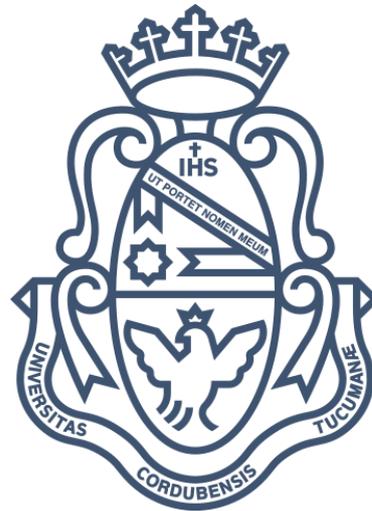


Universidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas Físicas
y Naturales
Ingeniería Biomédica

Proyecto Integrador

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.



Alumnos:

Carranza, Romina Antonella
Matrícula: 37665468

Rotharmel, Sofía
Matrícula: 38569210

Director:

Ing. Taborda, Ricardo

Co-Director:

Ing. Rodríguez, Conrado



Córdoba, noviembre de 2018

Agradecimientos

En primer lugar queremos agradecer a nuestras familias, por su apoyo y confianza, fundamental para poder concretar esta etapa.

A nuestros asesores, Ingeniero Ricardo Taborda e Ingeniero Conrado Rodríguez, por su colaboración y disposición de poner a nuestro alcance, personas, recursos y conocimientos.

Al Dr. Domingo Ríos, jefe del servicio del Instituto del Quemado del Hospital Córdoba, y la Dra. Margarita Campos, por la predisposición y por darnos la oportunidad de formar parte del equipo de trabajo durante estos meses.

A todo el equipo de cirujanos del Instituto del Quemado del Hospital Córdoba, especialmente a la Dra. Rosina Di Paola por compartir sus conocimientos, dedicándonos su tiempo y paciencia.

Al Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo (LIADE) que nos brindó sus instalaciones y permitieron el uso de su equipamiento.

A nuestros compañeros y amigos de la carrera, que nos acompañaron durante estos años, y por supuesto a todos aquellos que participaron de una u otra manera en este proyecto.

¡Muchas gracias!

Resumen

Dentro de los traumatismos que pueden sufrir las personas, las quemaduras son las que mayor repercusión física y psíquica pueden ocasionar, sin olvidar que son la segunda causa de muerte accidental en los países desarrollados. En Argentina se considera que sufren quemaduras 190.000 personas por año en donde el 10% corresponde a quemaduras graves que requieren de hospitalización, y de ellos muere el 1% [10]. Está demostrado que uno de los factores que más influye en la disminución de la morbimortalidad del paciente quemado es la rapidez en el inicio de un tratamiento adecuado, para lo cual se requiere conocer la gravedad de la quemadura, es decir, su profundidad y extensión.

Actualmente, un problema importante en la terapia de quemaduras es la evaluación incorrecta de la profundidad de la misma, lo que puede tener repercusiones en la elección del tratamiento. El método utilizado para la evaluación de la profundidad se basa en la inspección visual y táctil de las características de la herida, como la apariencia, el color, textura y la sensibilidad. Por lo cual la validez de la evaluación clínica es limitada, ya que es extremadamente difícil evaluar el alcance del daño tisular solo mediante la inspección visual de la superficie, especialmente durante los primeros días posteriores a la quemadura.[3]

Por esta razón, surge este proyecto en el que se propone el uso de un método no invasivo para la distinción de profundidades de quemaduras utilizando termografía infrarroja. La termografía infrarroja es una técnica que permite a distancia y sin contacto, medir y visualizar temperaturas de la superficie de la piel con precisión a través de una cámara termográfica. Dicha cámara, permite detectar áreas calientes y frías del cuerpo, ya que la disipación de calor corporal se hace a través de radiación infrarroja desde la superficie de la piel.

