

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA
DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO PREVENTIVO PARA LESIONES
MÚSCULO ESQUELÉTICAS MÁS COMUNES EN FUTBOLISTAS**

**AUTORES
CHRYSYTIAN PATRICIO NARANJO ERASO
PAÚL ALEJANDRO VÁSQUEZ SUÁREZ**

**TUTOR
WILLIAM MANUEL MONTALVO LÓPEZ**

Quito, febrero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Chrystian Patricio Naranjo Eraso con documento de identificación N° 1715066310 y Paúl Alejandro Vásquez Suárez con documento de identificación N° 1717558520, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación intitulado: “DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO PREVENTIVO PARA LESIONES MÚSCULO ESQUELÉTICAS MÁS COMUNES EN FUTBOLISTAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Chrystian Patricio Naranjo Eraso
C.I. 1715066310



.....
Paúl Alejandro Vásquez Suárez
C.I. 1717558520

Quito, febrero del 2019.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, **DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO PREVENTIVO PARA LESIONES MÚSCULO ESQUELÉTICAS MÁS COMUNES EN FUTBOLISTAS**, realizado por Chrystian Patricio Naranjo Eraso y Paúl Alejandro Vásquez Suárez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019.



.....
Ing. William Manuel Montalvo López

C.I: 1712789989

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a todas las personas que con su apoyo incondicional me ayudaron a cumplir esta meta, ya que a pesar de los momentos difíciles siempre me brindaron fuerzas para continuar.

Chrystian Patricio Naranjo Eraso

Dedico este proyecto de titulación, especialmente, a mis padres quienes han sido una parte importante en el transcurso de mi carrera, al ofrecerme su apoyo y una guía vital para cumplir con la culminación de mis estudios. A mi esposa e hijo que fueron el apoyo fundamental para cumplir este propósito en mi vida.

Paúl Alejandro Vásquez Suárez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por la formación humana y académica que hemos recibido en el transcurso de nuestra carrera, así como a los docentes por el conocimiento que nos supieron compartir en el transcurso de nuestra formación profesional.

Deseamos realizar un reconocimiento especial al Ingeniero William Montalvo, MSc. por su calidad humana y su profesionalidad, quien nos apoyó de manera incondicional con su tiempo y conocimiento en la realización de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
ANTECEDENTES	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcance	3
CAPÍTULO 2.....	4
MARCO CONCEPTUAL	4
2.1. Visión artificial.....	4
2.1.1. Etapas de un sistema de visión Artificial.....	5
2.2. Cámaras termográficas	6
2.3. Temperatura corporal	6
2.4. Fisiopatología de las lesiones musculo-esqueléticas.....	7
2.5. Termografía Infrarroja.....	10
2.5.1. Aplicaciones de la Termografía Infrarroja.....	10
2.6. Factores que influyen en la evaluación termográfica del cuerpo humano ..	11
2.6.1. Factores naturales	11

2.6.2. Factores artificiales	11
2.7. Lesiones musculoesqueléticas frecuentes en futbolistas	12
CAPÍTULO 3.....	13
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	13
3.1. Introducción.....	13
3.2. Comunicación serial entre Matlab y Arduino	14
3.3. Diseño de la interfaz de Matlab.....	16
3.4. Posicionamiento de la cámara	17
3.5. Procesamiento de imágenes térmicas en Matlab	19
3.6. Diseño de prototipo para tomas de fotografías.....	20
3.6.1. Hardware implementado.....	22
3.7. Diagrama general del sistema	25
CAPÍTULO 4.....	27
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
4.1. Diagnóstico de pacientes	27
4.2. Precisión del algoritmo de visión artificial	39
4.3. Posicionamiento del sistema.....	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	46
LISTA DE REFERENCIAS	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Captación de la imagen en un sistema de visión artificial.....	4
Figura 2. 2. Etapas de un sistema de visión artificial.....	5
Figura 2. 3. Funcionamiento de una cámara termográfica.....	6
Figura 2. 4: Imagen tomada por cámara térmica infrarroja.	8
Figura 2. 5: Imagen obtenida por cámara térmica infrarroja	8
Figura 2. 6: Fotografía termográfica tomada por uno de los jugadores.	9
Figura 3. 1. Diagrama de bloques del sistema.....	13
Figura 3. 2. Diagrama de flujo comunicación serial.	15
Figura 3. 3. Configuración para comunicación serial en Matlab.	16
Figura 3. 4. Configuración de puerto serie en Arduino.	16
Figura 3. 5. Diseño de interfaz gráfica en guide de Matlab.	17
Figura 3. 6. Diagrama de flujo para el posicionamiento de la cámara.....	18
Figura 3. 7. Longitudes de las articulaciones del cuerpo humano.	19
Figura 3. 8. Diagrama de flujo del procesamiento digital de la imagen.	19
Figura 3. 9. Procesamiento digital de la imagen localización de la lesión.....	20
Figura 3. 10.Diseño en AutoCAD del prototipo para tomas de fotografías.....	21
Figura 3. 11.Implementación diseño de estructura.	21
Figura 3. 12.Diagrama de conexión motor a paso Nema 23.....	22
Figura 3. 13. Motor implementado en estructura.....	22
Figura 3. 14. Cámara Seek Thermal.....	23
Figura 3. 15. Imagen térmica hombros de una persona.	23
Figura 3. 16. Diseño interfaz de la aplicación en Android.....	24
Figura 3. 17. Soporte celular y cámara térmica.	24
Figura 3. 18. Diagrama de flujo general del sistema.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Tabla de valoración para cada zona corporal.....	9
Tabla 2. 2: Tabla de aplicaciones de la termografía infrarroja.	10
Tabla 2. 3: Tabla de tipo de lesiones más comunes provocadas en futbolistas.	12
Tabla 3. 1. Imágenes de las partes del cuerpo.....	14
Tabla 4. 1. Imágenes de diagnóstico de 30 futbolistas.....	27
Tabla 4. 2. Repetitividad del algoritmo.....	40
Tabla 4. 3. Posicionamiento del sistema.	42

RESUMEN

En el presente documento se detalla la construcción y funcionamiento de un sistema de diagnóstico preventivo para lesiones musculo esqueléticas en futbolistas, el mismo que se compone de tres subsistemas: el primer subsistema comunicación, el cual mediante conexión serial intercambia datos entre la placa Arduino y la GUI de Matlab en donde se ingresaran los datos de altura del futbolista y articulación a examinar, posterior al proceso en esta interfaz se mostrara el diagnostico final detallando el área y la posible lesión. El segundo subsistema consta de captura de imágenes, los datos previamente ingresados en la interfaz gráfica accionan el mecanismo, el cual hace que se posicione la cámara térmica frente a la extremidad a analizar capturando las imágenes y almacenándolas en una carpeta para su posterior procesamiento. El tercer subsistema visión artificial, se encarga del reconocimiento e identificación de patrones rojos en fotografías termográficas, el algoritmo detecta la presencia de coloración rojiza en las imágenes indicando que existe un aumento de temperatura en el musculo, lo cual conlleva a que exista un posible esguince o luxación.

ABSTRACT

This document details the construction and operation of a preventive diagnosis system for musco-skeletal injuries in footballers, which consists of three subsystems: the first communication subsystem, which through serial connection exchanges data between the Arduino board and the Matlab GUI where the height data of the soccer player and articulation to be examined will be entered, after the process in this interface the final diagnosis will be shown detailing the area and the possible injury. The second subsystem captures images, the data previously entered in the graphic interface activates the mechanism, which causes the thermal camera to be positioned in front of the extremity to be analyzed, capturing the images and storing them in a folder for further processing. The third artificial vision subsystem, is responsible for the recognition and identification of red patterns in thermographic photographs, the algorithm detects the presence of reddish coloration in the images indicating that there is an increase in temperature in the muscle, which leads to a possible sprain or dislocation.

INTRODUCCIÓN

Al desempeñar actividad física las articulaciones presentes en el cuerpo humano tienden a sufrir luxaciones, esguinces, fracturas entre otras. Ya sea por contacto externo o mal estado del terreno. Este proyecto está enfocado a diagnosticar lesiones musco-esqueléticas más comunes en futbolistas mediante imágenes termográficas, obteniendo así una valoración médica previo al diagnóstico del fisioterapeuta. Se implementará un sistema automático con visión artificial para examinar a los deportistas.

En el capítulo uno se detallará los antecedentes del proyecto técnico donde se plantea el problema, justificación y los objetivos. En el capítulo dos se realizará un estudio de conceptos de visión artificial, imágenes termográficas, fisiopatología y lesiones musco esqueléticas presentes en las diferentes articulaciones del cuerpo humano.

El capítulo tres se encuentra constituido por el diseño e implantación del mecanismo de captura de imágenes termográficas, la comunicación entre Arduino y el software Matlab, desarrollo de interfaz gráfica en GUI de Matlab para la visualización del área afectada para su posterior valoración médica a cargo del fisioterapeuta, elaboración del algoritmo de visión artificial para el análisis y diagnóstico preventivo de lesiones musculo esqueléticas en articulaciones tales como tobillos, rodillas y hombros.

Para finalizar, en el capítulo cuatro se desarrollarán pruebas y análisis de datos para constatar el funcionamiento del sistema, en donde se evaluarán a futbolistas del equipo de la Universidad Católica de Quito, el diagnóstico obtenido será comparado con la evaluación médica a cargo del fisioterapeuta de la institución con el fin de obtener el porcentaje de error y la factibilidad del proyecto.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del problema

Las lesiones musculoesqueléticas en futbolistas son muy comunes ya sea por la sobrecarga en los entrenamientos o por lesiones generadas por la fricción en el deporte. La termografía es una de las nuevas tecnológicas orientadas al mundo deportivo que ayuda a la prevención de posibles lesiones además permite acelerar la recuperación de un deportista si ya se ha producido una lesión. (Marins, Fernández-Cuevas, Arnaiz-Lastras, & Fernandes, 2015)

La termografía permite visualizar el calor que irradia el cuerpo a través de una emisión infrarroja la cual la visión humana no es capaz de identificar por esto es considerada una tecnología de gran validez ya que tiene varios aspectos positivos como ser no invasiva, no requiere el contacto físico con la persona evaluada, no emite radiación permite una evaluación rápida, permite un seguimiento preventivo de lesiones comunes lo cual en este caso traería grandes beneficios a futbolistas. Por tanto, se plantea la pregunta: ¿Se puede diagnosticar termo gráficamente lesiones musculoesqueléticas para prevenir lesiones en futbolistas? (Marins, Fernández-Cuevas, Arnaiz-Lastras, & Fernandes, 2015)

1.2. Justificación

El proceso de un diagnóstico termo gráfico preventivo para lesiones musculoesqueléticas más comunes en futbolistas, presenta muchos beneficios como es el bajo costo para una prevención además de ser una técnica rápida, no invasiva altamente reproducible sin emisión de radiación ni contacto físico con el evaluado además que al utilizar un sistema mecánico de rieles permite mayor eficacia en resultados ya que en el proceso termo gráfico el personal técnico no influye en la toma de fotografías térmicas las cuales no generarían calor y no alterarían resultados.

