



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ingeniería - Programa de Magister en Ciencias de la Ingeniería con mención
en Ingeniería Eléctrica.

Análisis temporal y espacial de los patrones térmicos del dedo índice utilizando un microscopio infrarrojo



Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería con
mención en Ingeniería Eléctrica

LAURA ANTONIETA VIAFORA REYES
CONCEPCIÓN-CHILE
2018

Profesor Guía: Sergio Torres Inostroza
Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.



© 2018 LAURA ANTONIETA VIAFORA REYES

Resumen

En este trabajo se pretende investigar y analizar las respuestas térmicas de micro-secciones de la almohadilla del dedo índice, junto con el análisis de patrones térmicos morfológicos microscópicos. Se trabaja con una base de datos 30 videos que graban la reacción térmica de las estructuras 10 minutos luego de haber sido sometidos bajo un estrés de frio y calor. Los frame son estudiados de manera temporal y espacial. De manera espacial se identifican estructuras, observación patrones morfológicos, identificación intensidad térmica entre estructuras y medición anchura de propagación térmica por estructura; Por otra parte, en el estudio temporal, se analiza la variación de intensidad térmica a través del tiempo y se asemeja con un análisis ingenieril de race timer.



Agradecimientos

En primer lugar, al programa de este magister por darme la posibilidad de cursarlo, y así poder incrementar tanto mi conocimiento en el área de investigación, como profesional. En especial, quiero agradecer a mi profesor guía Sergio torres, quien me impulso a seguir estudiando, guiando siempre mí camino con su tranquilidad y sabiduría.

A mis compañeros de programa, en especial a quienes el año 2018 estuvieron trabajando en el laboratorio de procesamiento de imágenes y señales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción. Gracias por la acogida y el compañerismo.

A mi familia, quienes son una pieza fundamental en mi vida, dándome cariño y apoyo durante todos estos años, impulsándome siempre a ir mas halla, y seguir mis sueños y anhelos.

A amigos y conocidos, quienes de alguna manera aportaron con esta investigación, tanto en entrega del conocimiento del tema, colaborando en la investigación o dándome algunas palabras de apoyo cuando la necesite.



Tabla de Contenidos

RESUMEN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
ABREVIACIONES	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. TRABAJOS PREVIOS	1
1.2. PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	2
1.4. OBJETIVOS	2
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	3
1.6. ESTRUCTURA DEL INFORME	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE LA PIEL HUMANA	5
2.1.1 <i>Piel Humana</i>	5
2.1.2 <i>Huella Dactilar</i>	8
2.1.3 <i>Termorregulación</i>	10
2.2. TECNOLOGÍA INFRARROJA.....	14
2.2.1 <i>Radiación IR</i>	14
2.2.2 <i>Principios Radiometría</i>	15
2.2.3 <i>Aplicaciones Médicas</i>	16
2.3. PROCESAMIENTO IMÁGENES MÉDICAS IR	16
2.3.1 <i>Métodos</i>	16
2.3.2 <i>Imágenes distorsionadas</i>	17
2.4. TRABAJO PREVIO	18
2.4.1 <i>Identificación de estructuras</i>	18
2.4.2 <i>Patrones Termales</i>	19
2.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	20
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y METODOLOGÍA	22
3.1. BASE DE DATOS	22
3.1.1 <i>Equipamiento y Set-up Experimental</i>	22
3.1.2 <i>Cualidades de la población</i>	23
3.1.3 <i>Procedimiento de adquisición</i>	23
3.2. PROCESAMIENTO DATOS	24
3.2.1 <i>Calibración radiométrica</i>	24
3.2.2 <i>Eliminación Ruido</i>	24
3.3. ANÁLISIS DE DATOS	25
3.3.1 <i>Extracción de formas</i>	25
3.3.2 <i>Análisis termorregulación</i>	25
3.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	26
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	27
4.1. ANÁLISIS ESPACIAL	27
4.1.1 <i>Análisis intensidad por corte micro-termal</i>	27
4.1.2 <i>Medidas de las estructuras</i>	28
4.2. ANÁLISIS TEMPORAL.....	29

4.2.1 *Curva Termorregulación Normalizada*29
4.2.2 *Respuesta termal de Rise-Time*.....31
4.3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES32
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES33
5.1. CONCLUSIONES.....33
5.2. TRABAJO FUTURO.....34
BIBLIOGRAFÍA.....35
ANEXO A. DATASHEET CÁMARA INFRARROJA IRE-320M39
ANEXO B. TEST FOTOTÍPICO DEL DR. T. FITZPATRICK.....40



Lista de Tablas

TABLA 2-1 Clasificación de los fototipos de piel	8
TABLA 2-2 Variación de temperatura según etapa de la vida humana	12
TABLA 3-1 Especificaciones técnicas IRE 320 M	22
TABLA 4-1 Tamaño Estructuras	28



Lista de Figuras

Fig. 2.1 Esquema estructural general de la piel humana.....	7
Fig. 2.2 Esquema y fotografía de la estructural de la yema de los dedos humana.....	9
Fig. 2.3 Esquema del proceso termorregulador de los seres humanos.....	11
Fig. 2.4 Curva de temperatura y ciclo uterino, del ciclo menstrual femenino	12
Fig. 2.5 Curva de temperatura del ciclo circadiano.....	13
Fig. 2.6 Topología general del espectro electromagnético.....	15
Fig. 2.7 Ejemplos imágenes IR con presencia de distorsiones.....	18
Fig. 2.8 Identificación de las estructuras anatómicas de la huella dactilar.	19
Fig. 2.9 Imágenes MWIR representativas de cada patrón térmico.	20
Fig. 3.1 Set up Experimental para la adquisición de datos	23
Fig. 3.2 Esquema de procesamiento de los datos.....	25
Fig. 4.1 Corte transversal de intensidad micro-térmica del patrón "A".	27
Fig. 4.2 Corte transversal de intensidad micro-térmica del patrón "B".	27
Fig. 4.3 Corte transversal de intensidad micro-térmica del patrón "C".	27
Fig. 4.4 TRC del dedo índice después de someterse a un estímulo de frío.....	30
Fig. 4.5 TRCs del dedo índice después de someterse a un estímulo de calor.	31
Fig. 4.6 Rise time de TRCs del dedo índice.....	32



Abreviaciones

Mayúsculas

A/D	: Conversión Análoga – Digital
C.D.	: Cuentas Digitales
CIVD	: Vasodilatación inducida por el frío
DSP	: Densidad por poro (Ridge sweet pore gland)
FWHM	: Anchura de media altura (Full-width-half-maximum)
IFOV	: Punto de enfoque
IR	: Radiación Infrarroja
MWIR	: Banda Infrarrojo Medio
RD	: Densidad por cresta (Ridge Density)
UV	: Radiación Ultravioleta
TRC	: Curva de termorregulación

Minúsculas

mK	: mili kelvin
----	---------------



Capítulo 1. Introducción

La radiación infrarroja corresponde a la energía de radiación electromagnética de frecuencias inferiores a la de la luz visible entre 1 mm a 750 nm. El descubrimiento de este fenómeno fue en 1800, cuando el Alemán William Herschel [1]. Con el pasar de los años, este fenómeno ha sido considerado como una gran herramienta para solucionar múltiples problemas, aplicándose en diversas áreas como militar, astronómica, policial, comunicacional, industrial (alimentos, químico, bioquímico, farmacéutico, etc), policial y médica. En particular esta última aplicación, ha generado una gran ayuda que va desde el uso de sistemas de visión, los cuales cabe recalcar sus beneficios de no ser invasiva y permite hacer un monitoreo localizada de algún fenómeno. Junto con ello, la monitorización puede llegar a entregar información geometría de objetos, tamaños, distribución y composición [2].

Es por eso y más, que se ha considerado realizar un estudio de la intensidad térmica de las yemas de los dedos usando imágenes IR a un nivel microscópico, cubriendo dos grandes aristas. Por un lado, un análisis temporal con las curva de termorregulación de las yemas de los dedos, es decir, la respuesta de escalón térmica de las yemas de los dedos. Y por el otro, un análisis especial mediante la observación de la distribución de la intensidad térmica instantánea, analizando patrones de distribución y diferencias de emisión por estructura. El sistema de visión microscópico está compuesta por una cámara incorporada de infrarrojos MWIR, un lente amplificador de 4x y algoritmos de procesamiento de imágenes [3].

Hoy en día, este estudio podría tener gran relevancia en campos como la biometría, problemas de hÍper sudoración, control de la temperatura ambiente, y las respuestas de termorregulación del cuerpo humano [4 -8].

1.1. Trabajos Previos

Esta investigación partió hace unos años atrás, tras un primer acercamiento al microscopio MWIR, comprensión de las imágenes IR, y obtención de una base de datos, la cual es utilizada en este trabajo. Esta primera fase fue publicada en la memoria de título de Viafora el año 2016 [9].

En dicho instante, cobro gran relevancia la comprensión de las imágenes térmicas, como son generadas, métodos aplicables y formato de trabajo. De la mano, aprender a manipular correctamente el microscopio IR, ya sea aplicar bien sus configuración o detectando el punto focal, fue esencial para obtener una buen base de datos para trabajar. Con respecto a la obtención de esta, se tuvieron las consideraciones pertinentes, desde el cumplimiento del estándar ético en investigación de la

Universidad (consentimiento informado, trabajar con voluntarios no ligados al profesor guía, no haberlos sobornado por su contribución, ni generarles algún tipo de daño durante ni después del proceso), hasta considerar aspectos técnicos al momento de tomar las muestras, tales como lugar del experimento (sitio cerrado, con la menor cantidad de fuente que emitan, reflejen o absorban radiación, que puedan alterar la muestra), condiciones ambientales (temperatura confort térmico igual para todos) y procedimiento estándar para tomar las muestras.

Todas estas consideraciones fueron esenciales para continuar con esta investigación.

1.2. Problema

Desde la antigüedad ha existido la curiosidad por intentar comprender el funcionamiento del cuerpo humano, punto que este proyecto pretende contribuir. Una de las cosas que debemos ligar como seres humanos es la regulación de la temperatura corporal, en el cual se ven involucrados varios sistemas (nerviosos y circulatorios)

Uno de los problemas presentados es la interpretación de información obtenidas por el microscopio infrarrojo. Al ser un equipo único en su clase, son pocas las técnicas y métodos conocidos para estudiar y procesar esta información.

Por otro lado, es el conocimiento previo requerido sobre anatómico, morfológico y biológico del cuerpo humano para comprender la naturaleza de las imágenes, lo que nos podría llegar a una buena comprensión de procesos de termorregulación la piel.

1.3. Hipótesis de Trabajo

Utilizando imágenes de microscopía infrarroja en la banda de 3-5 micrometros de dedos índices, sometidos a estrés térmico, se puede extraer nuevos parámetros térmicos espaciales y temporales de la anatomía del dedo humano.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar características espaciales y temporales de imágenes de microscopía infrarroja de dedos índices sometidos a estrés térmico

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar estructuras morfológicas del dedo índice observables en la banda MWIR.
- Estimar dimensiones y variaciones de intensidad térmica en la imagen.
- Estimar la variación de intensidad térmica a lo largo del tiempo.

1.5. Alcances y Limitaciones

Este trabajo pretende aportar en el conocimiento del funcionamiento térmico de la piel humana en la yema de los dedos, observables en la banda MWIR. Además, la investigación aspira a generar un aporte en el procesamiento e interpretación de imágenes infrarrojas médicas.

Debido al avance tecnología y disposición de material, la base de datos fue obtenido con la cámara “Sofradir IRE 320 M”, la cual trabaja en banda WMIR (entre 3.7 a 4.8 μm), posee un aumento de 4X y tiene calculado un IFOV de 1,5 x 2,0 [10]. Debido a estas características y limitaciones en el lugar de trabajo, se decidió analizar la piel de la yema de dedos. También se consideró las particularidades que posee esta parte del cuerpo, al ser una sección muy sensible a la variación de temperatura y con estructura anatomía peculiar al resto del cuerpo. La elección de analizar el dedo índice de la mano derecha fue porque este dedo es más fácil de inmovilizar y enfocar en la cámara infrarroja, además esto permitió unificar las muestras.

Con respecto a la base de datos usada, el grupo de estudio estuvo comprendido por voluntarios adultos, sin ninguna enfermedad dermatológica en la piel, ni alguna estructura comprometida en el proceso de termorregulación, de nacionalidad chilena y con foto tipo (o escala Fitzpatrick) III, IV y IV (mayor información, en el capítulo 3) [11].

Toda la información es procesada en el software Matlab, al ser un programa versátil y compatible para la lectura de la base de datos. La manipulación de los resultados para alguna aplicación médica específica, se escapa de los objetivos aquí planteados.

1.6. Estructura del informe

El presente trabajo está constituido por 5 capítulos. El primero (presente) es introductorio al tema de esta investigación, hace una breve descripción en que consiste esta investigación, junto con mencionar la hipótesis, los objetivos (generales y específicos) y alcances de esta investigación.

El capítulo 2 alberga conceptos básicos necesarios para comprender este trabajo, tales como termografía infrarroja, anatomía y fisiología de la piel humana, especialmente en la yema del dedo, y

actuales métodos de procesamiento de termografía en el área médica. El capítulo termina resumiendo el trabajo previo a esta investigación.

