

**SIMPLIFICACIÓN TECNOLÓGICA DEL DISPOSITIVO DE VISIÓN ARTIFICIAL
PARA LA AUDITORÍA Y CONTROL DEL LAVADO DE MANOS EN CENTROS
HOSPITALARIOS: “MANITOR”**

**SONIA PÉREZ CÁCERES
MARÍA FERNANDA ROVIRA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

**SIMPLIFICACIÓN TECNOLÓGICA DEL DISPOSITIVO DE VISIÓN ARTIFICIAL
PARA LA AUDITORÍA Y CONTROL DEL LAVADO DE MANOS EN CENTROS
HOSPITALARIOS: “MANITOR”**

**SONIA PÉREZ CÁCERES
MARÍA FERNANDA ROVIRA GÓMEZ**

Trabajo de grado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica

Directores:

**WILLIAM ALEXANDER SALAMANCA BECERRA
MsC en Ingeniería Electrónica**

**DR. MAURICIO OROZCO-LEVI
Médico especialista en Neumología**

Co director:

**DANIEL ALFONSO SIERRA BUENO
Doctor en Ingeniería Biomédica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. ESTADO DEL ARTE.....	15
3. METODOLOGÍA	17
3.1 GENERACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL.....	17
3.2 ANÁLISIS Y TAMIZADO DE LAS HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE A USAR	18
3.2.1 Ordenador de placa reducida (SBC):.....	19
3.2.2 Cámara	20
3.2.3 Pantalla.....	21
3.2.4 Librería de procesamiento de imagen.....	21
3.3 DISEÑO DEL MODELO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.....	21
3.4 IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO E INTERFAZ GRAFICA.....	24
3.4.1 Segmentación de imágenes.....	25
3.4.2 Reconocimiento de piel.....	26
3.4.3 Detección de movimiento.....	30
3.4.4 Interfaz Grafica	31
4. CARACTERÍSTICAS ADICIONALES	33
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	34
5.1 PARÁMETROS DE RENDIMIENTO.....	34
5.2 COSTO	37
6. DISCUSIÓN	38
7. CONCLUSIONES	40

BIBLIOGRAFÍA.....41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. La Organización Mundial de la Salud establece el lavado de las manos como la medida más importante para evitar la transmisión de gérmenes nocivos y prevenir las IAAS. Por ello, propone una serie de pasos o instrucciones sobre cómo lavarse las manos	18
Figura 2. Organización final de los elementos que componen el espejo MANITOR	22
Figura 3. Modelo del comportamiento del sistema: máquina de estados.	24
Figura 4. Imagen captada por el prototipo que denota las regiones del jabón y del lavado respectivamente.	26
Figura 5. <i>Trackbars</i> o barras de seguimiento utilizados para definir los rangos de los canales del modelo de color HSV.	27
Figura 6. Reconocimiento de piel utilizando el modelo de color HSV	29

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación de elementos	20

RESUMEN

TITULO: Simplificación tecnológica del dispositivo de visión artificial para la auditoría y control del lavado de manos en centros hospitalarios: “MANITOR”

AUTOR: Sonia Pérez Cáceres
María Fernanda Rovira Gómez**

PALABRAS CLAVES: Lavado de manos, Visión artificial, OpenCv, Optical Flow

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo muestra el desarrollo de un prototipo que guía y audita el lavado de manos bajo el protocolo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) con el fin de combatir y mitigar las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS). Surge como una simplificación a nivel de hardware y software del modelo funcional MANITOR desarrollado por la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV), su nombre se deriva del acrónimo “MANOs” y “moniTORización” y equivale a la proyección de videos en una tablet detrás de un espejo con aspecto de vidrio polarizado ubicado en el sitio de lavado. Este dispositivo probó ser una innovación que promueve la higiene de manos completa disminuyendo de manera considerable el inóculo bacteriano de las manos. Para lograr la simplificación se establecieron los requerimientos mínimos computacionales del dispositivo, se eligieron los elementos de hardware y software a implementar, a través de unos parámetros de selección fijados durante el desarrollo, se diseñaron una serie de algoritmos que permiten detectar la presencia de un usuario, reconocer piel y el movimiento de las manos e instruir el paso a paso del lavado. Para medir el desempeño del prototipo, se realizaron pruebas en el Hospital Internacional de Colombia (HIC), en donde se obtuvo 97,25% de sensibilidad, 90% de especificidad y logró una disminución de costo del 66.67% respecto al modelo funcional MANITOR.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Directores: William Alexander salamanca Becerra. Dr. Mauricio Orozco-Levi

ABSTRACT

TITLE: Technological simplification of the artificial vision device for the audit and control of hand washing in hospital centers: "MANITOR"

AUTHORS: Sonia Pérez Cáceres
María Fernanda Rovira Gómez**

KEYWORDS: Hand wash, Artificial vision, OpenCV, Optical Flow

DESCRIPTION

This paper shows the development of a prototype that guides and audits hand washing under the protocol established by the World Health Organization (WHO) to combat and mitigate healthcare-associated infections (HAI). It is created as a hardware and software simplification of the functional model MANITOR, developed by the Cardiovascular Foundation of Colombia (FCV), its name is derived from the acronym "MANos" and "moniTORización" and is equivalent to a projection of videos on a tablet behind a mirror with polarized glass appearance located in the wash room. This device proved to be an innovation that promotes complete hand hygiene by considerably reducing the bacterial inoculum of the hands. To achieve the simplification, a minimum of computational requirements were established, implementable hardware and software elements were chosen through selection parameters set during the development, as well as a series of algorithms designed to detect the presence of a user, recognize skin and hand movements and instruct every step of the washing protocol. To measure the performance of the prototype was tested in the International Hospital of Colombia (HIC), where a 97.25% of sensitivity and 90% of specificity were obtained. Also, a decrease of 66.67% in cost was achieved beside the functional model MANITOR.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Directores: William Alexander salamanca Becerra. Dr. Mauricio Orozco-Levi

INTRODUCCIÓN

Con el incremento de las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS), la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció la higiene de las manos como medida principal para combatir y mitigar la propagación de la resistencia microbiana dentro de los profesionales sanitarios¹. Aunque es una acción sencilla, la falta de cumplimiento del lavado de manos representa un problema grave. Por ello, la necesidad de una solución tecnológica que permita mejorar las estrategias de control sobre los mismos es indispensable, con el fin de asegurar e incrementar el cumplimiento de dicho procedimiento.

La Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV) como alternativa tecnológica para el cumplimiento y monitoreo de la higiene de las manos, introdujo el MANITOR, un modelo funcional que guía y audita el lavado de las manos²; audita en la medida en que verifica o revisa que el lavado ocurra debidamente. Su nombre se deriva del acrónimo de “MANos” y “monITORización” y promueve una higiene de las manos completa, disminuyendo el inóculo bacteriano. Este dispositivo fue construido como una proyección de videos que se activan con la presencia de un usuario en un vidrio polarizado con aspecto de espejo de pared que se ubica en el sitio del lavado de manos. La implementación del dispositivo en todo el ámbito hospitalario, sin embargo, representa un costo demasiado elevado. Por esta razón encontrar una solución que permita la utilización del MANITOR a un menor costo es fundamental.