En este proyecto, se adquirieron imágenes termográficas de pacientes que han asistido al Instituto del Quemado de la ciudad de Córdoba, con el fin de determinar de forma no invasiva la profundidad de las mismas y evaluar la termografía como un método complementario para su diagnóstico y evolución. A las imágenes termográficas se les realizó un procesamiento digital a través de Matlab para la extracción de datos característicos y su posterior análisis. Así mismo, se tuvo en consideración la evaluación clínica del equipo médico especialista en quemaduras, la cual fue comparada con la evaluación termográfica.

Los resultados obtenidos a partir de las imágenes térmicas de los pacientes reflejan que la termografía podría ser una herramienta útil para determinar la profundidad de las quemaduras. En definitiva se plantea como un método diagnóstico complementario al utilizado actualmente, siendo provechoso ya que no es invasivo, no produce dolor al paciente, y su uso no provoca efectos adversos.

Contenido

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
Contenido.....	4
Índice de Ilustraciones.....	7
Índice de Tablas.....	11
Introducción.....	13
Objetivos.....	14
Objetivos Generales.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Estado del arte de la Termografía.....	15
Capítulo 1: Marco Teórico.....	17
1. Piel.....	17
1.1 Funciones.....	17
1.2 Histología.....	18
1.3 Irrigación.....	23
2. Quemaduras.....	24
2.1 Fisiopatología local.....	24
2.2 Etiología.....	26
2.3 Clasificación.....	27
2.4 Extensión.....	34
2.5 Tratamiento quirúrgico de las quemaduras.....	35
3. Temperatura y calor.....	36
3.1. Diferencia entre calor y temperatura.....	36
3.2. Principios de transferencia de calor.....	37
3.3. Formas de transferencia de calor.....	37
4. Principios fundamentales de la radiación infrarroja.....	39
4.1 Campos eléctricos y magnéticos.....	39
4.2 Espectro electromagnético.....	40
4.3 Emisividad (ϵ).....	42
4.4 Procesos de IR en cuerpos.....	42
5. Termografía Infrarroja.....	47

5.1 Termografía Clínica	47
5.2 Imagen radiométrica	47
5.3 Termograma	47
5.4 Elementos de un sistema de termografía	48
5.5 Temperatura aparente	48
6. Cámara Termográfica	50
6.1 Funcionamiento	50
6.2 Características de una cámara termográfica	54
6.3 Herramientas de la cámara termográfica.....	55
Capítulo 2: Materiales y Métodos	58
1. Dinámica de la Institución	58
2.1.1 Consultorio Externo	58
2.1.2 Quirófano	59
2. Muestra	59
2.2.1 Consultorio Externo	60
2.2.2 Quirófano	60
2.2.3 Criterios de exclusión	61
3. Protocolo de adquisición	61
2.3.1 Preparación del sujeto para la toma de imágenes termográficas	62
2.3.2 Condiciones ambientales del lugar de medición.....	62
2.3.3 Configuración de parámetros de la cámara termográfica	65
2.3.4 Posicionamiento adecuado de la cámara	66
2.3.5 Adquisición de imágenes térmicas	68
4. Procesamiento digital de Imágenes	69
2.4.1 Software	70
2.4.2 Pre- procesado: Smart View	70
2.4.3 Procesado: MATLAB	74
Capítulo 3: Discusión y Análisis de Resultados.....	87
1. Consultorio.....	87
3.1.1 Quemaduras ABA.....	92
3.1.2 Quemaduras ABB.....	96
2. Quirófano	102
3.2.1 Grupo I.....	103

3.2.2 Grupo II.....	109
Conclusiones.....	112
Mejoras y trabajos futuros.....	113
Bibliografía y Referencias	114
Anexos	117
Anexo N° 1: Declaración de consentimiento informado	117
Anexo N° 2: Tablas de temperaturas.	119
Anexo N°3: Costos.....	123
Anexo N° 4: Códigos de Matlab.	125