En el capítulo 3 se menciona la metodología de trabajo, especificando los materiales empleados, las características de la base datos, procesamiento de los datos y finalmente, la forma del análisis de datos.

El capítulo 4 corresponde a los resultados. En él se mencionan los resultados obtenidos tras cada procesamiento, junto con observaciones de cada hecho.

Por último, el capítulo 5 contiene las conclusiones generales de todo este trabajo.



Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se verán conceptos básicos para comprender este trabajo. Este capítulo se subdivide en 4 partes; En la primera sección se entregan conceptos anatómicos y fisiológicos de la piel humana, enfatizándose en la huella dactilar. La segunda sección apunta a entregar conceptos básicos de radiación, espectro infrarrojo y aplicaciones, principalmente en medicina. La tercera parte apunta a describir los actuales métodos utilizados para analizar imágenes IR. Por último, se describe el trabajo previo más relevante para comprender los resultados obtenidos en este trabajo.

2.1. Anatomía y fisiología de la piel humana

2.1.1 Piel Humana

A. *Conceptos generales*

La piel es el órgano más grande y pesado de los seres humanos, el cual recubre a todo el ser vivo. Este posee funciones inmunitarias, comunicativas (respuesta ante emociones), sensitivas, endocrina, exocrinas y protectoras. Él es una barrera protectora que nos protege de amenazas externas (posibles lesiones tisulares y radiaciones UV) y permite mantener una homeostasis [12,13]. Aunque la piel cumpla todas estas funciones, dependiendo de la parte del cuerpo que este, se especializara en alguna funciona sobre otra [14].

B. *Anatomía*

Este órgano está compuesto de tres capas, detalladas a continuación:

- **Epidermis:** Es la capa más delgada y superficial, formada por células epiteliales planas estratificado queratinizado, que carece de irrigación sanguínea y nerviosa. A su vez, esta capa se encuentra subdividida según la actividad de sus células. La porción más externa está cubierta por células muertas que se van descamando para cumplir una importante labor como barrera protectora. El ciclo de mantención de esta barrera inicia en la parte más interna de la epidermis, en donde se ubican células madres que están en constante proliferación celular, las cuales se irán diferenciando mediante la pérdida de su núcleo y queratinización de su estructura, mientras avanzan hasta llegar a la superficie. Esta cualidad hace a la epidermis un tejido activo con capacidad de adaptación al reparar y renovar sus estructuras celular por cada 2 a 3 semanas. Las células que forman la epidermis son los queratinocitos (llamados así por

su especialización en la producción principal de queratina) los cuales varían según el nivel de la capa de epidermis en que se encuentren, pasando por 5 fases diferentes [14].

- **Dermis o Corion:** Es una capa intermedia gruesa con presencia de nervios e irrigación sanguínea, donde la piel adquiere sus características de resistencia, elasticidad y flexibilidad. En la unión con la epidermis, presenta una serie de evaginaciones llamadas papilas dérmicas, compuesta principalmente de tejido conjuntivo fibroso (colágeno), el cual se pierde al transcurso de los años, produciendo las hendiduras de líneas de tensión. Además de la presencia de vasos sanguíneos y receptores sensitivos, esta sección contiene estructuras musculares y glandulares [14].
- **Hipodermis:** Es el tejido más profundo, formado principalmente de material adiposo. Cumple las funciones de reserva energética, mantener la temperatura corporal y protectora, al amortiguar ante fuertes presiones o golpes. Su grosor depende de la parte de cuerpo y estado nutricional de cada persona [4, 14].

Además, dentro en la piel podemos encontrar otras estructuras, tales como:

- **Glándulas Cutáneas:** Existen tres tipos; Primero tenemos las glándulas sudoríparas ecrinas, encargadas de producir el sudor, quien cumple la función de mantener el equilibrio hídrico, regular la temperatura corporal y de barrera defensiva, por su ácidos pH. Estas glándulas nacen en la dermis con una forma ovillada y desembocan en la epidermis.

Otra son las glándulas sudoríparas apocrinas, quienes producen un compuesto lechoso y alcalino que genera olores al reaccionar con el medio externo (al subir a la epidermis).

Por último, existen las glándulas sebáceas, encargadas de la producción se cebó.

- **Pelo:** Es una estructura queratinizada que sobresale de la piel. Esta se ubica dentro de invaginaciones epidérmicas que penetran la dermis, llamada folículo piloso. A la par de esta estructura se encuentra el musculo erector del pelo, el cual como su nombre lo indica, se encarga de enderezar esta estructura.
- **Uña:** Esta es una estructura epidérmica queratinizada que solo se produce en los dedos y cumple la función de mejorar la sensibilidad de las yema de los dedos.
- **Vasos Sanguíneos:** Es el sistema de tuberías que distribuye la sangre a todos los órganos. En la piel, se ubican en la dermis e hipodermis, llegando solo a nutrir los niveles más bajo de la epidermis por difusión de capilares dérmicos [4, 14]. Existen unas grandes cantidades de anastomosis arteria venosa ubicadas bajo los papilares dérmicos, que juegan un importante rol como reguladores de temperatura. En las zonas más expuestas a los cambios de temperatura,

como los extremos de los dedos, las anastomosis tiene una forma glomérulos para controlar mejor regulación térmica [4].

- **Vasos linfáticos:** Se encuentran ricamente distribuidos en toda la dermis, y también la zona que limita con el tejido subcutáneo, su función es trasportar la linfa.
- **Nervios:** Se distribuido en la dermis e hipodermis. Las terminaciones nerviosas se encuentran en contacto con la epidermis, ubicadas entre las papila dérmica. Estos órganos tienen la facultad de reacciona ante el calor, frío, tacto, presión y vibración.

Todas las estructuras descritas pueden observarse en el esquema de la Fig. 2.1

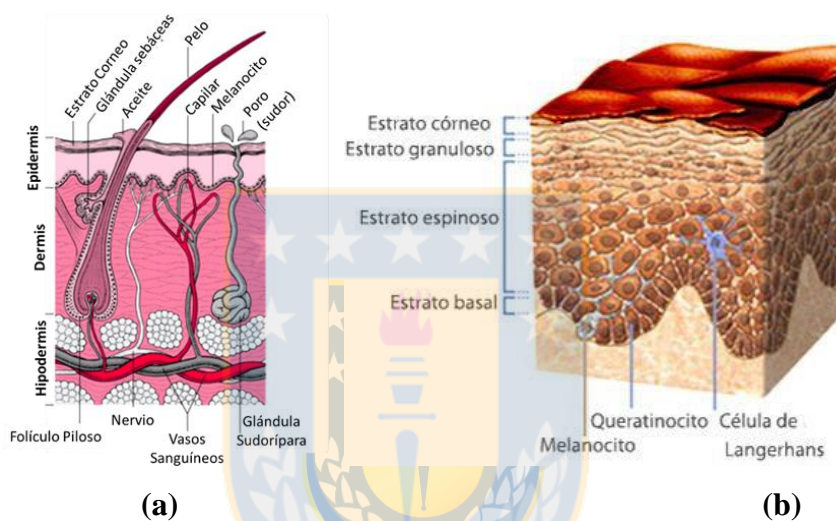


Fig. 2.1 Esquema estructural general de la piel humana

(a) Diagrama piel (general) (b) Diagrama Epidermis

Fuente: Sitio web <https://www.merckmanuals.com> y <https://www.leyesbiologicas.com>

C. *Coloración y clasificación*

El color de la piel es una de las cualidades que marcan las diferentes razas humanas, y esta principalmente ligada a la cantidad de pigmento de melanina que generan las células de melanocitos, la que está directamente relación entre cantidad y tono bronceado [4, 12, 13]. Este compuesto cuida al organismo de la radiación UV ante heridas y quemaduras. En menos grado, también influyen en el tono de la piel la presencia de hemoglobina en los vasos cutáneos y la carotina circulante.

Normalmente, la piel la podemos clasificar según su tonalidad y/o características fisiológicas. Una escala popular que considera su coloración y efecto para asimilar la radiación solar UV, es la escala fototipos o Fitzpatrick. Aquí la piel se clasifica en grupos del I al VI, (en números romanos) donde I son personas de tez clara y que siempre tienden a quemarse y no broncearse, y el VI, son

personas de tez muy oscura que no sufre de grandes problemas del sol. La tabla 2-1 detalla y ejemplifica las cualidades de cada tipo de piel. Para saber el tipo de cada persona, existe un test de 7 preguntas. En el anexo B puede observar el formulario, junto con las explicaciones de cómo funciona [11].

TABLA 2-1 Clasificación de los fototipos de piel

Nº	Tono de piel	Acción del sol sobre la piel sin proteger
I	Individuo de piel muy clara, ojos claros, pelirrojos y con pecas.	Presenta intensas quemaduras solares, casi nunca se pigmenta
II	Piel clara, pelo rubio, ojos azules y pecas.	Se quema fácil e intensamente, pigmenta ligeramente y descama de forma notoria
III	Razas Caucásicas (europeas) de piel blanca.	Se quema moderadamente y se pigmenta correctamente
IV	Piel morena o ligeramente amarronada, con pelo y ojos oscuros	Se quema moderado o mínimamente y pigmenta con bastante facilidad
V	Piel amarronada (amerindios, indostánicos, árabes e hispanos)	Raramente se quema, pigmenta con facilidad e intensidad.
VI	Razas Negras	No se quema nunca y pigmenta intensamente

Fuente: Documento [11].

Otro método que categoriza la piel según ciertos atributos fisiológicos, es la clásica clasificación de los “tipos de piel”, muy usada en dermatología y cosmetología. Normalmente se dividían en tres tipos (seca, grasa y mixta), pero según estudio actuales, la industria dermatológica la han expandido en dieciséis clases diferentes, llamándose “16 tipos de Baumann”. Los 16 tipos de pieles se originan por la subdivisión de la piel en cuatro características [15], como piel grasa o seca; sensible o resistente; pigmentada y no pigmentada y arrugada y estirada. Mediante el test de Baumann, el cual consta de 4 secciones, (una por cada característica descrita), con alrededor de 10 preguntas por caso. El formulario está disponible para descargar en la web.

Ambos test fueron aplicados en el momento de adquisición, por lo que toda esta información extra viene adjunta con la base de datos

2.1.2 Huella Dactilar

A. Aspectos generales

La piel en la punta de los dedos, ya sea de los pies o las manos, posee una estructura diferente a la del resto del cuerpo. Está formada por pequeños pliegues, que según su distribución, forman las huellas dactilares, las que tiene la particularidad de ser perennes, inmutables, diversiformes y

originales. Estos pliegues reciben el nombre de crestas papilares, pudiendo llegar a ver 35 por cada mm cuadrado de piel. Su finalidad es aumentar la rugosidad de la piel para aumentar la fricción en la zona [5].

B. Estructuras específicas de la piel de la mano

En base al esquema de la estructura de la yema de los dedos, ilustrado en la Fig.2.2. Se reconocen las siguientes estructuras

- **Papila Dérmica:** Son pliegues que se forman entre la capa dérmica y epidérmica. Su presencia empuja a la aparición de las crestas papilares. Su tamaño va desde los 55 a los 225 milésimas de milímetros de alto
- **Crestas Papilares:** Montículos continuos superficiales que dibujan la forma de las huellas dactilares.
- **Crestas subsidiarias:** Son crestas pequeñas y delgadas que nacen comprimidas entre 2 crestas mayores. Estas se originan por la presión de una pequeña papila dérmica, que no alcanza a desarrollarse.
- **Surcos Papilares:** Espacio entre 2 crestas papilares.
- **Poros:** Son pequeños agujeros que aparecen sobre las crestas papilares. Los poros corresponden a la salida de las glándulas sudoríparas ubicadas en la capa dérmica. Estas glándulas tubulares se ubican en la dermis o hipodermis, cumpliendo un rol protagónico cuando se requiere la termorregulación. Estas actúan de manera grupal [5, 14,16].

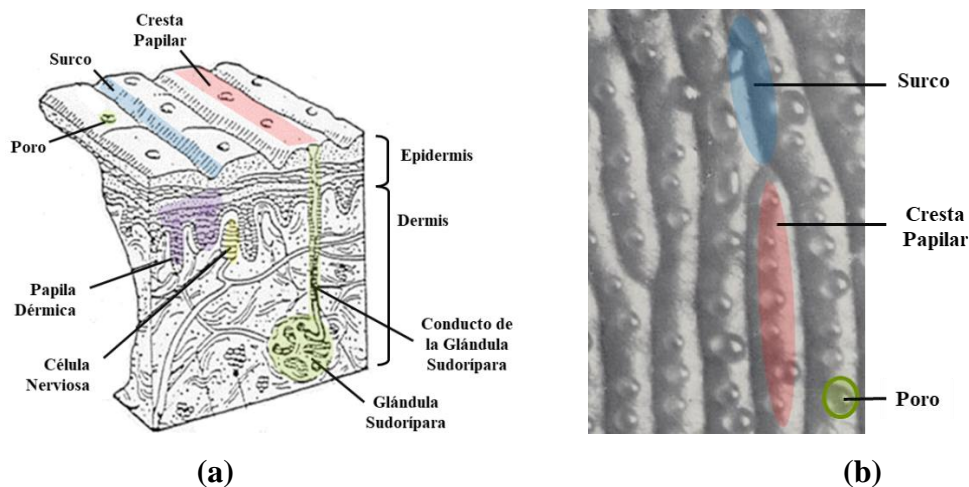


Fig. 2.2 Esquema y fotografía de la estructura de la yema de los dedos humana

(a) Imagen esquemática (b) Fotografía microscópica

Fuente: Sitio web <http://heritance.me> y Libro [5].