El uso de la termografía en futbolistas permite hacer rápidas evaluaciones además de un seguimiento a una respuesta térmica del deportista, esto brindaría un aporte informativo no solamente de su rendimiento sino también sobre su salud.

La termografía deportiva en el Ecuador llega a ser de gran relevancia por su uso no invasivo genera gran aceptación en profesionales (fisioterapeutas) y deportistas (futbolistas).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diagnosticar preventivamente las lesiones musculoesqueléticas más comunes en futbolistas mediante termografía para su utilización como herramienta de prediagnóstico para fisioterapeutas.

1.3.2. Objetivos específicos

Investigar el uso de la termografía en el prediagnóstico de lesiones para obtener un conocimiento previo y aplicarlo en el procesamiento digital de imágenes.

Desarrollar una estructura mecánica para tomar las fotos termográficas de todos los planos del cuerpo del paciente.

Desarrollar el software para el procesamiento digital de las fotografías termográficas que permita dar prediagnósticos preventivos de lesiones musculo esqueléticas en futbolistas.

Implementar un test de verificación de prediagnóstico, mediante el uso del software y reportes médicos para evaluar la funcionalidad del sistema.

1.4. Alcance

El objetivo de este proyecto es realizar un algoritmo de visión artificial en Matlab mediante el procesamiento de imágenes obtenidas de una cámara termográfica. El deportista se situará frente a un mecanismo, el mismo que hará un barrido de la cámara posteriormente se presenta la ubicación de la posible lesión en una interfaz gráfica desarrollada en el GUI de Matlab donde se identificará la lesión en el deportista, dando un diagnóstico oportuno y temprano, previniendo complicaciones a futuro.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

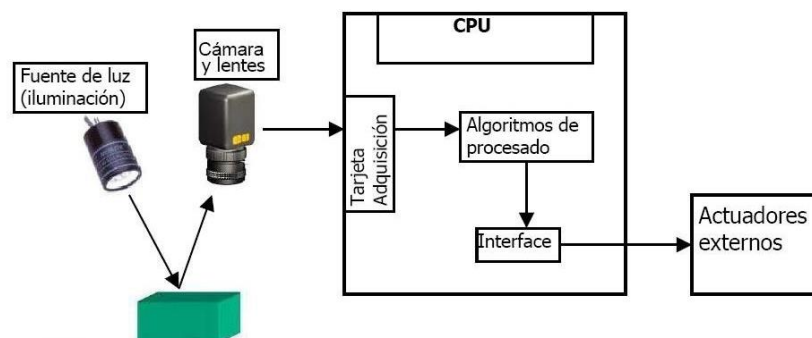
2.1. Visión artificial

Un sistema de visión artificial se compone de la adquisición y procesamiento de las imágenes. El primer componente se basa en el sistema de iluminación, captación de la imagen y la recepción de la señal en el computador. (Sossa, 2016)

Una vez que se adquiere la señal en el computador, es acondicionada posteriormente es procesada mediante algoritmos, los mismos que convierten la señal en información de alto nivel. Realizado el proceso antes mencionado es posible mostrar la imagen, los componentes físicos de un sistema de visión artificial se muestran en la Figura 2.1. (Carlos, 2015)

El subsistema de iluminación está compuesto por los dispositivos que permiten ingresar fuentes de iluminación externa o interna, entre los principales ejemplos se tiene: lámparas, láseres, filtros de luz, láseres entre otros. El subsistema de captación se basa en los sensores que transforman la radiación luminosa que se refleja en señales eléctricas. En el subsistema de adquisición la señal eléctrica generada por la cámara térmica se transforma en imagen de vídeo. Por último, en el subsistema de procesamiento el computador transforma la imagen digital en información de alto nivel. (Sossa, 2016)

Figura 2. 1. Captación de la imagen en un sistema de visión artificial.



Estructura de un Sistema de Visión Artificial, (Carlos, 2015)

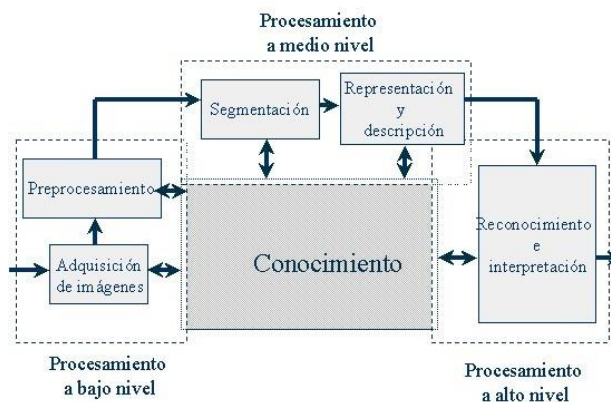
2.1.1. Etapas de un sistema de visión Artificial

En un sistema de visión artificial se intercambia información de tres niveles distintos; bajo, medio y alto. Las etapas de adquisición y preprocesamiento componen el nivel bajo, el nivel medio está dado por las etapas de extracción de características relevantes y segmentación de la imagen, finalmente el nivel alto está formado por las etapas de interpretación y reconocimiento de la imagen. (Calle, 2016)

La primera etapa consta de la adquisición de la imagen esta puede ser mediante video o fotografía, el objetivo más relevante de esta etapa es adquirir la mayor cantidad de características de los objetos (formas, texturas, colores, sombras). (Carlos, 2015)

La segunda etapa es de preprocesamiento, en donde se tiene como principal objetivo mejorar la calidad de la imagen ya sea con filtros digitales o con algún tipo de algoritmo, como se aprecian en la Figura 2.2. (Calle, 2016)

Figura 2. 2. Etapas de un sistema de visión artificial.



Etapas de un sistema de visión artificial, (Carlos, 2015)

La tercera etapa se compone de la segmentación de la imagen en donde se divide la imagen en regiones de interés. La cuarta etapa está dada representación y descripción de la imagen en la cual se adquieren las características más relevantes como por el área, perímetros, centro entre otras. Se pueden extraer características relacionadas con la textura y color del objeto. (Calle, 2016)

En la etapa final se usa un algoritmo de reconstrucción e interpretación para diferenciar a la imagen, esta ingresa a la base de conocimiento para su posterior uso en los algoritmos de procesamiento digital de imágenes. (Sossa, 2016)

2.2. Cámaras termográficas

Son dispositivos electrónicos que permiten visualizar la radiación infrarroja emitida por el cuerpo humano. Esta radiación no es percibida por el ojo humano ya que su espectro electromagnético se sitúa entre la luz visible y la radiación de microondas, teniendo una longitud de onda en un rango de 0,7 a 1000 micras. Las cámaras infrarrojas trabajan en un rango de temperatura de -40 a 330 grados centígrados es decir entre 8 a 14 micras. (Seek Thermal, 2015)

El principio de funcionamiento de una cámara térmica se basa en un sensor térmico llamado micro bolómetro el cual percibe la radiación infrarroja haciendo que se calienta y cambia su resistencia eléctrica. Al momento de medir el cambio en la resistencia se iguala a una temperatura específica, asignándole un color para cada temperatura formando así una imagen de distintas tonalidades como se aprecia en la Figura 2.3. (Polit et al., 2016)

Figura 2. 3. Funcionamiento de una cámara termográfica.



Espectro térmico de una cámara termográfica. (“Universidad Pública de Navarra,” 2014)

2.3. Temperatura corporal

En la mayor parte del cuerpo humano su temperatura está regulada por diferentes tipos de mecanismos nerviosos retroalimentados y coordinados, esto se desarrolla mediante reguladores situados en el hipotálamo (Álvarez, 2017.).

El sistema termorregulador tiene como función recibir la información de los receptores térmicos, estos están ubicados en vasos, vísceras abdominales, médula espinal y de la sangre que recorre el cuerpo humano. El hipotálamo anterior es el que se encarga en asociar los mecanismos de pérdidas de calor, mientras que el hipotálamo posterior es el que tiene su mecanismo para producir calor (Peña, 2015).

La temperatura central del cuerpo humano permanece constante, ya sea, al exponerse a temperaturas tan bajas como 13°C o altas como 54°C en aire seco, esto cambia cuando la persona realiza cierto nivel de ejercicio en diferentes temperaturas ambientales, exponiendo al cuerpo a variaciones de temperatura para obtener un equilibrio (“Universidad Pública de Navarra,” 2014).

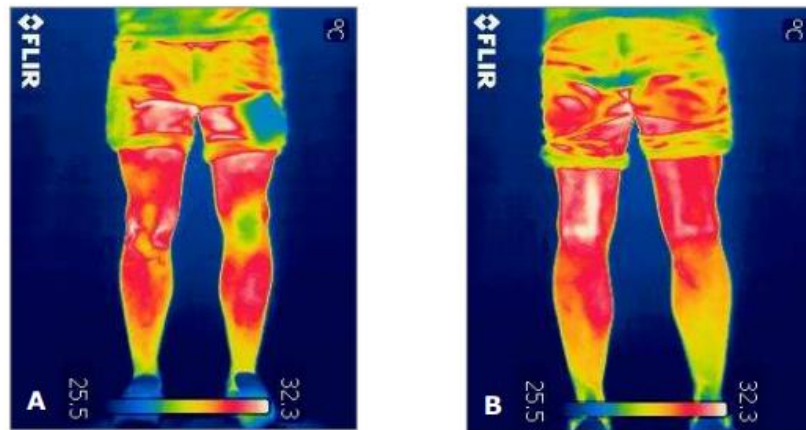
2.4. Fisiopatología de las lesiones musculoesqueléticas

Cuando existe algún tipo de daño en los tejidos de articulaciones, ocurridos por lesiones, el cuerpo humano tiene como reacción rápida realizar una serie de acciones fisiológicas con el fin de reparar los tejidos afectados (Daissy Carola Toloza Cano, 2017).

Como primera respuesta al ocurrir un traumatismo o lesión es la inflamación, como siguientes síntomas se tiene el enrojecimiento en la piel del área afectada, dolor y un aumento local de temperatura, esto ocurre por la disminución del flujo sanguíneo en la lesión afectada (vasoconstricción), para después aumentar de manera rápida en los espacios existentes entre las células dañadas (vasodilatación).

Las acciones musculares de contracción y relajación, es otro de los factores considerables para el incremento térmico en el sector de la lesión, así se puede observar mediante cámaras térmicas, ya que, las lesiones agudas son identificadas por tener un aumento de temperatura en el área afectada generado por la inflamación en un estadio temprano. En la Figura 2.4, se muestra un ejemplo de lesión en la rodilla derecha, observando su aumento de temperatura (Castro, 2015).