¹ WORLD HEALTH ORGANIZATION, “World alliance for patient safety - global patient safety challenge,” Geneva, Switzerland, 2006

² J. G. MD E. en ÁLVAREZ RIBERO A., “Evaluación de la efectividad de un sistema de visión artificial con capacidad para alerta, auditoría y análisis del lavado de manos en la unidad de cuidado intensivo polivanete de la FCV Instituto del Corazón de Floridablanca,” Universidad de Santander UDES - Fundación Cardiovascular de Colombia FCV, 2017

El presente trabajo responde a esa necesidad mediante el diseño e implementación de un prototipo de visión artificial que permite dirigir y auditar el lavado de manos, por medio del procesamiento de imágenes en tiempo real. Para ello, se estableció un modelo conceptual que delimitó los alcances del prototipo y contribuyó a establecer los requerimientos mínimos del sistema. A partir de estos, se renovaron las herramientas de hardware y software buscando obtener la mejor relación beneficio-coste posible.

A continuación se desarrollaron una serie de algoritmos complementarios que permiten detectar la presencia de un usuario, segmentar imágenes, caracterizar la calidad del movimiento de las manos, e indicar el procedimiento propuesto por la OMS³ por medio de una interfaz gráfica que, a su vez, audita el desempeño del usuario.

Finalmente, se implementaron los algoritmos y se realizaron las pruebas en el Hospital Internacional de Colombia (HIC) mediante sets de repeticiones del protocolo, en donde se determinó que el prototipo responde favorablemente con condiciones de luz adecuadas a procesos de lavado de manos que se lleven a cabo de principio a fin dentro de la zona delimitada para ello.

Este documento se encuentra organizado en seis secciones en las que expone el estado del arte, la metodología, las características adicionales, los resultados, la discusión y por último las conclusiones. Se hará mención del **modelo funcional MANITOR** como el dispositivo creado en la FCV, y del **prototipo MANITOR**, o **prototipo**, en referencia al propuesto en este trabajo.

³ O. M. De La S. (OMS), "Higiene de las manos: ¿por qué, cómo, cuándo?," Oms, pp. 1–7, 2012.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar, elaborar e implementar un modelo funcional de bajo costo que permita controlar y dirigir el lavado de manos en centros hospitalarios tomando como referencia el dispositivo de visión artificial “MANITOR”.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los requerimientos mínimos de cómputo e implementación del modelo funcional MANITOR para la supervisión del lavado de manos.
- Seleccionar el hardware con mejor relación costo-beneficio y que cumpla los requerimientos para la implementación del MANITOR.
- Seleccionar e implementar el software que permita adquirir y procesar imágenes, y desplegar una interfaz de usuario interactiva.
- Evaluar el funcionamiento del modelo funcional con las herramientas implementadas.

2. ESTADO DEL ARTE

Con el propósito de mejorar el cumplimiento de la higiene de las manos en entornos hospitalarios, se han desarrollado diversas estrategias como contadores electrónicos o medidores de utilización de producto, que llevan cuenta de la actividad cercana al lavamanos o emplean sensores en la boquilla de los detergentes, para registrar su actividad. No obstante, la observación directa sigue siendo el gold standard para asegurar la higiene de las manos, a pesar de presentar problemas como el efecto Hawthorne, la privacidad del paciente, entre otros⁴.

Recientemente se han desarrollado algunas herramientas electrónicas para promover la higiene de las manos. Los dispositivos electrónicos más recientes se presentan a continuación:

- Biovigil por Biovigil Hygiene Technologies: se compone de una tarjeta que el personal del hospital debe portar, y que incluye un sensor de vapor de alcohol que se activa al estar cerca de dispensadores o camillas de pacientes equipadas con otros sensores también. Si la tarjeta detecta vapores de alcohol en el portador, se torna verde indicando que hubo aseo reciente de manos. De lo contrario se torna roja y vibrará para recordar al portador que debe hacerlo. Los datos recolectados sobre la práctica del aseo de las manos se transmiten vía WiFi a una base de datos. La desventaja principal de este estudio es que solo se toman en cuenta los procedimientos realizados con alcohol⁵.
- MedSense Clear por General Sesing: conformado por una tarjeta, dos tipos de sensores y una base central de carga:

⁴ MARRA A. R. and EDMOND M. B., "New technologies to monitor healthcare worker hand hygiene," Clin. Microbiol. Infect., vol. 20, no. 1, pp. 29–33, 2014

⁵ EDMONDAB G. B. M.B., GOODELLC A., ZUELZERD W., SANOGOB K., ELAMA K., "Successful use of alcohol sensor technology to monitor and report hand hygiene compliance," 2010

- Tarjeta que el personal del hospital debe portar y que almacena los datos enviados por los demás sensores.
- Un sensor en el dispensador de jabón o alcohol: encargado de enviar un registro positivo o negativo a la tarjeta del portador dependiendo del uso que este haya dado al dispensador, o la falta de él.
- Sensor en habitaciones de pacientes: activo al detectar proximidad de la tarjeta. Revisa el registro de la misma, y encenderá luz verde si el registro es positivo; luz roja si no lo es, y vibrará para recordar al portador el aseo de sus manos.
- Base central de datos y carga: las tarjetas cuentan con una batería que debe ser cargada en la base central; acá también se envían los registros que se crean⁶.

A pesar de las ventajas de usar nuevas tecnologías frente a los métodos convencionales de cumplimiento de lavado de manos, existen aún limitaciones para determinar si hay seguimiento real del protocolo y calidad del lavado ejecutado. Respondiendo a esta necesidad, se escoge el modelo funcional MANITRO como dispositivo a mejorar, ya que, además de incorporar el paso a paso propuesto por la OMS, promueve el cumplimiento del mismo, en el tiempo sugerido.

⁶ AL SALMAN J. M., HANI S., MARCELLIS-WARIN N. de, and FATIMA ISA S., "Effectiveness of an electronic hand hygiene monitoring system on healthcare workers' compliance to guidelines," J. Infect. Public Health, vol. 8, no. 2, pp. 117–126, 2015

3. METODOLOGÍA

La estrategia para llevar a cabo la simplificación tecnológica fue la siguiente:

1. Generación de un modelo conceptual del prototipo: responde a la pregunta ¿cómo debe funcionar el sistema?
2. Análisis y tamizado de las herramientas de hardware y software a usar: da respuesta a ¿cuáles son los elementos necesarios para construir y programar el prototipo?
3. Diseño del modelo de comportamiento del sistema: explica el funcionamiento del prototipo paso a paso.
4. Implementación de algoritmo e interfaz gráfica que satisfaga el modelo conceptual.