C. Creación

La huella dactilar se forma desde la sexta, hasta la doceava semana de gestación embrionaria. Su formación parte con la creación de unas almohadillas de tejido celular alrededor de los huesos. A poco tiempo se empezaran a formar las papilas dérmicas, las cuales empezaran a empujando a la capa superior, originando unas crestas primarias. El continuo empuje de las papilas dérmicas irá en la formara una crestas secundarias, ubicadas entre las antiguas. Las glándulas sudoríparas se formaran tiempo después en la dermis, desde allí irán creando sus conductos hasta llegar a desembocaran en las crestas papilares.

Los patrones de las huellas dactilares se define en la etapa embrionaria, estas varían según factores del medio materno, golpes dentro del vientre y distribución de vasos sanguíneos. Cabe destacar que los genes no influyen directamente en el diseño de estos trazos, como es la creencia popular, es más, hasta los gemelos univitelinos poseen huellas dactilares distintas. [5]

Últimos estudios científicos muestran que estos patrones también se relacionan con las osificaciones de los huesos de las falanges de los dedos [17], junto con la presencia subyacente de los nervios periféricos. Los científicos Hirsch y Schweichel avalan esta teoría mediante la observación del desarrollo paralelo que hay entre el crecimiento de las crestas epidérmicas y el desarrollo de los nervios periféricos y vasos sanguíneos. Además, se ha evidenciado una clara relación entre ciertas enfermedades neuronales con algunos patrones comunes (principalmente se observan en las huellas palmares) por ejemplo, la faltan los pliegues de flexión interfalángica en individuos con retraso mental [18].

2.1.3 Termorregulación

La termorregulación corresponde es la capacidad que tiene un organismo biológico para modificar su temperatura dentro de ciertos límites. Otro Medición de la respuesta térmica de la piel después de un estímulo frío / caliente con el tiempo capta la evolución temporal de la respuesta térmica emitida del cuerpo y que genera lo que denominamos la curva de termorregulación (TRC). Como tal, una curva de la termorregulación es una representación gráfica de la respuesta al escalón térmica del cuerpo humano. Experimentalmente, que sólo se puede medir de una manera rápida, no invasiva y precisa el uso de un formador de imágenes IR. Es bien sabido que los llevan TRC importante información respecto a posible anomalías tales como lesiones cancerosas [19]. Por lo tanto, es importante para nosotros para medirla a nivel microscópico y para entender los procesos biológicos que desencadenan una respuesta de salto

A. *Mecanismo de acción*

La regulación de la temperatura corporal en los seres humanos ocurre como un mecanismo de feed-back negativo. Este sistema inicia con los receptores térmicos (neuronas especializadas), distribuidos alrededor de todo el cuerpo que va censando tanto para el medio interno como externo. Al sentir una variación de temperatura, estas neuronas especializadas (receptora de calor o de frío), envía la información al cerebro, específicamente al hipotálamo, que funciona como un centro termostático regulador de la superficie corporal. El hipotálamo puede generar tres respuestas: cuando la temperatura censada es mayor a la óptima, genera mecanismos para perder calor, denominado termólisis; o caso contrario, cuando la temperatura censada es menor a la óptima (sensación de frío) activa procesos para ganar calor, termogénesis. Por último, si no ocurre ninguno de los dos casos nombrados, la temperatura captada es la adecuada, y no se acciona nada (ni pérdida ni ganancia de calor). Este sistema se resume en la Fig. 2.3 [20, 21].

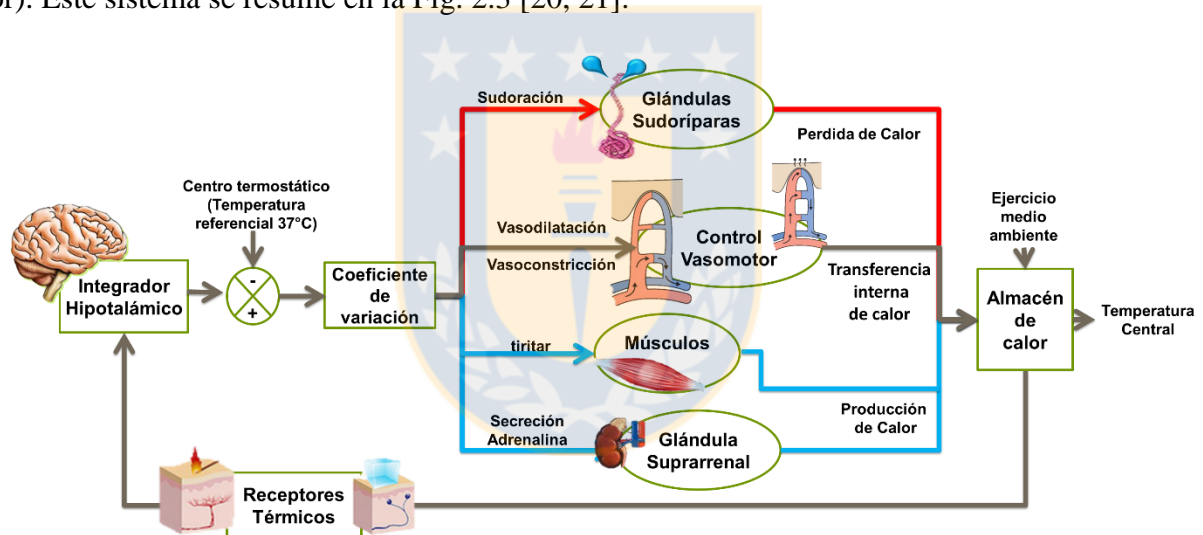


Fig. 2.3 Esquema del proceso termorregulador de los seres humanos.

Fuente: Elaboración Propia

B. *Factores influyentes en la regulación corporal*

Existen varios factores que afectan en la regulación de la temperatura corporal. Entre ellos, los que más influyentes son los siguientes:

- **Edad:** Siendo uno de los factores muy influyente, ya que la regulación requiere una maduración en el sistema, y buen estado de los órganos involucrados. Por ende, los niños pequeños y adultos mayores son los grupos con mayor dificultad para mantener la temperatura; en el caso de los recién nacidos por la inmoderación del sistema, mientras que para los adultos mayores,

las razones son por la disminución de las funciones metabólicas, el deterioro del centro termorregulador y la disminución de la capa de grasa en la dermis que aísla el calor. La tabla 2-2 resume la variación de temperaturas corporal central de los seres humanos en las diferentes etapas de la vida [20].

TABLA 2-2 Variación de temperatura según etapa de la vida humana

Tipo	Recién Nacidos	Niños	Adultos	Adulto Mayor
Edad (años)	Entre 0 y 1	Entre 4 y 15	Entre 16 y 50	Mayor a 51
Temperatura (°C)	Entre 36,6 y 38,8	Entre 36.0 y 37.0	37	De 35 a 36

Fuente: Publicación [20]

- **Sexo:** Principalmente, la diferencia de regulación por género se debe al distinto actuar del ciclo metabólico y el sistema cardiovascular. Los hombres tiene un ciclo metabólico más activo, por lo que producen mucha energía y calorías. Además, estos pueden mantener la circulación sanguínea uniforme por todo el cuerpo, por lo que distribuyen parejo el calor [20].

En cambio, las mujeres tienen un bajo ciclo metabolismo, y el sistema cardiovascular conserva más el calor en los órganos centrales que en los periféricos, producto a que el flujo es mayor en estas zonas [18]. Además, las mujeres se ven influenciadas por el ciclo menstrual o periodo menopáusico. En el primer caso, estudios revelan que la temperatura cambia 1 °C durante el ciclo, debido a la acción de las hormonas propias del proceso, tal como lo grafica la Fig.2.4 [21]. En otra etapa, la menopausia causa alteración de la temperatura de la piel por factores hormonales, lo que puede causar una variación entre 1°C a 7°C. Por último, el embarazo produce un cambio en su oscilación de temperatura corporal, en el que la temperatura basal permanecerá constante durante este periodo.

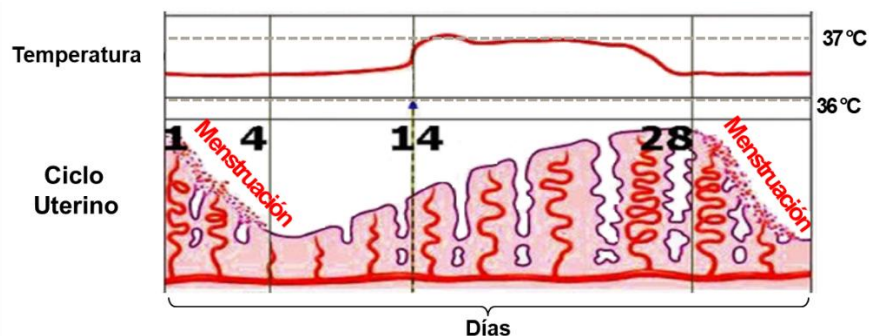


Fig. 2.4 Curva de temperatura y ciclo uterino, del ciclo menstrual femenino

Fuente: Sitio web <https://www.nzgp-webdirectory.co.nz/>

- **Ciclo Circadiano:** Corresponde la reloj biológico que cada ser vivo posee, el cual está ligado al estado de sueño-vigilia, luz y temperatura corporal. Con respecto al último punto, que es de gran importancia para esta investigación, la temperatura corporal de los seres humanos varía alrededor 0,5 grado durante el día, llegando a su menor valor entre las 2 y 4 hrs de la madrugada, mientras que la máxima temperatura se da entre las 18 y 22 horas. La Fig. 2.5 muestra la gráfica del ciclo circadiano [22].



Fig. 2.5 Curva de temperatura del ciclo circadiano

Fuente: Sitio web <http://www.usdbiology.com>

- **Ejercicio:** Durante el desarrollo de una actividad física por más de 1 hora o ejercicios intensos, provoca un incremento en la función metabólica de los músculos que se estén utilizando, lo que conlleva a un incremento en la producción de calor, reflejado en el aumento de temperatura corporal basal entre los 2.2 a 2.7°C. Este aumento de temperatura es momentáneo, ya que al finalizar la actividad, la temperatura corporal volverá paulatinamente a sus valores normales [20].
- **Factores psicológicos:** La temperatura también se ve influenciada por las emociones, como por estrés, ansiedad, tristeza, gritos, ira, entre otras. Esto es debido al control del sistema nervioso simpático, que también es regularizada por el hipotálamo, al ser estimulado provoca un incremento del ritmo cardiaco, la frecuencia respiratoria y como consecuencia aumenta el gasto metabólico lo cual se va a traducir en un ascenso de producción de energía y por tanto, calor.
- **Factores socioculturales:** Todo factor del medio externo afectará directamente al sistema termorregulador, puesto que este es el encargado de mantenernos en un estado óptimo para vivir. Con respecto al tema ambiental, el sistema termorregulador tiene la capacidad de adaptación al medio cuando este es un estímulo constante en la vida de una persona. Las

actividades que realiza cada ser vivo influyen fuertemente en la regulación térmica. Una persona que tenga un ritmo de vida tranquilo tendrá un nivel de gasto metabólico menor que otra que tenga una vida más activa, que se traduce a mayor producción de energía calórica [20].

C. Termorregulación en las extremidades

En las extremidades de los dedos, el proceso de termorregulación reacciona distinto que en todo el cuerpo. Según estudio, cuando una extremidad se encuentra bajo estrés de frío, ocurre el principio de vasodilatación inducida por el frío (CIVD) [16]. En estos casos, cuando se enfrían los vasos sanguíneos, la actividad del sistema nervioso simpático provoca que las paredes de los ductos se contraigan, resultando la vasoconstricción, lo que conduce que disminuya el flujo sanguíneo. Si se mantiene el estado de hipotermia, el estado de constricción de los vasos se relaja ligeramente, debido a una disminución en la liberación de norepinefrina. Como resultado, se obtiene una ligera dilatación en los conductos, en relación a su estado de constricción, pero esta dilatación no devuelve a los vasos a su diámetro normal de reposo, siendo el flujo de sangre considerablemente inferior a la normal. Este proceso de vasodilatación leve es cíclico, es decir, los conductos alternaran entre un estado de constricción fuerte y leve, mientras se continúe en estado de hipotérmico. Este fenómeno cíclico también se conoce como la respuesta de caza [6, 16, 23, 24].

2.2. Tecnología Infrarroja

2.2.1 Radiación IR

El espectro infrarrojo es parte de espectro electromagnético, formado por ondas que transmite energía radiante por cualquier medio. La escala espectral se divide según longitud de onda y frecuencia, en donde encontramos el espectro IR entre las longitudes de onda de 1 mm a 750 nm, posicionándose entre la luz visible y las ondas de microondas (observar figura 2.6).

La radiación infrarroja, radiación térmica o radiación IR es un espectro invisible al ojo humano, debido a que sus longitudes de onda son mayores a las que las células foto receptoras de las retinas pueden captar. Esta radiación nos entrega información térmica de cierto ambiente y/u objeto, dicha técnicamente, es la parte del espectro electromagnético que percibimos como calor. Todo cuerpo u objeto que se encuentre sobre los 0° K emitirá radiación, existiendo una directa relación creciente entre temperatura y radiación emitida por cuerpo.