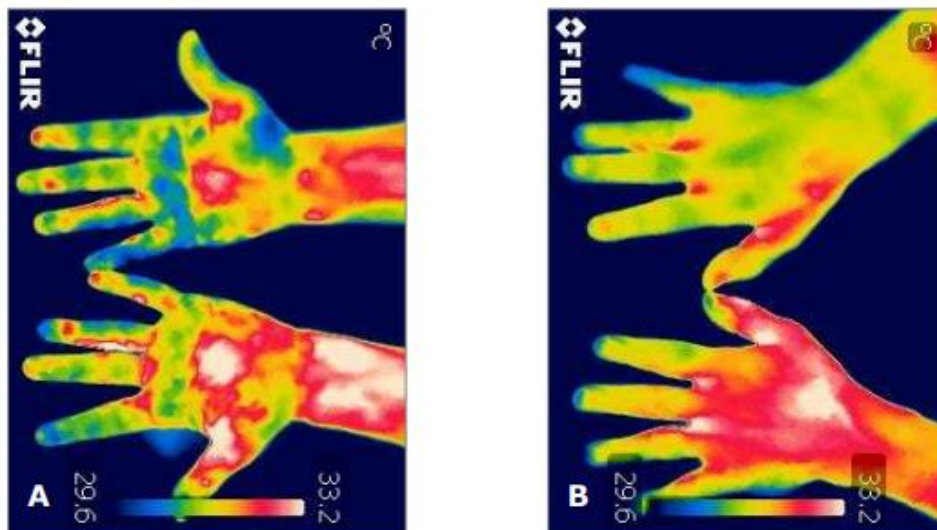
Figura 2. 4: Imagen tomada por cámara térmica infrarroja.



Lesión aguda en rodilla derecha. A cara frontal. B cara posterior. (“Universidad Pública de Navarra,” 2014)

En lesiones crónicas y cicatrices, se puede apreciar por tener cierto grado de hipotermia en el área afectada, es decir, disminución de temperatura ocurrido por generar una contracción muscular y ocurriendo perdida de calor en el cuerpo. En la Figura 2.5 se muestra una lesión crónica en mano derecha. (Belmonte, 2015)

Figura 2. 5: Imagen obtenida por cámara térmica infrarroja



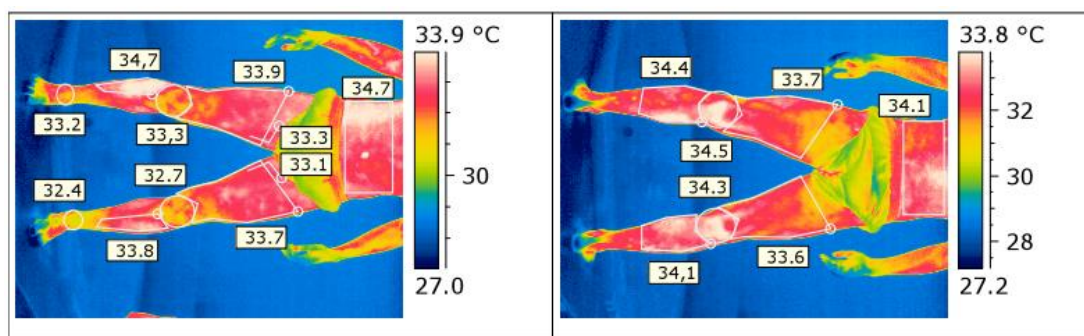
Lesión crónica en mano derecha, tendinitis de los músculos. A cara palmar. B cara dorsal. (“Universidad Pública de Navarra,” 2014)

Teniendo en cuenta que, si la temperatura obtenida es mayor 0,5°C es posible obtener una existencia de una patología.

Una investigación realizada en el equipo de Toledo, perteneciente a categoría de tercera división, indica que se está utilizando una cámara termográfica (ThermaCAM SC640 FLIR SYSTEMS), con el fin de tener una prevención, diagnóstico y seguimiento de lesiones, así con llevar a una reducción lesional en el fútbol profesional (FLIR Systems, 2017).

Esta investigación consistió en realizar dos fotografías a los jugadores, de cara posterior, anterior de los miembros inferiores y zona abdominal, lumbar, realizada antes del entrenamiento. Estas fotografías fueron tratadas en el software “ThermaCAM Reporter”, determinando cada temperatura de las zonas musculares y articulares como se muestra en la Figura 2.6 (García, 2015).

Figura 2. 6: Fotografía termográfica tomada por uno de los jugadores.



Fotografía termográfica de la cara frontal y posterior del miembro inferior de un jugador, con sus respectivas temperaturas.(FLIR Systems, 2017)

Diferenciando a cada color como un estimado de valoración de las molestias que podría tener, ya sea en el musculo o articulación, como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1: Tabla de valoración para cada zona corporal.

Nada de dolor		Poco dolor		Algo de dolor		Bastante dolor		Mucho dolor		Lesión
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L

Tabla de valoración de sus zonas corporales.(Castro, 2015)

Estos datos fueron comprobados con los jugadores, para observar, si es cierto que se puede cuantificar la cantidad de dolor usando las cámaras termográficas, preguntando

a los jugadores que mientras más temperatura obtenga en cierta región existirá más dolor (Futbol Club Barcelona, 2015).

2.5. Termografía Infrarroja

La termografía infrarroja se basa en la visualización y cuantificación, en los cambios de la superficie, convirtiendo la radiación infrarroja que choca con la piel emitiendo impulsos eléctricos llamados termogramas, se lo realiza de forma no invasiva para el ser humano. (García, 2015)

2.5.1. Aplicaciones de la Termografía Infrarroja

La tecnología infrarroja hoy en día es utilizada en varios campos de investigación, ya que pueden ser aplicadas para cualquier problema, en donde se plante variaciones de temperatura, en la Tabla 2.2, se muestra algunas de las aplicaciones en diferentes campos profesionales.

Tabla 2. 2: Tabla de aplicaciones de la termografía infrarroja.

Aplicaciones	
Edificios	Grietas en paredes, humedad, techos.
Componentes/procesos	Eficiencia del sistema de frenado de automóviles, inspección de puntos de soldadura. Degradación del EPROM
Detección de defectos y caracterización	Corrosión de metales, defectos en los adhesivos.
Mantenimiento	Ventiladores y compresores, transformadores, revestimientos, instalaciones eléctricas.
Medicina/ Veterinaria	Enfermedades coronarias, lesiones, tumores de mama. Reumatología, enfermedades neuromusculares, varices.
Propiedades	Espesor capa de cerámica, medición de conductividad térmica CFRP, fuerzas adherentes.
Servicio Público	Detección de incendios forestales, seguimiento de tráfico, detección de objetos militares.

Tabla de aplicaciones de la termografía. (“Universidad Pública de Navarra,” 2014)

2.6. Factores que influyen en la evaluación termográfica del cuerpo humano

Una imagen termográfica tiene muchos factores externos o internos que pueden afectar la interpretación de la misma, es decir, en su resultado final, entre esos factores existen diferentes grupos que influyen en su evaluación (FLIR Systems, 2017).

2.6.1. Factores naturales

Estos factores se encuentran en el entorno de forma natural, estos son propios de los objetos o seres que aparecen. Un ejemplo es que los cuerpos están expuestos por radiaciones emitidas, en este caso no todos los objetos tienen la misma capacidad de captación de la radiación infrarroja, ya sea por su reflectividad o transmitividad.

Otra variable que se encuentra dentro de los factores naturales es las variables atmosféricas, ya que estas son muy influyentes en la exactitud del objeto a evaluar, en esta se deriva la humedad y la temperatura del aire (“Cámaras termográficas para aplicaciones industriales,” 2014).

2.6.2. Factores artificiales

Estos factores afectan de forma considerable los resultados obtenidos afectando a la emisividad del cuerpo, pero se pueden controlar de forma sencilla. Se denominan variables de ingesta en los casos de consumir alcohol, nicotina o medicamentos, ya que estos casos pueden producir un cambio el flujo sanguíneo, en la temperatura del cuerpo o emisividad de la radiación infrarroja (Guerrero-Robles et al., 2015).

Otras variables son de aplicación cutánea, estas son las que mayormente influyen en la captación que emite la piel, entre estos están los cosméticos, cremas o geles, la exposición a rayos solares también alteran en la medición de temperaturas del cuerpo (Guerrero-Robles et al., 2015).

La incidencia principal de estos factores se enfoca en el cambio de temperatura de la persona evaluada y puede influir en los resultados. Este cambio suele durar entre las 4 y 6 horas, es por esta razón que es prioritario conocer si el paciente que está siendo analizado está influenciado por este tipo de variables (“Universidad Pública de Navarra,” 2014).

2.7. Lesiones musculoesqueléticas frecuentes en futbolistas

En estos últimos 10 años el número de lesiones que se producen en prácticas deportivas ha aumentado por diferentes factores, ya sea por las exigencias físicas y comerciales que hoy en día envuelve el deporte profesional. La mayoría de lesiones son producidas por el contacto físico que existen en el deporte como el fútbol y tan solo un mínimo de porcentaje se ocurre lesiones por actividades repetitivas en la rutina del ejercicio. Entre los tipos se observa en la Tabla 2.3 (Roberto Barcala Furelos, 2015).

Tabla 2. 3: Tabla de tipo de lesiones más comunes provocadas en futbolistas.

Tipos de lesiones	Descripción
Desgarros del ligamento cruzado anterior y del ligamento lateral interno (rodilla)	Ruptura o estiramiento excesivos del ligamento, esta ruptura puede ser completa o parcial.
Lesiones meniscales	Ruptura longitudinal del cuerpo meniscal.
Luxación/separación del hombro	Desplazamiento o separación del hombro de su posición habitual.
Esguince de tobillo	Desgarro de los ligamentos del tobillo.
Traumatismo	Lesión causada al realizar acción brusca, puede ser un golpe fuerte.
Lesiones articulares	Este tipo es causado por consecuencia de un traumatismo o cuando la articulación sobrepasa el nivel natural de movimiento.
Fracturas	Esto ocurre cuando el hueso interrumpe la continuidad del tejido óseo.

Tabla de fracturas más comunes de los futbolistas. (Roberto Barcala Furelos, 2015)

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Introducción

El sistema de diagnóstico termográfico preventivo para lesiones músculo esqueléticas consta de un algoritmo, el cual, tiene una etapa de adquisición de la imagen térmica del futbolista, en donde, la cámara que registrará la fotografía será móvil para obtener una mejor apreciación de cada una de sus partes del cuerpo humano, esta figura será mostrada en una interfaz de Matlab para posteriormente ser segmentada y procesada. Se obtendrá una respuesta del sistema dependiendo de una tonalidad de color entre azul, rojo, amarillo y verde para encontrar la posible lesión del jugador, realizando una comparación entre estos colores. En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema, detallando cada proceso.

Figura 3. 1. Diagrama de bloques del sistema.