3.1 GENERACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

Modelo por medio del cual se establecen las pautas bajo las que el prototipo se debe diseñar. Estas pautas se tomaron de aquellas empleadas en el modelo funcional MANITOR. Por tanto, ese dispositivo y el prototipo presentado en este trabajo, comparten el modelo conceptual que se expone a continuación:

- Construirse en el marco de visión artificial mediante la captura y procesamiento de imágenes en tiempo real.
- Guiar al usuario a través de los pasos establecidos por la OMS⁷ sobre el lavado correcto de manos, como se puede apreciar en la Figura 1.
- Auditar al usuario y advertir el caso en que éste no ejecute correctamente la instrucción.

⁷ O. M. De La S. (OMS), Op. Cit.

Existe, sin embargo, un fragmento del modelo conceptual en el que difieren ambos dispositivos: a pesar de que el modelo funcional MANITOR hizo uso de imagen facial, y voz, humanas para comunicar las instrucciones, el prototipo actual utiliza un video ilustrativo de cada paso y reproduce la instrucción de forma escrita y auditiva.

Figura 1. La Organización Mundial de la Salud establece el lavado de las manos como la medida más importante para evitar la transmisión de gérmenes nocivos y prevenir las IAAS. Por ello, propone una serie de pasos o instrucciones sobre cómo lavarse las manos



3.2 ANÁLISIS Y TAMIZADO DE LAS HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE A USAR

Los componentes de hardware con los que conto el modelo funcional MANITOR fueron los siguientes:

- *Tablet Dell XPS 8 Portable All-in-One Desktop with Touch*
- Cámara web Logitech HD C2170

De ellos, el prototipo presentado solo conserva la cámara web, y en cambio, sustituye completamente la *tablet* por otros elementos que suplan, igualmente, las necesidades computacionales del sistema. Dichas necesidades se conocen a priori, y equivalen a los requerimientos que surgieron durante la implementación del modelo funcional MANITOR. De ellos, en primer lugar surgió la memoria RAM del procesador, seguida de puertos USB, HDMI/VGA y conectividad WiFi. Además del procesador, se adicionó una pantalla con especificaciones que se profundizan en la siguiente sección. La elección de las herramientas a nivel de software, por otro lado, fue completamente autónoma y basada en la necesidad de codificar dentro del modelo *open source*, o código abierto, para sacar provecho de la gratuidad y la colaboración abierta. Por lo tanto, el sistema operativo de elección fue Linux y el lenguaje de programación, Python.

Se eligió un sistema embebido en el formato de ordenador de placa reducida (SBC, por sus siglas en inglés) con el fin de disminuir el costo total del dispositivo. De esta manera, se cuenta con los beneficios de un procesador.

3.2.1 Ordenador de placa reducida (SBC): *Inicialmente se consideraron diferentes SBC que cumplieran con los requerimientos planteados pero se descartó una gran mayoría debido a que son sobredimensionadas para lo requerido en este trabajo. Los criterios de selección fueron:*

- *Memoria RAM: del desarrollo del modelo funcional MANITOR se adoptó el valor mínimo de 1 GB.*
- *Costo*
- *Puerto USB: se requiere mínimo de tres puertos para la conexión de la cámara y periféricos como un teclado y un mouse.*
- *Puerto HDMI/VGA: para la conexión de una pantalla.*

- Salida de audio: en caso de que la pantalla no la tenga.
- Sistema operativo Linux

La Tabla 1 presenta 3 de las tarjetas con mejor balance entre los criterios de selección establecidos

Tabla 1. Comparación de elementos

	Raspberry Pi 3 ⁸	Orange Pi Win Plus ⁹	Orange Pi Prime ¹⁰
Memoria RAM	1 GB	2GB	2GB
Puertos USB	4	4	3
HDMI o VGA	✓	✓	✓
Salida Audio	✓	✓	✓
Precio (USD)	40	43	45

La decisión se decantó finalmente por la Raspberry Pi 3 debido a su costo y, especialmente, al soporte con el que cuenta, lo cual disminuye los factores de riesgo que pueden aparecer por problemas imprevistos durante la etapa de implementación.

3.2.2 Cámara Debido a la experiencia con el modelo funcional, mostro que para disminuir los requerimientos de cómputo durante el procesamiento de imagen, se reduce la resolución de la misma, es posible utilizar cualquier cámara web ofrecida en el mercado

⁸ FOUNDATION R. P., "RASPBERRY PI 3 MODEL B," 2018. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Accessed: 20-Aug-2007].

⁹ "WHAT'S ORANGE PI WINPLUS?," Shenzhen Xunlong Software CO., Limited, 2016. [Online]. Available: <http://www.orangepi.org/OrangePiWinPlus/>.

¹⁰ SHENZHEN and XUNLONG L. Software CO., "What's Orange Pi Prime?," 2016. [Online]. Available: <http://www.orangepi.org/OrangePiPrime/>.

3.2.3 Pantalla Es necesaria una pantalla que cuente con un tamaño de, al menos, 9 pulgadas para la proyección adecuada de las imágenes y mensajes. Se usó la siguiente:

Marca: LG

Modelo: E1940SI

Tipo: LCD

Conexión: VGA

Nota: teniendo en cuenta que la SBC que se eligió cuenta con puerto HDMI, se adquirió un conversor HDMI-VGA.

3.2.4 Librería de procesamiento de imagen Se necesitó una librería o módulo de código libre de visión artificial y procesamiento de imágenes que permitiese detectar y reconocer objetos, rastrear objetos en movimiento y hacer operaciones con imágenes, entre otras funciones. Fue escogido OpenCV porque, además de cumplir con los anteriores requisitos, tiene un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real, cuenta con una amplia documentación de respaldo y una comunidad de soporte en continuo crecimiento¹¹.

3.3 DISEÑO DEL MODELO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

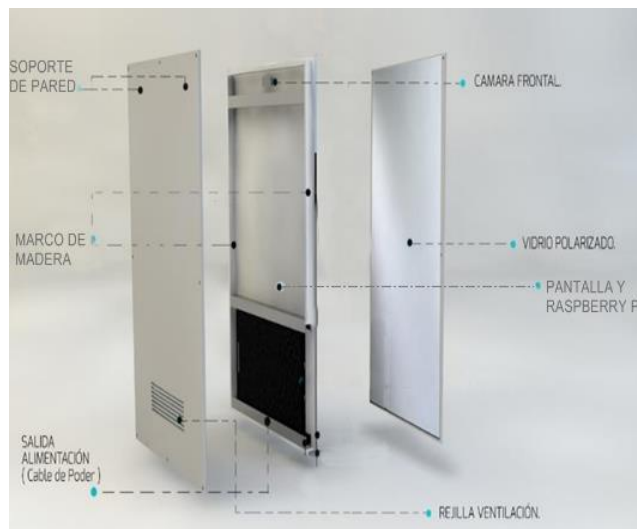
En la Figura 3 se presenta el diseño del modelo de comportamiento del sistema, bajo la figura de máquina de estados. Una máquina de estados es una herramienta que permite, de forma gráfica, estructurar el accionar de un dispositivo en situaciones predecibles, o estados. El flujo, o transición, entre dichos estados la desencadena un agente externo que puede ser el administrador del prototipo o el usuario; sus roles se exponen a continuación:

¹¹ TEAM O., "OpenCV," 2018. [Online]. Available: <https://opencv.org/>.