Clásicamente, la banda infrarrojo se encuentra dividido en: [25]

- Infrarrojo Cercano o NIR : 0,75 – 1.4 μm
- Infrarrojo Corto o SWIR : 1,4 – 3,0 μm
- Infrarrojo Medio o MWIR : 3,0 – 8,0 μm
- Infrarrojo Lejano o LWIR : 8 – 15 μm
- Infrarrojo Muy lejano o FIR : 15 – 1000 μm .

La intensidad de la energía emitida por un objeto varía según su temperatura y longitud de onda de la radianza. Si un objeto se encuentra a menos de 500°C, la radiación emitida se encuentra completamente en la banda infrarroja [26].

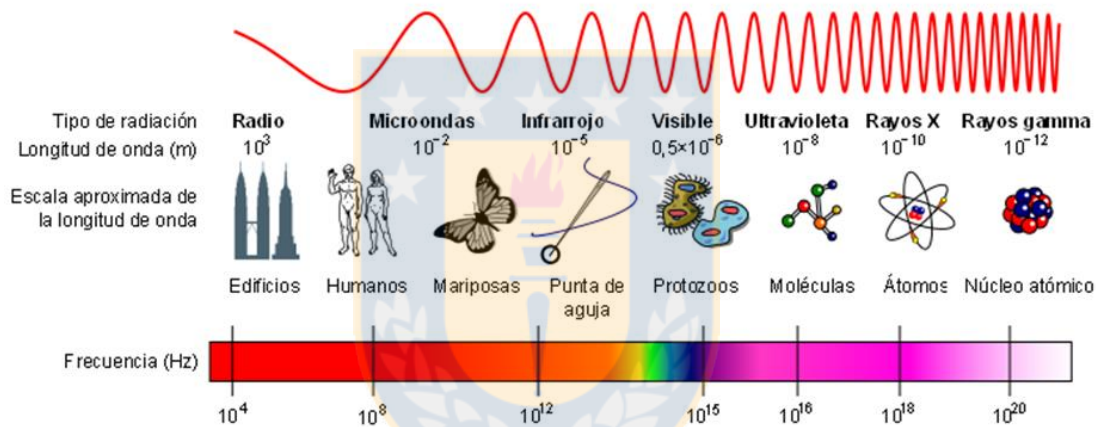


Fig. 2.6 Topología general del espectro electromagnético

Fuente: Sitio web https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_Spectrum_Properties_es.svg

2.2.2 Principios Radiometría

El estudio de los espectros viene desde hace muchísimos años atrás, pero es tan solo desde 1800 en adelante, donde surgieron grandes mentes como Planck, Wien y Stefan Boltzmann, quienes explicaron este fenómeno, mediante leyes físicas y modelamientos matemáticas, estableciendo las leyes básicas de la radiometrías.

Para la comprensión de este trabajo, es necesario conocer la ley de la radiación total de Kirchoff. Como se mencionó, todo cuerpo con temperaturas sobre el cero absoluto emite radiación, pero además, este puede verse afectado por otras radiaciones circundantes en el medio, donde el cuerpo puede absorber y/o reflejar esta radiación. De estos dichos, se puede desprender que:

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (1)$$

Para lo cual, α es la absorción de la energía incidente, ρ es la reflexión, y τ es la transmisión. Cada coeficiente puede tener valor entre 0 y 1, dependiendo de cómo reacciona un cuerpo al absorber, reflejar o transmitir la radiación incidente [26].

2.2.3 Aplicaciones Médicas

La llegada de la tecnología IR en medicina ha generado una gran ayuda para este campo, en el que, sus cualidades permiten hacer una monitorización no invasiva confiable del estado de un ser vivo, junto con ser un potente indicador de disfunciones fisiológicas.

En los últimos años, ha habido un resurgimiento por el interés en las aplicaciones médicas de la termografía IR, yendo de la mano, del gran avance tecnológico en cámaras IR y desarrollo de nuevos software [27]. Los usos de la tecnología IR en la medicina son variadas, que van desde la detección del cáncer, el diagnóstico dental, control de presión sanguínea, y ginecología [28] entre otros. Además, al fusionarse con otras tecnologías, se puede mejorar la detección y seguimiento de un paciente. Por ejemplo, la combinación entre electroencefalografía (EEG) y espectroscopia de IR (NIRS) para estudios funcionales del cerebro [29].

2.3. Procesamiento imágenes médicas IR

En sus inicios, la obtención de una buena imagen IR dependían netamente del Hardware, lo que en estos días, se ha revertido, dando papel protagónico al procesamiento digital de imágenes mediante computador y sofisticados software. Estos programas deben tener la capacidad para adquirir, almacenar y manipular las imágenes IR, manteniendo la información principal con la menor alteración posibles.

A continuación se detallan los métodos más empleados para procesar las imágenes, junto con algunas distorsiones presentes en imágenes de este espectro.

2.3.1 Métodos

Para trabajar el procesamiento de las imágenes IR, se sugiere realizar estas cuatro operaciones para garantizar una mejor precisión en el análisis de los datos (hecho en este trabajo). Primero aislar el objeto de estudio; segundo construir un perfil de temperatura temporal de la zona a estudiar; tercero, en caso de trabajar con grabaciones, proyecciones la variación de temperatura a lo largo del tiempo, obtenido por cada frame; Y por último, calcular los parámetros de interés respecto a la variación de temperatura [30]

Para aislar el objeto de estudio, lo más recurrente es emplear algunas máscaras, las cuales pueden emplear desde métodos sencillos, como la segmentación por histograma, o hasta algoritmos sofisticados, como la transformada de Hough [31].

Para construir el perfil de temperatura se requiere aplicar una conversión radiométrica, la que consta de encontrar la ecuación equivalente entre el valor de cuenta digital por pixel, y su temperatura. En este punto, es importante considerar la emisividad del material de estudio, ya que se puede estimar la temperatura de este (principio de radiometría explicado antes). Para nuestro estudio, la emisividad de la piel humana se consideró 1, ya que estudio rebelan que esta tiene una valor de $0,97 \pm 0.02$ [32].

Con respecto a las técnicas empleadas para analizar la variación de calor, principalmente se evalúa la diferencia temperatura entre dos o más zonas, normalmente entre una sección en frema y otra sana, o hemisferio derecho e izquierdo del cuerpo, utilizando herramientas estadísticas de orden superior (como varianza, asimetría y kurtosis) y la entropía. Ejemplos en donde se empleo fue en mamografías IR y detección de cáncer en la piel [32, 34]. Otro manera para analizar las imágenes IR es emplear la transformada de Fourier, el cual permite aislar diferentes elementos de una misma imagen según su características frecuenciales. Un ejemplo donde se utilizó esta técnica en imágenes IR, fue en un estudio de teletermografía dinámico, en donde se descubrió las amplitudes de ciertos componentes de frecuencias en ciertos eventos biológicos, tales como control neuronales y efectos hemodinámicos [34, 35].

Otra arista que debe tratar el procesamiento de imagen es en la eliminar ruido. En estos casos, aplicar algún filtro es la solución, los cuales pueden ser tanto en el dominio de tiempo, espacio y frecuencia. De la mano, también se usan algoritmos para minimizar el ruido, y así, reducir la distorsión en imágenes IR [36].

La tarea actual en esta área, apunta a automatizar todos estos pasos.

2.3.2 Imágenes distorsionadas

Las imágenes IR no están exoneradas de ser perturbadas con algún ente externo, de hecho, estas pueden poseer algunos distorsiones presentes en las imágenes del espectro visible, como la falta de definición por la desestabilización de la cámara, presencia de algún ruido como sal & pimienta, gaussiano, multiplicativo, uniforme, entre otros, [37] problema de sensibilidad en los sensores, lo que produce una mala cuantificación al momento de digitalizar la imagen [38].

Normalmente, los ruidos en este espectro se deben a problemas en la conversión A/D de la radiación emitida. Como ya se mencionó, todos cuerpos emiten radiación, y no tan solo eso, sino

también interactuar con el medio por transmisión y reflexión, lo que puede alterar la observación a un objeto en particular. Algunos de las distorsiones presentes en imágenes IR son:

- **Ruido de No-Uniformidad:** Corresponde a una distorsión específica en las imágenes IR, en donde se produce un ruido de patrón fijo aditivo. Puede aparecer con formas de rejilla o simple líneas. Esta distorsión es el resultado de defectos de fabricación, corriente oscura, y segmentación en las zonas de captura del sensor. La Fig 2.7. (a) es un ejemplo del caso.
- **Efecto Halo:** Se observa cuando se tiene un objeto que emite con alta intensidad con respecto al medio, alrededor de este se produce un aura que denota una brusca bajada de intensidad, cuando el cambio no existe.
- **Hotspots:** Como su propio nombre lo indica, es la presencia de puntos calientes cuando en realidad no lo son. Esto puede producirse por efecto de reflexión de la emisión. La Fig. 2.7(c) es un ejemplo de dicho caso.
- **Distorsión variable en el tiempo:** Luego de un tiempo de uso de la cámara, sus componentes se calientan, lo que puede producir una errónea lectura en los valores de radiación.

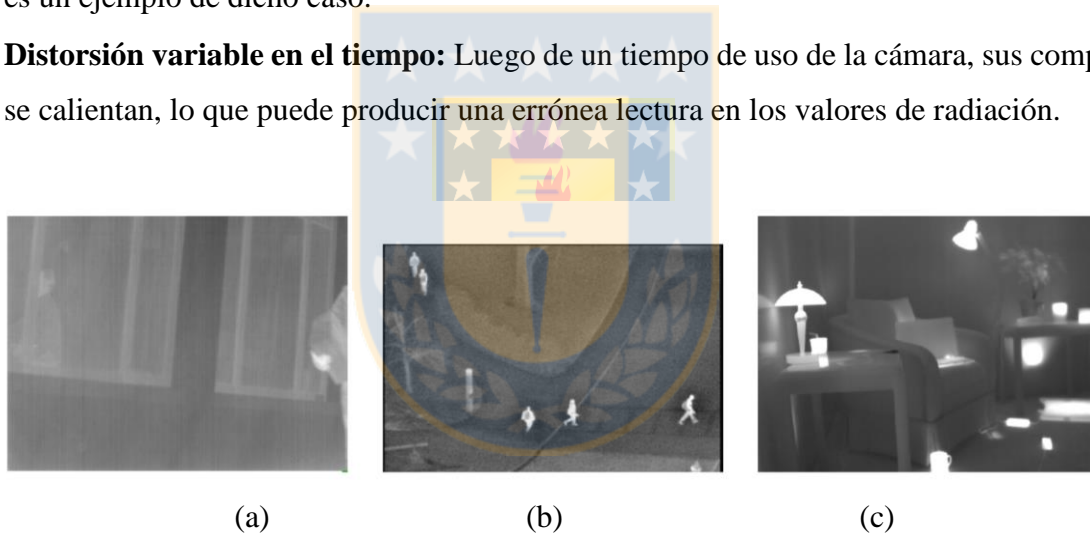


Fig. 2.7 Ejemplos imágenes IR con presencia de distorsiones.

(a) No-Uniformidad (b) Efecto Halo (c) Hotspots

Fuente: Publicación [38]

2.4. Trabajo previo

Este proyecto se inició el año 2015, en el cual sus primeros resultados fueron publicados en la memoria de título de Viafora [9]. A continuación resumimos la información más relevante para comprender los nuevos resultados obtenidos en este trabajo

2.4.1 Identificación de estructuras

Para iniciar este análisis, es necesario saber qué es lo que se está observando en las imágenes

IR. Por ende, el primer paso fue correlacionar las formas térmicas de las imágenes IR con la anatomía de la yema del dedo en espectro visible, información ya conocida en la literatura especializada.

Se puso de manifiesto que visualmente las formas de las estructuras térmicas MWIR están relacionados con las estructuras vistas en el espectro visible, tal como lo muestra el esquema de la Fig. 2.8. En él, se ven las crestas papilares y surcos superficiales como una secuencia de líneas paralelas en diferentes tonalidades de grises. Las líneas gruesas oscuras de baja intensidad corresponden a las crestas papilares, mientras que las franjas gruesas claras, que poseen mayor intensidad térmica, a los surcos. Esto es porque el proceso exotérmico del dedo humano es atenuado por el grosor de la piel, de modo que las crestas de los dedos de la piel se ven más fría (oscuro) que de los surcos de los dedos de la piel.

Otra estructura visible en estas imágenes IR, son los poros que desembocan de las glándulas sudoríparas. Estos aparecen irregularmente espaciados a lo largo de toda la hilera de crestas papilares [13] en forma de anillos blancos (anillo de alta temperatura), debido a que los tubos provienen de una zona interna de la piel, con mayor actividad celular, y por consiguiente, a mayor temperatura que la superficial. Cabe destacar, que estos se encuentran dentro de los mecanismos de termorregulación de los seres humanos, regulando la temperatura a través de la expulsión de sudor [16, 38].

La intensidad de calor que expulsan los poros, son similares a los de los surcos. Cabe destacar que los poros no son imperceptibles al ojo humano, pero sí para el microscopio, y más aún para esta cámara MWIR.



