

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

DISEÑO DE UN SISTEMA LECTOR DE CAPILARES SANGUÍNEOS PARA DETERMINAR HEMATOCRITO USANDO VISIÓN ARTIFICIAL, 2023

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: SALUD OCUPACIONAL Y AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: **LEIA AROMI REYES CARRASCAL**

Asesora:

Mg. **KARLA JAQUELIN RODRÍGUEZ ROJAS**

Cajamarca, Perú

2023

COPYRIGHT © 2023 by
LEIA AROMI REYES CARRASCAL
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

DISEÑO DE UN SISTEMA LECTOR DE CAPILARES SANGUÍNEOS PARA DETERMINAR HEMATOCRITO USANDO VISIÓN ARTIFICIAL, 2023

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: SALUD OCUPACIONAL Y AMBIENTAL

Presentada por:

Bachiller: **LEIA AROMI REYES CARRASCAL**

JURADO EVALUADOR

Mg. Karla Jaquelin Rodríguez Rojas
Asesora

Dra. Mercedes Marleni Bardales Silva
Jurado Evaluador

Dra. Elena Soledad Ugaz Burga
Jurado Evaluador

Dr. Carlos Enrique Aparicio Arteaga
Jurado Evaluador

Cajamarca, Perú

2023



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

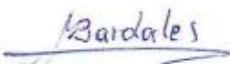
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Siendo las 11:00 horas, del día 18 de abril de dos mil veintitrés, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. MERCEDES MARLENI BARDALES SILVA**, **Dra. ELENA SOLEDAD UGAZ BURGA**, **Dr. CARLOS ENRIQUE APARICIO ARTEAGA**, y en calidad de Asesora la **Mg. KARLA JAQUELIN RODRIGUEZ ROJAS**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA LECTOR DE CAPILARES SANGUÍNEOS PARA DETERMINAR HEMATOCRITO USANDO VISIÓN ARTIFICIAL, 2023**, presentada por la Bachiller en Ciencias Biológicas **LEIA AROMI REYES CARRASCAL**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBAR**.....con la calificación de 19 SOBRESALIENTE.....la mencionada Tesis; en tal virtud, la Bachiller en Ciencias Biológicas **LEIA AROMI REYES CARRASCAL**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Salud, con Mención en **SALUD OCUPACIONAL Y AMBIENTAL**.

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Mg. Karla Jaquelin Rodríguez Rojas
Asesora


.....
Dra. Mercedes Marleni Bardales Silva
Jurado Evaluador


.....
Dra. Elena Soledad Ugaz Burga
Jurado Evaluador


.....
Dr. Carlos Enrique Aparicio Arteaga
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A:

Dedico la presente investigación a mis hermanos, padres y abuela porque me dieron la fortaleza y motivaron mi perseverancia para lograr resultados exitosos en la presente.

Además, lo dedico a aquellos sectores que requieran del conocimiento de la presente investigación con el objetivo de tener un proceso confiable, y aumentar la agilidad de los mismos, además a aquellos sectores donde el dispositivo se convierta en un instrumento guía importante para dirigir su sistema de salud

Dedico esta investigación a todos aquellos que se atrevan a seguir sus curiosidades científicas, y que no se rinden hasta lograrlo

Leia Aromi

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas involucradas en la presente investigación que ejercieron sinergia positiva, producto de la cual se desarrolló una herramienta biomédica que facilita el trabajo en el área clínica, en especial a mi madre Sandra Carrascal Carranza gracias a ella logré estos grandes avances, del mismo modo a mi padre Willman por todas sus enseñanzas y aprendizajes que me ha brindado, a mis hermanos por toda la motivación y energía para llevar a cabo la presente investigación, sin menos agradecer a mi hermana Adha Aile por todo su esfuerzo y apoyo para esta investigación.

Leia Aromi

Ni siquiera la propia naturaleza sabe el camino que va a seguir el electrón

Richard Feynman

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I:INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	4
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4. LIMITACIONES	6
1.5. OBJETIVOS	6
CAPÍTULO II:MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2. BASES TEÓRICAS	10
2.3. MARCO CONCEPTUAL	30
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	35
CAPÍTULO III:PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES	37
3.1. HIPÓTESIS	37
3.2. VARIABLES	37
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS HIPÓTESIS	38
CAPÍTULO IV: Marco metodológico	39
4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	39
4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	39
4.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	40
4.4. POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN	42
4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	42
4.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	42
4.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA	43
4.8. ASPECTOS ÉTICOS	44

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	45
5.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
5.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	53
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

Índice de tablas	Pág.
Tabla 1: Valores normales de hematocrito por edad_____	29
Tabla 2: Factor de corrección de hematocrito según altitud sobre el nivel del mar _____	29
Tabla 3: Tiempo de muestras procesadas por minuto_____	48
Tabla 4: Variación de cálculo de hematocrito promedio del sistema por cada grupo de muestra_	49

Índice de figuras	Pág.
Figura 1. Modelo genérico de verificación_____	13
Figura 2. Representación del proceso metodológico que se desarrolló en la presente investigación_____	41
Figura 3: Sector de <i>software</i> construido para análisis de imágenes y detección de hematocrito_	46
Figura 4: Instrumento de recolección en bloque de imágenes de capilares con muestra sanguínea centrifugada_____	47
Figura 5: Apreciación de la identificación de capilares y del cálculo de hematocrito realizado por el sistema_____	47
Figura 6. Relación entre el cálculo de hematocrito del Especialista con el del Software_____	50
Figura 7. Expresión de frecuencia de errores absolutos_____	51
Figura 8. Correlación de Pearson's en R con $p\text{-value}<2.2e-16$ _____	54
Figura 9. Regresión lineal entre hematocritos obtenidos por el software con los del especialista_	54
Figura 10. Evaluación de semejanza con t-test para datos de hematocrito por el software y especialista_____	55

LISTA DE ABREVIATURAS

IA: Inteligencia Artificial

Hto: Hematocrito

SVM: Máquina de vectores de soporte

ANN: Redes neuronales artificiales/ Neural Net Artificial

RESUMEN

El análisis de hematocrito es un procedimiento que habitualmente se realiza en el laboratorio clínico el cual nos puede brindar información relevante sobre la salud del paciente, en la presente investigación de tipo aplicada con diseño experimental se tuvo como objetivo diseñar un *software* capaz de determinar el valor de hematocrito por medio de análisis de imágenes digitales, esto a través de métodos algorítmicos de visión artificial para su desarrollo y estadísticos para determinar su desempeño, para esto se procesaron 330 muestras de sangre centrifugadas en capilares, teniendo como grupo control a los valores de hematocrito hallados por un especialista de laboratorio, del análisis se tuvo como resultado una correlación de Pearson de 0.9 entre los valores obtenidos por el *software* y los del especialista con un $p\text{-value} < 2.2e-16$, lo que determina que el *software* se desenvuelve de forma similar que el especialista de laboratorio al hallar el valor de hematocrito, además, el *software* logró procesar 6 veces más muestras por minuto que el especialista, en consecuencia se construyó un *software* capaz de determinar hematocrito.

Palabras clave: Hematocrito, visión artificial, *software*

ABSTRACT

The hematocrit analysis is a process that usually makes in the clinical laboratory which can give us relevant information about the health of the patient, in the present experimental applied research, had the objective to design a capable software of determinate the value of the hematocrit by pictures analysis, through artificial vision methods algorithms for their development and statistical methods for determinate the performance, it was processed 330 blood centrifuged samples in capillaries, having a control group to the hematocrit values found by a lab specialist, from this analysis their results were a Pearson correlation of 0.9 between the values obtained by the software and those of the specialist this with a *p-value* $< 2.2e-16$, which determines that the software performs in a similar way as the lab specialist when finding the hematocrit value, in addition, the software process 6 times more samples per minute than the specialist, consequently the software is qualified for determining hematocrit.

Keywords: Hematocrit, artificial vision, software

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

A nivel mundial el personal de salud se ve expuesto a múltiples peligros los cuales de un modo u otro se ha buscado reducir, entre estos riesgos está la contaminación por sangre donde el trabajador se ve expuesto a diferentes enfermedades como: hepatitis B, hepatitis C e incluso el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), entre otros (1,2). La sangre se considera un agente con potencial biocontaminante, la cual representa un riesgo dados los accidentes que puedan suscitarse en la labor que incluye la toma de muestra y el procesamiento de la misma en el laboratorio, ya sea por contaminación por medio de nariz, ojos, boca o piel (3,4).

La forma en que el personal de salud puede contaminarse deriva de muchas formas como: cortes, pinchazos, derrames, ruptura de centrífuga con muestras sanguíneas, salpicaduras, etc. Lo cual en muchas oportunidades además de advertir de la implementación de las medidas de bioseguridad permite replantear el cómo se desarrollan ciertos procesos (1–3,5).

En la práctica del laboratorio clínico existen multitud de procedimientos específicos para cada muestra, los cuales significan potenciales riesgos y peligros ante casos de agotamiento físico y mental del especialista que procesa las muestras, excesiva confianza, rutina en el procedimiento, accidentes, práctica inexperta de profesionales (6), sobrecarga laboral (7), entre otros; estos eventos generan deficiencia en la calidad

del servicio de salud lo que conlleva en muchos casos al error de diagnóstico, pudiendo desencadenar situaciones graves como dar un tratamiento inapropiado del paciente e incluso generando la muerte al mismo (8).

Además, es necesario mencionar que la evolución tecnológica es inminente y cada vez se busca convertir en más amigables y accesibles a los diferentes instrumentos que se emplean para dar mayor facilidad a la ejecución de los procesos, esto con el fin de reducir la carga en el individuo y generar un clima laboral más provechoso. La inteligencia artificial (IA) ha permitido encontrar soluciones exitosas en campos como: el cáncer, donde se han propuesto tratamientos personalizados de acuerdo a la individualidad de reacción de cada paciente (9), la neumonía, mediante su detección automatizada por análisis de imágenes radiológicas (10), la COVID-19, con análisis de imágenes de Rayos X para su diagnóstico en pacientes (11,12), además se ha logrado la detección y conteo de células sanguíneas en imágenes microscópicas (13–15), diagnóstico de anemia ferropénica por medio de redes neuronales artificiales (16), e incluso detección de células madre en microscopías de contraste.

En la actualidad el uso de la IA en los procesos clínicos en nuestro país y localidad aún son limitados, por esto es que se genera la necesidad de implementar tecnologías capaces de fortalecer cada elemento que compone a los diferentes procesos clínicos prevaleciendo en todo momento la salud del personal que labora en estas áreas con sentido inminente de consolidar los resultados que se obtenga entre su sinergia complementada.

1.1.2. Descripción del problema

La exposición ocupacional del personal de salud propenso constantemente a muestras sanguíneas genera preocupación en la ciencia para establecer métodos donde cada

vez el personal se relacione con menor frecuencia con material biocontaminante de tal forma que se reduzcan los riesgos y peligros que podrían desencadenar una posible infección en el que la manipula.

La IA se convierte en amigable para la solución de problemas que se presentan en laboratorios clínicos de hospitales, de centros médicos ocupacionales o de centros de salud, donde existen procedimientos con exposición a biocontaminantes, estos centros de salud usualmente no tienen integrado a la IA en sus procesos, es en estas áreas de salud donde se ha visto afectada la rapidez del procesamiento de muestras, estrés en el especialista que las analiza, imprecisiones en los resultados de laboratorio lo que impactada negativamente en la confiabilidad de los análisis.

Es necesario mencionar que en estos centros de salud específicamente en el área de laboratorio clínico se realizan diferentes análisis como test inmunológicos, test de toxicidad, test hematológicos, entre otros. Dada la diversidad de pruebas que se analizan en esta área es necesario resolver en medida el procesamiento de muestras e iniciar por las pruebas hematológicas partiendo del proceso de hematocrito dada la importancia clínica que representa, para ello es necesario implementar tecnologías integradas con IA, por esto se formula el problema.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el desempeño del diseño del sistema lector de capilares sanguíneos propuesto para determinar hematocrito?

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación científica.

El presente proyecto se justifica en su calidad de innovación tecnológica, dado que fortalecerá los procedimientos clínicos que se desarrollan en un laboratorio de ensayos, permitiendo y fortaleciendo la capacidad de análisis de muestras de sangre a través del desarrollo de un sistema que agilizará los procesos con calidad y eficiencia.

1.2.2. Justificación técnica – práctica.

Por medio de la presente investigación se pretende crear un sistema el cual al ser aplicados en la realidad del laboratorio clínico aumentarán la eficiencia, precisión y confianza del procedimiento de hematocrito.

1.2.3. Justificación institucional y personal.

Por medio de la presente investigación los procesos que implican el análisis de hematocrito se verán ejecutados en menor tiempo con una mayor cantidad de muestras analizadas, además de reducir los riesgos por exposición prolongada a muestras de sangre y en consecuencia aumentar el tiempo para desarrollar otros procedimientos que tenga pendiente el personal.

Además, se debe considerar que la IA puede construir soluciones tecnológicas de elevada calidad, aplicada al sector salud, aportando elementos que optimicen el quehacer clínico en especial en la región Cajamarquina. En la actualidad el uso de IA en nuestra sociedad Cajamarquina, y en medida Peruana es escasa, esto en el sentido de orientarlo para disminuir la tasa de incidencia de error en el diagnóstico y mejorar la calidad del mismo, por tanto es necesario implementar

nuevas tecnologías de relevancia como la IA a través de un sistema que permita agilizar eficientemente los procedimientos clínicos especialmente en el procesamiento del hematocrito, con la finalidad de que se disminuya la problemática de un diagnóstico erróneo que podría impactar crucialmente en el paciente, y a la vez que permita reducir la carga del especialista y en consecuencia el estrés. La IA implementada en el sector salud especialmente en el procesamiento de laboratorio clínico de hematocrito permitirá obtener información certera con base confiable al especialista para que emplee esta información como base para un diagnóstico, reduciendo así considerablemente posibles errores de diagnóstico.

La investigación desarrolla un dispositivo capaz de generar mayor productividad con alto rendimiento, el proceso típico se desenvuelve de forma manual sin embargo con este dispositivo se automatizaría en medida el procedimiento lo que generaría a las instituciones mayor tasa de muestras evaluadas en menor tiempo.

1.3. Delimitación de la investigación

Se trabajó en la zona geográfica de Cajamarca a 2750 m.s.n.m con un promedio de 14 °C de temperatura, con clima seco templado; condiciones que deben ser consideradas al evaluarlo en otros ambientes.