- Usuario: persona a la que el MANITOR guía y audita durante el lavado de sus manos.
- Administrador del prototipo: persona encargada de la configuración inicial del dispositivo. Dicha configuración se lleva a cabo una única vez después de encendido del sistema y es necesaria para la operación continua del protocolo. Consiste en segmentar imágenes, que adquiere la cámara, en forma de regiones, o áreas rectangulares, para ubicar el jabón y la zona designada al lavado de las manos. Así se conoce la posición y calidad de movimiento de las mismas. De cierta forma, el administrador facilita la identificación espacial de las manos del usuario, indicándole al sistema en dónde buscarlas. Estas regiones reciben el nombre de zona de lavado y zona de jabón y se ilustran en la Figura 3. Cuando termina la acción del administrador, el dispositivo está presto para ser usado por los usuarios, sin tener que repetir la configuración inicial.

Se propone ubicar la pantalla, cámara y parlante en el espacio físico del lavamanos, o sitio donde se realice el lavado, de la forma ilustrada en la Figura 2.

Figura 2. Organización final de los elementos que componen el espejo MANITOR



A continuación, se describen cada uno de los estados fijados para el prototipo MANITOR, junto con las condiciones que desencadenan su permanencia o transición a otros estados. La secuencia lleva el orden presentado en la máquina de estados, cuya base fue el propuesto por la OMS (Figura 1):

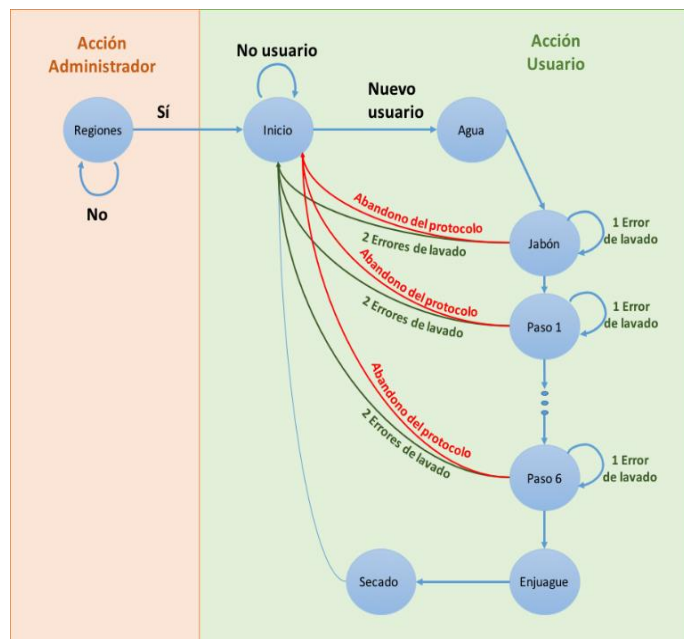
- **Regiones:** además de ser el primer estado, es el único que depende de la acción del administrador. Allí, este último delimita las zonas de lavado y jabón para que el sistema haga uso de ellas en los estados posteriores. El administrador debe elegir dos regiones y, solo así, el sistema cambiará al estado Inicio.
- **Inicio:** estado de espera durante el cual no hay actividad visible como videos, texto o sonido. Esto sucede debido a que es un estado producto de la ausencia de usuarios. Dicho de otra forma, si no hay persona que detectar, el sistema entra en un estado de reposo. De otra parte, al identificar un usuario nuevo, avanza al estado Agua. El reconocimiento de usuarios se ejecuta través de técnicas de tratamiento de imágenes expuestas en la sección posterior (Metodología, numeral 4).
- **Agua:** primer estado relacionado con el protocolo de lavado de manos. El programa instruye al usuario, a través de un video y una frase escrita y hablada, para que este último moje sus manos. Seguido, el sistema avanza al estado Jabón.
- **Jabón:** estado durante el cual el programa muestra al usuario, a través de los canales mencionados anteriormente, que debe poner jabón en sus manos y, a su vez, verifica que este último, mediante técnicas de tratamiento de imágenes (Metodología, numeral 4), así lo haga. Si el usuario pone jabón en su mano, el sistema entra en estado Paso 1, continuando el protocolo. Si falla, el programa le mostrará que tiene una segunda oportunidad que, de volver a fallar, enviará al sistema al estado Inicio.
- **Paso 1 a Paso 6:** cada paso corresponde a un estado que le indica al usuario los pasos que corresponden al lavado de manos propuesto por la OMS[3], apreciables en los numerales 2 al 7 de la Figura 1. Similar al estado Jabón, el

usuario cuenta con dos oportunidades para imitar correctamente el movimiento que se le muestra. De no hacerlo, el sistema regresará al estado Inicio.

- Enjuague: estado en el que el programa indica al usuario que enjuague sus manos con agua.
- Secado: último estado antes de volver al estado Inicio. El programa señala al usuario que debe secar sus manos y, que el lavado fue exitoso.

Es importante resaltar que, si el usuario abandona el proceso entre los estados Jabón y Paso 6, el sistema detectará su ausencia y regresará al estado Inicio

Figura 3. Modelo del comportamiento del sistema: máquina de estados.



3.4 IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO E INTERFAZ GRAFICA

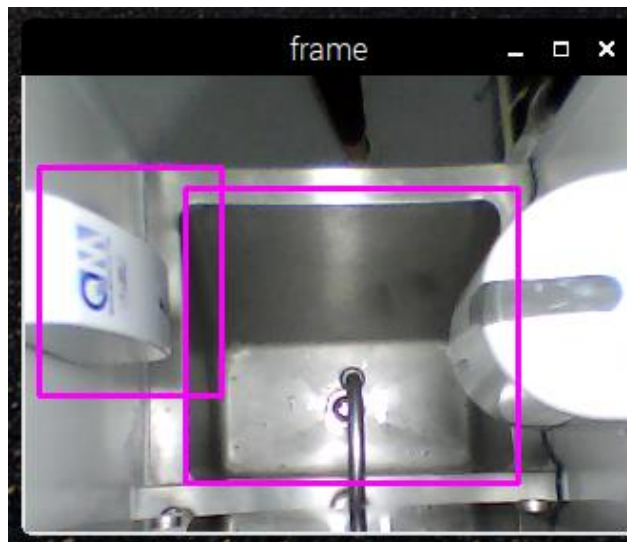
El algoritmo implementado se dividió en cuatro secciones, de las cuales las tres primeras corresponden a técnicas de tratamiento de imágenes: segmentación de la imagen, reconocimiento de piel y detección de movimiento. La última sección refiere

a la interfaz gráfica que se adaptó como puente para conectar al usuario con el programa. Cada una de estas secciones, se profundizan a continuación.