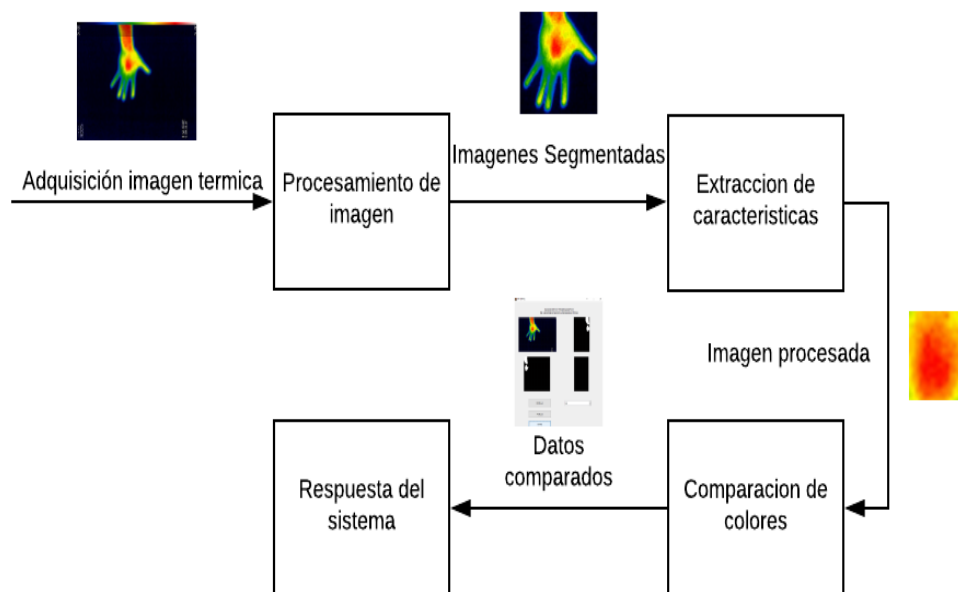


Diagrama de bloques del sistema, mostrando el proceso de funcionamiento. Elaborado por Patricio Naranjo


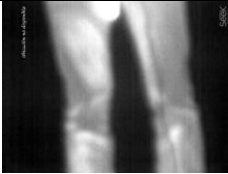

Cada una de las etapas tendrá su propio algoritmo de programación, para tener el correcto funcionamiento del sistema y su respuesta para detectar posibles lesiones. En donde la etapa de adquisición de imágenes se la realizará mediante una cámara

termográfica móvil, moviendo la misma mediante un riel ubicado al frente de la persona y obtener la parte del cuerpo según la altura que tenga el jugador, esta fotografía será guardada en una nube Google Drive, donde desde Matlab se realiza lectura. La siguiente etapa será procesar la imagen, para mejorar la calidad de lectura, es decir, quitar ruido y segmentar, obteniendo una mejor apreciación de la fotografía.

Teniendo una imagen procesada, se realiza la extracción de características para obtener valores numéricos de la tonalidad de color de la Tabla 3.1, para después realizar una comparación de estos valores y tener una posible respuesta de lesión en el jugador, mostrando esto en una interfaz gráfica realizada en Matlab.

Entre las partes del cuerpo que se tiene como diagnóstico, se enfocó en: Hombro, rodilla y tobillo. Observando en la Tabla 3.1 como se presenta desde la cámara estos sectores de las personas diagnosticadas.

Tabla 3. 1. Imágenes de las partes del cuerpo.

Imagen parte del cuerpo	Nombre
	Hombros
	Rodillas
	Tobillos

Partes del cuerpo a diagnosticar. Elaborado por Patricio Naranjo

3.2. Comunicación serial entre Matlab y Arduino

Para poder tener un manejo de la cámara termográfica y su desplazamiento, se desarrolló una comunicación serial. Usando Matlab envía el dato de la altura del

paciente para este enviar hacia el dispositivo Arduino y así su desplazamiento hacia la altura indicada, para tomar la imagen térmica. En la Figura 3.2, se observa el diagrama de flujo de este proceso.

Figura 3. 2. Diagrama de flujo comunicación serial.

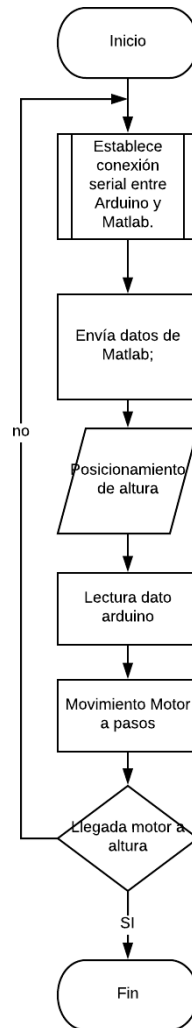


Diagrama de flujo comunicación entre Arduino y Matlab.Elaborado por Patricio Naranjo

En Matlab para obtener una conexión entre Matlab y Arduino, el primer paso es establecer comunicación con el mismo puerto COM3 que tenga la tarjeta, la velocidad de transmisión seteada a 9600, teniendo esto se puede enviar el dato de altura, en la Figura 3.3, se observa la configuración en Matlab.

Figura 3. 3. Configuración para comunicación serial en Matlab.

```
com='COM5';%asignar COM5 a variable com
global puerto_serial%Variable global
global conexion;%Variable global
conexion=1;%asignar valor de 1
%Inicializo el puerto serial que utilizaré
delete(instrfind({'Port'},{com}));
puerto_serial=serial(com);%encontrar puerto serial
puerto_serial.BaudRate=9600;%asignar velocidad de transmisión
%control de errores
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');
fopen(puerto_serial);%Abro el puerto serial
```

Código para establecer conexión serial en Matlab.

En Arduino, para recibir el dato de altura enviada desde Matlab, hay que abrir el puerto serie, teniendo esto cuando exista un dato de llegada se compara, para poder realizar el movimiento del motor. En la Figura 3.4, se observa el código de la configuración del puerto.

Figura 3. 4. Configuración de puerto serie en Arduino.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  if(Serial.available()>0){
    delay(100);
    recibo = Serial.parseInt();
    estatura = recibo + 149;
    rodillas = estatura * 0.3;
    hombros = estatura * 0.8;