La construcción del sistema médico se centra en demostrar la funcionalidad del mismo en un ambiente controlado, el funcionamiento integral del sistema se basa en el desempeño que tenga.

1.4. Limitaciones

Las principales limitaciones de la presente investigación son esencialmente factores que derivan en las características colorimétricas de las muestras a procesar, viéndose afectado en caso estas salgan del rango normal de colores habituales de la sangre, pudiendo limitarse para muestras de pacientes con preclampsia u otros casos donde exista patrones irregulares de la consistencia de sangre. Además, que las muestras de sangre pertenecen a grupos etarios comprendidos entre 18-55 años de edad.

Respecto al sistema *software* se recomienda equipos con microprocesadores superiores a Intel Core i3.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema lector de capilares sanguíneos para determinar hematocrito usando visión artificial

1.5.2. Objetivos específicos.

1. Diseñar un sistema con algoritmos de inteligencia artificial para determinar hematocrito.
2. Desarrollar un sistema con algoritmos de inteligencia artificial para determinar hematocrito en imágenes de capilares sanguíneos.
3. Determinar el desempeño del sistema al calcular hematocrito para validar su funcionamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Decaro y otros (2021), al buscar analizar algoritmos de *machine learning* frente a conjuntos de datos no uniformes, para determinar el nivel de precisión que desarrolla el algoritmo, según esto parte del análisis de hematocrito de la sangre por medio de testeo espectral, para esto emplea dos técnicas estadísticas SMOTE y SMOTE+ENN, aplicando sobre esto 4 técnicas algorítmicas de *machine learning*, de su estudio determinan que un conjunto de datos desequilibrado impacta negativamente ante situaciones de eventos normales y desencadena deterioro en el rendimiento, además rescata a la técnica de aplicar redes neuronales artificiales (ANN) los cuales obtuvieron un mejor desempeño al detectar hematocrito incluso con entrenamiento con pocas muestras (17).

Decaro y otros (2019), aplicaron técnicas de *machine learning* para predecir parámetros hematológicos a través de espectros visibles de muestras de sangre, para esto obtuvieron un tratamiento espectroscópico de acuerdo a la absorbancia de la sangre, el método que plantea es no invasivo, sobre esto laboran con técnicas con base en máquinas de vector de soporte y en ANN para lo cual las entrenó con un conjunto de datos de espectros con el objetivo de predecir hematocrito y saturación oxigénica de la sangre, de esto determinan que el mejor algoritmo es el que tiene base en la máquina de vector de soporte (SVM) (18).

Thamara y otros (2022), plantearon un analizador hematológico respaldado con IA, su sistema denominado Hilab emplea técnicas de microscopía y cromatografía

para el análisis de parámetros hematológicos, por medio de IA, *machine learning*, *deep learning*, ellos evaluaron la precisión, exactitud, capacidad de marcado, y lo compararon con equipos automatizados como Sysmex, obtuvieron resultados dentro del estándar de las directrices de la Federación Europea de Química Clínica y Medicina de Laboratorio, en consecuencia concluyen que Hilab realiza análisis con rapidez, precisión, bajo costo y sólido para un uso confiable (19).

Banerjee y otros (2020), a partir del uso de *machine learning*, ANN y sumándole pruebas estadísticas simples, buscaron identificar a pacientes con SARS-CoV 2 a partir de hemogramas sin necesidad de conocer síntomas ni antecedentes del paciente, para esto parten de datos anonimizados de pacientes atendidos en el Hospital Israelita Albert Einstein de Sao Paolo Brasil, quienes dieron muestras sanguíneas para identificar al coronavirus por rt-PCR, obtuvieron identificación de casos positivos con alta precisión para poblaciones regulares, de igual forma sucedió con pacientes sin hospitalización, determinaron un patrón del perfil de hemograma para pacientes positivos lo que permitió mayor especificidad de su sistema (20).

Huynh y otros (2015), buscó estimar hematocrito a partir de una curva de corriente anódica transducida suplementada con redes neuronales artificiales esto principalmente por su ligación al análisis de glucosa, se sostiene en la curva de corriente generada por la interacción entre la glucosa y la enzima glucosa oxidasa, reacción que genera ácido glucónico y peróxido de hidrógeno, la forma original se oxida por medio de ferrocencia, el electrodo oxida al mediador formándose electrones los cuales se trasladan entre dos electrodos y forman una corriente anódica transducida, el estudio se orienta a los 6 segundos del segundo tiempo de reacción, para esto emplean redes neuronales para estimar el hematocrito (21).

Salcedo y Vicario (2021), evidenció la necesidad de implementar las herramientas de la inteligencia artificial en el sector salud con el objetivo de identificar, hallar y apoyar al personal de salud para el tratamiento de enfermedades con incidencia en su etapa temprana, además resaltó la necesidad de corroborar estos resultados de la inteligencia artificial por el doctor especialista (22).

Morán y Alexander (2021), buscó mejorar el tiempo de análisis de cuantificación y malformación de glóbulos rojos por medio de un *software* desarrollado en Matlab a partir de algoritmos basados en la transformada de Hough y procesamiento de imágenes, lo testeó en pacientes de Tulcán obteniendo resultados favorables (23).

Campazzo (2018), desarrolló un hardware y *software* con bases en Inteligencia Artificial que permiten la captura, digitalización y transmisión de señales cardíacas para posteriormente transmitir las a través de un teléfono móvil a un servidor, la IA le permitió mejorar la detección y el tiempo de respuesta ante emergencias coronarias, realizar seguimientos continuos de los pacientes en tiempo real, minimizar el riesgo de atención tardía dada su intervención temprana y continua, esto por medio de análisis con transformadas de wavelet que permitieron identificar patrones de enfermedades cardiovasculares (24).

Benítez y otros (2018), compararon técnicas de Inteligencia Artificial que se emplean en el diagnóstico de enfermedades, empleando la Teoría de Decisión Multicriterio Discreta, teoría idónea para apoyar la toma de decisiones, en la investigación, para esto evaluaron tres técnicas: razonamiento basado en casos, redes neuronales artificiales, redes bayesianas; de lo cual obtuvieron que la forma más propicia para diagnosticar enfermedades era mediante técnicas basadas en

redes bayesianas con score de 248 en ponderación lineal (25).

Botia y otros (2009), trabajaron con Inteligencia Artificial en el diagnóstico médico, esto dado por redes neuronales artificiales de función de base radial suplementada por redes neuronales multicapa, técnicas que aplicaron a una base de datos de Cáncer de Seno en Wisconsin del repositorio de UCI, además para construir su matriz de pesos trabajaron con algoritmos *if-then* lo que permitió clasificar adecuadamente el diagnóstico de tumores benignos. Lograron clasificar los resultados con bajo margen de error (3.3%) (26).

Prieto y Purizaca (2021), buscaron optimizar la identificación de leucemia mediante el análisis de imágenes de microscopía digital, para ello emplearon algoritmos *Canny* entrenando a su algoritmo IA con un banco de imágenes, el algoritmo brindó resultados que fueron corroborados por el especialista generando así su validación (27).

2.2.Bases teóricas

2.2.1. Teoría del diseño

La ingeniería del diseño idea y describe una estructura con funciones determinadas para satisfacer ciertos criterios de interés del diseñador. Usualmente se parte de las necesidades que se presenten en determinados procesos, ambientes o circunstancias lo que genera establecer o generar soluciones que permitan afrontar las mismas, ayudando en medida en solucionar el problema, tomar decisiones optimizar los procesos, con ayuda de los conocimientos, aprendizajes, la creatividad, elementos que en su totalidad permiten formar un diseño. Es importante señalar para objetos de la

presente investigación se debe interpretar al término “diseño” como actividad de desarrollo de una idea o producto, entendido como el conjunto de acciones necesarias para concretizar una idea. La ingeniería del diseño comienza desde la identificación de la necesidad, para determinar qué características debe contener la solución, identifica la factibilidad de la solución ideada, complementa su conocimiento con base científica, realiza conceptos alternativos al diseño planteado, implementa un modelo del sistema a elaborar, optimiza el diseño y evalúa al diseño, comunica el diseño final, controla la producción, analiza fallas y retroalimenta (28).

2.2.1.1. Diseño de equipos médicos

Se debe partir del concepto de diseño de equipos o dispositivos médicos donde básicamente se centran los esfuerzos en plantear un instrumento capaz de desenvolverse en un entorno médico, este debe ser de fácil acceso, buena usabilidad de tal forma que se permita lograr el objetivo para el cual se plantee (29).

La industria del desarrollo de equipos médicos ha ido incrementando considerablemente, convirtiéndose en un sector sólido, el cual se ve favorecido por el progreso científico y tecnológico. El uso de nuevas técnicas, dispositivos y la necesidad de optimizar costos permiten motivar el desarrollo de los dispositivos biomédicos. Un actor clave del desarrollo de dispositivos médicos es el usuario además de la intervención de los bioingenieros para desarrollar las alternativas de solución, estos últimos evalúan e identifican diferentes aspectos desde el diseño, el funcionamiento, mantenimiento, generando incluso recomendaciones para el producto. Un equipo con buen

diseño impacta positivamente en la práctica médica y en los usuarios. El diseño de un dispositivo se vuelve tangible cuanto resiste el uso intensivo sin comprometer la seguridad y eficiencia del procedimiento que desarrolle, garantizando así el performance del mismo, además permite reducir los errores humanos potenciales que puedan surgir (30).

La concepción del diseño parte de una necesidad que exista en un ambiente, siguiendo el desarrollo y aprobación del mismo, el diseño aborda un proceso que se realiza partiendo de los datos de entrada los cuales serán procesados por el dispositivo, para lo cual el diseño debe estar apto de sostenerlo; luego se tiene a la ejecución del proceso que realiza el diseño lo que permite generar datos de salida.

Trazabilidad

Una matriz de trazabilidad es un método que permite relacionar los controles del diseño del dispositivo médico, vinculando todos los pasos que constituyen el diseño y desarrollo del equipo, permite desarrollar una visión del flujo de desarrollo del equipo médico desarrollado, la matriz parte de los requerimientos del *software* y del manejo de los riesgos que estos demanden, para esto se realiza la evaluación de los riesgos, posterior a ellos se diseña e implementa el *software*, de forma paralela de acuerdo a la norma IEC 62304 se realiza el estudio de la contribución del *software* ante situaciones peligrosas, la medida del control de riesgo y la verificación del control del riesgo (31).

Verificación y validación de equipos médicos

Los pasos principales para transformar las necesidades del usuario en el dispositivo médico son el "diseño del dispositivo", el "diseño del proceso" y el "desarrollo de la producción". La validación puede verse como el proceso general de demostrar que el dispositivo es apto para un propósito o un medio para responder a la pregunta: ¿Hemos construido lo correcto? Probar un equipo con un propósito implica un proceso de construcción de evidencia, así como demostrar que el producto cumple con las necesidades originales del usuario. La verificación es un proceso que ocurre dentro de cada uno de los pasos diseño de dispositivos, diseño de procesos y actividades de desarrollo de producción, proporcionando un medio para responder a la pregunta: ¿Estamos construyendo bien las cosas? (32). Para verificar si el modelo es el adecuado podemos trabajar con el esquema de la Figura 01.

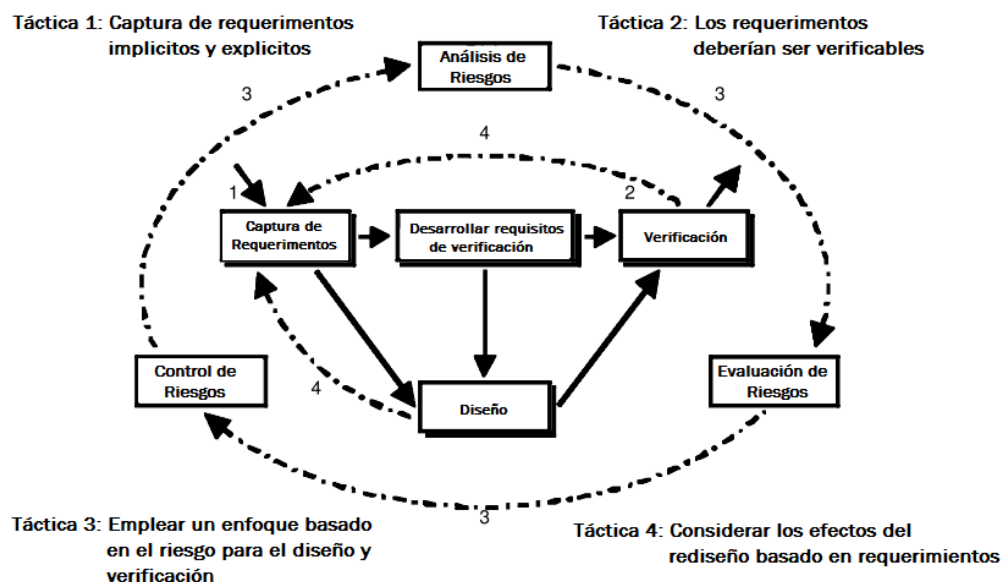


Figura 1. Modelo genérico de verificación. Adaptado de Alexander y Clarkson (32).

Ciclo de vida de los dispositivos médicos

El ciclo de vida de los productos presentes en un laboratorio habitualmente están programados previo al requerimiento, este ciclo se divide de la siguiente forma según Oliveira (33):

- **Diseño y desarrollo:** Fase de creación y concretización de la idea que intervendrá bajo funciones definidas, permitiendo optimizar los procesos que realiza.
- **Manufactura:** Construcción del diseño realizado en la fase anterior, con definición de las especificaciones exactas que deben presentar los productos.
- **Adquisición:** En esta etapa el equipo especializado encargado de ejecutar la acción adquiere, compra, solicita equipos que cumplan ciertas necesidades del área de trabajo, hacen un cauteloso proceso de validación de las tecnologías del mercado para optimizar el trabajo que se realizará en su institución con ello. Permite una adecuada adquisición evitando obtener equipos inadecuados para el proceso que se busca realiza.
- **Manutención y calibración:** Son las acciones técnicas que permiten mantener, reponer y en medida alargar el tiempo de vida de un dispositivo con el objetivo que pueda desempeñar la función deseada.
- **Operacionalidad:** Se extiende de inicio a fin del funcionamiento del equipo, hasta su desactivación.