Es importante resaltar que, con el propósito de acelerar el flujo del programa, se disminuye el tamaño de la imagen a la mitad, en los procesos que requieren captura de la misma. Esta medida fue hallada a través de la experimentación, y representa un balance aceptable entre la fluidez del algoritmo y la calidad de imagen.

3.4.1 Segmentación de imágenes Con la intención de que el proceso de reconocimiento piel-movimiento se lleve a cabo de forma precisa para el usuario, el administrador debe delimitar las regiones en las que se ejecuta, estas son: zona de lavado y zona de jabón. Dicha acción se realiza una única vez, y en el estado Regiones, durante la configuración inicial, luego de encendido el prototipo, y requiere de la asistencia de un mouse, o ratón. Con ayuda del puntero, el administrador debe demarcar los vértices de ambas zonas sobre una imagen que el sistema esboza en la pantalla, como forma de guía visual. La delimitación de las regiones es posible gracias a una combinación de eventos de mouse y graficado de imágenes de OpenCV, condensada en una función que solo necesita conocer el número de regiones a definir, para funcionar correctamente. De la misma manera, el output de esta función es un vector con las coordenadas de las regiones; debido a que las regiones son rectangulares, se almacenan las coordenadas (x,y) de dos vértices opuestos por rectángulo. Este proceso se realiza dos veces pues, por defecto, son dos las regiones de interés, como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4. Imagen captada por el prototipo que denota las regiones del jabón y del lavado respectivamente.

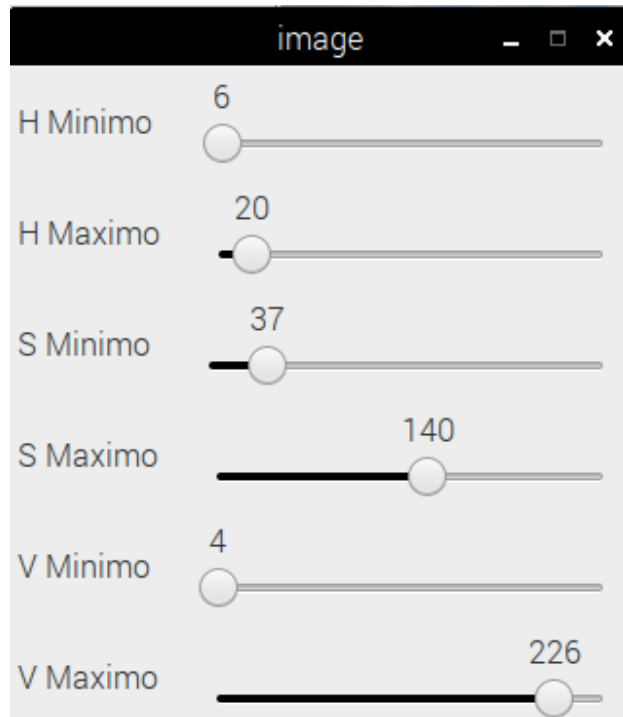


3.4.2 Reconocimiento de piel Con el propósito de detectar la presencia de piel humana en las imágenes, se utilizaron técnicas relacionadas con el manejo de color. A continuación, el paso a paso:

El primer paso es convertir la imagen del modelo de color RGB, modelo por defecto en la captura de imágenes desde la cámara, a HSV, ya que este facilita características de detección del color. El modelo HSV permite tener en cuenta las condiciones de luminosidad e intensidad del color y está más relacionado con la percepción del color humano¹². Los canales de HSV (hue, saturation y value) corresponden a tono de color, intensidad de la tonalidad, e iluminación del color. Con el objetivo de alcanzar los rangos de HSV idóneos en las condiciones de luz del lugar de instalación, se utilizaron trackbars, o barras de seguimiento, como se observa en la Figura 5.

¹² H. M. P. M. JORGE A. MARCIAL BASILIO, AGUILAR TORRES Gualberto *, SÁNCHEZ PÉREZ Gabriel, TOSCANO MEDINA Karina, "Novedosa técnica para la detección de imágenes pornográficas empleando modelos de color HSV y YCbCr," Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, 2012.

Figura 5. Trackbars o barras de seguimiento utilizados para definir los rangos de los canales del modelo de color HSV.



El segundo paso es minimizar el ruido de imagen provocado por la cámara o por exceso de iluminación. Para ello se promedia cada pixel con sus vecinos, mediante una técnica llamada suavizado. En tercer lugar, se crea un umbral para conservar únicamente los píxeles de interés; en este caso, los de color piel, con el objetivo de binarizar la imagen, es decir, tener solo dos posibles colores: blanco y negro. A todos aquellos píxeles que superan el umbral, se les asigna el color blanco, o el valor 1. Los que no, el color negro, o valor 0, El cuarto paso consiste en emplear el método de dilatación de imagen con el propósito de mitigar el efecto de manchas negras en la zona de interés, consecuencia del paso anterior¹³. Estos dos últimos procedimientos se pueden observar en la primera y segunda imagen de la Figura 6.

¹³ PÉREZ GONZÁLEZ, C. "Deteccion y seguimiento de objetos por colores en una plataforma raspberry pi," 2016

De la imagen resultante, se agrupan los píxeles que están conectados entre sí, es decir, píxeles vecinos del mismo valor para identificar contornos. Es posible que sean múltiples los contornos hallados, por lo cual se define un umbral para escoger el área mínima a ser analizada y así evitar ruido. Finalmente, se encierran estos contornos en rectángulos¹⁴, como se puede observar en la tercer imagen de la Figura6. A nivel algorítmico, el programa reconoce la presencia de piel humana si los vectores que encierran los contornos, no están vacíos.

¹⁴ O. by doxygen 1.8.9.1, "Contour Features," 2015. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/3.1.0/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html

Figura 6. Reconocimiento de piel utilizando el modelo de color HSV



3.4.3 Detección de movimiento Identificar el frote, desplazamiento o, incluso, ausencia de las manos en las imágenes se puede llevar a cabo gracias a la técnica dense optical flow o flujo óptico denso^{15 16}. El flujo óptico es el movimiento relativo entre el observador (ojo o cámara) y el objeto de observación: si un ciclista en movimiento percibe que los árboles a su alrededor ‘se alejan’ estará experimentando el ‘efecto’ del optical flow.