Fig. 2.8 Identificación de las estructuras anatómicas de la huella dactilar.

Fuente: Elaboración Propia

2.4.2 Patrones Termiales

Al examinar el patrón de la morfología entre crestas y surcos, se observó que no todos poseen

la misma forma, por lo que se clasificaron las imágenes IR en tres grupos, descritos a continuación:

- **Patrón A:** Presentan un patrón uniforme de crestas anchas y surcos estrechos, sin ninguna línea térmica en medio de las cresta. Las crestas papilares se alineados en filas rectas. Un miembro perteneciente a este grupo es la Fig. de característica de este conjunto se muestra en la Fig, 2.9 (a).
- **Patrón B:** Presenta un patrón térmico con crestas y surcos con aproximadamente la misma anchura. Sin embargo, se presenta una cresta muy estrecha, justa en el medio de los surcos como se puede ver claramente en la Fig. 2.9 (b).
- **Patrón C:** Presenta un patrón térmico oscilatoria, y la anchura de las crestas y surcos claramente no son uniformes como en los otros grupos. La Fig. 2.9 (c). es un ejemplo de dicho caso.

Los poros de las glándulas sudoríparas son observables entre todos los sujetos, aunque estos puedan variar en forma y/o ubicación de aparición.

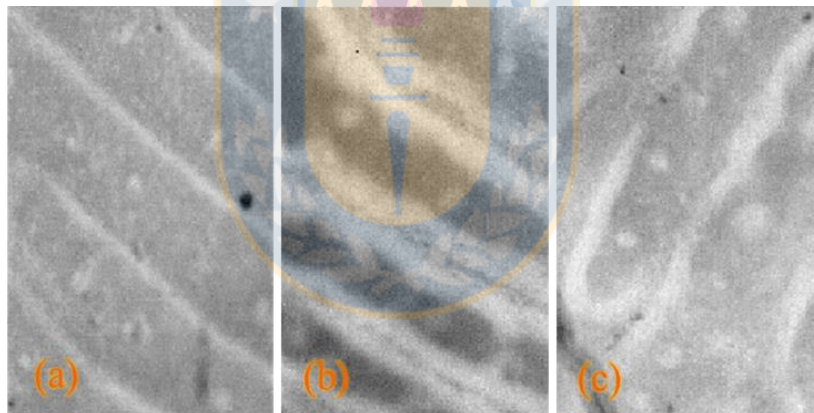


Fig. 2.9 Imágenes MWIR representativas de cada patrón térmico.

(a) Patrón A (b) Patrón B (c) Patrón C.

Fuente: Elaboración Propia

2.5. Discusión y Conclusiones

Este capítulo permitió dar un vistazo a los conceptos básicos de anatomía y fisiología de la piel humana, tecnología IR y el trabajos previos a esta investigación. Con ello es posible unir conocimiento físico de espectrometría infrarroja con las cualidades anatómicas e fisiológicas del cuerpo humano, el cual aún encierra muchas incógnitas sin resolver.

El conocimiento biológico permitió comprender las estructuras de la piel, las cualidades

peculiares que hay en la huella dactilar y el mecanismo de funcionamiento del proceso de termorregulación en los seres humano. Dicha indagación es fundamental para comprender lo que muestran las imágenes IR, e interpretarlas correctamente.

Los conocimientos de la termografía infrarroja colaboraron en la comprensión de fundamentos en el análisis de infrarrojo, las tecnologías involucradas, sus cualidades y limitantes. Además, permitió poner al corriente de los criterios y técnicas más usados en el procesamiento de imágenes de esta índole.

Por último, se escribió una sección que resume el trabajo previo de esta investigación. Dicha información es requerida conocer para el lector, ya que le permitirá situarse en el contexto del avance en este trabajo.



Capítulo 3. Materiales y Metodología

Este capítulo contiene información sobre las cualidades de la base de datos, tales como el equipo de adquisición, set-up experimental y características del grupo de voluntarios que conformaron la muestra. También incorpora los métodos de trabajo, mencionan el tratamiento de los datos (registro y calibración radiométrica) y análisis hecho para cada caso.

3.1. Base de datos

La base de datos utilizada fue adquirida en el trabajo de la memoria de título de Laura A. Viafora, el cual es un trabajo previo que sigue esta misma línea de investigación [9]. A continuación se detalla su adquisición y cualidades de esta.

3.1.1 Equipamiento y Set-up Experimental

El microscopio usado está formado por la cámara Sofradir- EC MWIR, modelo IRE-320M con transductor de Mercury telurio de cadmio (MCT o HgCdTe). Este equipo opera en una respuesta espectral de entre 3,7 a 4,8 micrómetros. El instrumento posee un sistema de refrigeración interna, que mantiene estable el medio a los detectores infrarrojos, para evitar que estos se calienten y lean radiación incorrecta. Otras cualidades relevantes del equipo están resumidas en la tabla 3-1. Para más información, el anexo “A” contiene el datasheet del equipo.

TABLA 3-1 Especificaciones técnicas IRE 320 M

Cualidad	Especificación
IRFPA	Sofradir Mars MWIR
Resolución espacial FPA	320 x 256
Tamaño del pixel	30 μ m
Respuesta espectral	3,7 – 4,8 μ m
Resolución Térmica (NETD)	< 10 mK
Conversión A/D	14 Bits
Frame Rate	Varía entre 1 a 320 Hz

Fuente: Elaboración Propia

El segundo componente del microscopio es una lente IR microscópico ampliación 4X de JanosTecnologí (modelo “Asio”), lo que le permite visualizar procesos exotérmicos MWIR con frecuencias espectrales entre los 3 a 5 μ m, y que representan un tamaño escena 1.49x1.99 mm.

Para minimiza el movimiento involuntario del sujeto, se usaron 2 mecanismo. Primero una

férula adherida al dedo para evitar los movimientos de flexión y extensión de este; Y en segundo lugar, dos anillos de sujeción unida a una plataforma de manipulación, para minimizar los movimientos abducción y aducción del dedo, y fijar el objeto dentro del plano focal del equipo.

Además, para disminuir el ruido causado por radiación del ambiente, se aplicaron dos capas aislantes, alrededor de la muestra, formado por aluminio y poliestireno expandido de 250 mm de grosor. La disposición de todos los elementos mencionados se muestran en la Fig. 3.1.

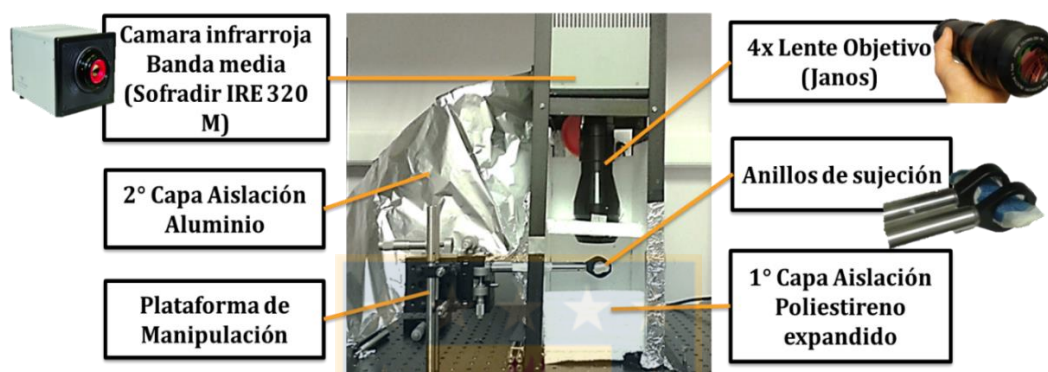


Fig. 3.1 Set up Experimental para la adquisición de datos

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Cualidades de la población

La información fue obtenida de un grupo de 18 voluntarios (9 de cada sexo), con edades que abarcan entre 16 a 30 años, y sin ninguna enfermedad dermatológica diagnosticado clínicamente. Todas las personas corresponden a chilenos nacidos en la zona centro-sur del país. El grupo posee fototipo III, IV y VI de la escala Fitzpatrick (confirmado tras aplicar test del anexo B) [11].

Cabe mencionar que antes de llevar a cabo la prueba, a cada voluntario se le explico en qué consistía la investigación, y al estar dispuesto a ser parte de esto, firmaron un consentimiento informado.

3.1.3 Procedimiento de adquisición

Después de firmar el consentimiento informado, cada sujeto fue escoltado a una habitación para llevar a cabo la adquisición, en el Laboratorio de Procesamiento de Imágenes en la Universidad de Concepción, Chile. La temperatura de la sala fue de 22°C para asegurarse de que todos los pacientes estuvieran a mismas condiciones ambientales antes la aplicación de los estímulos.

Al comienzo del procedimiento, la yema del dedo índice derecho se limpió con alcohol, se

secó con toallas de papel y se inmovilizó con una férula. Los sujetos estuvieron durante 10 minutos en la sala para aclimatarse al ambiente. A continuación se capturo una imagen visible de la yema del dedo con fines de referencia. Después de ello, se recogió una secuencia de imágenes IR de 5 segundos para servir como base del estado del dedo en condiciones normales. Luego, el dedo de los sujetos se enfrió sumergiéndolo en el vaso de agua fría a 15°C durante 30 segundos, a continuación, rápidamente se secó el agua y se coloca el dedo sobre el inmovilizador para llevar a cabo la adquisición con la cámara IR durante 5 minutos. Entonces, esperamos 5 minutos para alcanzar estabilidad térmica de los voluntarios antes de exponer el mismo dedo al estrés por calor. Del mismo modo anterior, el dedo se calentó al sumergirlo por 30 segundos en el vaso de agua a 44°C, y posterior secado, inmovilización y adquisición por los 5 minutos.

Todas las imágenes térmicas registradas utilizan un formato no comprimido de 14 bits. El tiempo total requerido para completar el procedimiento de formación de imágenes era menos de 15 minutos.

3.2. Procesamiento datos

3.2.1 Calibración radiométrica

Dentro del trabajo previo, hizo una calibración radiométrica sobre las imágenes IR basándose en la investigación de Gutiérrez, quien caracterizó el equipo utilizado [10]. Se capturo una secuencia de vídeos de un cuerpo negro Mikron M345 a diferentes temperaturas, entre 0 y 100 ° C, a intervalos de 5 ° C. El dato fue temporal y espacialmente un promedio para generar una estimación representativa de la respuesta del detector a la irradiación de la piel observado o la temperatura. Por lo tanto, los datos medidos por el microscopio se dan en los recuentos digitales, que a través de esta calibración, se pueden asociar con los valores de temperatura.

Para esta investigación, se supone que la emisividad es la piel 1, para poder calcular las diferencias de temperatura. Steketee informó que la emisividad de la piel humana es casi constante y su valor es de $0,98 \pm 0,01$ para el rango de longitud de onda de 2-14 μm [32] hacer que nuestra suposición sea válida.

3.2.2 Eliminación Ruido

Para el análisis morfológico, las imágenes IR con ruido térmico fueron corregidas mediante un algoritmo acelerado de corrección de no uniformidad (AACS) [41]. Este algoritmo es un método

basado en escena que utiliza un enfoque constante-estadística en un detector modelo lineal para estimar el par de ganancia de parámetros de corrección y compensar la disminución del ruido de patrón fijo (FPN) con el fin de obtener unas imágenes térmicas más clara. Además se aplicó un algoritmo para disminuir el desenfoque producido por impurezas del lente, el cual consta de una normalización de media espacial entre pixeles vecinos [3].

3.3. Análisis de datos

3.3.1 Extracción de formas

Para cada patrón, tres secciones transversales se han creado con el fin de mostrar la intensidad de difusión térmica entre las estructuras descritas. Cada punto trazado corresponde a la media de intensidad térmica de la vecindad del pixel seleccionado. Estos gráficos se normalizan para una mejor comparación.

3.3.2 Análisis termorregulación

La secuencia de pasos realizado esta esquematizado en la Fig. 3.2. Aquí se inicia con la entrada de las imágenes IR, luego se selecciona una fila central como referencia para analizar el patrón térmico y espacial de las estructuras del dedo. Para cada ubicación (i, j) dentro de la fila central, se calcula el promedio espacial contenida por la ventana $B_{i,j}$ dado por $B_{i,j} = \{(n, m): i - 1 > n > i + 1, j - 2 < m < j + 2\}$. Por el trazado de estos promedios espaciales como una función de la ubicación dentro de la fila central, se pueden identificar fácilmente los surcos y crestas encontrando el mínimo y máximo local, respectivamente, de la curva. Repetimos este enfoque para cada frame dentro de la secuencia para obtener la respuesta térmica de los surcos y crestas a lo largo del tiempo.