    vtotales = (hombros * 7.6) / 120;
    vr = (rodillas * 2.5) / 45;
  }
}
```

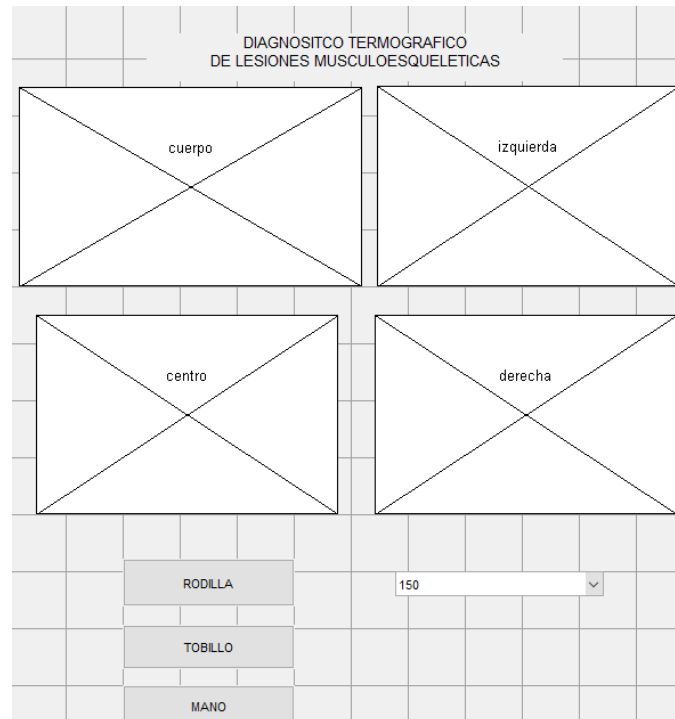
Código para establecer conexión serial en Arduino.

3.3. Diseño de la interfaz de Matlab

El diseño de la interfaz está compuesto para obtener un manejo del diagnóstico termográfico preventivo para las lesiones músculos esqueléticos, teniendo cuatro ventanas, en las cuales la primera ventana se tendrá la imagen original de captura y en las siguientes tres, se mostrará sus fotografías recortadas. Para tener una mejor precisión de encontrar la posible lesión, se colocarán botones para tomar imágenes de

sus diferentes partes del cuerpo del jugador y un textbox con la diferente altura que tendrá el futbolista promedio. En la Figura 3.5 se muestra el diseño de esta interfaz gráfica realizada en el Guide de Matlab.

Figura 3. 5. Diseño de interfaz gráfica en guide de Matlab.



Esquema de la interfaz en Matlab.

Cada uno de sus elementos tiene su evento para el correcto funcionamiento del mismo, en donde, en esta interfaz se implementará cada uno de los algoritmos, es decir, su etapa de adquisición de imágenes termográficas, procesamiento de la imagen, extracción de características mediante su color y su respuesta final que será una comparación de tonalidades, mostrada en la interfaz para el tratamiento.

3.4. Posicionamiento de la cámara

La interfaz realizada en Matlab permite posicionar la cámara en la extremidad donde se desea hacer el análisis de la lesión, para lo cual es necesario insertar la altura de la persona y elegir la parte del cuerpo que se desea examinar. Estos parámetros serán enviados mediante una conexión serial a un controlador en este caso Arduino en donde se hará una correlación entre la altura de la persona y el giro del eje del motor.

Según la altura de la persona variara el número de giros del motor haciendo que el riel donde se encuentra empotada la cámara se desplace situándose al frente de la extremidad que presenta la lesión como se muestra en la figura 3.4. El procedimiento realizado se describe en el diagrama de flujo de la Figura 3.6.

Figura 3. 6. Diagrama de flujo para el posicionamiento de la cámara.

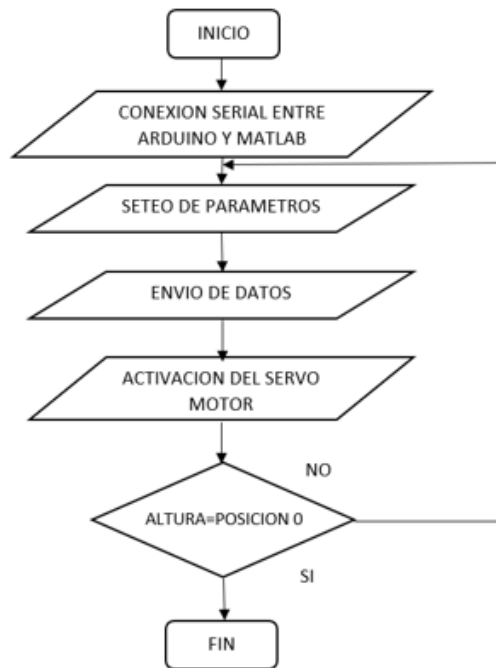
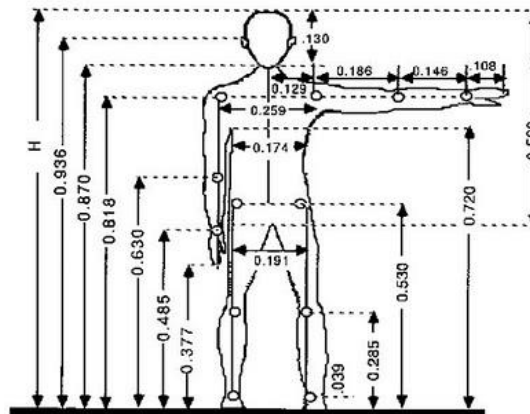


Diagrama de flujo para el posicionamiento de la cámara. Elaborado por Patricio Naranjo.

En la Figura 3.7 se observan las longitudes de las principales articulaciones del cuerpo humano, estos valores se multiplican por el dato referente a la altura que previamente ingresa en la GUI de Matlab, las regiones que se evaluarán son las siguientes: Tobillos, rodillas y hombros. Como posibles resultados posteriores al análisis de las imágenes se tienen: Luxación o esguince de tobillo, rodilla y hombro. Debido a que se trata de un diagnóstico preventivo de lesiones no se detallará de manera más profunda la dolencia del deportista limitando así el resultado a estas seis opciones citadas anteriormente.

Figura 3. 7. Longitudes de las articulaciones del cuerpo humano.



Longitudes de las principales articulaciones presentes en el cuerpo humano.(FLIR Systems, 2011)

3.5. Procesamiento de imágenes térmicas en Matlab

Una vez determinado el punto donde se efectuará el diagnóstico se procede a adquirir la imagen mediante la cámara térmica obteniendo una resolución de 1920x1090 píxeles, la misma que se almacenará en la dirección por defecto donde se encuentra creado el proyecto. Para el procesamiento digital de la imagen se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 3.8.

Figura 3. 8. Diagrama de flujo del procesamiento digital de la imagen.

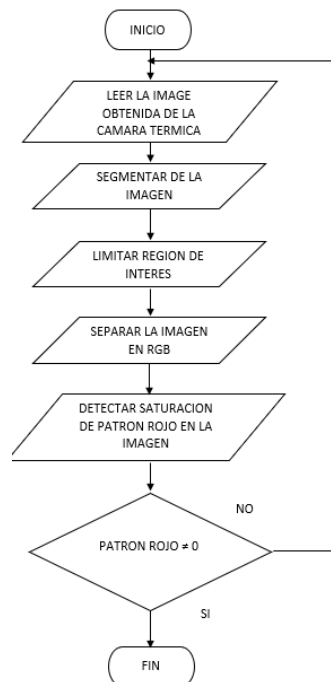
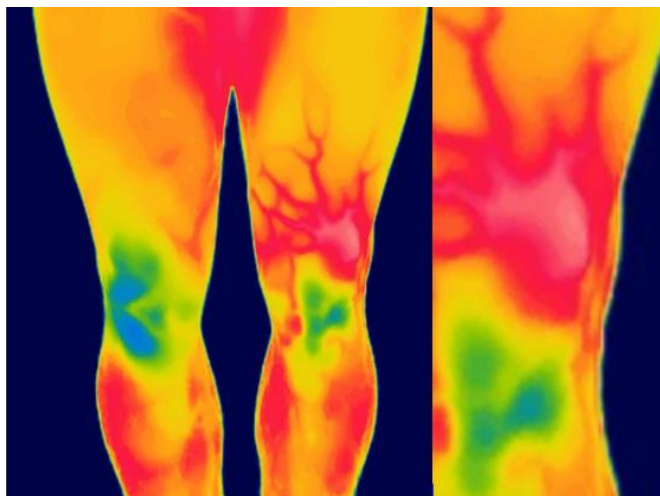


Diagrama de flujo del procesamiento digital de la imagen realizado en Matlab. Elaborado por Patricio Naranjo.

Se procede a segmentar la imagen en tres regiones para determinar la localización de la lesión es decir si esta se efectúa en los laterales o en la parte central de la articulación, para lo cual se utiliza el comando `imcrop`, el cual permite recortar la imagen en una región de interés específica. Debido a que el diagnóstico se basa en localizar la región de mayor temperatura es necesario eliminar el entorno donde no se registren lecturas de calor para lo cual nuevamente se utiliza el comando `imcrop`, el código en detalle se muestra en el Anexo 1.

Localizada la región de interés de la imagen se procede a analizar el lugar en donde se encuentra la mayor concentración de calor representada por el color rojo, posterior al procedimiento se separa la imagen en RGB (Rojo, Verde, Azul) para realizar una comparación entre las tres imágenes ya antes segmentadas. El resultado de esta comparación determinará la posición de la lesión del deportista. Como se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3. 9. Procesamiento digital de la imagen localización de la lesión.



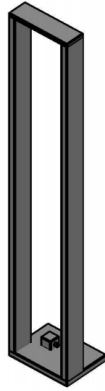
Segmentación y localización de la lesión en Matlab. Elaborado por: Patricio Naranjo

3.6. Diseño de prototipo para tomas de fotografías

El prototipo para poder tomar la imagen termográfica se desarrolló para que la cámara tenga un movimiento vertical, de abajo hacia arriba, este desplazamiento será guiado bajo rieles y con una estructura de madera que guiaran al dispositivo, teniendo una altura máxima de posible paciente de 2.20m, para poder fotografiar las tres zonas que serán diagnosticadas en un futbolista, teniendo como regiones analizadas: Tobillos,

rodillas y hombros. En la Figura 3.10, se observa el plano realizado en AutoCAD con las medidas que se ajustan a una persona, ubicando al paciente a 2m de distancia desde el punto de fotografía al futbolista.

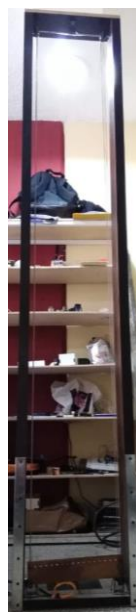
Figura 3. 10.Diseño en AutoCAD del prototipo para tomas de fotografías.



Medidas exactas del prototipo para tomas de fotografías. Elaborado por Paúl Vásquez

Es necesario tener claro el máximo alcance de la cámara termográfica para poder ubicar al paciente al frente de la misma y tener fotografías más evidentes para su posterior análisis de cada una de las localizaciones, de igual manera la ubicación de la cámara tiene que estar en centro de la base para el celular Android. Observando en la Figura 3.11 la implementación del diseño en físico.

Figura 3. 11.Implementación diseño de estructura.



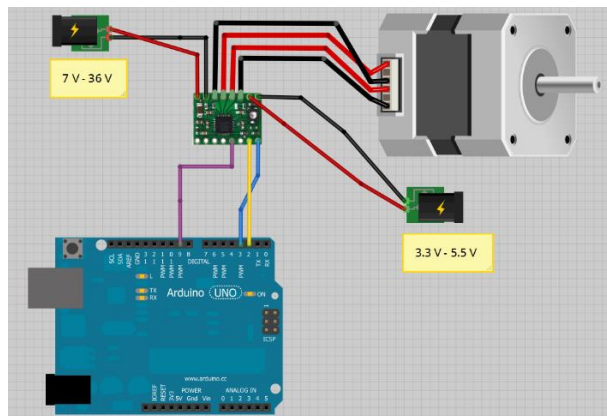
Diseño de estructura. Elaborado por: Paul Vásquez

3.6.1. Hardware implementado

- Motor a pasos

Para poder realizar el movimiento del soporte para la toma de fotografías, se implementó este proceso con un motor a pasos Nema 23, el cual su máximo peso que alcanza es de 10kg y permite la facilidad al desplazamiento, a su vez el control desde Arduino se lo realiza mediante el número de pasos que el motor realizará con un driver A4988 para poder realizar el movimiento. En la Figura 3.12 se observa el diagrama de conexión entre Arduino y el motor con su respectivo driver.

Figura 3. 12.Diagrama de conexión motor a paso Nema 23.



Conexión entre Arduino, driver y motor a pasos. Elaborado por: Paúl Vásquez

Implementando el motor en la base de la estructura, se puede observar en la Figura 3.13, el actuador empotrado con sus ejes para poder realizar el movimiento de arriba hacia debajo de la cámara térmica.

Figura 3. 13. Motor implementado en estructura.



Motor a pasos Nema 23.

- Cámara termográfica

Se utilizó la cámara termográfica Seek Thermal, en donde entrega una imagen térmica entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una distancia de detección máxima de 550 metros, obteniendo un resultado de imagen en la tonalidad de color entre azul que será el valor de temperatura más bajo y rojo como valor de temperatura más alto. En la Figura 3.14 se muestra el dispositivo.

Figura 3. 14. Cámara Seek Thermal.



Imagen tomada por Seek Thermal.

La Figura 3.15, muestra un ejemplo del torso de una persona, observando que en los brazos y cuello tiene mayor temperatura, ya que está dispuesto de color rojo, al contrario, el torso se tiene un color azul y verde, sabiendo con esto que el torso tiene una temperatura poco elevada.