- Desactivación: Se debe haber tenido una buena gestión de obsolescencia, dado que la institución o área a cargo debe ya haber considerado un stock para mantener la continuidad de operaciones, fase en la que el equipo se convierte en obsoleto, dado por la el déficit o pérdida de la capacidad para realizar las funciones específicas para las que fue desarrollado, también implica una desactivación cuando el equipo o dispositivo ya no es seguro para el operador, esto se complementa cuando el mantenimiento del equipo se vuelve mayor que la reincorporación de uno nuevo con semejantes características por tanto se genera la necesidad de desactivación (33,34).

Además, durante el ciclo de vida de un dispositivo es necesario tener una gestión de riesgos que podrían desencadenarse ante su uso para lo cual el fabricante debe considerar los posibles entornos bajo los cuales estos riesgos existan y se pueda ver magnificados.

2.2.1.2.Arquitectura de los equipos médicos

Los dispositivos médicos cuentan con partes que se pueden agrupar en *Hardware* y *Software*, comprimiendo sus elementos en estos grupos donde la interacción entre ellos establece el proceso concretizado para un propósito médico.

Hardware

Es una palabra de origen inglés que hace referencia al conjunto de elementos o dispositivos anexos los cuales son independientes del computador. Su diseño debe centrarse en la protección de la salud del operador, además de brindar comodidad, eficiencia, y funcionalidad. (35).

Se puede definir también como el soporte físico a través del cual existen entradas y salidas de señales de comunicación de un sistema de transmisión de datos (36).

Software

El *software* o también llamado sistema es una parte esencial del entorno humano actual, presente en gran porcentaje de las tecnologías que emplea, sin embargo, su caracterización se torna difícil y usualmente se lo define como todo lo que no es hardware o en otros términos todo elemento intangible. Existe *software* de ingeniería y ciencias donde se simulan procesos complejos, a este tipo de *software* se le suma el de tipo incrustado, *software* que se encuentra en la parte interna de un producto y su objetivo es controlar las operaciones que realice, suele funcionar en tiempo real, otro tipo de *software* es el que emplea inteligencia artificial ya sea en robótica, visión artificial, redes neuronales, teoría de juegos., además existen los *software* en la nube los cuales ofrecen sus funciones a través de internet , La ingeniería del *software* centra sus acciones en la programación, a esto se suma el análisis y diseño previos para realizar verificaciones posteriores a la ejecución o durante la misma (37).

Los *software* cumplen ciertos criterios de calidad los cuales se detallan a continuación: Corrección, grado que soluciona el problema; Fiabilidad, grado de ausencia de fallos; Eficiencia, cantidad de resultados suministrados y recursos requeridos; Seguridad, dificultar para acceder a los datos que procesa y obtiene por parte de personal no autorizado; Facilidad de uso, inversa del esfuerzo requerido para aprender a usar el *software* y emplearlo de forma

adecuada; Mantenibilidad, facilidad de corregir el *software* en caso exista necesidad; Flexibilidad, simpleza para transformar al *software*; Transportabilidad, sencillez de transferir al *software* a diferentes plataformas; Reusabilidad, facilidad para usar partes del *software* en el desarrollo de otros; Interoperatividad, compatibilidad del *software* para trabajar con otros productos (37).

La Administración de Alimentos y Drogas (FDA según siglas en inglés) define a *Software* médico como un programa informático que ha sido diseñado con funcionalidades médicas (38).

Arquitectura del *software*

El diseño de la arquitectura del *software* sucede al descomponerlo en sus elementos, describiéndose en la función que cumple cada parte, así como la relación entre estos, esto permite detectar con facilidad partes del sistema que están comprometidas. La arquitectura tiene un impacto considerable en cuanto a la complejidad del *software*, esto se visualiza en la cantidad de dependencias que existan siendo directamente proporcional con la complejidad. Mediante el conocimiento arquitectónico del sistema se puede estimar y anticipar el esfuerzo que requiera tras la ejecución del mismo (39).

Inteligencia artificial

La inteligencia artificial es una tecnología que trabaja bajo reglas definidas por su creador con el concepto de que puede crear sus propias rutas de conocimiento (40), emplea técnicas de *machine learning* o aprendizaje automático, su objetivo es dar soluciones eficientes y económicas pudiendo

respaldar diagnósticos de forma anticipada y precisa (41). Se sostiene en diferentes algoritmos que parten del análisis de bases de datos los cuales usualmente reciben algún tipo de entrenamiento, base para que los equipos sean capaces de reconocer y tomar decisiones ante contextos concretos cumpliendo ciertos criterios implementados; esta rama de la ciencia se aplica en situaciones de diagnóstico, seguimiento, tratamiento de pacientes, individualización de monitoreo de pacientes, etc. Existen situaciones donde a la tecnología en mención se le ha sumado la robótica construyendo dispositivos inteligentes, aumentando considerablemente la eficiencia de los procesos (42).

En esta rama científica se desenvuelven dos aspectos importantes: la lógica y el aprendizaje, en ese sentido los algoritmos buscan imitar o simular el razonamiento humano (43,44), esto sucede entre la interacción de diferentes algoritmos y la creación de enlaces dado patrones que encuentren los mismos.

Existen teorías del procesamiento humano de la información donde consideran que este se da a partir de estímulos externos e internos que se almacenan en espacios del cerebro para con ello generar una respuesta similar ante sucesos similares posteriores. El aprendizaje entonces se resume exposición ante eventos repetidos con aspectos positivos o negativos que permiten alimentar y retroalimentar la decisión a tomar (41).

La biología de la IA radica en el cerebro, órgano del cual aún se desconoce completamente su funcionamiento. En este órgano biológico existen componentes como las neuronas las cuales, en su símil informático, se denominan neuronas artificiales. Las neuronas artificiales forman redes de

acuerdo a la información que interpretan de forma semejante a las biológicas esto a través de los elementos de entrada denominados dendritas y salida de información a través de axones, esto fluye entre neuronas de manera similar a la sinapsis biológica donde las neuronas artificiales presentan eficacia similar (45).

Inteligencia artificial en el sector salud

Al incorporarse la inteligencia artificial en el sector salud se ha fortalecido los procesos donde existe esta relación, en consecuencia, se han acelerado los procesos con alta precisión mejorando así el proceso clínico donde se encuentre. En la actualidad los proyectos dedicados a este sector son diversos como la prevención de enfermedades, diagnóstico, tratamiento, seguimiento personalizado de pacientes, etc; (46).

Visión artificial

La visión artificial es la imitación de un dispositivo del comportamiento del sentido de la vista, para esto emplea tecnologías que supera las capacidades del individuo (47). Desde que se creó la fotografía, la visión artificial ha evolucionado considerablemente, con el objetivo de extraer características físicas de las imágenes, un claro ejemplo se localiza en el análisis de imágenes radiológicas (48).

Esta técnica de inteligencia artificial permite obtener, procesar y analizar información de imágenes digitales, se podría definir a la visión artificial como la capacidad de percibir para obtener información para procesarlo, buscando imitar la visión humana (49).

Una imagen digital está compuesta por $m \times n$ píxeles, a cada píxel le corresponde una ubicación (x,y) con su respectiva intensidad. Se suele transportar a la imagen digital a escala monocromática que varía entre 0 a 255, el contraste de la imagen puede definirse como la variación de la escala gris. Además es necesario identificar la reflexividad del objeto de estudio de tal forma que ayude y no dificulte en su identificación, de forma adicional la refracción de la luz dependiendo del tipo de color que tenga interés (50).

Segmentación de imágenes: Transformada de Hough

Es un método que permite identificar formas en imágenes definiendo eficientemente patrones, se emplea para extraer formas simples como líneas rectas y curvas, círculos, elipses, además de formas más complejas. Es semejante al método “*template matching*” pero con mayor rapidez. Básicamente detecta bordes que permiten segmentar la imagen en regiones, esta transformada define una red de puntos en un espacio acumulador denominado Hough (51).

Redes neuronales

Las redes neuronales son parte de las ciencias de inteligencia artificial como ya se mencionó en la definición de esta ciencia, son redes entrenadas a partir de la información de entrada obtenida de escenarios externos o internos, estas entradas al ser procesadas por la red generan relaciones que permiten asignar pesos. Las redes neuronales presentan las siguientes características: topología de la red que se basa en el problema a resolver y cómo se distribuyen las neuronas a través de sus capas, regla de aprendizaje que puede sostenerse bajo los patrones que establezca en un entrenamiento previo o sin uno, el tipo de

entrenamiento que pueden ser dos, el primero que puede suceder durante un lapso de aprendizaje para establecer pesos sinápticos y el segundo que sucede durante la ejecución real del algoritmo. La estructura básica de una red neuronal parte de unidades de entrada de información(dendritas artificiales), procesamiento de información, salida de información(axón artificial), las unidades de entrada y salida pueden interactuar entre sí para intercambiar información semejando así la sinapsis (52).

Las redes neuronales consisten en nodos interconectados por sinapsis o activación, que cuentan con las siguientes propiedades (53):

- Cada neurona contempla el conjunto sináptico de su acción, un umbral de aplicación (-1) y vínculo de activación.
- Enlaces sinápticos que se ponderan con sus señales de entrada
- La suma de señales de entrada define la actividad de la neurona en cuestión
- El enlace que activa condensa el accionar de la neurona para generar una salida que varía el estado de la neurona.

Desempeño de dispositivos

El desempeño de los dispositivos varía de acuerdo al hardware o *software* donde se evalúa (54), siendo este la constitución del rendimiento global del instrumento a testear(55).

El desempeño puede medirse a través de la medición de la precisión utilizando pruebas de referencia o dispositivos cuya precisión se conoce, a través de la determinación se establece si un dispositivo es apropiado o no

para realizar sus funciones. El objetivo es tener seguridad de la exactitud de la función clínica que realiza el dispositivo; definir el desempeño de un dispositivo establece los problemas que pueda presentar el dispositivo médico para poder atenderlos y resolverlos. El uso de los dispositivos médicos permite generar calidad en los procesos en los que están implicados, lo que establece la importancia de evaluar el desempeño de los dispositivos para prevenir posibles fallas y asegurar el funcionamiento del dispositivo. Se puede expresar de dos formas: “aprobado” si el dispositivo cumple con los estándares establecidos y “no aprobado” para aquellos dispositivos que no cumplen (56).

Ámbito legal

Se debe diseñar a los equipos médicos bajo las normas nacionales e internacionales de producción para asegurar la competitividad del producto en el mercado actual.

Las normas de productos de salud permiten a los fabricantes de productos, diseñadores, laboratorios y todos los proveedores de servicios de desarrollo de productos sanitario, supervisar, evaluar, mantener sus dispositivos con determinados estándares de calidad para el propósito que fueron creados.

Normativa IEC

Establece el estándar internacional sobre equipos médicos, específicamente la normativa IEC 60601-1-11 que aborda los requisitos que deben cumplir los equipos médicos para mantener una seguridad básica y tener un rendimiento esencial, con el objeto de proteger al paciente a los diferentes eventos

adversos que pueden presentarse, de la misma forma protege al operador del equipo médico ya sea especializado o no, define valores máximos de voltaje, corriente de fuga y resistencia a tierra (57).

Normativa ISO

La norma ISO 13485 es empleada para gestionar la calidad de la fabricación de dispositivos médicos, nos centraremos específicamente en la cláusula número 7 que nos da información acerca de los requisitos de planificación y creación del producto médico, desplegándose en: planificación, diseño, desarrollo, compra y control de los equipos para su seguimiento y medición. En esta norma se aborda en primera instancia desde el reconocimiento de las necesidades del cliente, además de buscar determinar la formación que se requiere en el usuario para hacer uso del dispositivo médico, con la finalidad de garantizar su rendimiento y su uso seguro. En la segunda parte se tiene al diseño y desarrollo del dispositivo médico, en esta sección incide en el cumplimiento de los requisitos legales, se solicita además la información documentada sobre los aportes del diseño. El control del diseño y del desarrollo refiere a los puntos que requieren de validación, verificación, prueba, autorización o las formas de aprobación que se requieran en la evolución del dispositivo médico; se puede resumir a la lista de materiales, especificaciones técnicas representadas en un manual, guía de usuario, guía de sistemas o acuerdo de servicios (58).

FDA y dispositivos médicos

La FDA clasifica a los dispositivos médicos en tres niveles (38,59):

- Clase I: Dispositivos no invasivos del tipo pasivos, que no son intrusivo o que únicamente presentan contacto con la piel
- Clase II: Dispositivos invasivos del tipo activos, que se emplean para administrar fluidos al cuerpo de pacientes.
- Clase III: Dispositivos invasivos que se implantan en el cuerpo del paciente

De acuerdo a lo mencionado el sistema desarrollado pertenece a dispositivos médicos de Clase I, dada su condición no invasiva.

Decreto Supremo N° 003-2020-SA

Según el Decreto Supremo N° 003-2020-SA se presentan diferentes clasificaciones de dispositivos médicos (60):

- Clase I: De bajo riesgo, se consideran aquellos equipos no invasivos que se usan como barrera mecánica para la comprensión o absorción de exudados.

Clase II: De moderado riesgo, se consideran a los equipos invasivos del cuerpo a través de un orificio corporal, además se incluye aquellos no invasivos empleados para almacenar y canalizar gases, líquidos, tejidos, o fluidos corporales con el propósito de introducirlos al cuerpo.

- Clase III: De alto riesgo, son netamente invasivos quirúrgicos usados para ser absorbidos por el cuerpo y permanecerán por más de 30 días consecutivos dentro, se adicionan aquellos que permanecen en la superficie del ojo.

-Clase IV: Críticos, se considera a todo dispositivo invasivo empleado para diagnosticar, monitorear, corregir algún defecto o modificar algún funcionamiento.

Según esta clasificación el equipo médico desarrollado pertenece a dispositivos médicos de Clase I dado su bajo riesgo con el paciente y que trabaja con exudados del mismo.

Criterios de diseño según el Decreto Supremo: En el acápite 8 del D.S.N° 003-2020-SA brinda las condiciones esenciales de seguridad y eficacia que deben cumplir los equipos médicos. En esta sección determina que los dispositivos médicos deben diseñarse y fabricarse de forma tal que su uso no comprometa el estado del paciente, ni la seguridad y salud del operador. Se debe además contemplar las propiedades físicas, químicas y biológicas, teniendo precaución respecto a la toxicidad que puedan presentar los materiales utilizados, la compatibilidad entre el material biológico a emplear y la estructura del dispositivo manteniendo la finalidad del mismo. Se debe reducir el riesgo de contaminación por los residuos generados por el equipo médico. Se debe diseñar y fabricar de tal forma que exista constancia y precisión en las mediciones a realizar de acuerdo con la finalidad del dispositivo.