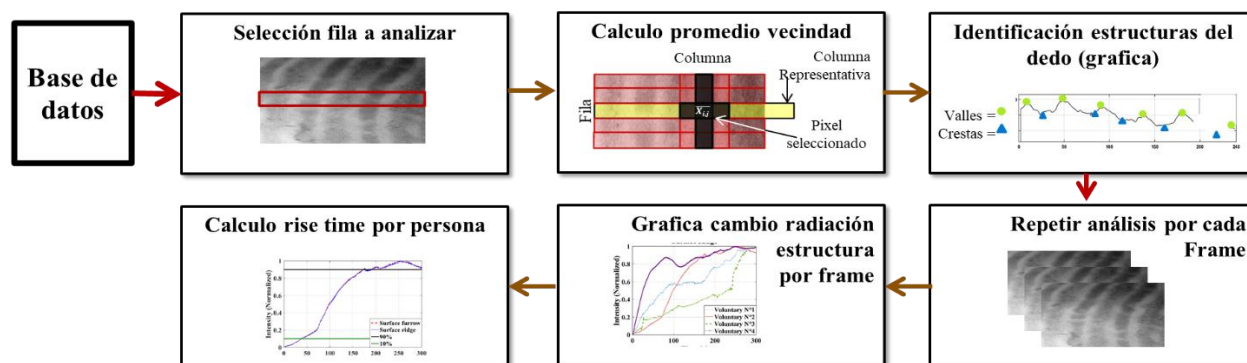


Fig. 3.2 Esquema de procesamiento de los datos

Fuente: Elaboración Propia

3.4. **Discusión y Conclusiones**

En este capítulo se describió los pasos que se siguieron para procesar la base de datos, pasando desde las características de la base de datos y equipo empleado, hasta detallar el procesamiento y análisis que a estas se les aplico.

Es necesario conocer las características de la base de datos, antes de empezar a analizar dicha información, ya que nos entrega las condiciones iniciales para crear un modelo para estudiarlas.

El procesar los datos es un paso previo requerido para garantizar la mayor extracción de información al momento de analizarlos. En este caso, al trabajar con imágenes IR crudas requirió de una conversión radiométrica, lo que le dio un significado térmico a cada cuenta digital. También fueron aplicadas técnicas para eliminar ruido en las imágenes y mejorar su nitidez, estos ayudo a una mejor detección de las estructuras.



Capítulo 4. Resultados

4.1. Análisis espacial

4.1.1 Análisis intensidad por corte micro-termal

De cada patrón térmico clasificado en el trabajo anterior [9], se graficó una sección transversal para ver la diferencia de intensidad entre estructuras. Para una mejor comparación, todas las gráficas serán mostradas a continuación, y descritas en la página siguiente.

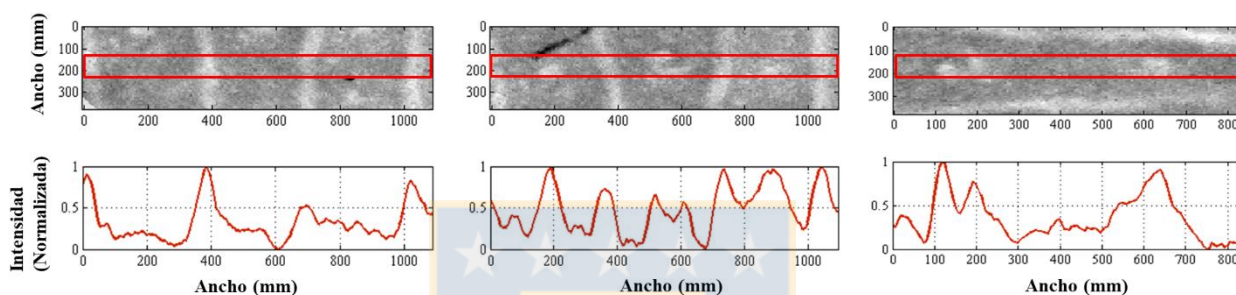


Fig. 4.1 Corte transversal de intensidad micro-térmica del patrón "A".

(a) Sección transversal con crestas y surcos (b) Sección transversal con crestas, poros y surcos (c) Sección transversal de poros en las crestas. Fuente: Elaboración Propia

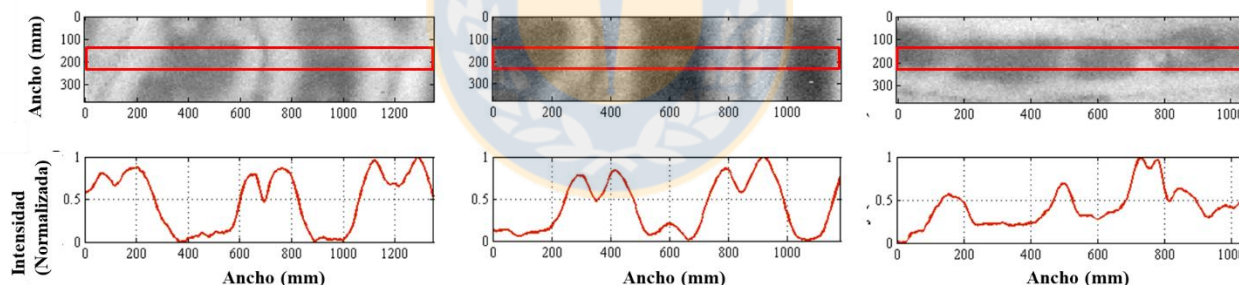


Fig. 4.2 Corte transversal de intensidad micro-térmica del patrón "B".

(a) Sección transversal con crestas y surcos (b) Sección transversal con crestas, poros y surcos (c) Sección transversal de poros en las crestas. Fuente: Elaboración Propia

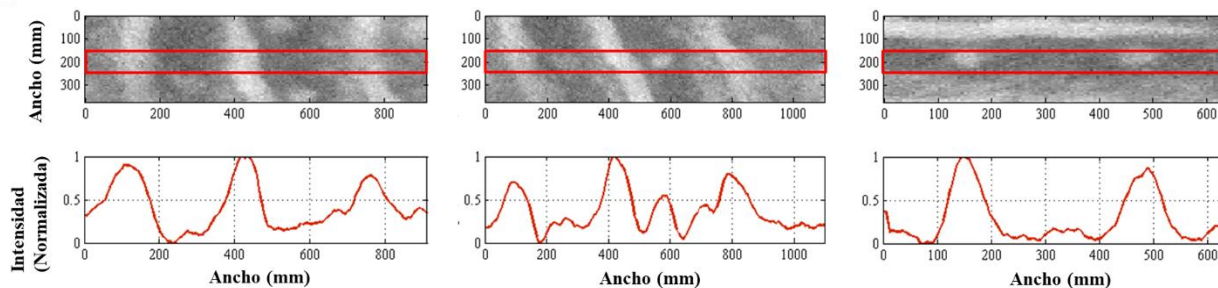


Fig. 4.3 Corte transversal de intensidad micro-térmica del patrón "C".

(a) Sección transversal con crestas y surcos (b) Sección transversal con crestas, poros y surcos (c) Sección transversal de poros en las crestas. Fuente: Elaboración Propia

Los cortes transversales del patrón del tipo A están mostrados en la Fig 4.1. Se observa un espaciado regular entre crestas y surcos. Según la literatura, normalmente los surcos son más delgadas que las crestas [40], cosa que es fácilmente distinguible, junto con su distribución de rectas paralela. Además, se observa que los niveles de intensidad entre los poros de la glándula sudorípara y surcos tienen valores similares.

En la Fig. 4.2 observamos los cortes del patrón B. A diferencia del caso anterior, se observa que entre crestas y valles tienen un grosor similar, pero que en medio del valle, existe una zona térmica más fría, descrita en la literatura como cresta subsidiaria (cresta que no se logra desarrollar del todo). Este trazo en medio de la cresta no desaparece a lo largo de toda la estructura de la huella dactilar. Los gráficos muestran una notable diferencia de intensidades entre los poros y surcos. Esto podría explicarse por la línea entre cresta y grosor del surco.

Por último, la gráfica del patrón C corresponde a la Fig.4.3. Aquí se muestran un reborde ondulado irregular formado patrón térmico. Tenga en cuenta que los surcos son más anchas que las de tipo A de patrón, sin embargo, la intensidad entre poros y surcos es similar.

4.1.2 Medidas de las estructuras

Para estimar las dimensiones espaciales de las estructuras se utilizó IFOV del microscopio con un margen de error de $\pm 0,1\text{mm}$ [10]. Estas medidas fueron cuantificadas usando FWHM. La tabla 4-1 resume las medidas por grupo de los valores mínimo, máximo y media de FWHM; y su desviación estándar.

TABLA 4-1 Tamaño Estructuras

Estructura	Patrón termal Tipo A				Patrón termal Tipo B				Patrón termal Tipo C			
	Max. [μm]	Min. [μm]	\bar{X} [μm]	σ	Max. [μm]	Min. [μm]	\bar{X} [μm]	σ	Max. [μm]	Min. [μm]	\bar{X} [μm]	σ
Cresta superficial	507,1	156,6	281,7	69,1	356,8	137,7	240,8	-	262,9	206,6	235,9	20,2
Valle Superficial	218,75	43,75	102,3	35,6	281,3	37,5	126,7	-	150,0	75,0	112,9	23,7
Cresta subsidiaria	-	-	-	-	112,5	18,75	50,5	-	-	-	-	-
Poros glándula sudorípara	150,0	31,64	89,4	25,3	218,8	68,75	116,2	-	125,0	75,0	88,8	41,3

Fuente: Elaboración Propia

El tamaño del diámetro estimado para los poros de la glándulas sudoríparas varía desde 31 hasta 218 μm , valor similar publicados por K. Wilke et al [42]. Por consecuencia, la densidad de las glándulas sudorípara (DSP) en la yema del dedo índice se estimó entre 300 y 500 poro/m^2 . Esta información es consistente con estudios de hiperhidrosis palmar, los cuales indican que hay más de 300 poro/m^2 en esta área anatómica [38].

Para el caso del ancho de las cresta, estas dependen de varias factores, tales como sexo, raza y ubicación dentro de la yema del dedo (el grosor de la cresta disminuye desde el centro hacia la periferia). En esta investigación se obtuvo que las anchuras variaban entre 567 a 157 μm . Esta información fue contrastada con el trabajo de Gutierrez-Rodomo [43], quien evaluó la RD según la cantidad de crestas por cada 25 mm^2 por superficie en la huella dactilar. Los valores de RD calculados por modelo fueron de DR de 13,4, 13,8 y 14,4 crestas/ mm^2 , para los patrones A, B y C, respectivamente. Tales cálculos son congruentes con los obtenidos por Gutierrez-Rodomo.

Finalmente, la anchura media calculada de la cresta subsidiaria resulta ser 50.5 μm , convirtiéndose en un cuarto de un grosor normal cresta.

4.2. Análisis Temporal

Tras procesar la base de datos como se explicó en la sección anterior, se obtuvieron las curvas de termorregulación de la piel del dedo índice frente a un estrés térmica de frío y calor. El objetivo de este paso es percibir el cambio temporal de las estructuras, con una resolución espacial micrómetro y resolución térmica en mK, y así, evidenciar la tasa de recuperación.

4.2.1 Curva Termorregulación Normalizada

Tras el procedimiento descrito y obtención de las curvas TRC, estas fueron normalizadas para hacer una mejor comparación de la tasa de recuperación entre los voluntario. Del grupo total de estudio, se muestran las respuestas térmicas de cuatro personas que representan mejor los casos ocurridos. Las Fig. 4.4 y 4.5 son las gráfica TRC de los promedios de los píxeles para cresta y surco ante el estímulo frío y calor, respectivamente.

Partiendo el análisis mirando la TRC ante respuesta del frío (Fig. 4.4), se observar que el tiempo para estabilizarse tiende a bordarse a los 280 segundos, pero que difiere entre cada persona, debido a que el sistema de termorregulación de la piel para cada uno reacciona a distintos ritmo. En estos primeros cinco minutos después de estimular la piel, ocurre un proceso donde el organismo se aproxima paulatinamente a su temperatura nominal. Se debe recordar que la reacción ante bajas

temperatura de las extremidades de los seres humanos, es una secuencia entre vasodilatación y vasoconstricción. Aquí observamos la presenta el proceso de vasodilatación periférica, lo que aumenta el flujo de sangre periférica, y por consiguiente, la temperatura [23, 44, 45].

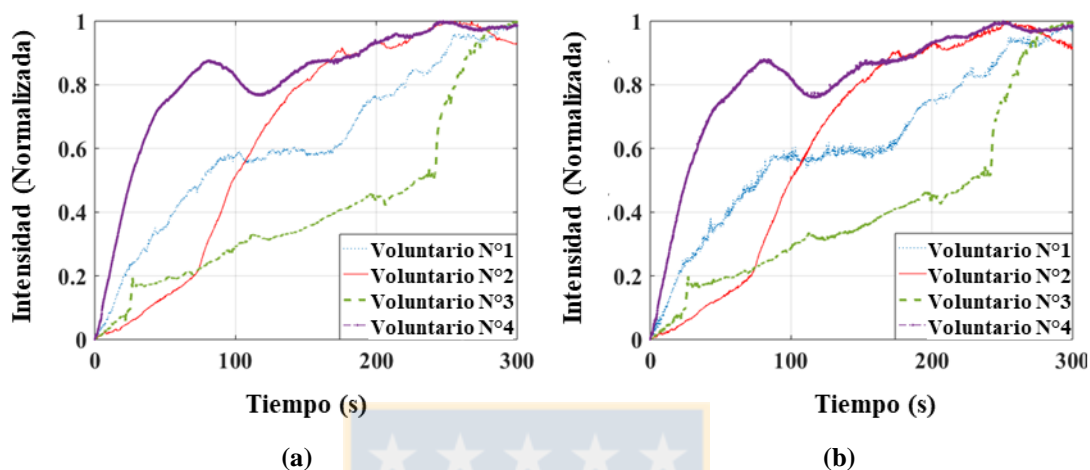


Fig. 4.4 TRC del dedo índice después de someterse a un estímulo de frío.