Figura 3. 15. Imagen térmica hombros de una persona.

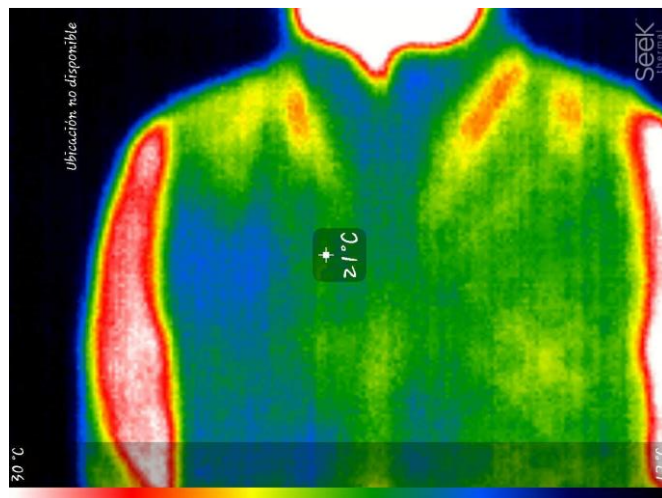
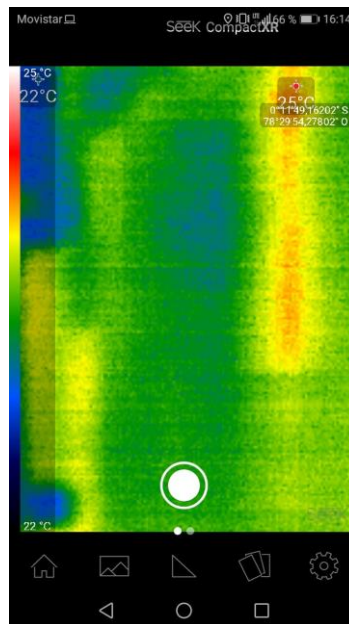


Imagen tomada por Seek Thermal. Elaborado por Paúl Vásquez

- Celular Android

Será el dispositivo para poder interactuar con la cámara térmica, ya que este sensor tiene como disponibilidad una aplicación en Android, IOS o Nokia, para poder utilizar las funciones de esta cámara, la cámara es ubicada en el pin de carga del celular, la aplicación tiene el nombre del sensor y su interfaz gráfica se muestra en la Figura 3.16, observando las opciones que tiene para el manejo de esta cámara.

Figura 3. 16. Diseño interfaz de la aplicación en Android.



Interfaz Seek Thermal. Elaborado por Paúl Vásquez

La implementación de celular con Seek Thermal, será ubicado en el soporte de movimiento. En la Figura 3.17, se observa el sector de toma de fotografías.

Figura 3. 17. Soporte celular y cámara térmica.



Implementación celular y cámara. Elaborado por Paúl Vásquez

3.7. Diagrama general del sistema

En el sistema se basa en la interacción de los softwares Arduino para la adquisición de la imagen y Matlab para el procesamiento de la misma. Una vez que se configuran los parámetros de altura y área a examinar se envían los datos mediante comunicación serial al controlador en el cual dependiendo del área escogida se hace una correlación para determinar el número de giros del motor, consiguiendo que el riel se desplace situando la cámara frente a la articulación. Al ubicarse frontalmente a región de la lesión la cámara automáticamente tomará una foto la cual será enviada mediante transmisión bluetooth al computador, las imágenes por defecto se almacenarán en la ruta donde se creó el proyecto una vez que este proceso termina el sistema vuelve a su estado inicial.

Las imágenes serán leídas por el programa en donde se aplica un algoritmo de procesamiento digital en cual consiste en depurar, recortar y limitar la región de interés, posteriormente se busca el patrón rojo quien es el indicador de la posible lesión. Si dicho color está presente el programa automáticamente procede a dar el respectivo diagnostico preventivo al deportista. El diagrama de flujo general del sistema se observa en la Figura 3.18.

Figura 3. 18. Diagrama de flujo general del sistema.

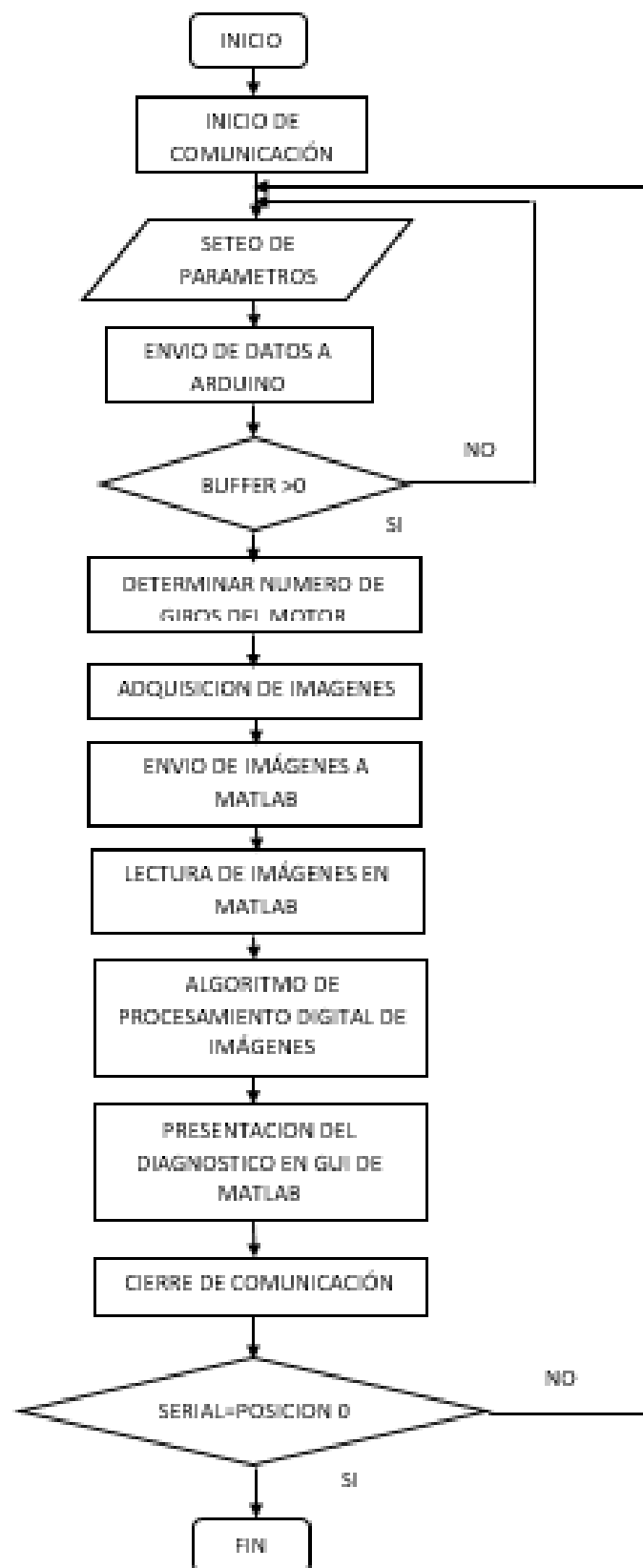


Diagrama de flujo general del sistema. Elaborado por Patricio Naranjo.

CAPÍTULO 4


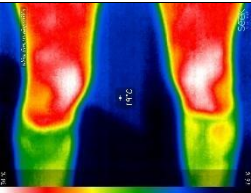

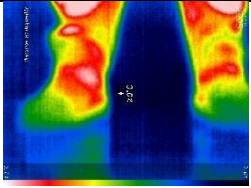
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS


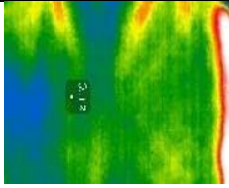



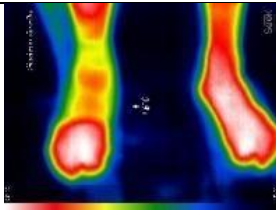
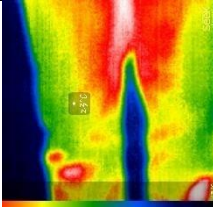

Las pruebas de diagnóstico fueron realizadas en los jugadores del equipo “C.D. Universidad Católica del Ecuador” evidenciando estos resultados de 30 pacientes, obteniendo con esto el diagnóstico preventivo del software desarrollado en este proyecto técnico.

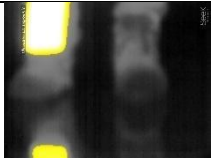
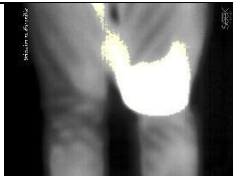

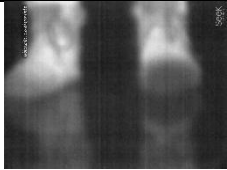
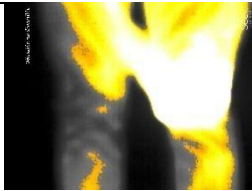

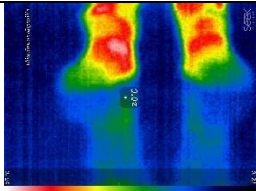
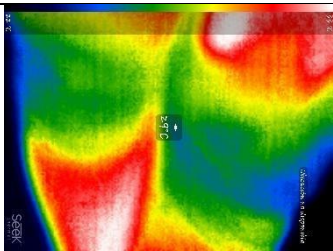
4.1. Diagnóstico de pacientes

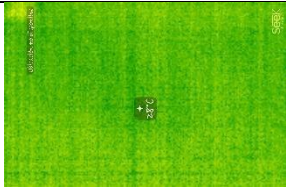

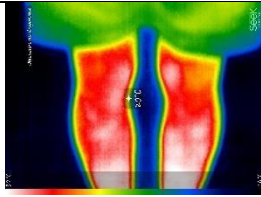
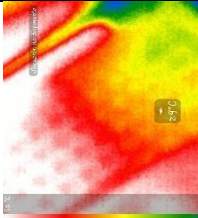
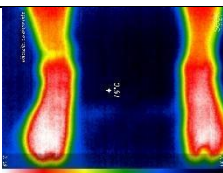
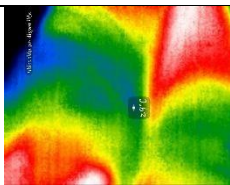

Se tomó imágenes de 30 futbolistas del equipo “C.D Universidad Católica de Quito” en los cuales se aplicó el diagnóstico termográfico preventivo, el producto del mismo se comparó con la evaluación médica a cargo de fisioterapeuta de la institución obteniendo así la precisión del sistema, los resultados se muestran la Tabla 4.1.

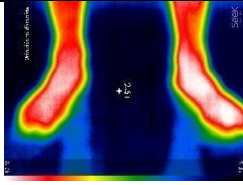
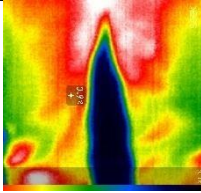

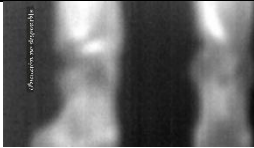
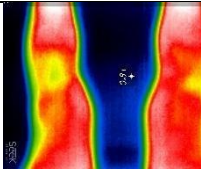

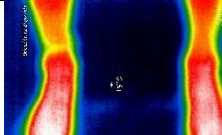
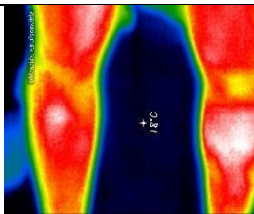
Tabla 4. 1. Imágenes de diagnóstico de 30 futbolistas.

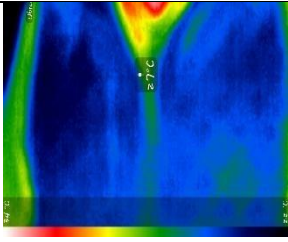

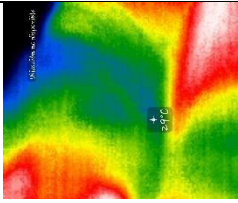
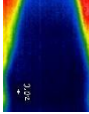
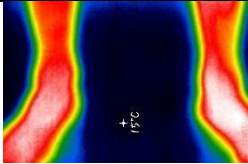
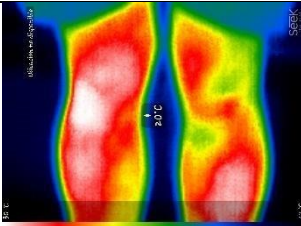
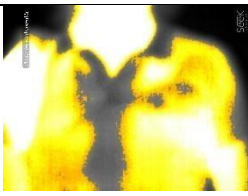
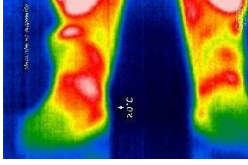
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
Jugador 1	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 2	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión

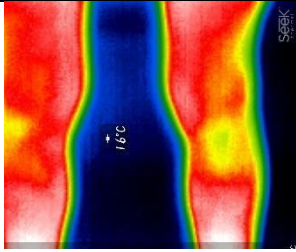
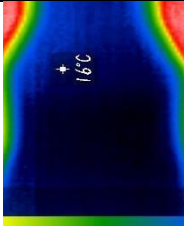
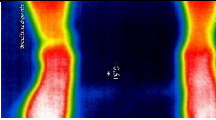


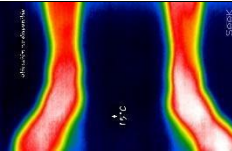
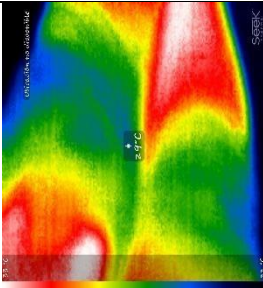
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 3	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 4	Tobillo		Esguince de tobillo	Posible esguince de tobillo
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión

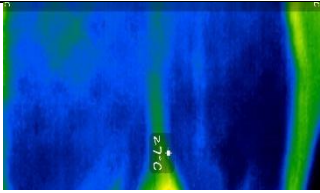
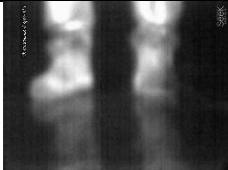
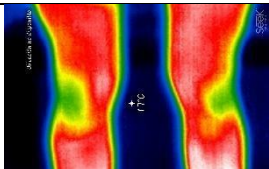

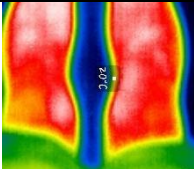
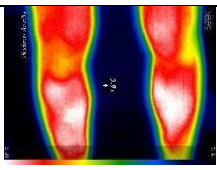

Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
Jugador 5	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 6	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 7	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión

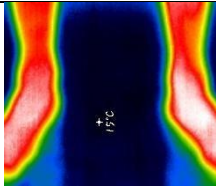
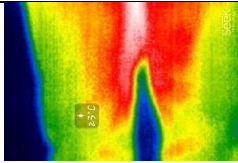
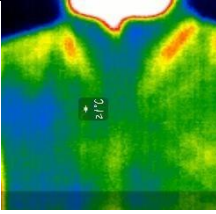
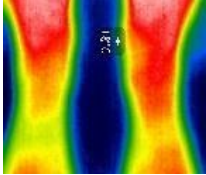
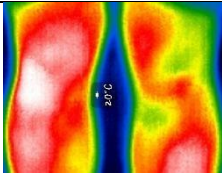

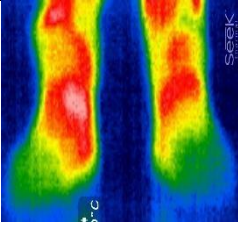
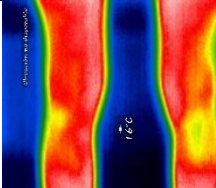
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 8	Tobillo		Esguince de tobillo	Posible esguince de tobillo
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 9	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión

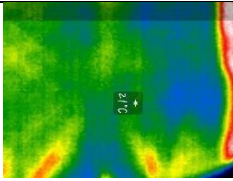

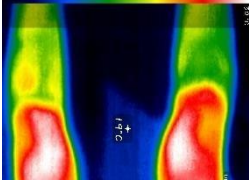
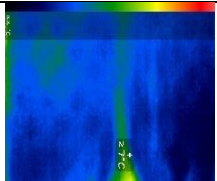
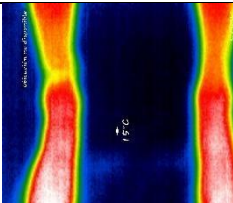
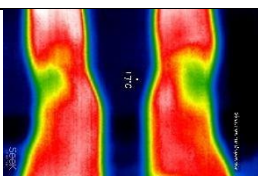
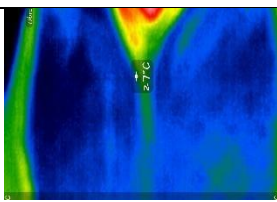
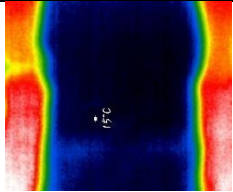
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
Jugador 10	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 11	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 12	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión

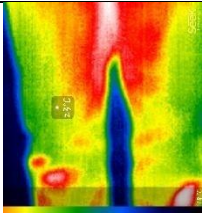

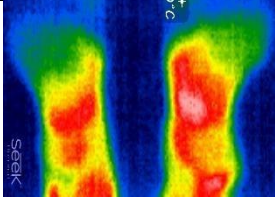
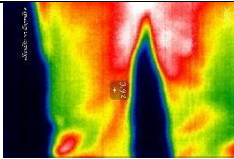

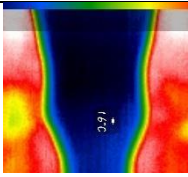

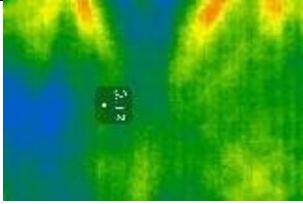
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 13	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 14	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión

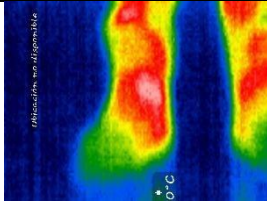
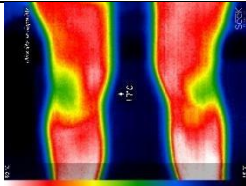
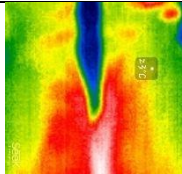
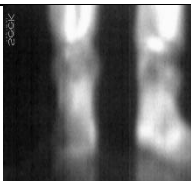


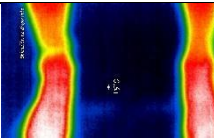
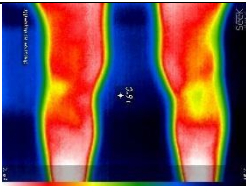
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
Jugador 15	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 16	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	Posible luxación o separación del hombro
Jugador 17	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión

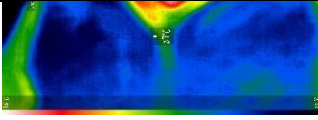
Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 18	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 19	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		Desgarro de rodilla	Posible desgarro del ligamento cruzado anterior, desgarro del ligamento lateral interno o lesión meniscal
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión

Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
Jugador 20	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 21	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 22	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión

Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 23	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 24	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 25	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión

Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 26	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 27	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión

Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
Jugador 28	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 29	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión
Jugador 30	Tobillo		No hay lesión	No hay lesión
	Rodilla		No hay lesión	No hay lesión

Paciente	Localidad de muestra	Imagen Termográfica	Diagnóstico Médico	Diagnóstico termográfico
	Hombro		No hay lesión	No hay lesión

Diagnóstico de 30 futbolistas. Elaborado por Patricio Naranjo

Al realizar las 30 pruebas en diferentes jugadores se puede determinar que el sistema y su funcionamiento tiene un error del 3.33 % en su diagnóstico mediante la ec.2, observando que existen 5 lesiones en los pacientes evaluados y fallando en su diagnóstico una vez, este problema se da a la similitud de colores en ciertos casos.

- **Media Aritmética**

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \cdot 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$x_m = \frac{29}{30} \cdot 100$$

$$x_m = 96.6666\%$$

- **Error Porcentual**

$$E_p = |100 - x_m| \quad \text{Ec. (2)}$$

$$E_p = |100 - 96.66|$$

$$E_p = 3.33\%$$

4.2. Precisión del algoritmo de visión artificial

Para determinar la precisión del algoritmo de visión artificial en el diagnóstico termográfico preventivo para lesiones músculo esqueléticas, se tomaron como referencia las imágenes térmicas de 30 futbolistas mencionadas en la tabla 4.1 en

donde cada fotografía fue sujeta a 3 evaluaciones, marcando con un “SI” el acierto y con un “NO” el diagnostico fallido, los resultados se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4. 2. Repetitividad del algoritmo.

Paciente	Tobillo			Rodilla			Hombro		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Jugador 1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Jugador 2	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 3	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Jugador 4	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
Jugador 5	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 6	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 7	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Jugador 8	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
Jugador 9	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 10	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 11	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 12	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 13	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 14	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 15	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 16	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Jugador 17	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 18	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 19	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 20	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
Jugador 21	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 22	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 23	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 24	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI

Paciente	Tobillo			Rodilla			Hombro		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Jugador 25	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO
Jugador 26	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 27	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
Jugador 28	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 29	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jugador 30	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO

Repetitividad del algoritmo. Elaborado por Patricio Naranjo

Una vez tabulado los resultados mediante la ec.1 se tiene que en el área del tobillo de 90 imágenes se obtienen 4 diagnósticos fallidos obteniendo un desempeño del 94.44%, en el caso de la rodilla se presentaron 2 evaluaciones erróneas consiguiendo un 97.77% finalmente en la articulación del hombro se produjeron 3 errores produciendo un 96.66% de precisión en el algoritmo.

$$x_{tobillo} = \frac{86}{90} \cdot 100$$

$$x_{tobillo} = 94.44\%$$

$$x_{rodilla} = \frac{88}{90} \cdot 100$$

$$x_{rodilla} = 97.77\%$$

$$x_{hombro} = \frac{87}{90} \cdot 100$$

$$x_{hombro} = 96.6666\%$$

Como se puede apreciar en los resultados antes mencionados se presenta un error más elevado en las articulaciones con menos tejido muscular ya sea en el caso de los tobillos y hombro.

4.3. Posicionamiento del sistema

Debido a que el sistema debe posicionarse de manera automática al ingresar la altura del paciente en la interfaz gráfica, tomando como referencia el centro de la extremidad a analizar se realizaron 3 pruebas por cada articulación con el fin de verificar el posicionamiento y la repetitividad del mecanismo, los resultados se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3. Posicionamiento del sistema.

Paciente	Tobillo			Rodilla			Hombro		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Jugador 1	1.3cm	1.1cm	1.4cm	2cm	2cm	1cm	2cm	2.3cm	1cm
Jugador 2	1cm	1.2cm	2cm	2cm	2cm	2cm	1cm	0cm	3cm
Jugador 3	1cm	1cm	1.3cm	3cm	1.4cm	2cm	1cm	1cm	2cm
Jugador 4	1cm	1cm	1cm	1.5cm	2cm	2cm	1cm	2cm	2mm
Jugador 5	1.2cm	1cm	1cm	1.3cm	2cm	1cm	3cm	2.5cm	1cm
Jugador 6	1cm	1cm	1.6cm	1cm	1cm	1cm	2cm	1cm	1cm
Jugador 7	1cm	1cm	0cm	0cm	1cm	1cm	0cm	1cm	0cm
Jugador 8	4cm	2cm	3cm	0cm	0cm	2cm	3.4cm	1cm	1cm
Jugador 9	3cm	0cm	0cm	0cm	2cm	2cm	2cm	2cm	2cm
Jugador 10	0cm	2.5cm	2.1m	0cm	0cm	0cm	2.4cm	1.8cm	3cm
Jugador 11	1cm	2.8cm	3.2m	3.2cm	1cm	0cm	1.8cm	1.3cm	0cm
Jugador 12	0cm	1cm	1cm	0cm	0cm	0cm	1cm	1.1cm	3cm
Jugador 13	2cm	1cm	1cm	0cm	1cm	1cm	1.7m	0cm	0cm
Jugador 14	0cm	0cm	0cm	0cm	1cm	1cm	0.7cm	2cm	2cm
Jugador 15	1cm	1cm	0cm	1cm	3.2cm	0cm	2cm	1cm	3cm

Posicionamiento del sistema. Elaborado por Patricio Naranjo

Como se puede apreciar en la Tabla 4.3 existe una desviación vertical máxima de 3cm respecto al centro de la extremidad, realizando un promedio mediante la ec.1 de 45 muestras se obtiene un promedio de $\pm 1.8\text{cm}$, es decir que el sistema tiene una exactitud de 98% y una repetitividad del 97%. Como se aprecia en los resultados antes

mencionados el sistema presenta un error del 2% el cual no ocasiona que existan fallos en la toma de imágenes en el diagnostico posterior.

$$x_m = \frac{1.3 + 1.1 + 1.4 + 2 + 2 + 2 + 1 + \dots + 3}{135}$$

$$x_m = \pm 1.8 \text{ cm}$$

CONCLUSIONES

Para el diagnóstico preventivo de lesiones musculo-esqueléticas más comunes en futbolistas se utilizó el análisis de imágenes termográficas, mediante las cuales se puede obtener un diagnóstico previo de esguince o luxación en las articulaciones de los deportistas de equipo Universidad Católica del Ecuador ayudando así a los fisioterapeutas de la institución a tener evaluación médica más exacta.

En la investigación del uso de la termografía como pre-diagnóstico de lesiones musculo esqueléticas, se estudió que existe una variación de temperatura en las regiones del cuerpo donde se produjo algún tipo de daño, esto se da porque al ocurrir una lesión el tejido dañado trata de repararlo de forma inmediata produciendo un mayor flujo de sangre en esa área y por consiguiente obtener rangos de temperatura según la gravedad de la lesión, estos datos investigados se implementó en el procesamiento de imágenes de fotografías termográficas para tener un análisis y determinar una lesión en jugadores de fútbol del equipo de la Universidad Católica del Ecuador.

En el desarrollo de la estructura mecánica para la toma de fotografías, se evaluó la movilidad que tendrá la cámara en forma vertical y alcanzar a sus tres posiciones deseadas, teniendo en cuenta la precisión del motor a pasos, se obtuvo un error de $\pm 2\%$ en el ajuste de posicionamiento de la cámara a la articulación que se diagnostica, teniendo el límite para jugadores de 2.20m de altura y con esto determinando una validación al sistema de pre-diagnóstico de lesiones musculo esqueléticas.