2.2.2. Hematología

Sangre

Es un tejido es un tejido especializado en el transporte de sustancias necesarias para las células que componen el organismo. Se origina en la

mesénquima, células pluripotenciales. Se compone de plasma (agua, aminoácidos, hormonas, glucosa, anticuerpos, urea, CO₂) y células (Eritrocitos, Leucocitos y Plaquetas). El volumen sanguíneo total de un individuo corresponde al 7% de su peso total (61).

Al extraerse del cuerpo humano, la sangre presenta coloración rojiza uniforme, al dejarlo reposar en los tubos de ensayo los glóbulos rojos que en parte la componen sedimentan, la separación presenta en la parte superior una porción líquida de sangre amarillenta lo cual corresponde al plasma sanguíneo. El plasma sanguíneo está constituido por iones y solutos pequeños, y un coloide dadas las proteínas que lo componen (62).

El pH habitual de la sangre está entre 7.35 – 7.45 lo cual la clasifica como un componente biológico levemente básico. Este tejido conectivo líquido permite transportar a todas las células del cuerpo humano moléculas de oxígeno a través de la proteína de la hemoglobina (63).

Por medio de este tejido se permite el transporte de elementos inmunológicos, estimuladores de crecimiento, nutrientes, entre otros; por medio de este se permite además la detoxificación de ciertos componentes y participa en la homeostasis corporal (62,63).

Hematocrito

El hematocrito es uno de los análisis clínicos más solicitados para el diagnóstico clínico, monitoreo de pacientes o para el tratamiento del mismo (64), es un proceso biométrico hemático, algunos procedimientos parten del volumen medio corpuscular multiplicado por el conteo eritrocitario sobre 10

para obtener el porcentaje que representa (65,66), sin embargo procedimientos habituales como el manual lo realizan por medio del uso de capilares conteniendo muestra sanguínea a los cuales se los centrifuga para luego comparar la porción celular eritrocitaria respecto al volumen total por medio de la división de la porción de columna eritrocitaria sobre columna de del total sanguíneo por 100 (67), la capacidad aeróbica que contribuye a la resistencia y el rendimiento, es un rasgo fisiológico vital para la salud y el estado físico del organismo. La capacidad aeróbica depende de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, que está determinada por la concentración de hemoglobina y la tasa de flujo sanguíneo, que es inversamente proporcional a la viscosidad de la sangre, propiedades se reflejan en el hematocrito (68).

Los niveles de hematocrito observados en la naturaleza son variables (rango aproximadamente 30% -60%) dentro y entre especies endotérmicas (69) el hematocrito tiende a aumentar dentro de los individuos en respuesta a demandas elevadas de oxígeno, como durante la migración altitudinal (70) El hematocrito elevado se produce a través de la producción de nuevos eritrocitos (eritropoyesis) y / o la liberación de reticulocitos (eritrocitos inmaduros) de la médula ósea, que se desencadena por el estrés mediado por el hipotálamo, la hipófisis y las suprarrenales (71) Por lo tanto, tanto los aumentos como las disminuciones intraindividuales en la capacidad de transporte de oxígeno y los factores asociados (hematocrito y hemoglobina) tienen el potencial de reflejar una multitud de eventos y compensaciones de la historia de vida (72)

El hematocrito extremadamente alto o bajo también puede ser un indicador no causal de factores perjudiciales para el auto mantenimiento, como estrés, parasitismo y deficiencias de nutrientes (72) Se predice que los niveles intermedios de hematocrito son ventajosos para la supervivencia, dado que tanto el hematocrito alto como el bajo están asociados con una mayor mortalidad en humanos y ratones (73).

En una muestra sanguínea, la parte correspondiente a los glóbulos rojos con respecto al total del volumen de la muestra se denomina hematocrito, este análisis permite detectar precozmente diversidad de enfermedades, esto basado en el aumento o disminución del valor normal estándar, al ser atendidas a tiempo y adecuadamente las enfermedades que puedan existir se puede escindir de riesgos severos mayores que se desencadenen (62).

Esta evaluación para análisis de hematocrito, suele desarrollarse en el laboratorio clínico, donde se emplean usualmente técnicas manuales para su determinación, además se considera al procedimiento como tedioso y sobre todo lento (63)

En tanto es importante al realizar un análisis de hematocrito establecer valores reales de las muestras que nos permita establecer valores normales y precisos para agilizar además de efectivizar el proceso de análisis.

Los valores normales de referencia del hematocrito según la edad se pueden apreciar en la Tabla 1:

Tabla 1. Valores normales de hematocrito por edad (63).

Edad	Hematocrito (%)	Referencia
Recién nacido	41.86 - 62.54	(74)
6 meses	35	(75)
12 meses	36	(75)
1 a 2 años	37	(75)
2 a 6 años	37	(75)
6 a 12 años	40	(75)
12 a 18 años mujer	41	(75)
12 a 18 años varón	43	(75)
18 a 65 años mujer	40	(76)
18 a 65 años varón	41	(76)

Además es necesario mencionar que dependiendo de los metros sobre el nivel del mar existen factores de corrección los cuales se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Factor de corrección de hematocrito según altitud sobre el nivel del mar (75).

Altitud (m.s.n.m)	Factor de corrección Hematocrito (%)
<915	0.0
915-1219	+0.5
1220-1524	+1.0
1525-1829	+1.5
1830-2134	+2.0
2135-2439	+3.0
2440-2744	+4.5
2745-3049	+5.0
>3049	+6.0

El cálculo para obtener el hematocrito se basa en la siguiente fórmula(76):

$$Hcto = \frac{\text{Logitud de columna de glóbulos rojos}}{\text{Longitud de toda la columna de muestra sanguínea}}$$

Es importante señalar que valores por debajo del estándar normal del hematocrito representa anemia, y valores por encima de este rango representar policitemia; enfermedades de gran importancia para el estudio de la salud de los individuos, sin embargo esta evaluación se debe hacer posterior a la aplicación del factor de corrección (61).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Dispositivos médicos

Diagnóstico médico

El diagnóstico médico en el paciente es un procedimiento realizado por el especialista que le permite determinar el estado de salud del mismo esto a través de análisis complementarios, así como la posibilidad de ingreso hospitalario, permitiendo un tratamiento específico además del pronóstico. Es trascendental en el ámbito asistencial que el diagnóstico que se realice suceda de forma correcta y con alto grado de precisión. La posibilidad de un error de diagnóstico (ED), ha sido reconocida y actualmente se encuentra documentada progresivamente por más de dos décadas (77,78).

Error de diagnóstico

El ED planteado profundamente es en demasía complejo y difícil de determinar, sin embargo, operativamente se define como un diagnóstico que

no se realiza, es tardío o es equivocado, sucediendo aun cuando la información clínica del paciente fue suficiente desde un inicio (79).

Fuentes de error: Al realizar un diagnóstico se han presentado diferentes problemas donde los principales factores que desencadenaron el error fue (77,79): La falta de solicitud de una prueba diagnóstica (laboratorio o radiología) en aproximadamente 44% de los casos, la evaluación clínica (consideración de un diagnóstico, priorización, reconocimiento de complicaciones) en el 32%, vacíos en la historia clínica (10%) o en la exploración física (10%).

2.3.2. Software

Inteligencia Artificial

Ciencia e ingeniería que a través de los elementos informáticos busca imitar las capacidades del ser humano en aspectos de resolución de problemas, tomar decisiones, no se limita a métodos biológicos observables, parte desde Turing en 1950 con el planteamiento de la pregunta ¿pueden pensar las computadoras?, es en esta idea que se desarrolló esta tecnología, tiene 4 enfoques pensar como humano, actuar como humano, pensar racionalmente, actuar racionalmente. Combina la ciencia informática con conjunto de datos fortalecidos, esto sostenido en la base de razonamiento biológico (80,81).

Visión artificial

Transformada de Hough

Es una técnica usada en el análisis de figuras digitales, utilizada en la visión artificial dada su fortaleza con su expresión matemática. Técnica que emplea el aprendizaje no supervisado para reconocer patrones e identificar partes de

una figura digital, se basa en ecuaciones de lo que se pretenda estudiar como: círculos, cuadrados, rectángulos, etc., donde caracteriza cada punto, borde en un el espacio a analizar (13,82).

Enfocándonos en la detección de líneas la Transformada de Hough se sostiene en la ecuación base de la conformación de una recta: $y = \alpha x + b$, donde para cada (x,y) se ubica un punto en el plano cartesiano, además α y b satisfacen a la pendiente e intersección de la recta. Para limitar restricciones respecto al número de rectas que coincidan con los puntos x e y se puede plantear la ecuación despejada: $b = -\alpha x + y$, generándose así una sola línea asociada a (x,y) . Para evitar el problema de una pendiente α que tiende a infinito cuando la recta se va convirtiendo a vertical se puede emplear la ecuación polar normal de la recta: $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$, con esto se obtiene para un valor θ de 0° , ρ se convierte en la intersección en x con una recta horizontal, cuando el ángulo es de 90° , ρ adopta un valor interseccional con y con una recta vertical. En una imagen digital con $m*n$ píxeles subdividido en (θ,ρ) con sus máximos valores y mínimos, generando acumuladores en celdas $g*h$. Las celdas en (x,y) se asocian a (θ,ρ) . Para una recta en (x,y) se puede deducir tanto θ como ρ con: $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$, el valor ρ se redondea y se asigna a una celda acumuladora de parámetros (θ,ρ) , esto se repite para puntos adyacentes a la línea del detector de bordes, hasta obtener una celda con mayor cantidad de puntos. Aquellos puntos con mismos valores de (θ,ρ) corresponderán a una recta en (x,y) (83).

OpenCV

Es una librería libre de visión computacional, es altamente empleado en los lenguajes de programación Python, C++ y Java. Esta librería contiene cientos de algoritmos capaces de desarrollar la visión computacional, tiene una estructura modular que se desglosa en: funcionalidad nuclear que básicamente trabaja con el vector multidimensional de las imágenes, el procesamiento de la imagen que trabaja busca filtrar imágenes de forma lineal o no lineal teniendo la geometría de la imagen además poder transformar a la misma, también cuenta con análisis de video donde se estima movimientos con sustracción de fondos complementado con algoritmos de seguimiento de objetos, el módulo 3D que trata con algoritmos de análisis de geometría múltiple, entre otros módulos (84).

Redes neuronales artificiales

Son un conjunto de interacciones entre diferentes elementos que pueden ser operaciones de razonamiento *in silico* que se asemejan a las redes neuronales humanas comportándose con entradas, procesamiento y salidas, tal cual la asimilación, procesamiento y sinapsis del ser humano, la aplicabilidad de las redes neuronales artificiales (ANN) en el campo de la salud es diversa, trabajando bajo variables controladas y sucediendo con criterios de prevención y monitoreo. Las ANN ofrecen alta rapidez de respuesta una vez que hayan “aprendido”. Existe analogía entre las redes neuronales biológicas y las artificiales, lo que genera claridad del funcionamiento que tienen, dando base para determinar cómo es posible que una red artificial pueda desarrollar

el mismo trabajo que hace una red biológica teniendo además resultados de impacto para el avance científico - tecnológico (81).

Redes neuronales multicapa

Este tipo de red neuronal se basa en la unión de neuronas ya organizadas con distribución definida a lo largo de diferentes capas, que sirve para emular el comportamiento de cualquier sistema empleando entradas (inputs) y salidas (outputs) conocidos, para que de esta forma se pueda clasificar elementos o imitar un funcionamiento en un elemento estructural (26,85). Es frecuentemente usado en el campo médico, donde se ha desarrollado herramientas de apoyo en el diagnóstico, es el caso de análisis de imágenes de frotis sanguíneo, donde a través de una red neuronal multicapa se busca hallar y clasificar anomalías eritrocitarias (21,23).

Redes neuronales convolucionales

Las redes neuronales convolucionales han sido empleadas para análisis de imágenes con el objetivo de clasificar y reconocer elementos (11). Este modelo se inspira en el aprendizaje biológico para identificar patrones de un elemento, el análisis de imágenes es una función que realiza el ser humano a través de la visión por medio de los ojos, las redes neuronales buscan imitar este proceso. Este tipo de redes tolera grandes bases de datos debidamente estructuradas, lo que les permite un manejo óptimo de la información. Existen algoritmos de segmentación de imágenes oculares que permiten identificar elementos biológicos como vasos vasculares, discos ópticos, fondo de ojo, todo a través de redes neuronales convolucionales. (43).

2.4. Definición de términos básicos

Ábaco de lectura de hematocrito: Instrumento que permite la lectura del hematocrito (86)

Accidente de trabajo: Suceso que ocurre durante las horas de trabajo que ocasiona inhabilitación temporal o permanente en el trabajador(5).

Accidente físico: Factores físicos en todas las áreas de laboratorio (resbalones, caídas, lesiones de espalda, cortes, etc.) que afectan el bienestar (5).

Algoritmo: Son un conjunto finito de acciones o comandos que ejecutan operaciones con el objetivo de resolver un problema o una tarea específica (87).

Contorno: Conjunto de las líneas que limitan una figura o composición (88).

Desempeño: Estudio del rendimiento, eficiencia, y productividad de un procedimiento o producto (89).

Dispositivo preciso: Instrumento que permite medir magnitudes con mínimo grado de error (90).

Escalímetro profesional: Regla de sección triangular que tiene graduaciones de diversas escalas en cada una de sus caras, donde se ha validado su funcionalidad por instancias reguladoras (91).

Exactitud: Capacidad de un procedimiento para acercarse a la magnitud real, propiedad de un elemento sin defecto ni exceso (92).

Hardware: Partes físicas y electrónicas de un equipo diferentes al *software* (93).

Hematíe: Glóbulo rojo de la sangre, también llamado eritrocito, cumple función transportadora de oxígeno por medio de la hemoglobina de ahí que deriva su nombre (94).

Hematocrito: Se llama hematocrito (Hcto) al volumen total que ocupan los eritrocitos, dividido entre el volumen de sangre (95).

Inteligencia artificial: Disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico (81,96).

Laboratorio de ensayo: Espacio donde se realizan actividades para establecer características de una muestra, proceso, fenómeno, servicio de acuerdo a un procedimiento específico(5).

Limpieza: Es el proceso físico por el cual se elimina de los objetos en uso, las materias orgánicas y otros elementos sucios, mediante el lavado con agua con o sin detergente. El propósito de la limpieza no es destruir o matar los microorganismos que contaminan los objetos, sino eliminarlos por arrastre(5).