(a) Curva normalizada de crestas (b) Curva normalizada de surco

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, cuando la piel en las extremidades del cuerpo se expone a altas temperaturas (sin sobrepasar los 50°C , donde el órgano se puede dañar) el organismo busca ceder calor al medio, por lo que incrementada la temperatura de la piel, seguido de un aumento de la temperatura interna. La acción es desencadenada por la retirada de la actividad de vasoconstricción, y aumento en el flujo de sangre, lo que permite transferir el calor al medio [16]. Esta acción se refleja en la Fig. 4.5, donde apreciamos las curvas de TRC ante respuesta de calor. A diferencia del caso anterior, no se percibe el instante claro donde se logra estabilizar la temperatura, nuevamente debido a la diversidad de cualidades de cada individuo. Por ejemplo, si comparamos el comportamiento en el tiempo entre el individuo N°2 y N°4, se observa que el N°2 regresa paulatina y constantemente a su estado normal, contrario al individuo N°4, en donde el camino para llegar a su estado normal, se alterna entre episodios de variaciones bruscas y suaves de temperaturas. Una explicación a esta tendencia inconstante de regularización, es que este individuo registraba una alta temperatura de la yema del dedo en condiciones normales (alrededor de los $37,8^{\circ}\text{C}$), por lo que después de aplicar el estímulo de cálido, se acciona el mecanismo para ceder calor al medio, acercándose rápidamente a su temperatura normal, por lo que el sistema termorregulación bruscamente alterna la acción vasoconstrictora y vasodilatadora, hasta llegar a valor normales.

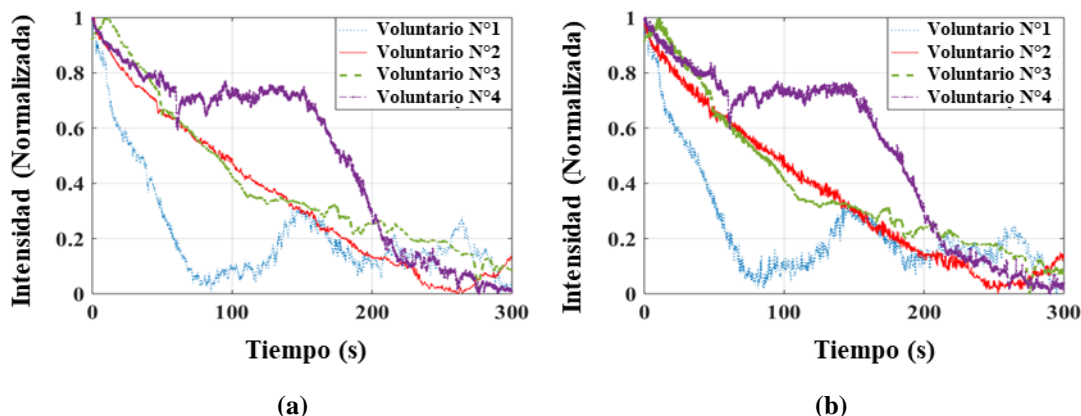


Fig. 4.5 TRCs del dedo índice después de someterse a un estímulo de calor.

(a) Curva normalizada de crestas (b) Curva normalizada de surco

Fuente: Elaboración Propia

Para los dos casos, se observa que las curvas de los surcos posee mayor variaciones de intensidad térmica entre puntos temporales consecutivos, con respecto a la curvas de las crestas. Esto es debido a las pulsaciones del flujo sanguíneo están más cercano a los surcos, mientras que las crestas están siendo rodeadas por células muertas, en donde las alteraciones térmicas son menos percibidas.

4.2.2 Respuesta termal de Rise-Time

Observando la forma de la TRC, se reconoce una similitud con las respuestas de los sistemas de control en electrónica. En relación con esta similitud y con el objetivo de caracterizar las respuestas temporales de la piel cuando alcanza su temperatura de confort, se ha resuelto medir las curvas con Rise-time.

Las TRC bajo estímulo de frío y calor para las crestas y surcos de una persona se muestran en la Fig. 4.6. En promedio, se obtuvo el tiempo empleado para recuperarse ante un estímulo de frío es de 190 segundos, mientras que para el estímulo de calor es de 200 segundos. Además, estas gráficas permiten comparar la progresión de los valores entre surcos y cresta de la misma persona, obteniéndose que el promedio de la base de datos total, los surcos superaron 0.071°C a las cresta.

Es necesario recalcar que la regulación térmica se rige por diferentes factores, como la edad, el ciclo circadiano, los hábitos alimenticios, el género, la reacción metabólica, etc. Por lo tanto, se puede inferir que las diferencias dentro de las curvas térmicas tendencias son comunes, y están siendo explicados por las variaciones de los factores antes mencionados dentro de cada persona [6, 16, 23]

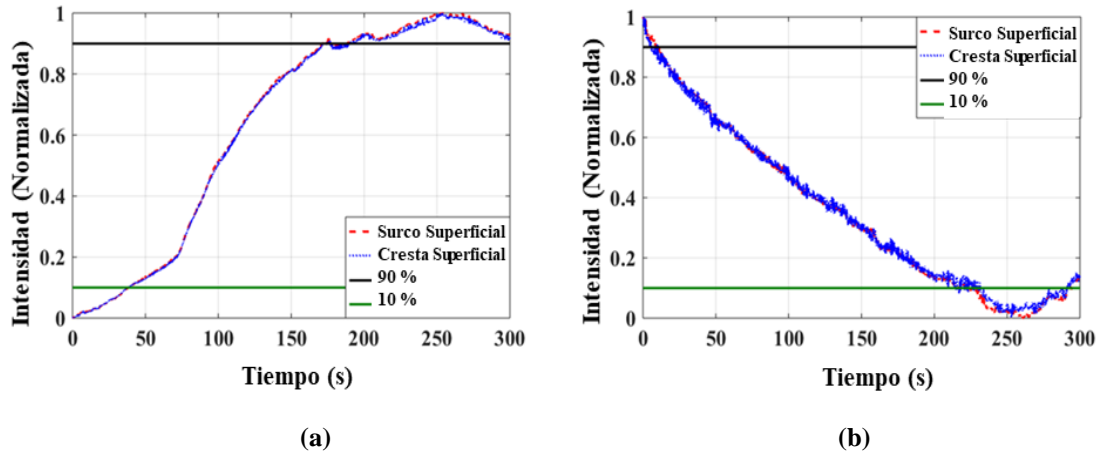


Fig. 4.6 Rise time de TRCs del dedo índice.

(a) Rise time reacción ante estímulo frío (b) Rise time reacción ante estímulo caliente

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Discusión y Conclusiones

En este capítulo se mostró los resultados obtenidos tras procesar y analizar la base de datos, junto con una breve explicación por cada hecho ocurrido, y/o contrastar la información con lo expuesto en la literatura.

Con respecto a los mapas térmicos e imágenes obtenidas, quedo nuevamente evidenciado el poder del equipo para determinar bajas variaciones de temperatura (a nivel mK) en pequeñas estructuras, lo que lleva a poder entender el comportamiento térmico a esta escala. Esta cualidad permitió hacer un análisis espacial que evaluó la diferencia de intensidad térmica simultánea entre distintas estructuras.

Por otro lado, con respecto al análisis temporal, se logró graficar la variación de intensidad térmica a lo largo del tiempo. La normalización de la información permitió comparar la conducta de la variación de intensidad de los sujetos de prueba, sin considerar las cualidades de cada persona.

Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Conclusiones

Con respecto al marco teórico, se hizo una recopilación de información sobre anatomía y fisiología de la piel, tecnología IR y procesamiento de imágenes IR en medicina, lo que permitió comprender los procesos biológico ocurridos durante la grabación de cada experimento, la información captada por las imágenes IR y métodos para analizarlo. En este capítulo también se mostró el trabajo previo del tema, el cual constaba de la obtención de la base de datos y primeros análisis de imágenes IR de dicha información. Tener este avance, ayuda a situar al lector en el campo de esta investigación e indagar más profúndame en esta investigación.

Con respecto a los resultados obtenidos, estos pudieron cumplir los objetivos planteados, pero dejando cavidad para seguir indagando en el tema. Si vemos el análisis espacial, específicamente el análisis de intensidad por corte micro-termal, podemos comparar los resultados con los publicados por Adams et al. [46]. El cual realizo los mismos cortes, pero con tomografía de coherencia óptica (OCT). En su trabajo, las gráficas son similares pero entregando solo información espacial, y no el agregado térmico que aquí tenemos. Ahora, si hablamos de los resultados obtenidos tras las medidas de estructuras, esta también fue contrastada con la información en espectro visible, teniendo valores similares, pero no debemos olvidar, que esto corresponde a una información térmica en espectro MWIR, lo que no existía hasta ahora.

Ahora, en el caso del análisis temporal, se pudo observar bien el proceso térmico de termorregulación en la yema de los dedos, más específicamente, en las tres estructuras presentes aquí. Aquí se evidencio que la mayoría de los voluntarios poseen una TRC similares bajo las mismas condiciones de ensayo, pero con pequeñas variaciones, debido a la diversidad de factores influyentes en la regulación de temperatura corporal. Toda la información encerrada en esta investigación, puede ser útil para estudiar la acción de las glándulas sudoríparas en problemas de hiperhidrolisis, papel que juega en termorregulación o estudios de biometría.

Finalmente, queda nuevamente evidenciado el poder que tiene la tecnología IR en la medicina. Según avanza la tecnología, ya sea en hardware o software, es posible expandir las aplicaciones.

Para mayor información, revisar la publicación de este trabajo en la revista IEEE Access [47].

5.2. Trabajo Futuro

El uso de cámaras infrarrojas en medicina fue introducida hace muchos años atrás, pero aún queda mucho potencial que explorar y explotar. Este trabajo es una pequeña muestra de lo que se puede hacer. Como parte del grupo que inicio esta investigación, me gustaría ampliar los usos del microscopio MWIR para estudiar la morfología y/o respuestas térmicas de la piel de diferentes partes del cuerpo, tanta piel sana como con alguna anomalía. Un foco concreto que se podría estudiar es en la detección del cáncer a la piel, mediante la observación de lunares.

De manera paralela trabajar en métodos de procesamiento digital de imágenes infrarrojas, ya sea tanto para mejorar la calidad de la imagen, como para obtener mayor información de estas. Por ejemplo, usando la transformada de Fourier o sacando datos estadísticos, como lo es kurtosis, etc.



Bibliografía

- [1] T. Davies, “The history of near infrared spectroscopic analysis: Past, present and future - From sleeping technique to the morning star of spectroscopy”, Dossier 1: Proche Infrarouge PIR, vol. 4, n° 26, pp. 17 - 19, 1998.
- [2] S. Ramirez-Garcia, P. Carranza-Castro, J. Guitierrez-Salinas, L. Garcia-Ortiz, S. Hernandez-Rodriguez “Aplicación en medicina de la espectroscopia de infrarrojo cercano”, Artículo de revisión, Med Int. Mex 2012;28(4):365-370.
- [3] A. Jara, S. Torres, G. Machuca, W. Ramírez, P. A. Gutiérrez, L. A. Viafora, S. E. Godoy, E. Vera, “Joint De-blurring and Nonuniformity Correction Method for Infrared Microscopy Imaging,” Infrared Physics & Technology, Accepted Manuscript (Available online 17 March 2018).
- [4] L. P. Gartner, J. L. Hiatt, "Concise Histology", Elsevier Saunders, 2011.
- [5] E. H. Holder, L. O. Robinson and J. H. Laub, “The fingerprint sourcebook”, Washington, DC: U.S. Dept. of Justice, Office of Justice Programs, National Institute of Justice, 2011.
- [6] W. Zeiler, M. Vesely, D. Vissers, and R. Li, “Thermal response of different body parts: the fingertip as control sensor for personalized heating,” Energy Procedia, vol. 78, pp. 2766-2771, 2015.
- [7] V. Hayward, O. R. Astley, M. Cruz-Hernandez, D. Grant and G. Robles-De-La-Torre, “Haptic interfaces and devices,” Sensor Review, vol. 24, no. 1, pp. 16-29, 2004.
- [8] S. J. Lederman, and R. L. Klatzky, “Haptic perception: A tutorial,” Attention, Perception, & Psychophysics, vol. 71, no. 7, pp. 1439-1459, 2009.
- [9] L. Viafora, “Imágenes capturadas por un microscopio infrarrojo para análisis estructural de la piel en la yema del dedo y procesos de termorregulación”, Memoria de Título, Universidad de Concepción 2016.
- [10] P. Gutierrez, “Determinación experimental de una curva de respuesta radiométrica, IFoV y límite de difracción de un sistema de visión infrarrojo microscópico”, Memoria de Título, Universidad de Concepción 2016.
- [11] T. Fitzpatrick, “Dermatología en medicina general, Ed. Médica” Panamericana, 2009.
- [12] Enciclopedia Británica Publisher, Enciclopedia Hispánica Vol.XII, INC 1995-1996.
- [13] Mc. Carthy, “Plastics Survey”, 3rd ed., vol. 1, W.B. Saunders Company, 1990.
- [14] J. A. García-Porrero, J. M. Hurlé, “Anatomía Humana”, Mc. Graw Hill, Spain, 2005.
- [15] L. Baumann, S. Amini y E. Weiss, “Nueva clasificación de los tipos de piel y sus implicaciones