Al realizar las pruebas de funcionamiento con la cámara termográfica Seek Thermal, observando en los datos técnicos del dispositivo un rango de medición entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ y trabajando desde 8 a 14 micras en la escala de espectro electromagnético, se determinó mediante la ec.1 que el sensor tiene una precisión del 96.67%, ya que al realizar treinta evaluaciones en distintos jugadores en tres partes del cuerpo se obtuvo mediante la ec.2 un error del 3.33%, en donde las equivocaciones al momento de dar un diagnóstico se da por la precisión del dispositivo.

Al momento de implementar el algoritmo de procesamiento de imagen en Matlab para determinar la existencia de lesión, se observó una limitación al momento del muestreo de valores para reconocer los colores básicos, por esta razón se tomó un intervalo máximo que el procesador de la computadora pueda evaluar, obteniendo un resultado favorable en el diagnóstico de lesiones a jugadores de futbol de la Universidad Católica.

Al implementar el test de verificación del pre-diagnostico vía software para la obtención de reportes médicos, se determinó que el sistema mediante la ec.1 muestra una exactitud del 97% tomando como referencia las evaluaciones medicas previamente realizadas por el fisioterapeuta de la institución Universidad Católica de Quito razón por la cual se considera que el sistema se podría implementar en instituciones con deportistas de alto rendimiento.

El algoritmo de visión artificial implementado en este proyecto para el diagnóstico preventivo de lesiones musculares mediante imágenes termográficas, muestra una eficiencia promedio mediante la ec.1 del 97,44% razón por la cual se determinó que es muy exacto en las articulaciones con mayor tejido muscular en este caso la rodilla, el algoritmo decae un poco en articulaciones con menor tejido como es el caso de los tobillos y hombros teniendo un rendimiento del 96.66%.

En el caso del mecanismo para el posicionamiento de la cámara este presenta una desviación vertical mediante la ec.1 de $\pm 1.8\text{cm}$ con respecto al punto de referencia de la articulación a analizar esto se debe a que el sistema se encuentra impulsado por un motor a pasos el cual presenta un gran desempeño ya sé que se puede realizar un control de mismo de manera más exacta, esta desviación al ser mínima no produce errores en la toma de imágenes para el posterior diagnóstico del deportista.

RECOMENDACIONES

Tener una cámara termográfica que trabaje en un mayor rango de medición del espectro electromagnético, para obtener un mejor resultado en diagnósticos de lesiones casi imperceptibles.

Evaluar a los pacientes en un ambiente con iluminación controlada el cual se encuentre en condiciones ambientales normales, ya que existe un menor número de perturbaciones que alteren el procesamiento de la imagen del paciente.

La distancia máxima entre el paciente y la cámara termográfica debe ser de 1m, debido a que la variación de longitud puede provocar un erróneo diagnóstico en los jugadores, este rango de longitud se toma con referencia a los datos técnicos de detección de la cámara.

Es necesario colocar el sistema sobre una superficie plana, nivelada y sin imperfecciones ya que puede provocar una desviación en las imágenes ocasionando errores en el diagnóstico preventivo.

Anterior a la toma de imágenes es necesario medir la altura del paciente ya que el mecanismo se posiciona respecto a la misma, si la altura del deportista no es la correcta existirán errores en las imágenes ya que el sistema no llega al punto de referencia de la extremidad a analizar.

LISTA DE REFERENCIAS

- Calle, Á. S. (2016). *Aplicaciones de la visión artificial y la biometría informática*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Carlos, P. (2015). Apuntes de vision Articial. En P. Carlos, *Apuntes de vision Articial* (págs. 26-29).
- ESTESO, M. P. (10 de Noviembre de 2012). *MATLAB + ARDUINO: SERIAL PORT COMMUNICATION*. Obtenido de <https://geekytheory.com/matlab-arduino-serial-port-communication>
- Flórez, R., & Fernández, J. M. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales*. Coruña: Netbiblo.
- Kofinas, N. (2012). *Forward and Inverse Kinematics*. Atenas-Grecia.
- Madrid, U. C. (2014). *Universidad Carlos III Madrid*. Obtenido de Universidad Carlos III Madrid: http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/conferencia_yokoi
- Martinez, H. (2013). *¿Como desarrollar un proyecto?* México D.F.: Gaviota.
- MathWorks. (2017). *Documentation*. Obtenido de ipcam: <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/ipcamera/ug/ipcam.html#description>
- Navarro, K. (5 de Enero de 2015). *PANAMAHITEK*. Obtenido de Python + Arduino – Comunicación Serial: <http://panamahitek.com/python-arduino-comunicacion-serial/>
- OpenCV. (2015). *OpenCV*. Obtenido de OpenCV: https://docs.opencv.org/trunk/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html
- OpenCV. (2017). *OpenCV*. Obtenido de OpenCV : https://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=moments#moments
- Perez, R. (2015). *Los juegos de robots*. Quito: SALESIANO.
- Pino, R., Gómez, A., & de Abajo, N. (2001). *Introducción a la ingeniería Artificial: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva*. Oviedo: Servicios de Publicaciones Universidad de Oviedo.

- Plantero, C. (2002). *Dpto. Electrónica, Automática e Informática Industrial*. Obtenido de Dpto. Electrónica, Automática e Informática Industrial : <http://www.elai.upm.es/moodle/mod/resource/view.php?id=131>
- Platero, C. (2012). Apuntes de Visión Artificial. En C. Platero, *Carlos Platero* (págs. 11-12).
- Roberto Barcala Furelos, J. J. (15 de Junio de 2015). *AltoRendimiento*. Obtenido de <http://altorendimiento.com/las-lesiones-musculoesqueleticas-en-los-deportes-de-equipo-tratamiento-fisioterapeutico-mediante-vendajes-neuromusculares/>
- Robotics, A. (2016). *Aldebaran*. Obtenido de Aldebaran: http://doc.aldebaran.com/2-1/family/robots/video_robot.html
- Sossa, H. (2016). *Visión artificial : rasgos descriptores para el reconocimiento de objetos*. Mexico : Pearson .
- Álvarez, A. (n.d.). Fisiología De La Termorregulacion, 25.
- Belmonte, D. G. (n.d.). Concepto : lesión deportiva.
- Cámaras termográficas para aplicaciones industriales. (2014).
- Castro, E. (2015). Fisiología Molecular : Contracción muscular Motilidad basada en actina y miosina.
- Daissy Carola Toloza Cano. (2015). Sistema termoregulatorio. *Dalcame*, 4.
- FLIR Systems. (2017). Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable, 68.
- Futbol Club Barcelona, S. M. (2016). Guía de Práctica Clínica de las lesiones musculares. Epidemiología, diagnóstico, tratamiento y prevención. Versión 4.5 (9 de febrero de 2016). *Apunts: Medicina de l'esport*, 44(164), 179–203. [https://doi.org/10.1016/S1886-6581\(09\)70129-X](https://doi.org/10.1016/S1886-6581(09)70129-X)
- García, R. H.-G. (2015). Contributions to the Preprocessing, Processing and Analysis in Infrared Thermography Applied to Non-Destructive Tests (Contribuciones Al Preprocesado, Procesado Y Análisis En Termografía Infrarroja Aplicados A Ensayos No Destructivos), 200.
- Guerrero-Robles, C. I., Lozano-Trenado, L. M., Uscanga-Carmona, M. C., Ramírez-Vilchis, A. N., Silva-Escobedo, J. G., Sánchez-Monroy, V., & González-Díaz, C. A. (2015). Evaluación de termografía tisular diferenciada en mama como

potencial técnica para asistir la detección de cáncer. *Revista Mexicana de Ingenieria Biomedica*, 36(1), 81–91.

Peña, M. (2017). Temperatura. *Universidad de El Salvador*, 1–5.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Polit, U., Val, C. D. E., De, S., El, Q., Mediante, C., & Termograf, C. D. E. (2016). INFRARROJA.

Seek Thermal. (2015). CompactXR. Retrieved from
https://www.thermal.com/uploads/1/0/1/3/101388544/compactxr-sellsheet-usa_web.pdf

Universidad Pública de Navarra. (2014).