Peligro biológico: Todo agente biológico y materiales que son potencialmente peligrosos para los seres humanos, animales o plantas(5).

Productividad: Capacidad de producción por equipo, relación entre la producción y los insumos de entrada (97).

Rendimiento: relación entre la velocidad ideal de procesamiento del equipo con su velocidad real, se considera la estabilidad y constancia de la velocidad en un periodo largo de tiempo (89).

Software: también denominado como sistema informático, se refiere a un conjunto de actividades informáticas dedicadas al proceso de creación, diseño, implementación y soporte de herramientas, aplicaciones, control de máquinas a través de algoritmos (98).

Tiempo de procesamiento: Periodo de tiempo que un programa tarda en realizar sus operaciones, parte desde su ejecución hasta la entrega de resultados(99).

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general.

El sistema diseñado tiene alto desempeño por la precisión, exactitud, corto tiempo de respuesta al determinar hematocrito, generando así mejora en el rendimiento y productividad del proceso, validándolo para su función.

3.1.2. Hipótesis específicas.

1. El diseño del sistema lector de capilares sanguíneos logra identificar los elementos para determinar hematocrito.
2. Los algoritmos de inteligencia artificial implementados en el sistema diseñado determinan el hematocrito con precisión y exactitud en corto tiempo de respuesta.
3. El sistema eleva la productividad y el rendimiento del proceso de obtención de hematocrito.

3.2.Variables

- a. Diseño de sistema lector de capilares sanguíneos

3.3. Operacionalización de los componentes de las hipótesis.

Variables	Definición conceptual de variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos
Diseño de sistema lector de capilares sanguíneos	Es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de un sistema para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades (100).	<i>Software</i>	Tipo de algoritmo IA	Algoritmo IA
			Tiempo de procesamiento	Tabla toma datos
		Desempeño	Rendimiento	Ficha de toma de datos (N° de muestras procesadas por minuto)
			Precisión	Ficha de toma de datos (Variación del dato en diferentes tomas)
			Exactitud	Ficha de toma de datos (Variación con el valor aproximado a lo real)

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

La investigación se desarrolló en la región de Cajamarca, departamento de Cajamarca en el distrito de Cajamarca

4.2. Diseño de investigación

Diseño experimental dado que se manipuló a la variable, de corte transversal por su condición de recolección de información en un solo tiempo.

$$M \rightarrow v_1 \rightarrow r$$

Donde:

- M equivale a las muestras sanguíneas
- V1 equivale al sistema lector de capilares sanguíneos
- r equivale al resultado del cálculo de hematocrito

4.3. Métodos de investigación

Tipo de estudio: Investigación aplicada

Según Lozada (2014), define a la investigación aplicada como aquella que genere conocimiento con aplicación directa a problemas de un entorno, enlaza la teoría y la tecnología para formar un producto, esto genera un alto valor agregado por el uso del conocimiento que sucede de la investigación básica, impacta en consecuencia considerablemente en la población de forma positiva (101).

Los enfoques cuantitativos se sostiene en estructuras de datos numéricas o características cuantificables (102), básicamente mide fenómenos, emplea estadística, recolecta datos numéricos para probar hipótesis, analiza la realidad de forma objetiva, sus bondades se soportan en la precisión, predicción, reproducción, tiene el objetivo de probar teorías además de establecer criterios de comportamiento (103).

Por tanto la presente investigación es de carácter aplicado dado que emplea conocimientos de las ciencias computacionales y ciencias biomédicas para atender y aplicarlo en la necesidad del sector clínico a través del diseño de un sistema lector de hematocrito obteniendo como producto su desarrollo, además presenta enfoque cuantitativo ya que se partirá de la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer la validez del sistema.

La investigación se divide según la figura 2, partiendo del diseño del software seguido del desarrollo del mismo completándose con la construcción del software, como siguiente paso se tiene la recopilación y conformación de la base de datos, posterior a ello se tiene el procesamiento por el software con IA como entrenamiento y reajuste de características para sumarse a esto el análisis de sus resultados a través del desempeño, finalmente se tiene el diagnóstico automatizado de hematocrito por el software diseñado.

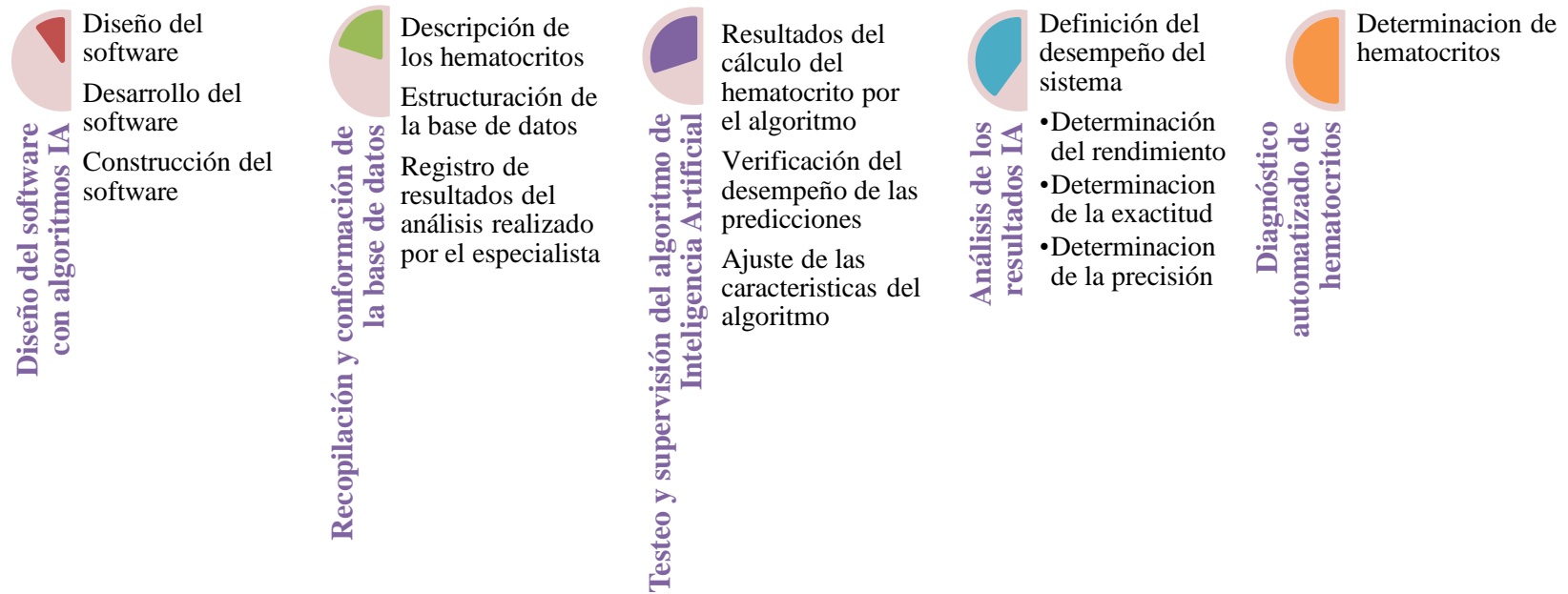


Figura 2. Representación del proceso metodológico que se desarrolló en la presente investigación.

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación

Población: 2000 capilares sanguíneos centrifugados de un Centro Médico ocupacional de Cajamarca

Muestra: Según la fórmula $Tamaño_{muestra} = \frac{\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + (\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2 N})}$ se debe

tomar 323 muestras, sin embargo, se aborda 330 capilares sanguíneos centrifugados de un mes de un Centro Médico Ocupacional - Cajamarca

Unidad de análisis: Capilares con muestra sanguínea centrifugada con un volumen adecuado para un análisis de hematocrito, del Centro Médico Ocupacional,

Unidad de observación: Un capilar con muestra sanguínea centrifugada con un volumen adecuado para un análisis de hematocrito, del Centro Médico Ocupacional

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Técnica: Observación experimental

Instrumento: Tablas MySQL de registro de datos

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Se evalúa la variación de los resultados *in silico* con los resultados *in situ*, mediante un análisis estadístico de significancia. Se empleará el paquete estadístico R 3.6.1 el cual es un *software Open Source* generando fácil disposición y acceso a sus herramientas.

4.7. Matriz de consistencia metodológica

Diseño de un sistema lector de capilares sanguíneos para determinar hematocrito usando visión artificial								
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cuál es el desempeño del sistema lector de capilares sanguíneos propuesto para determinar hematocrito?	Objetivo general	El sistema tendrá alto desempeño por la precisión, exactitud, corto tiempo de respuesta al determinar hematocrito, generando así mejora en el rendimiento y productividad del proceso, validándolo para su función.	Diseño de sistema lector de capilares sanguíneos	Software	Tipo de algoritmo IA	Algoritmo IA	Inteligencia artificial	Población: 2000 capilares sanguíneos centrifugados de un Centro Médico ocupacional de Cajamarca Muestra: 323 capilares sanguíneos centrifugados de un mes de un Centro Médico Ocupacional – Cajamarca
	Diseñar un sistema lector de capilares sanguíneos para determinar hematocrito usando visión artificial				Tiempo de procesamiento	Tabla toma datos	Toma de tiempo	
	Objetivos específicos			Desempeño	Rendimiento	Ficha de toma de datos	Cálculo matemático (N° de muestras procesadas por minuto)	
	1. Desarrollar un sistema con algoritmos de inteligencia artificial para determinar hematocrito en imágenes de capilares sanguíneos.				Precisión	Ficha de toma de datos	Cálculo matemático (Variación del dato en diferentes tomas)	
	2. Determinar el desempeño del sistema al calcular hematocrito para validar su funcionamiento.				Exactitud	Ficha de toma de datos	Cálculo matemático (Variación con el valor aproximado a lo real)	

3.8. Aspectos éticos

Se trabajó con codificaciones correspondientes de cada muestra, careciendo de información personal del individuo, resaltándose el principio de confidencialidad con el fin de cumplir con la Ley N°29733, Ley de Protección de Datos Personales, además de concatenar las codificaciones con el fin de tener un análisis adecuado de acuerdo al principio de responsabilidad y honestidad de datos. Por tanto, se declara no tener conflictos éticos al desarrollar la presente investigación.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

5.1.1. Diseño del *software* con algoritmos IA

El sistema fue diseñado y desarrollado en el lenguaje de programación de Python v 3.7 (Figura 3) para el cual se emplearon librerías que permiten generar visión artificial en imágenes, las mismas que fueron aplicadas sobre la base de datos construida de imágenes de hematocrito, el sistema es capaz de dar lectura hasta 30 muestras a la vez para determinar su hematocrito, este sistema ejecutado demostró un tiempo de ejecución de 1 – 2 minutos para procesar los 30 capilares; el sistema puede ser ejecutado y reproducido a partir del siguiente enlace alojado en los servidores Colab de Google: <https://colab.research.google.com/drive/1KOBmigoz9i8WhivqiMf6NfYP5DzAHd0M>, sin embargo se recomienda procesar imágenes con condiciones ambientales controladas, donde se reduzca la intervención de otros factores.

Para el diseño se consideraron técnicas de definición de contornos, diferenciaciones colorimétricas, reconocimiento de textos en cuanto al *software*, sin embargo, los parámetros de construcción fueron importantes para mejorar la calidad del procesamiento y cálculo de hematocrito.

```

import cv2
import numpy as np
#import pytesseract
import imutils
import random
import sys
#sys.stdout=open("data.out","w")
|
def findContours(img,mode,method):
    ans = cv2.findContours(img, mode, method)
    if len(ans)>2: return ans[1:]
    return ans
def isInt(s):
    try:
        int(s)
        return True
    except ValueError:
        return False
def hsv2gray(hsv):
    (h,s,v) = cv2.split(hsv)
    v[:] = 100
    img = cv2.merge((v, v, s))
    rgb = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_HSV2RGB)
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
    return gray

def show(img,title=""):
    global showImgs
    if not showImgs:return
    arr=img.shape
    h=arr[0]
    w=arr[1]

    k=min(1400.0/h,1000.0/w)

    im = cv2.resize(img, (int(w*k), int(h*k)))
    cv2.imshow(title, im)
    cv2.waitKey(0)

```

Figura 3. Sector de *software* construido para análisis de imágenes y detección de hematocrito.

5.1.3. Recolección y construcción de la base de datos

La base de datos se construyó generando condiciones controladas que no intervengan en la toma de imagen de las muestras, es así que se consideró eliminar brillos, eliminar pendientes, así como agruparlos paralelamente de tal forma que todas las muestras a procesar por el sistema tengan las mismas condiciones.

Para el contraste de los capilares se emplearon separadores con coloración anaranjada esto con el objetivo de resaltar el elemento de estudio que estaría representado por el capilar fortaleciendo el sector del plasma celular en los capilares y separándose de forma adecuada tanto de la porción líquida de la sangre como de la porción celular. Todo lo

mencionado se ve reflejado en la figura 4 donde se observa cómo se han distribuido los capilares. Además, se empleó luz mate indirecta angulada a 45° de la muestra de tal forma que no se formen brillos o rastros lumínicos sobre la muestra del capilar a analizar.



Figura 4. Instrumento de recolección en bloque de imágenes de capilares con muestra sanguínea centrifugada

5.1.6. Desempeño del sistema IA

5.1.6.1. Ejecución del sistema sobre la base de datos

En la figura 5 se observa cómo el sistema ejecutado procesa las imágenes de la base de datos, generando así el cálculo de hematocrito independizado por muestra capilar, se aprecia además que cada capilar es ligado a una codificación ubicado en la cabecera, lo que permite enlazar el cálculo del sistema con el cálculo del especialista en un posterior evento.



Figura 5. Apreciación de la identificación de capilares y del cálculo de hematocrito realizado por el sistema

5.1.6.3. Rendimiento del sistema IA

En el espacio de trabajo se presentan situaciones donde la cantidad de muestras en un tiempo determinado no es continua, existen horarios e incluso fechas donde se tratan mayor cantidad de muestras en una hora a comparación de otras, es en este sentido que se obtuvo un promedio del tiempo de latencia que toma el procesamiento de las muestras para la obtención del hematocrito tanto del personal especializado como del sistema informático. En este sentido se define mayor productividad del análisis por el *software*, esto a comparación del método del especialista, tal como se aprecia en la tabla 3, esto se debe a la cantidad de muestras que procesa a la par además que los cálculos los realiza la misma, en cambio en los procedimientos por el especialista se realiza uno por uno con cálculos que van desde lo manual hasta el uso de la calculadora.