- en dermatología Cosmética”, *Dermatología Venezolana*, vol. 43, n° 4, 2005.
- [16] H. Daanen, “Finger cold-induced vasodilation: a review”, *European journal of applied physiology*, vol. 89, no. 5, pp. 411–426, 2003
- [17] William J. Babler¹ A. R. Hale, “Morphogenesis of volar skin in the human fetus”. 1951, *Am. J. Anat* 91:147-173.
- [18] W. Hirsch and J. U. Schweichel, “Morphological evidence concerning the problem of skin ridge formation” *J. Ment. Defic. Res.*, 17:58, 1973.
- [19] S. E. Godoy, M. M. Hayat, D. A. Ramirez, S. A. Myers, R. S. Padilla, and S. Krishna, “Detection theory for accurate and non-invasive skin cancer diagnosis using dynamic thermal imaging”, *Biomed. Opt. Express*, vol. 8, no. 4, pp. 2301-2323, 2017.
- [20] B. Kozier, G. Erb y R. Olivieri, “La temperatura Corporal de Enfermería fundamental, conceptos, procesos y práctica”, Madrid, Mc Graw-Hill Interamericana, 1993, pp. 457 - 466.
- [21] Selkurt, Ewald E., “Fisiología básica para las ciencias de la salud”, Buenos Aires: El Ateneo, 1986.
- [22] D. P. Cardinali y P. A. Scacchi Bernasconi, “Ritmos biológicos en neuroendocrinología”, *SAEGRE*, vol. XVI, n° 3, 2009.
- [23] A. D. Flouris, D. A. Westwood, I. B. Mekjavic and S. S. Cheung, “Effect of body temperature on cold induced vasodilation,” *European journal of applied physiology*, vol. 104, no. 3, pp. 491, 2008.
- [24] O. Jay and G. Havenith, “Differences in finger skin contact cooling response between an arterial occlusion and a vasodilated condition,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 100, no 5, pp. 1596-1601, 2006.
- [25] Thomas L. Williams, “Thermal imaging Cameras, characteristics and performance”, Editorial CRC Press, 2009.
- [26] FLIR, “The ultimate infrared handbook for R&D professional”.
- [27] Bryan F. Jones, “A Reappraisal of the Use of Infrared Thermal Image Analysis in Medicine”, *IEEE Transactions on medical imaging*, vol. 17, No 6, pp. 1019-1027, December 1998.
- [28] B.B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, John Philip, “Medical applications of infrared thermography: A review”, *Infrared Physics & Technology*, Vol 55 pp-221–235, 2012.
- [29] Alexander von Luhmann, Heidrun Wabnitz, Tilmann Sander, and Klaus-Robert Muller. “M3BA: A Mobile, Modular, Multimodal Biosignal Acquisition Architecture for Miniaturized. EEG-NIRS-Based Hybrid BCI and Monitoring” *IEEE Transactions on medical imaging*, vol. 64,

No 6, pp. 1199-1210, June 2017.

- [30] Y.V. Gulyaev, A.G. Markov, L.G. Koreneva, P.V. Zakharav, “Dynamical infrared thermography in humans”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 14 (1995) 766–771.
- [31] H. Qi, J. Head, “Asymmetry analysis using automatic segmentation and classification for breast cancer detection in thermograms”, in: *Proc. 23rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Turkey, 2001, pp. 2866–2869.
- [32] J. Steketee, “Spectral emissivity of the skin and pericardium”, *Physics in Medicine & Biology* 18 (1973) 686–694.
- [33] P.T. Kuruganti, H. Qi, “Asymmetry analysis in breast cancer detection using thermal infrared images”, in: *Proc. of the 2nd Joint EMBS-BMES Conference*, 2002, pp. 1129–1130.
- [34] M. Anbar, “Quantitative Dynamic Telethermometry in Medical Diagnosis and Management”, CRC Press, Boca Raton, FL, 1994.
- [35] M. Anbar, L. Milescu, M.W. Grenn, K. Zamani, M.T. Marina, “Study of Skin hemodynamics with fast dynamic area telethermometry”.
- [36] W.E. Snyder, H. Qi, L.E. Head, C.X. Wang, “Increasing the effective resolution of thermal infrared images”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 19 (2000) 63–70.
- [37] A. Bivik, “The essential guide to image processing”, Elsevier, 2009.
- [38] C. M. Lorenzo, B. E. Moreno, C. V. Gutierrez,, R. G. Barrilao, “Exploración y tratamiento fisioterápico de la hiperhidrosis palmar”, *Fisioterapia*, vol. 26, no. 2, pp. 105-113, 2004.
- [39] T. Goodall, A. C. Bovik, N. Pailter, “Tasking on natural statistics of Infrared images”, *IEEE Transactions on image processing*, Vol 25, I. 1, 2016.
- [40] A. D. Flouris and S. S. Cheung, “Influence of thermal balance on cold-induced vasodilation,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 106, no. 4, pp. 1264-1271, 2009.
- [41] A.G. Jara and F.O. Torres “Acceleration algorithm for constant-statistics method applied to the nonuniformity correction of infrared sequences”. *Opto-electronics review*, vol. 23, no. 1, pp. 116-119, 2015.
- [42] K. Wilke, A. Martin, L. Terstegen and S. S. Biel, “A short history of sweat gland biology” *Int. J. Cosmet. Sci.* vol. 29, pp. 169–179, 2007.
- [43] JA E. Gutiérrez-Redomero, M.C. Alonso, J.E. Dipierri, “Sex differences in fingerprint ridge density in the Mataco-Mataguayo population”, *HOMO-Journal of Comparative Human Biology*, vol. 62, pp. 487–499, 2011.

- [44] W. R. Keatinge, “The effect of general chilling on the vasodilator response to cold,” *The Journal of physiology*, vol. 139, no. 3, pp. 497-507, 1957.
- [45] D. Brajkovic, M. B. Ducharme, and J. Frim, “Relationship between body heat content and finger temperature during cold exposure,” *Journal of applied physiology*, vol. 90, no. 6, pp. 2445-2452, 2001.
- [46] M. J. Adams, S. A. Johnson, P. Lefèvre, V. Lévesque, V. Hayward, T. André and J. L. Thonnard, “Finger pad friction and its role in grip and touch”, *Journal of The Royal Society Interface*, vol. 10, no. 80, pp. 20120467, 2013.
- [47] Laura A. Viafora; Sergio N. Torres; Wagner Ramírez; Pablo A. Gutiérrez; Guillermo Machuca; Anselmo Jara, “Infrared microscopy imaging applied to obtain the index finger pad's thermoregulation curves”, *Journal IEEE Access*, vol. 6 Issue 1, pp 31146 – 31156, 2018.



Anexo A. Datasheet Cámara Infrarroja IRE-320M

IRE-320M	
Infrarrojos Matriz de plano focal	Sofradir Marte MWIR
Detector de Tamaño	320x256
Tamaño De Píxel	30µm
Respuesta Espectral	3.7 a 4.8 micras
Leer	Integración instantánea (ITR / IWR)
Resolución térmica (NETD)	<10mK
Ajustes de ganancia	2
Buena Capacidad	12/37 mí
Eficiencia cuántica	> 90%
Operatividad	> 99,5%
Subwindowing	Definibles dinámico y fácil de 64x1
Pixel Reloj	26.4 MHz
UNA D	14-bit
Escudo Fría	Estándar F2.0; Otras aberturas también disponibles
Frame Rate (full frame)	Variable 1-320 Hz
Integración de Control de Tiempo	480ns a 20 ms
Disparador / sincronización	0-5 V TTL in / out con retraso
Salida Digital	Estándar: LVDS y Camera Link; Opcional: Gigabit Ethernet
Análogica Salida de vídeo	RS-170
Vídeo Simbología	Definible por usuario para la superposición de salida de vídeo
La uniformidad no Corrección	A bordo (4 tablas)
Reemplazo de Bad Pixel	A bordo (4 tablas)
Sellado de Tiempo	IRIG-B marca de tiempo en cada cuadro (señal IRIG-B no proporcionada)
Enfriamiento	De ciclo cerrado refrigerador Stirling (lineal o rotativo; múltiples opciones)
De tiempos de parada	<5 minutos @ 20 ° C; <7 minutos @ 55 ° C
Peso w / o de la lente	<4 kg
Dimensiones (L x W x H)	10,7 "x 7,3" x 6,7 "(27,2 cm x 18,6 cm x 17,0 cm)
Temperatura de funcionamiento	-30 ° a 55 ° C
Choque	MIL-SPEC 810G
Vibración	MIL-SPEC 810G
Óptico Interfaz de montaje	Estándar: Bayoneta, Opcional: M80
Panel de interfaz de usuario	Opcional. Interfaz de conector estándar para LVDS, Camera Link, GigE, vídeo analógico, sincronización de entrada / salida, IRIG y el poder

Anexo B. Test fototípico del Dr. T. Fitzpatrick

Tabla 1. Fototipos cutáneos*

	Acción del sol sobre la piel (no protegida)	Características pigmentarias
Fototipo I	Presenta intensas quemaduras solares, casi no se pigmenta nunca y se descama de forma ostensible	Individuos de piel muy clara, ojos azules, pelirrojos y con pecas en la piel. Su piel, habitualmente, no está expuesta al sol y es de color blanco-lechoso
Fototipo II	Se quema fácil e intensamente, pigmenta ligeramente y descama de forma notoria	Individuos de piel clara, pelo rubio, ojos azules y pecas, cuya piel, que no está expuesta habitualmente al sol, es blanca
Fototipo III	Se quema moderadamente y se pigmenta correctamente	Razas caucásicas (europeas) de piel blanca que no está expuesta habitualmente al sol
Fototipo IV	Se quema moderada o mínimamente y pigmenta con bastante facilidad y de forma inmediata al exponerse al sol	Individuos de piel morena o ligeramente amarronada, con pelo y ojos oscuros (mediterráneos, mongólicos, orientales)
Fototipo V	Raramente se quema, pigmenta con facilidad e intensidad (siempre presenta reacción de pigmentación inmediata)	Individuos de piel amarronada (amerindios, indostánicos, árabes e hispanos)
Fototipo VI	No se quema nunca y pigmenta intensamente (siempre presentan reacción de pigmentación inmediata)	Razas negras

*Las fotografías de los diferentes fototipos pueden consultarse en el sitio web: www.uv.es/~vicaleg/CLindex/CLcancer/CLprecan11.htm

Tabla 2. Test de evaluación del fototipo*

<p>1. ¿Cuál es el color natural de su piel cuando no está bronceada?</p> <p><input type="checkbox"/> 0 Rojiza, blanca</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Blanca-beige</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Beige</p> <p><input type="checkbox"/> 8 Marrón clara</p> <p><input type="checkbox"/> 12 Marrón</p> <p><input type="checkbox"/> 16 Negra</p>	<p>4. ¿Cuántas pecas tiene de manera natural en el cuerpo cuando no está bronceado?</p> <p><input type="checkbox"/> 0 Muchas</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Algunas</p> <p><input type="checkbox"/> 6 Unas cuantas</p> <p><input type="checkbox"/> 8 Ninguna</p>	<p>6. ¿Qué categoría describe mejor su potencial de quemadura después de exponerse al sol una hora en verano?</p> <p><input type="checkbox"/> 0 Siempre se quema y no se broncea nunca</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Habitualmente se quema, pero puede broncearse ligeramente</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Se quema ocasionalmente, pero se broncea moderadamente</p> <p><input type="checkbox"/> 8 Nunca se quema y se broncea con facilidad</p> <p><input type="checkbox"/> 10 Raramente se quema y se broncea profundamente</p> <p><input type="checkbox"/> 12 Nunca se quema</p>
<p>2. ¿De qué color natural es su pelo?</p> <p><input type="checkbox"/> 0 Pelirrojo, rubio claro</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Rubio, castaño claro</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Castaño</p> <p><input type="checkbox"/> 8 Castaño oscuro</p> <p><input type="checkbox"/> 12 Castaño oscuro-negro</p> <p><input type="checkbox"/> 16 Negro</p>	<p>5. ¿Qué categoría describe mejor su herencia genética?</p> <p><input type="checkbox"/> 0 Raza blanca de piel muy blanca</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Raza blanca de piel clara</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Raza blanca piel morena (Mediterráneo)</p> <p><input type="checkbox"/> 8 Oriente Medio, hindú, asiático, hispano-americano</p> <p><input type="checkbox"/> 12 Aborigen, africano, afroamericano</p>	<p>7. ¿Qué categoría describe mejor su potencial de bronceado?</p> <p><input type="checkbox"/> 0 Nunca se broncea</p> <p><input type="checkbox"/> 2 Se puede broncear ligeramente</p> <p><input type="checkbox"/> 4 Se puede broncear moderadamente</p> <p><input type="checkbox"/> 8 Se puede broncear profundamente</p>
<p>A continuación, sume los puntos de las 7 respuestas e identifique su puntuación total con el tipo de piel correcto que se enumera más abajo.</p> <p>PUNTUACIÓN TOTAL: _____ TIPO DE: _____</p>		

*Fuente: www.sanidadigital.org/bronceado/Cuestionario_fototipos_piel.pdf