El objetivo de utilizar esta técnica es el de estimar el desplazamiento de un píxel en una secuencia de imágenes, o fotogramas, de la misma escena. De la gran variedad de técnicas, OpenCV ofrece algunas para calcular el flujo óptico: block matching, Lukas-Kanade y Gunnar-Farneback¹⁷. Una de las diferencias significativas entre ellas es el número de píxeles a los que pueden hacer seguimiento de un fotograma a otro, y de esa manera se clasifican en flujo óptico disperso (block matching y Lukas-Kanade) y denso (Gunnar-Farneback)¹⁸. Para hacer uso del primero, es necesario contar de antemano con las cualidades que caracterizan los píxeles en seguimiento (contornos, bordes, patrones de movimiento, entre otras). El segundo, por el contrario, procesa todos los píxeles de la imagen, sin restricción alguna. En consecuencia, se prefiere este último, además, porque el cómputo de todas las posibles combinaciones de contornos y patrones de movimiento derivados de los usuarios, excede los alcances de este proyecto.

En Python-OpenCV, la función se llama `cv2.calcOpticalFlowFarneback` y procesa una secuencia variable de fotogramas, arrojando como resultado una matriz del

¹⁵ WEDEL A. and CREMERS D., “Stereo Scene Flow for 3D Motion Analysis,” London: Springer, 2011

¹⁶ O. by doxygen 1.8.9.1, “Optical Flow,” 2018. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/trunk/d7/d8b/tutorial_py_lucas_kanade.html

¹⁷ OPENCV DEV TEAM., “Motion Analysis and Object Tracking,” 2014. [Online]. Available: [https://docs.opencv.org/2.4/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html#void_calcOpticalFlowFarneback\(InputArray prev, InputArray next, InputOutputArray flow, double pyr_scale, int levels, int winsize, int iterations, int poly_n, double pol\)](https://docs.opencv.org/2.4/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html#void_calcOpticalFlowFarneback(InputArray prev, InputArray next, InputOutputArray flow, double pyr_scale, int levels, int winsize, int iterations, int poly_n, double pol))

¹⁸ RIASCOS SEGURA J. S. and CARDONA GALLEGO Y. A., “Determinación De La Cinemática De Objetos Móviles Bajo Condiciones Controladas Mediante Imágenes Empleando Técnicas De Flujo Óptico,” Trab. grado, vol. 1, pp. 1–18, 2015

mismo tamaño del fotograma. Cada elemento del flujo de dicha matriz es un punto (x,y) que representa el desplazamiento $(\Delta x, \Delta y)$ de ese píxel en el fotograma anterior.

3.4.4 Interfaz Grafica Es un entorno visual sencillo que permite la comunicación entre una persona (usuario o administrador) y la máquina, o sistema. A través de botones, líneas, cajas de texto, imágenes, entre otros elementos, es posible transmitir información y opciones disponibles en la interfaz. Para desarrollarla, se utilizó la librería Tkinter de Python¹⁹. La interfaz sigue el diseño propuesto en la Figura 2, por lo tanto, consta de dos partes: la ventana principal que es para el uso del administrador del dispositivo, y la ventana secundaria para los usuarios que se lavan las manos. La ventana principal consta de:

- Un primer botón para delimitar las regiones, que se relaciona directamente con la función de segmentación de imágenes y sitúa al sistema en el estado Regiones.
- Un segundo botón para dar inicio a una ventana secundaria que presenta los pasos a seguir del lavado. Es aquí cuando las características de guía y auditoría del dispositivo se combinan: se orienta al usuario a través de un video explicativo e indicaciones textuales y verbales, para que siga dichos pasos. Al mismo tiempo, se toman imágenes de sus manos y se les aplican técnicas de detección de movimiento y piel en las regiones y segmentadas (zona de jabón y zona de lavado), tal y como se describe en las subsecciones anteriores. De esta forma es posible verificar si la acción del usuario coincide con la instrucción que se le muestra: paso correcto. O si no hay coincidencia: paso fallido. Con el propósito de ejecutar toda estas tareas de forma óptima, se implementó la librería threading; que permite accionar múltiples funciones simultáneamente²⁰.

¹⁹ PYTHON SOFTWARE FOUNDATION., “Tkinter — Python interface to Tcl/T,” 2018. [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/library/tkinter.html>

²⁰ PYTHON SOFTWARE FOUNDATION., “threading — Higher-level threading interface,” 2018. [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/library/threading.html>.

Una vez terminada la acción del administrador en la ventana principal, este selecciona el segundo botón de la interfaz gráfica que da origen a la ventana secundaria y sitúa el sistema en el estado Inicio. La ventana secundaria permanece en un efecto espejo hasta que reconoce un usuario nuevo. Cuando lo hace, entra en el estado Agua y le comunica al usuario “por favor moje sus manos”, por medio de texto, audio y un video representativo. La instrucción siguiente es “deposite jabón en las manos”, y el sistema avanza al estado Jabón. En ese momento, el programa corrobora que el usuario ejecute la acción en la zona delimitada para ello. Si no lo hace correctamente, le pide que lo repita. Si lo hace, el sistema continúa con la secuencia de lavado, validando los movimientos del usuario dentro de la zona correspondiente. En caso de que el usuario equivoque el movimiento, el sistema le informa e indica que repita el paso. El usuario tiene una oportunidad, de lo contrario, debe iniciar de nuevo el proceso. Si la persona cumple todos los pasos correctamente se le indica “enjuague las manos” y “seque sus manos” en los estados finales Enjuague y Secado. Al finalizar, informa “sus manos son seguras”, y procede al estado Inicio, esperando una nueva persona.

4. CARACTERÍSTICAS ADICIONALES

Durante la realización del prototipo, se decidió incorporar un registro de uso con fecha y hora de la llegada del usuario, la calidad de movimiento en cada paso y el tiempo de lavado. También se propuso el acceso al archivo desde cualquier dispositivo, acción que facilita la minería de datos. A efectos de llevar a cabo lo anterior, se usó:

- Librería Writexlsx, que crea y modifica documentos en Excel Excel²¹. Allí se da origen al registro
- Librería smtplib que permite enviar correos electrónicos²²

De esta forma, se tiene acceso al registro desde cualquier dispositivo electrónico. En este punto se vuelve indispensable que el computador de placa reducida escogido cuente con una fuente constante de internet para realizar esta acción.

²¹ MCNAMARA John, "Creating Excel files with Python and XlsxWriter," 2018. [Online]. Available: <https://xlsxwriter.readthedocs.io/>.

²² PYTHON SOFTWARE FOUNDATION., "smtplib — SMTP protocol client," 2018. [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/library/smtplib.html>

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 PARÁMETROS DE RENDIMIENTO

Se realizaron dos sets, o conjuntos de 50 pruebas (n=50) repitiendo el protocolo, en el Hospital Internacional de Colombia (HIC), bajo las siguientes condiciones:

- Luz blanca que ilumine la zona de lavado.
- Protocolo ejecutado dentro de la zona de lavado.
- Un único usuario por prueba: se excluye toda prueba en la que otro usuario entre en reemplazo del primero o interfiera de cualquier manera con el desempeño del mismo.