Tabla 3. Tiempo de muestras procesadas por minuto

Especialista	Sistema
5 capilares/ min	30 capilares/min

Esto se determinó posterior al procesamiento de 330 muestras en el cual se determinó la cantidad de elementos analizados por minuto, es en este sentido que se halló que la cantidad de capilares procesados por minuto en el especialista fue de 5, a comparación de la cantidad procesada por el sistema que fue de 30, significando mayor escala de procesamiento en el sistema sextuplicando al otro método.

5.1.6.4. Precisión del sistema IA

Para analizar la Precisión se trabajó con 10 grupos de capilares con 10 muestras cada grupo, donde por grupo se conservaba el cálculo de hematocrito y entre cada grupo

variaba, esto con el objetivo de determinar la precisión del sistema al dar lectura a capilares que tengan la misma porción de hematocrito.

La precisión puede verificarse en la tabla 4, donde se aprecia que esta equivale a ± 0.035 del valor original

Tabla 4. Variación de cálculo de hematocrito promedio del sistema por cada grupo de muestra, respecto al cálculo del especialista

Grupo	Hto especialista	Hto promedio (de 10) sistema	Variación
1	45.7	45.67	-0.03
2	42.3	42.33	0.03
3	47.5	47.54	0.04
4	52.3	52.28	-0.02
5	42.3	42.32	0.02
6	47.2	47.17	-0.03
7	41.5	41.46	-0.04
8	50.3	50.38	0.08
9	45.6	45.62	0.02
10	47.8	47.76	-0.04
Promedio absoluto			0.035

5.1.6.5. Exactitud del sistema IA

Se evaluó el cálculo de hematocrito del sistema informático con respecto al cálculo del especialista, considerando a este último como el control de que los valores sean lo más exactos posibles, es en este sentido que todos los valores obtenidos del procesamiento de 330 muestras se los relacionó uno respecto del otro, evidenciándose en el diagrama de dispersión de la figura 6, evidenciándose una relación lineal entre los valores calculados por el sistema y los valores del especialista; es decir, existe exactitud en cuanto al cálculo por parte del sistema comparado con el cálculo del especialista.

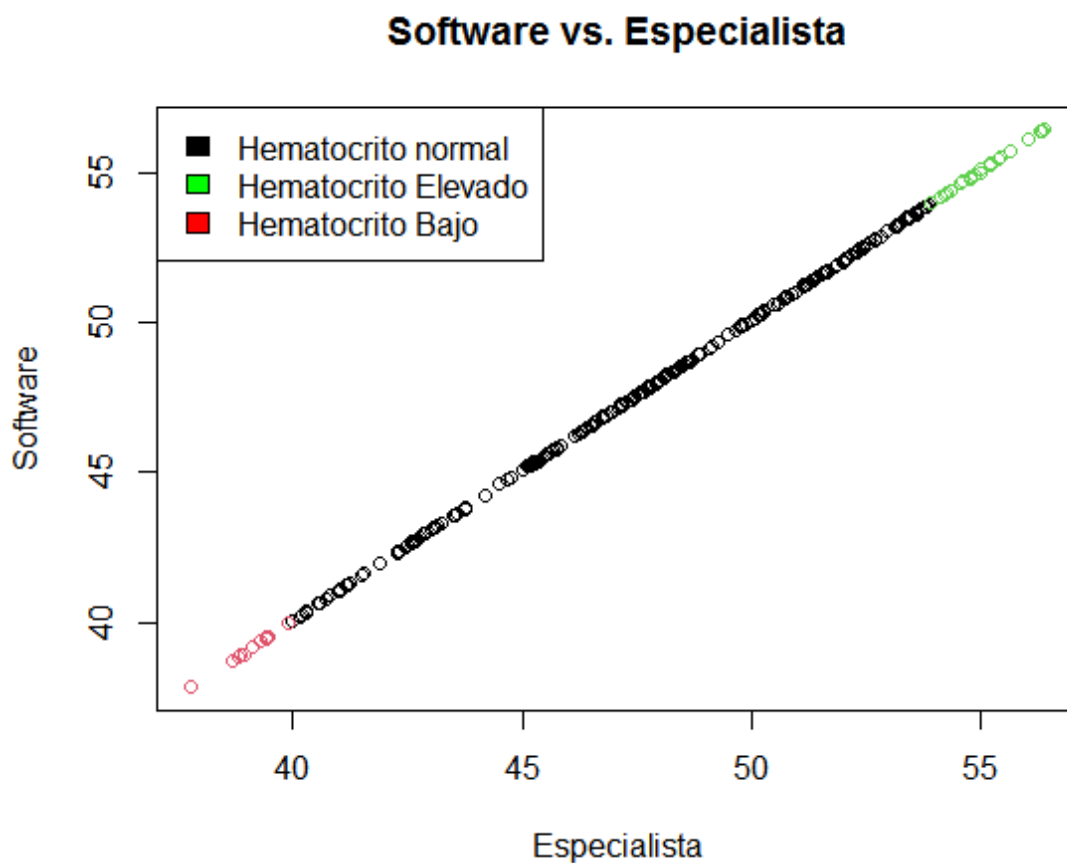


Figura 6. Relación entre el cálculo de hematocrito del Especialista con el del *Software* informático, además se observan los datos pertenecientes a valores por debajo del rango normal de color rojo, valores normales de color negro, y valores elevados verde.

Además, se puede evidenciar en la figura 7 que el cálculo del *software* comparado con el del especialista obtiene un error que oscila entre $\pm 0.11-0.00$, significando que el *software* procesa la información con semejanza en los resultados con un valor de error promedio es ± 0.06 .

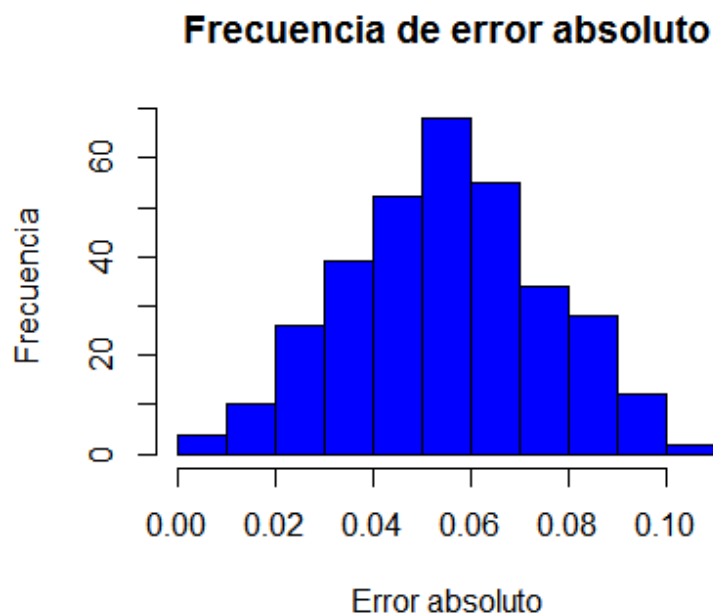


Figura 7. Expresión de la frecuencia de errores absolutos, resaltando que estos existen en el rango de 0 a 0.11 indicando que el dato obtenido por el *software* puede variar en ± 0.11

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

El contraste de los capilares con muestra sanguínea permitió resaltar el hematocrito de las muestras, lo que mejoró la identificación por visión artificial, además se logró establecer un procesamiento para 30 muestras en simultáneo (Figura 4). ClearView es una empresa dedicada a la visión artificial que rescata la importancia de controlar aspectos de iluminación de las imágenes a emplear, sugiriendo entornos bien iluminados de tal forma que los objetos de interés tengan detalles y bordes bien definidos, teniendo un vínculo importante con el contraste de tal forma que este se eleve para que el sistema o *software* tenga un desempeño satisfactorio (50). Del mismo modo hace imperativo el hecho de seleccionar un buen sistema de iluminación ya que sin ello, aún con toda el hardware de calidad que pueda tener y con algoritmos sofisticados (con tratamiento de imagen adicional), puede que no se tenga resultados óptimos, esto porque todo depende de un buen sistema de iluminación que permita identificar el objeto de estudio (104).

El tiempo de procesamiento de muestras que tarda el *software* comparado con el del especialista sextuplica en productividad con 30 capilares por minuto, esto significa que ante alta demanda del proceso el *software* se encuentra capacitado para la tasa de muestras, esto favorece considerablemente en la productividad, así como facilita al especialista del área en su labor. *TalentTools* empresa que emplea visión artificial en sus procesos rescata la importancia de emplear la técnica esto por su experiencia sin ella donde tuvo 6 trabajadores con alta presión para la producción de 400 productos al día, hoy en día su empresa produce más de 1000 unidades por día con solo tres trabajadores gracias a la implementación de la visión artificial (105).

La precisión del *software* por muestra obtuvo ± 0.035 (Tabla 04), marcador importante para rescatar la confianza del valor que obtiene el *software* respecto al cálculo de hematocrito. El uso de la visión artificial en los procesos eleva la precisión y elimina en gran medida el error humano, además de reducir gastos, reduciendo peligros que implica el procedimiento, facilitando además el diagnóstico (106). Huynh al buscar hallar hematocrito mediante espectrometría aplicado a la muestra de sangre, obtuvo una precisión por muestra de ± 0.09 (21). Thamara y equipo al desarrollar Hylab System para realizar análisis hematológicos con soporte en inteligencia artificial, en el aspecto de determinar el hematocrito tuvieron una precisión de $\pm 1.3\%$ lo que significa una variación en el hematocrito en ± 0.13 (19). Del mismo modo Decaro y su equipo trabajaron en la predicción de parámetros hemáticos por medio de *machine learning*, para esto en la predicción de hematocrito y saturación de oxígeno obtuvo alta precisión con ± 0.1 . Las investigaciones obtuvieron valores mayores al hallado en la presente investigación lo que indica que el valor que determinen al hallar hematocrito tendrá un valor mayor de error, sin embargo, son datos que están dentro de un rango pequeño. En otra investigación de Decaro y su equipo al trabajar con datos desequilibrados de muestras para predecir

hematocrito, obtuvo de similar forma una regresión lineal constante entre los datos lo que significaría alta precisión del sistema predictor.

Al analizar la exactitud del *software* respecto al especialista se obtiene una relación lineal casi perfecta con correlación de Pearson de 0.99, lo que indica que los valores hallados por el *software* están correlacionados a los del especialista, relación que a su vez es significativa dado el *p-value* $<2.2e-16$, lo que lleva a entender que el *software* se desenvuelve con alta precisión al calcular el valor de hematocrito. Además, al analizar si existe diferencia entre los datos del *software* respecto al especialista por medio de la prueba estadística *t-student* se determinó que no existe diferencia alguna esto considerando el *p-value* de 0.8646. Tamara y equipo también hallaron el nivel de correlación mediante la prueba estadística de correlación de Pearson de lo cual obtuvo un *p-value* <0.05 con correlación $r>0.9$ lo que determina una correlación significativa además de ser fuerte (19). El grado de correlación también se encontró en ese mismo rango lo que indica que obtienen alto grado de exactitud al predecir hematocrito.

5.3. Contrastación de la hipótesis

Con los datos se estableció la correlación entre lo procesado por el especialista con el *software* por medio de la técnica estadística de correlación Pearson (Figura 8), a partir de la cual para:

H₀: El conjunto de datos de cálculo de hematocrito por especialista no están correlacionados

H_a: El conjunto de datos de cálculo de hematocrito por especialista están correlacionados

```

Pearson's product-moment correlation
data: muestraespec and muestraauto
t = 3997.5, df = 328, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.9999873 0.9999917
sample estimates:
cor
0.9999897

```

Figura 8. Correlación de Pearson's en R con valor de $p\text{-value} < 2.2e-16$

Se obtiene un $p\text{-value} < 2.2e-16$ lo cual es menor al 0.05 de significancia establecido, determinando así que se rechaza la hipótesis nula lo que establece que el conjunto de datos se encuentra relacionado, además el valor de correlación adopta un valor de +0.99999 (Figura 9) lo que indica grado alto de relación.

Correlación de Pearson entre especialista y software

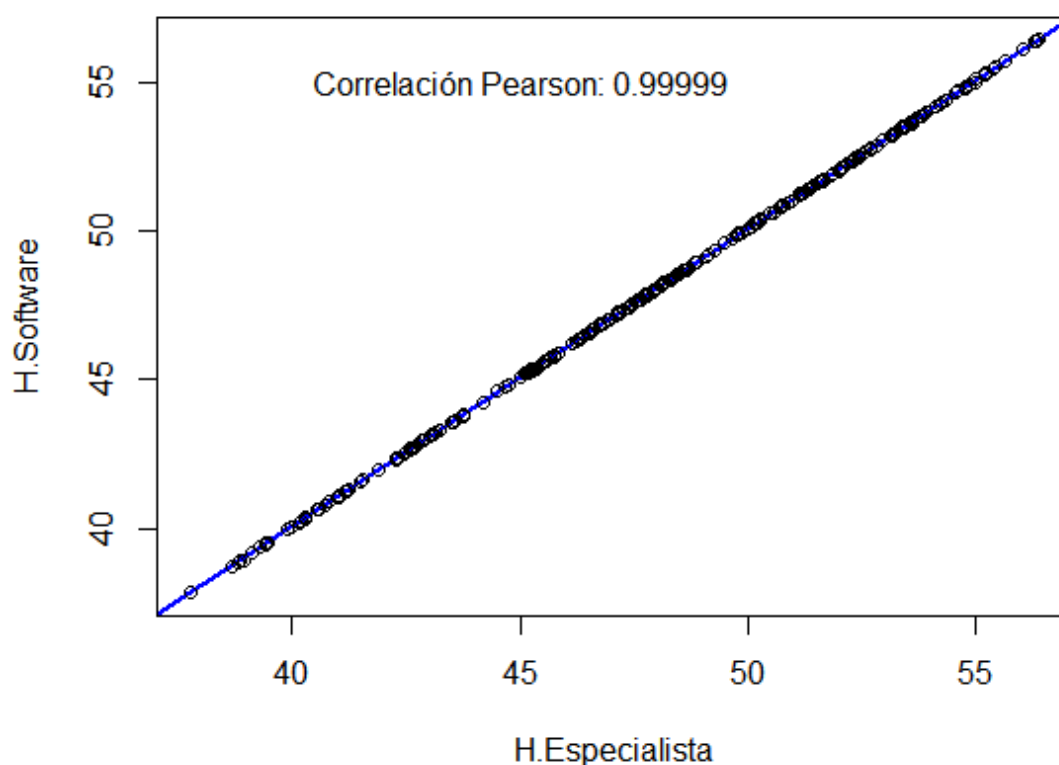


Figura 9. Regresión lineal entre hematocritos obtenidos por el *software* con los del especialista, se observa además la correlación de Pearson.

