran el dispositivo, además que no fue necesario una persona que sostuviera el sensor mientras se hizo una toma de temperatura, en cambio las pistolas convencionales requieren de una persona que sostenga la pistola mientras se hace la medición, disminuyendo en gran medida el contacto físico.
- Se implementaron algoritmos para el procesamiento de imágenes y la validación del sistema basado en visión artificial, así como se implementó una técnica de inteligencia artificial basada en redes neuronales con porcentaje de acierto superior al 90% para la detección de mascarillas en personas, y técnicas modernas proporcionadas por las máquinas de



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

aprendizaje y búsqueda de Google donde se logró la detección del número en la cédula con un porcentaje de validación del 80%, así como se logró implementar una comunicación I2C para comunicar los datos del módulo del con la raspberry pi4 señales del módulo provenientes de un sensor de temperatura infrarojo, con el principio de funcionamiento que implementan las pistolas convencionales para la medición de temperatura, Se logró detectar además el rostro de la persona que ingrese al sistema, cuando no tiene tapabocas, esta precisión se puede utilizar en otros proyectos para el reconocimiento facial, el reconocimiento de rostros para desbloqueo facial, el reconocimiento de rostros para detectar emociones en un individuo y prevenir suicidios, detectar enfermedades psiquiátricas, el reconocimiento de rostros para vigilancia, el reconocimiento de rostros enfocado al internet de las cosas, el reconocimiento de facciones para la aplicación en videojuegos.

- Se diseñó una interfaz gráfica donde se implementaron las técnicas de visión artificial y el monitoreo de variables como la temperatura corporal, esta interfaz además permitió la interacción sencilla entre la verificación de los protocolos de bioseguridad y la persona, y logró evitar que una persona pueda ser contagiada al momento de validar los protocolos de bioseguridad.
- En trabajos futuros se espera el desarrollo de una base de datos conectada sincronizada con el sistema en donde se pueda almacenar los valores leídos de temperatura, y el número de la cédula. Así como la implementación de asistencia a protocolos de bioseguridad en hospitales, clínicas luego de que la pandemia finalice.



6. REFERENCIAS

- [1] Artificial Vision, « machine-vision,» [En línea] disponible en: <https://www.cognex.com/es-co/what-is/machine-vision/components>.
- [2] MINSALUD., «www.minsalud.gov.co,» [En línea] disponible en: https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PET/Paginas/Covid-19_copia.aspx
- [3] Guo YR, Cao QD, Hong ZS, Tan YY, Chen SD, Jin HJ, et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - an update on the status. Mil Med Res 2020;7:11. <https://doi.org/10.1186/s40779-020-00240-0>.
- [4] MINSALUD., «www.minsalud.gov.co,» [En línea] disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%2066%20de%202020.pdf
- [5] "TRANSMISSION ROUTES OF 2019-NCOV AND CONTROLS IN DENTAL PRACTICE" disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41368-020-0075-9>.
- [6] "Ministerio de Sanidad, España, ed. (10 de febrero de 2020). Informe técnico del Nuevo coronavirus 2019-n-CoV", [En línea] disponible en: <https://web.archive.org/web/20200303004636/https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/ITCoronavirus.pdf>
- [7] "COVID-19 The Essentials of Prevention and Treatment", [En línea] disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128240038/covid-19>
- [8] DEVROYE, L.; GTORFI, L. y LUGOSI, G.: A Probabilistic Theory of Pattern Recognition. Springer, 1996
- [9] "Inteligencia Artificial Con Aplicaciones A La Ingeniería" [En línea] disponible en: <https://lelinopontes.files.wordpress.com/2014/09/inteligencia-artificial-con-aplicaciones-a-la-ingenierc3ada.pdf>
- [10] "Aprende Machine Learning Teoria + Practica" [en línea] disponible en: <https://leanpub.com/aprendeml/>
- [11] "Información de arquitectura MobileNet" [en línea] disponible en: <https://keras.io/api/applications/mobilenet/#mobilenetv2-function>
- [12] "Raspberry Pi", [en línea] disponible en: <https://www.raspberrypi.org/education/>



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

- [13] “balenaEtcher”, [en línea] disponible en: <https://www.balena.io/etcher/>
- [14] “Fing”, [en línea] disponible en: <https://www.fing.com/>
- [15] “Protocolo de comunicación I2C” [en línea] disponible en: <https://hetprostore.com/TUTORIALES/i2c/#:~:text=Tambi%C3%A9n%20es%20conocido%20como%20IIC,misma%20trama%2C%20entre%20otras%20ventajas.>
- [16] “Sensor de temperatura MLX90614” [en línea] disponible en: <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html>
- [15] Definición de Python disponible en su página oficial: <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>
- [16] Información de TensorFlow disponible en su página oficial: <https://www.tensorflow.org/about?hl=es-419>
- [17] Información de Keras disponible en su página oficial: <https://keras.io/about/>
- [18] Información sobre opencv disponible en su página oficial: <https://opencv.org/about/>
- [19] Información de Google colab disponible en su página oficial: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>
- [20] Información sobre Tkinter disponible en la página oficial de Python: <https://docs.python.org/es/3/library/tk.html>
- [21] “mathworks pagina oficial de matlab.” <https://la.mathworks.com/products/matlab.html> (accessed Nov. 11, 2021).
- [22] “Luis llamas ingeniería, informática y diseño.” <https://www.luisllamas.es/machine-learning-con-tensorflow-y-keras-en-python/> (accessed Nov. 28, 2021).
- [23] M. R. Prusty, V. Tripathi, and A. Dubey, “A novel data augmentation approach for mask detection using deep transfer learning,” *Intell. Med.*, vol. 5, p. 100037, 2021, doi: 10.1016/j.ibmed.2021.100037
- [24] “centro para el control y la prevención de enfermedades.” https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/guidance-business-response.html#anchor_1609682970029 (accessed Dec. 14, 2021).
-



DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL DE AFORO APLICADO EN AMBIENTES COMERCIALES BASADOS EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MITIGAR LA PROPAGACIÓN DEL COVID-19

[25] “centros para el control y la prevención de enfermedades.”
<https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/if-you-are-sick/steps-when-sick.html>

(accessed Dec. 15, 2021).

[26] “Nemours Kidshealth.” <https://kidshealth.org/es/parents/coronavirus-social-distancing.html> (accessed Dec. 15, 2021).

[27] “Logitech.” <https://www.logitech.com/es-roam/products/webcams/c920-pro-hd-webcam.960-000764.html> (accessed Dec. 15, 2021).