Todas las pruebas se realizaron con el aval del comité de ética del HIC y en ellas participaron personas del equipo de trabajo del hospital, que hicieron uso del dispositivo en repetidas ocasiones. Cabe señalar que no participaron personas con ningún tipo de discapacidad.

Cada set se adaptó para medir el comportamiento del prototipo dependiendo de los nueve parámetros que se exponen a continuación de la siguiente forma:

X. *Parámetro ejemplo:* breve explicación de su significado.
R: valor del parámetro aplicado al prototipo.

Durante el primer set de pruebas se tomaron 50 protocolos completados correctamente de allí se obtuvieron los resultados expuestos a continuación

A. *Número de protocolos iniciados que se completan vs. Protocolos iniciados que no se completan*

R: Set de 50 protocolos iniciados de los cuales se completaron 50.

B. *Sensibilidad para iniciar:* número de veces que se activa el protocolo cuando se acerca un usuario.

R: 50 veces inició el protocolo de 50 veces que se acercó un usuario.

C. *Sensibilidad:* proporción de mensajes correctos ante movimientos correctos, donde los movimientos fueron supervisados para asegurar su adecuada ejecución, y los mensajes concordaron con el movimiento hecho. Durante un set de 50 repeticiones de todo el protocolo, hay 8 oportunidades de indicar el mensaje correcto, por lo cual, hay 400 posibilidades en total.

R: 389 mensajes correctos de 400 posibles. Sensibilidad: 97,25%

Del segundo set de pruebas se tomaron 50 protocolos en los que el usuario hubiese errado evidentemente el movimiento o abandona el proceso de lavado.

De ellos, se obtuvieron los siguientes:

D. *Especificidad:* número de mensajes correctos ante movimientos errados, donde los mensajes concordaron con el movimiento ejecutado. Este parámetro se evaluó con un set de 50 repeticiones de movimientos errados, donde las manos del usuario mostraron poca o nula calidad de movimiento.

R: 45 mensajes correctos de 50 posibles. Especificidad 90%

E. *Sensibilidad al cambio abrupto de usuario:* proporción en que detecta la salida abrupta de un usuario y la llegada inmediata de otro usuario en reemplazo del primero. El set se compuso de 50 repeticiones en las que un primer usuario interrumpió súbitamente su proceso de lavado y entró otro en su reemplazo.

R: El sistema detectó 10 cambios de usuario de 50 posibles. Sensibilidad al cambio abrupto de usuario: 20%.

Por último, los siguientes cuatro parámetros fueron calculados durante todo el tiempo en que el dispositivo permaneció encendido:

F. *Estabilidad*: número de errores en el protocolo por software.

R: Desde el inicio de las pruebas, no se reportó ningún error en el protocolo por software, más allá de los errores por sensibilidad o especificidad.

G. *Auto ciclado*: número de veces de auto ciclado o inicio sin que un usuario se acerque.

R: Desde el inicio de las pruebas, no se reportó ningún caso de auto ciclado.

H. *Congelación*: número de veces que se detiene el sistema y se debe reiniciar.

R: Desde el inicio de las prueba, no se reportó ningún caso de congelación.

I. *Remisión del registro de uso*: número de envíos al e-mail del registro creado a partir del uso del dispositivo por parte de los usuarios.

R: Cada 20 usuarios envió un archivo si el dispositivo contaba con conexión a internet, de lo contrario guardó el registro en la memoria.

Nota: es importante resaltar que al inicio de este trabajo, el modelo funcional MANITOR se encontraba en desuso, y el estudio que se le hizo fue netamente clínico, en donde los objetivos evaluados fueron:

- Caracterizar socio demográficamente a la población.
- Calcular del cumplimiento de los pasos del lavado de manos con el dispositivo MANITOR en funcionamiento o sin funcionamiento en la población.
- Evaluar de las diferencias en la calidad del lavado de manos con el dispositivo en funcionamiento en horario laboral, festivo, diurno o nocturno.
- Determinar el efecto del lavado de manos guiado por MANITOR vs. sin dispositivo, en UFC (Unidad Formadora de Colonias), en las manos de los individuos analizado[2].

Por tales razones los parámetros de aquel modelo, no pudieron ser comparados con los del prototipo propuesto.

5.2 COSTO

Costo modelo funcional: \$1'200.000 COP

Costo prototipo: \$400.000 COP

El costo neto del modelo funcional se basó en el precio de los elementos al momento de la compra, puesto que, actualmente la Tablet utilizada se encuentra fuera del mercado. El costo neto del prototipo se estimó sumando el precio de la tarjeta de procesamiento, memoria de almacenamiento, pantalla y reproductor de audio. Es importante resaltar que todos estos elementos ya los incorporaba el modelo funcional MANITOR.

Se encontró una reducción en precio neto de 66.67%.

Nota: no se tuvieron en cuenta cargos adicionales por membresías, mantenimiento, mano de obra, ni costos relacionados al software closed source del modelo funcional MANITOR.

6. DISCUSIÓN

En términos generales, el prototipo fue diseñado para guiar y auditar aquellos procesos de lavado de manos que transcurran de forma regular, es decir, un único usuario de principio a fin que siga los pasos dentro de la zona de lavado, bajo condiciones aceptables de iluminación.

Con el fin de incrementar la robustez del prototipo, se sugiere mejorar la sensibilidad al cambio abrupto de usuario y, de esta manera, abarcar una mayor cantidad de errores de protocolo.

Dicha sensibilidad existe debido a que el programa otorga un tiempo aproximado de 5 segundos al usuario para que complete cada instrucción. Por lo tanto, si el usuario abandona el lugar en medio de una instrucción, el programa tardará de 2 a 7 segundos en detectar su ausencia. Cabe resaltar, que esta sensibilidad difiere de la sensibilidad para iniciar (Resultados, numeral B.), la cual detecta la presencia de un nuevo usuario de forma casi inmediata.

Para responder a la necesidad de robustez, se generó una alternativa de codificación que consiste en determinar si, después de finalizar uno de los pasos y antes de comenzar el siguiente, el usuario continúa presente frente al espejo. Este procedimiento se lleva a cabo por medio de la detección de su piel durante una ventana muy breve de tiempo.

Incorporando esta alternativa, se logró incrementar la sensibilidad al cambio abrupto de usuario al 36%, comparado con el 20% inicial. Sin embargo, la proporción de mensajes correctos ante movimientos correctos, o sensibilidad (Resultados, numeral C.), decreció a 88.33% comparada con el 97.25% que exhibía antes. Dicho

de otra forma, si un usuario abandona el lugar en medio de una instrucción ahora el programa tardará de 1 a 5 segundos en detectar su ausencia, pero existirá un 8.65% más de posibilidad de que, ante un movimiento cualquiera, entregue el mensaje equivocado.