Además, para determinar si existe diferencia significativa entre los datos del *software* y los del especialista se estableció lo siguiente:

H₀: No existe diferencia entre los cálculos de hematocrito del *software* y del especialista

H_a: Existe diferencia entre los cálculos de hematocrito del *software* y del especialista

Para lo cual se aplicó la prueba estadística *t-student* con el objetivo de definir la existencia de diferencia entre el cálculo del especialista y el cálculo del *software* de lo cual se obtuvo un *p-value* equivalente a 0.8646 para un nivel de confianza al 95% (Figura 10), lo que significaría que no existe diferencia entre las medias entre los valores obtenidos por el *software* con el del especialista. Además, se aprecia la cercanía entre las medias de lo calculado por el especialista ($\bar{X}=47.89$) y el *software* (47.95).

```
welch Two Sample t-test
data: muestraespec and muestraauto
t = -0.17056, df = 658, p-value = 0.8646
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.7488475  0.6291506
sample estimates:
mean of x mean of y
 47.89509  47.95494
```

Figura 10. Evaluación de semejanza con t-test entre datos de hematocrito del *software* con los del especialista

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un sistema con algoritmos de visión artificial incorporados capaz de determinar el hematocrito a través de imágenes digitales de muestras sanguíneas en capilares.
2. El sistema tuvo un alto desempeño logrando procesar 30 capilares/min, con una precisión por muestra de ± 0.035 al valor del hematocrito, y con una exactitud de hasta ± 0.11 al valor total de la diferencia con el especialista, en ese sentido su desempeño fue óptimo y a la vez se validó su funcionamiento.
3. El uso del software puede amplificar el potencial de trabajo del técnico en laboratorio e incluso del especialista dado que procesa 6 veces más muestras que lo habitual (trabajo realizado de forma manual).
4. El software puede vincular los resultados de cada muestra con un respectivo código que puede representar al del paciente.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

- Se recomienda al usuario aplicar el *software* desarrollado sobre imágenes digitales con variables lumínicas controladas de tal forma que no intervenga en el cálculo automatizado de hematocrito
- Se sugiere al usuario del *software* tener contraste para cada capilar con muestra sanguínea centrifugado, de tal forma que se resalte los bordes de interés en el cálculo de hematocrito.
- Se sugiere recibir asesoramiento para hacer uso del software desarrollado, esto por medio de la desarrolladora o de personal autorizado.
- Se recomienda seguir entrenando al software de tal forma que su precisión y exactitud sea más óptima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beltrón F. Riesgos Biológicos en Laboratorios Clínicos de la ciudad de Portoviejo mediante el método Bioagaval. Rev San Gregor [Internet]. 2020;14. Disponible en: <http://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/1418>
2. Delgado Quiñónez V. Riesgos Biológicos en el personal de Enfermería en servicio de Emergencia del Hospital Básico Esmeraldas [Internet]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador [Tesis de grado de Maestro en Gestión de Riesgos]; 2020 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: [https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2204/1/DELGADO QUIÑÓNEZ VERÓNICA VIVIANA.pdf](https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2204/1/DELGADO%20QUINONEZ%20VERONICA%20VIVIANA.pdf)
3. Consolación Marquina P. Valoración de la actuación ante los accidentes de riesgo biológico del personal sanitario de un área quirúrgica hospitalaria. Universidad Miguel Hernández [Tesis Maestro en Prevención de Riesgos Laborales]; 2018.
4. Gracia Chamorro R. Accidentes por fluidos biológicos en trabajadores del laboratorio clínico del Hospital tipo C las Palmas, en el año 2019. Pontificia Universidad Católica del Ecuador [Tesis de grado académico]; 2020.
5. Barrientos Tejada A, Cabrejos Chilge G, Casquero Cavero J, Collantes Lazo H, Córdova Mejía R, Obregón Boltan G, et al. Manual de Bioseguridad en laboratorios de ensayos, biomédicos y clínicos [Internet]. 2005 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1195996/RJ_Nº_478-200520200804-1570951-704w7x.pdf
6. Ramos B. Calidad de la atención de salud: Error médico y seguridad del paciente [Internet]. Revista Cubana de Salud Pública. 2005 [citado 18 de diciembre de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662005000300010
7. Yépez C, Cuesta M. Propuesta de mejoramiento de la calidad en el servicio al paciente de un Centro Médico Ocupacional -CMO [Internet]. Repositorio Nacional en Ciencia y Tecnología - Guayaquil. Universidad de Guayaquil [Tesis de grado]; 2017 [citado 18 de diciembre de 2020]. Disponible en: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20111/1/TRABAJO DE TITULACION CRISTHINA Y MARCELA nueva final.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20111/1/TRABAJO%20DE%20TITULACION%20CRISTHINA%20Y%20MARCELA%20nueva%20final.pdf)
8. Blanco M, Hernández O, Bosch R, Moreno M. Errores cometidos por residentes de Medicina Interna en la entrevista médica bajo observación directa [Internet]. Revista Cubana de Medicina Militar. 2002 [citado 18 de diciembre de 2020]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572002000200006
9. Powles J, Hodson H. Google DeepMind and healthcare in an age of algorithms.

- Health Technol (Berl) [Internet]. 1 de diciembre de 2017 [citado 18 de diciembre de 2020];7(4):351-67. Disponible en: [/pmc/articles/PMC5741783/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36111111/)
10. Kubota Taylor. Algorithm better at diagnosing pneumonia than radiologists [Internet]. Stanford Medicine. 2018 [citado 18 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://med.stanford.edu/news/all-news/2017/11/algorithm-can-diagnose-pneumonia-better-than-radiologists.html>
 11. Arias-Londono JD, Gomez-Garcia JA, Moro-Velazquez L, Godino-Llorente JI. Artificial Intelligence applied to chest X-Ray images for the automatic detection of COVID-19. A thoughtful evaluation approach. IEEE Magazine [Internet]. 28 de noviembre de 2020 [citado 18 de diciembre de 2020]; Disponible en: <http://arxiv.org/abs/2011.14259>
 12. McCall B. COVID-19 and artificial intelligence: protecting health-care workers and curbing the spread. Lancet Digit Heal. abril de 2020;2(4):e166-7.
 13. Bustamante R. Algoritmo para el conteo de glóbulos rojos mediante procesamiento digital de imágenes. Theorēma. 2016;3:35-42.
 14. Rodríguez J. Automated detection of red blood cells by the Hough transform. Universidad de Málaga [Tesis de grado]; 2017.
 15. Romero-Rondón MF, Sanabria-Rosas LM, Bautista-Rozo LX, Mendoza-Castellanos A. Algoritmo para la detección de glóbulos rojos superpuestos en imágenes microscópicas de extendidos de sangre periférica. DYNA [Internet]. 1 de septiembre de 2016 [citado 18 de diciembre de 2020];83(198):188-95. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n198.47177>
 16. Muñoz E, Espinoza J, Rivera L. Sistema inteligente de diagnóstico de anemia ferropénica basado en redes neuronales artificiales. Revista de Tecnología e Información [Internet]. 2017 [citado 18 de diciembre de 2020];73-80. Disponible en: <http://revistas.uigv.edu.pe/index.php/perspectiva/article/view/571/496>
 17. Decaro C, Montanari GB, Bianconi M, Bellanca G. Prediction of hematocrit through imbalanced dataset of blood spectra. Healthc Technol Lett [Internet]. 1 de abril de 2021 [citado 25 de enero de 2023];8(2):37-44. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/htl2.12006>
 18. Decaro C, Montanari GB, Molinari R, Gilberti A, Bagnoli D, Bianconi M, et al. Machine Learning Approach for Prediction of Hematic Parameters in Hemodialysis Patients. IEEE J Transl Eng Heal Med. 2019;7.
 19. Gasparin AT, Araujo CIF, Schmitt P, Cardoso MR, Perussolo MC, de Jesus TCS, et al. Hilab system, a new point-of-care hematology analyzer supported by the Internet of Things and Artificial Intelligence. Sci Reports 2022 121 [Internet]. 21 de junio de 2022 [citado 25 de enero de 2023];12(1):1-11. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-13913-8>
 20. Banerjee A, Ray S, Vorselaars B, Kitson J, Mamalakis M, Weeks S, et al. Use of Machine Learning and Artificial Intelligence to predict SARS-CoV-2 infection

- from Full Blood Counts in a population. *Int Immunopharmacol*. 1 de septiembre de 2020;86:106705.
21. Huynh HT, Won Y, Kim J. Hematocrit estimation using online sequential extreme learning machine. 2015;
 22. Salcedo D, Vicario C. El futuro de la inteligencia artificial en la detección de enfermedades. *Inst Politenico Nac* [Internet]. 2021 [citado 24 de agosto de 2021];85. Disponible en: <http://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/946-cyt-numero-85/1950-el-futuro-de-la-inteligencia-artificial-en-la-deteccion-de-enfermedades>
 23. Rosas Morán JA. Análisis de imágenes digitales en la cuantificación y detección de alteraciones morfológicas de glóbulos rojos. *Univ Politécnica Estatal del Carchi* [Internet]. 2021 [citado 24 de agosto de 2021]; Disponible en: <http://www.repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/948>
 24. Campazzo EN. Sistema de Monitoreo, Diagnóstico y geolocalización de Pacientes de Riesgo Cardiológico. *CISCI 2018 - Decima Septima Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernetica e Informatica, Decimo Quinto Simposium Iberoamericano en Educacion, Cibernetica e Informatica, SIECI 2018 - Memorias* [Internet]. 2018 [citado 2 de marzo de 2020];1(2):5-8. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Board>
 25. Benítez NG, Sentí VE, Estrada AF. Estudio y selección de las técnicas de Inteligencia Artificial para el diagnóstico de enfermedades. *Rev Ciencias Médicas* [Internet]. 2018 [citado 2 de marzo de 2020]; Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1561-31942018000300014&script=sci_arttext&tlng=pt
 26. Botia J, Sarmiento H, Isaza C, Et.al. Redes Neuronales Artificiales de Base Radial como Clasificador Difuso: Una Aplicación en Diagnóstico Médico. En: *CICT. Antioquía: I Congreso Internacional De Instrumentación, Control Y Telecomunicaciones – CICT 2009; 2009*.
 27. Prieto J, Purizaca M. Modelo tecnológico para optimizar el proceso de detección de leucemia utilizando el algoritmo canny, a través de la microscopía digital *Item Type info:eu-repo/semantics/bachelorThesis* [Internet]. [Lima]: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [Tesis de grado]; 2021 [citado 24 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/655225>
 28. Pérez R. Análisis de la toma de decisiones en el diseño de ingeniería. *Univ Nac del Callao, Fac Ing mecánica*. 2014;
 29. Tinoco D, Velásquez JD. Diseño de un sistema de un instrumentación wearable para la medida de saturación de oxígeno en sangre. *Uniw śląski* [Internet]. 2022;343-54. Disponible en: <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/10644>
 30. Macías L, Reyes A, Lom F, Martín F. Importancia del diseño industrial enfocado a dispositivos médicos [Internet]. *CULCyT*. 2016 [citado 27 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://148.210.21.18/ojs/index.php/culcyt/article/view/1569/1389>

31. Bianchini E, Francesconi M, Testa M, Tanase M, Gemignani V. Unique device identification and traceability for medical software: A major challenge for manufacturers in an ever-evolving marketplace. Vol. 93, Journal of Biomedical Informatics. Academic Press; 2019. p. 103150.
32. Alexander K, Clarkson PJ. A validation model for the medical devices industry. J Eng Des [Internet]. 2002 [citado 27 de noviembre de 2021];13(3):197-204. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/loi/cjen20http://dx.doi.org/10.1080/09544820110108890http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>
33. Oliveira VJ. Gestão do Ciclo de Vida de Dispositivos Médicos: Papel do Engenheiro Biomédico [Internet]. Instituto Politécnico de Lisboa. 2018 [citado 28 de noviembre de 2021]. Disponible en: [https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/11438/1/Gestão do ciclo de vida de dispositivos médicos_papel do engenheiro biomédico.pdf](https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/11438/1/Gestão%20do%20ciclo%20de%20vida%20de%20dispositivos%20m%C3%A9dicos_papel%20do%20engenheiro%20biom%C3%A9dico.pdf)
34. El-Khazraje S. Coste del ciclo de vida de un equipo de urgencias de una ambulancia de Soporte Vital Avanzado. Univ Politécnica Cart. 2014;
35. Lara G, Santana A, Lira A, Peña A. El Desarrollo del Hardware para la Realidad Virtual The Hardware Development for Virtual Reality. Rev Ibérica Sist y Tecnol Inf. 2019;
36. León F. Arquitectura de hardware. Fund Univ del Área Andin [Internet]. 2017 [citado 27 de noviembre de 2021]; Disponible en: <http://www.areandina.edu.co>
37. Gómez S, Moraleda E. Aproximación a la ingeniería del software - Sebastián Rubén Gómez Palomo, Eduardo Moraleda Gil - Google Libros [Internet]. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces SA. 2020 [citado 27 de noviembre de 2021]. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8wnUDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=ingenieria+del+software&ots=D5vBPojYLC&sig=sJ82bFNg5UDdg5Ht0hbHuyMBwZk#v=onepage&q=ingenieria del software&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8wnUDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=ingenieria+del+software&ots=D5vBPojYLC&sig=sJ82bFNg5UDdg5Ht0hbHuyMBwZk#v=onepage&q=ingenieria%20del%20software&f=false)
38. Stanley L. Design Controls FDA Small Business Regulatory Education for Industry (REdI). Food Drug Adm. 2015;
39. Ramos D, Noriega R, Rubén J, Durango A. Curso de Ingeniería de Software [Internet]. IT Campus Academy. 2017 [citado 27 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=G2Q4DgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA71&dq=ingenieria+del+software&ots=wks3fFUQxf&sig=ufYWjC4gSBf2rDeYiIBezO1zRM8#v=onepage&q&f=false>
40. Hwang GJ, Chien SY. Definition, roles, and potential research issues of the metaverse in education: An artificial intelligence perspective. Comput Educ Artif Intell [Internet]. 2022;3(May):100082. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100082>
41. Alvarado-Salazar R, Llerena-Izquierdo J. Revisión de la literatura sobre el uso de Inteligencia Artificial enfocada a la atención de la discapacidad visual. Rev