Una de las causas del error asociado a la sensibilidad (Resultados, numeral C) es el exceso de iluminación ocasionado por la fuente de luz en el momento en que las manos se encuentran en cercanías de esta. En compensación, se sugiere aplicar técnicas de normalización de imagen con el fin de balancear el brillo y la saturación que resultan de esta interferencia.

Por otro lado aunque la capacidad de cómputo de la CPU, de la Raspberry Pi 3 respondió adecuadamente a los procesos, se podría aumentar con el fin de mejorar la velocidad de respuesta del sistema sin afectar la calidad del lavado.

No se limita el uso de la Raspberry Pi 3 como computador de placa reducida, dado que se podría emplear cualquier otra que cumpla con las especificaciones requeridas.

Para futuros estudios, el sistema se podría mejorar para que pueda de identificar la dirección del movimiento de las manos con la intención de conocer si el movimiento corresponde al paso auditado.

Finalmente, cabe resaltar la importancia de un desarrollo integral del dispositivo que permita, a futuro, migrarlo a ambientes diferentes de las instituciones hospitalarias en donde pueda saberse útil como instituciones educativas, o algunas empresas en donde pueda impactar positivamente, siempre buscando la mejoría y beneficio de la mayor cantidad de personas

7. CONCLUSIONES

Se simplificó y construyó un prototipo de guía y auditoría del lavado de las manos, con base en una serie de requerimientos mínimos estudiados en la primera fase del trabajo. De ellos, se encontró que el dispositivo necesita una memoria RAM de, al menos, 1GB para almacenar una cantidad aceptable de archivos e instrucciones que posteriormente ejecute la CPU, sin afectar la continuidad del protocolo. Se encontró también que el prototipo necesita una fuente constante de internet, a fin de poder supervisar los registros de usuario desde cualquier dispositivo electrónico.

Además de la implementación, se establecieron una serie de métricas que permitieron evaluar el desempeño del sistema y permitirán la comparación para futuras versiones del mismo. Se sugiere, entonces, realizar estudios comportamentales de la interacción usuario-dispositivo en trabajos futuros.

Se concluyó que es posible disminuir el precio de manera considerable y sin perjudicar el comportamiento del sistema, dado que, en este caso, se logró una reducción del 66.67% conservando sus funciones esenciales.

Finalmente, un aporte muy importante de este proyecto fue el desarrollo de la primera versión del dispositivo en plataformas libres de código abierto. Esto permite la proyección de trabajos destinados a mejorar cada uno de los elementos que lo componen.

BIBLIOGRAFÍA

AL SALMAN J. M., HANI S., MARCELLIS-WARIN N. de, and FATIMA ISA S., "Effectiveness of an electronic hand hygiene monitoring system on healthcare workers' compliance to guidelines," J. Infect. Public Health, vol. 8, no. 2, pp. 117–126, 2015.

EDMONDAB G. B. M.B., GOODELLC A., ZUELZERD W., SANOGOB K., ELAMA K., "Successful use of alcohol sensor technology to monitor and report hand hygiene compliance," 2010.

FOUNDATION R. P., "RASPBERRY PI 3 MODEL B," 2018. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Accessed: 20-Aug-2007].

H. M. P. M. JORGE A. MARCIAL BASILIO, AGUILAR TORRES Gualberto *, SÁNCHEZ PÉREZ Gabriel, TOSCANO MEDINA Karina, "Novedosa técnica para la detección de imágenes pornográficas empleando modelos de color HSV y YCbCr," Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, 2012.

J. G. MD E. en ÁLVAREZ RIBERO A., "Evaluación de la efectividad de un sistema de visión artificial con capacidad para alerta, auditoría y análisis del lavado de manos en la unidad de cuidado intensivo polivanete de la FCV Instituto del Corazón de Floridablanca," Universidad de Santander UDES - Fundación Cardiovascular de Colombia FCV, 2017.

MARRA A. R. and EDMOND M. B., “New technologies to monitor healthcare worker hand hygiene,” Clin. Microbiol. Infect., vol. 20, no. 1, pp. 29–33, 2014.

MCNAMARA John, “Creating Excel files with Python and XlsxWriter,” 2018. [Online]. Available: <https://xlsxwriter.readthedocs.io/>.

O. by doxygen 1.8.9.1, “Contour Features,” 2015. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/3.1.0/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html.

O. by doxygen 1.8.9.1, “Optical Flow,” 2018. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/trunk/d7/d8b/tutorial_py_lucas_kanade.html.

O. M. De La S. (OMS), “Higiene de las manos: ¿por qué, cómo, cuándo?,” Oms, pp. 1–7, 2012.

OPENCV DEV TEAM., “Motion Analysis and Object Tracking,” 2014. [Online]. Available:

[https://docs.opencv.org/2.4/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html#void_calcOpticalFlowFarneback\(InputArray_prev, InputArray_next, InputOutputArray flow, double pyr_scale, int levels, int winsize, int iterations, int poly_n, double pol.](https://docs.opencv.org/2.4/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html#void_calcOpticalFlowFarneback(InputArray_prev,InputArray_next,InputOutputArray_flow,double_pyr_scale,int_levels,int_winsize,int_iterations,int_poly_n,double_pol))

PÉREZ GONZÁLEZ, C. “Deteccion y seguimiento de objetos por colores en una plataforma raspberry pi,” 2016.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION., “smtplib — SMTP protocol client,” 2018. [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/library/smtplib.html>.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION., “threading — Higher-level threading interface,” 2018. [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/library/threading.html>.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION., “Tkinter — Python interface to Tcl/T,” 2018. [Online]. Available: <https://docs.python.org/2/library/tkinter.html>.

RIASCOS SEGURA J. S. and CARDONA GALLEGO Y. A., “Determinación De La Cinemática De Objetos Móviles Bajo Condiciones Controladas Mediante Imágenes Empleando Técnicas De Flujo Óptico.,” Trab. grado, vol. 1, pp. 1–18, 2015.

SHENZHEN and XUNLONG L. Software CO., “What’s Orange Pi Prime ? ,” 2016. [Online]. Available: <http://www.orangepi.org/OrangePiPrime/>.

TEAM O., “OpenCV,” 2018. [Online]. Available: <https://opencv.org/>.

WEDEL A. and CREMERS D., “Stereo Scene Flow for 3D Motion Analysis,” London: Springer, 2011.

WHAT’S ORANGE PI WINPLUS ? ,” Shenzhen Xunlong Software CO.,Limited, 2016. [Online]. Available: <http://www.orangepi.org/OrangePiWinPlus/>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, “World alliance for patient safety - global patient safety challenge,” Geneva, Switzerland, 2006.