- InGenio. 2022;5(1):10-21.
42. Avila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica. *Atención Primaria*. 1 de diciembre de 2020;52(10):778-84.
 43. Álvarez Vega M, Quirós Mora LM, Cortés Badilla MV. Inteligencia artificial y aprendizaje automático en medicina. *Rev Medica Sinerg*. 2020;5(8):e557.
 44. Rouse M. Inteligencia artificial, o AI. Recuper <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Inteligencia-artificial-o-AI>. 2017;
 45. Basogai-Olabe X. Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones [Internet]. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao: Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao. 2010 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://ocw.ehu.eus/file.php/102/redes_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf
 46. Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas. *Atención Primaria*. 1 de enero de 2021;53(1):81-8.
 47. ClearView. ¿Qué es la visión artificial y cómo puede ayudar a tu empresa ? 2023;
 48. Vallejo H, Paucar J, Martínez O, Vallejo H, Paucar J, Martínez O. Visión artificial mediante el coeficiente de correlación para exámenes de retinoscopia. *Maskay* [Internet]. 28 de noviembre de 2018 [citado 1 de diciembre de 2021];8(2):75-80. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-67122018000200075&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 49. Martínez J. Sistema de Visión Artificial para la Detección y Corrección de Posturas en Ejercicios realizados por Fisicoculturistas [Internet]. Universidad Autónoma del Estado de México. 2018 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/95190/Tesis_Juan_Manuel_Martínez_José.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 50. ClearView . La Importancia de la Iluminación para Visión Artificial [Internet]. ClearView-Imaging. 2023. Disponible en: <https://www.clearview-imaging.com/es/blog/la-importancia-de-la-iluminación-para-visión-artificial>
 51. Rodríguez M. Detección automática de Globulos rojos mediante la Transformada de Hough. Univ Málaga. 2017;
 52. Rivas W, Bertha A, Olivo M. Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones. Univ Técnica Machala [Internet]. 2018 [citado 1 de diciembre de 2021]; Disponible en: www.utmachala.edu.ec
 53. Allende C. Redes Neuronales Cuánticas. Univ ORT Uruguay [Internet]. 2021 [citado 1 de diciembre de 2021]; Disponible en: https://dspace.ort.edu.uy/bitstream/handle/20.500.11968/4490/Material_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

54. Cristina F, Dapoto S, Thomas P, Pesado P. Evaluación de performance de engine 3D para dispositivos móviles. XXIII Congr Argentino Ciencias la Comput. 2017;712-21.
55. Capuano AM. Evaluación de Desempeño. Desempeño por Competencias. Invenio. 2004;
56. Sezdi M. Performance Analysis for Medical Devices. Biomed Eng Res [Internet]. 2013 [citado 1 de diciembre de 2021];2(3):139-46. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/272729631>
57. Salazar Gómez AJ, Cuervo Ramírez DK. Protocolo de pruebas de seguridad eléctrica para equipos electromédicos: caso de estudio de equipos de telemedicina /Test Protocol for Electrical Safety in Electrical Medical Equipment: Case Study for Telemedicine Equipment. Rev Ing Univ los Andes, Bogotá - Colomb. 2013;
58. Organismo de certificación global NQA. ISO 13485:2016 Guía de implementación de sistemas de gestión de calidad en productos sanitarios [Internet]. nqa. 2021 [citado 27 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish QRFs and PDFs/NQA-ISO-13485-Guia-de-implantacion.pdf>
59. Dassault Systemes. Mejora del diseño de dispositivos médicos con tecnología de simulación. 3DExperience. 2021;
60. Ministerio de Salud G del P. Decreto Supremo N° 003-2020-SA [Internet]. Diario Oficial El Peruano. 2020 [citado 27 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-reglamento-que-establece-las-reglas-de-clasificacio-decreto-supremo-n-003-2020-sa-1853029-4/>
61. Montalvo Arenas CE. Blood Tissue and Hematopoiesis. Natl Auton Univ Mex [Internet]. 2010;(Cell Biology and Medical Histology):45. Disponible en: <http://bct.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2018/08/Tejido-sanguineo.pdf>
62. Tortora GJ., Derrickson B. Principios de Anatomía y Fisiología. 15a ed. Editorial Médica Panamericana; 2018.
63. Miguel JFS, Sánchez-Guijo F. Hematología. Manual Básico Razonado [Internet]. Elsevier Health Sciences; 2020. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=8cnSDwAAQBAJ>
64. Coelho Rigoni C, Burato Wessler L, Streck EL. Correção Da Interferência Causada Pela Lipemia Em Amostras De Hemograma Nas Dosagens De Hemoglobina E Hematócrito. Inova Saúde. 2023;14(1):97-103.
65. Santos-Martínez L, Cortés-Ruiz J, Vázquez-Tecpanecatí O, Ordoñez-Reyna A, Quevedo-Paredes J. Variabilidad de la hemoglobina y hematocrito determinados en equipo de gases sanguíneos. Rev Med Inst Mex Seguro Soc 2022. 2022;60(4):363-70.
66. Toapanta K. Identificación de un factor de corrección para hematocrito y hemoglobina, realizado entre un método automatizado y un método manual. Repos

- UTA [Internet]. 2021;76. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/19565?mode=full>
67. Valenzuela C. Hematocrito , morfología variante de eritrocitos y presencia de hemoparásitos en *Icterus pustulatus* y *Molothrus aeneus* : parámetros basales y relación con la proximidad de desechos mineros en Huautla , Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos; 2020.
 68. Brown T, Hammers M, Taylor M, Dugdale H, Komdeur J, Richardson D. Hematocrit, age, and survival in a wild vertebrate population [Internet]. *Ecology and Evolution*. 2020 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.7015>
 69. Stark H, Schuster S. Comparison of various approaches to calculating the optimal hematocrit in vertebrates. *J Appl Physiol* [Internet]. 1 de agosto de 2012 [citado 12 de marzo de 2021];113(3):355-67. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22604890/>
 70. Borrás A, Cabrera J, Senar JC. Hematocrit variation in response to altitude changes in wild birds: A repeated-measures design. *Condor*. agosto de 2010;112(3):622-6.
 71. Brown TJ, Hammers M, Taylor M, Dugdale HL, Komdeur J, Richardson DS. Hematocrit, age, and survival in a wild vertebrate population. *Ecol Evol* [Internet]. 1 de enero de 2021 [citado 12 de marzo de 2021];11(1):214-26. Disponible en: www.ecolevol.org
 72. Johnstone CP, Lill A, Reina RD. Use of erythrocyte indicators of health and condition in vertebrate ecophysiology: a review and appraisal. *Biol Rev*. 1 de febrero de 2017;92(1):150-68.
 73. Boffetta P, Islami F, Vedanthan R, Pourshams A, Kamangar F, Khademi H, et al. A U-shaped relationship between haematocrit and mortality in a large prospective cohort study. *Int J Epidemiol* [Internet]. abril de 2013 [citado 12 de marzo de 2021];42(2):601-15. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23569195/>
 74. Ccallo H. Intervalos de referencia de parámetros hematológicos de recién nacidos a término, Instituto Nacional Materno Perinatal, Lima- 2018 [Internet]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Tesis de grado]; 2019 [citado 19 de marzo de 2021]. Disponible en: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/11220/Ccallo_ch.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 75. Noriega E. Guía de práctica clínica para diagnóstico y tratamiento de anemia ferropénica [Internet]. Resolución Ministerial N°250-2017/minsa. 2017 [citado 19 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.hospitalcayetano.gob.pe/PortalWeb/wp-content/uploads/resoluciones/2017/RD/rd451-102017.pdf>
 76. García J, Montero H. Determinación de hemoglobina y hematocrito y su variación con la dieta en personas adultas de ambos sexos atendidos en la junta vecinal Las Lomas del Distrito de Huanchaco en Agosto 2015. [Trujillo]: Universidad Nacional de Trujillo [Tesis de grado]; 2016.

77. Tudela P, Carreres A, Ballester M. El error diagnóstico en urgencias. *Med Clin (Barc)* [Internet]. 22 de agosto de 2017 [citado 2 de marzo de 2020];149(4):170-5. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025775317303536>
78. MINSA. Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnósticos de los Exámenes Médicos Obligatorios por actividad [Internet]. RM N° 312-2011 MINSA. 2011 [citado 5 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/DT-PROTOCOLOS-MINSA.pdf>
79. Díaz A. Error de diagnóstico y responsabilidad civil médica en el Hospital Regional Docente Clínico Quirúrgico Daniel Alcides Carrión Huancayo 2015. Universidad de Huánuco [Tesis de Grado]; 2015.
80. IBM. ¿Qué es la Inteligencia Artificial? [Internet]. Vols. 1-6, IBM. 2023. Disponible en: <https://www.oracle.com/pe/artificial-intelligence/what-is-ai/%0Ahttps://www.oracle.com/co/artificial-intelligence/what-is-ai/%0Ahttps://www.ibm.com/es-es/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence%0Ahttps://bluumi.net/la-inteligencia-artificial/%0Ahttps://>
81. Barzallo S, Barzallo P. La inteligencia artificial en la medicina. *Rev Med Ateneo*. 2019;21(2):81-94.
82. Vázquez-Bautista O. Aplicación de la recta para detectar líneas en imágenes digitales con la transformada Hough. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo [Internet]. 2021 [citado 19 de marzo de 2021]; Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/article/view/6616/7522>
83. Cortina R. Sistema de orientación utilizando procesamiento de imágenes para personas con discapacidad visual que practican actividad física. Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional; 2023.
84. Doxygen. OpenCV. Vol. 1.8.13, <https://docs.opencv.org/5.x/d1/dfb/intro.html>. 2023.
85. Fos B. Diseño de técnicas de inteligencia artificial aplicadas a imágenes médicas de rayos X para la detección de estructuras anatómicas de los pulmones y sus alteraciones. [Valencia]: Universitat Politècnica de València [Tesis de grado]; 2015.
86. Elsevier Inc. Hemograma completo ¿Por Qué Me Debo Realizar Esta Prueba? ¿Qué Tipo De Muestra Se Toma? ¿Cómo Se Informan Los Resultados? 2020.
87. Real Academia Española. Algoritmo | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. DLE. 2020 [citado 23 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/algoritmo>
88. RAE. Contorno | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. Real Academia Española. 2020 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/contorno?m=form>
89. Romero Vásquez R, Romero Vásquez R. Estudio del performance de los equipos

- en el tajo Raúl Rojas Cia Minera Volcán S.A.A. Univ Nac Ing [Internet]. 2018 [citado 27 de noviembre de 2021]; Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2353528>
90. RAE. Preciso | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. Real Academia Española. 2020 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/preciso?m=form>
 91. RAE. Definición de Escalímetro - Real Academia Española [Internet]. 2020 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/escalímetro>
 92. RAE. Exacto | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. Real Academia Española. 2020 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/exacto?m=form>
 93. Cambridge Dictionary. HARDWARE en el Diccionario Cambridge inglés [Internet]. 2021 [citado 4 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/hardware>
 94. RAE. hematíe | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. Real Academia Española. 2020 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/hematíe?m=form>
 95. Cabezas Sánchez C, Burstein Alva Z, Belleza Zamora R, Cárdenas Rojas D, Fuentes Paredes F, Huamán Espino L, et al. Manual de procedimientos de laboratorio. Lima; 2013.
 96. RAE. inteligencia | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. 2020 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/inteligencia?m=form#2DxmhCT>
 97. RAE. Productividad | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE [Internet]. Real Academia Española. 2020 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/productividad>
 98. IBM. What is software development? | IBM [Internet]. 2021 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.ibm.com/topics/software-development>
 99. TechLib. Definición de tiempo de ejecución [Internet]. 2021 [citado 1 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://techlib.net/definition/runtime.html>
 100. Besa González A. Diseño de máquinas [Internet]. 1ra Editio. Valencia: Universitat Politècnica de València; 2016 [citado 12 de marzo de 2021]. Disponible en: www.lalibreria.upv.es
 101. Lozada J. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Cienciaamérica [Internet]. 2014;1(3):34-9. Disponible en: <http://www.uti.edu.ec/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>
 102. López N, Sandoval I. Métodos y técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa. Univ Guadalajara. 2016;15(2):17-23.

103. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo sus similitudes y diferencias. En: Metodología de la investigación [Internet]. 2014. p. 4-15. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58257558/Definiciones_de_los_enfoques_cuantitativo_y_cualitativo_sus_similitudes_y_diferencias-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1665031128&Signature=CWIHMOjC17jAjN5~PoQxtXNOjN~QllKS8AtQlxIEfLC9Y78yk6DterT09m7AuXutJKhBP6
104. Bcnvision . Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial [Internet]. Bcnvision. 2023. Disponible en: <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>
105. Wagemakers M. Aprovechamiento de la visión, artificial para lograr eficiencia, velocidad y flexibilidad en las operaciones de carga y descarga. Automática e instrumentación, ISSN 0213-3113, N°502 525, 2021, págs 55-57 [Internet]. 2021;(525):55-7. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7843801>
106. Iberdrola . Visión artificial: qué es, aplicaciones [Internet]. Iberdrola, S.A. 2023. p. 1. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/vision-artificial>

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



Universidad Nacional de Cajamarca
 "NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
 Fundada por Ley 140515 del 13 de febrero de 1962
Escuela de Posgrado

La Directora de la Unidad de Posgrado de la Ciencias de La Salud, de la Universidad Nacional de Cajamarca, expide la presente:


CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD:

Que la Bachiller en Ciencias Biológicas **LEIA AROMI REYES CARRASCAL**, ha sustentado y aprobado su tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias, Mención Salud Ocupacional y Ambiental, titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA LECTOR DE CAPILARES SANGUÍNEOS PARA DETERMINAR HEMATOCRITO USANDO VISIÓN ARTIFICIAL, 2023.**

Ha cumplido con los requisitos de originalidad establecidos por la Escuela de Posgrado, para lo cual ha presentado el Reporte de Aplicativo Urkund con el 3% de similitud. Reporte presentado la Directora de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Salud, Dra. Elena Soledad Ugaz Burga.

Se otorga la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 05 de mayo de 2023.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

 Dra. Elena Ugaz Burga
 DIRECTORA