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Fotomicrografía de piel gruesa de la planta del pie donde se distinguen con claridad las capas de la piel	18
Ilustración 2: Fotomicrografía de piel gruesa de la planta del pie donde se diferencian las distintas capas epidérmicas	21
Ilustración 3: Distinción de las capas de la dermis.	22
Ilustración 4: Daño asociado a distintos grados de temperatura.	24
Ilustración 5: Tiempo de contacto requerido para producir una quemadura	25
Ilustración 6: Áreas de afectación cutánea tras una quemadura.	26
Ilustración 7: Quemadura tipo A o de primer grado.	29
Ilustración 8: Quemadura tipo A, etiología solar. A la izquierda en torso, a la derecha en brazo.....	29
Ilustración 9: Quemadura del tipo AB o de segundo grado.	30
Ilustración 10: Quemadura ABA. De izquierda a derecha antes y después de desbridar flictenas.	31
Ilustración 11: Quemadura tipo ABB. A la izquierda lecho rojo moteado, a la derecha, lecho pálido blanquecino	32
Ilustración 12: Quemadura de tipo B o tercer grado.	33
Ilustración 13: Quemadura tipo B. A la izquierda en brazo (zona central, rodeada de una zona de menor profundidad de color rojo). A la derecha, en pie, se observa escara parda marrón.....	33
Ilustración 14: Regla de los 9 de Wallace	34
Ilustración 15: Injerto de piel.	36
Ilustración 16: Formas de transferencia de calor.	38
Ilustración 17: Onda electromagnética.	40
Ilustración 18: Espectro electromagnético.	41
Ilustración 19: Balance de la radiación incidente de un cuerpo.	43
Ilustración 20: Cuerpo emitiendo radiación térmica en todas las direcciones.	44
Ilustración 21: Las tres fuentes de radiación saliente de un cuerpo.	45
Ilustración 22: Radiación saliente en un cuerpo opaco.	46
Ilustración 23: Esquema general de las radiaciones detectadas por el instrumento.	49
Ilustración 24: Arreglo de plano focal con microbolómetros.....	51
Ilustración 25: Esquema de funcionamiento del microprocesador de la cámara termográfica	52
Ilustración 26: Distintas partes de una cámara termográfica.	53
Ilustración 27: FOV e iFOV.	55
Ilustración 28: Diferencias entre Rango, Nivel e Intervalo.	56
Ilustración 29: Regiones anatómicas que se evaluaron en los pacientes del estudio.	61

Ilustración 30: Esquema general del protocolo de adquisición de imágenes.....	62
Ilustración 31: Termohigrómetro utilizado durante la medición.....	63
Ilustración 32: Cámara termográfica Fluke TiS75.....	65
Ilustración 33: Campo de visión de la cámara termográfica.	67
Ilustración 34: Esquema de trabajo general.....	69
Ilustración 35: Pantalla principal de edición del SmartView	71
Ilustración 36: Intervalo térmico incorrecto.	72
Ilustración 37: Intervalo térmico adecuado.	73
Ilustración 38: Modo IR Fusion al 50% y PIP. A la izquierda, imágenes desfasadas, a la derecha imágenes corregidas.	74
Ilustración 39: Etapas del preprocesado de la imagen en SmartView. ...	74
Ilustración 40: Etapas del procesado de imágenes de pacientes de consultorio en Matlab	76
Ilustración 41: Imagen visible de la cara interna de un brazo quemado donde se observa la selección manual de la región de interés con una bordeado blanco.....	77
Ilustración 42: A la izquierda, imagen infrarroja completa; a la derecha, mascara de valores lógicos de la quemadura (BW).	77
Ilustración 43: Resultado de la multiplicación de la máscara lógica con la imagen infrarroja.	78
Ilustración 44: A la izquierda, máscara del filtro sobel. A la derecha, la imagen IR con la máscara sobel.	78
Ilustración 45: A la izquierda, no se observa el contorno de la quemadura. A la derecha, borde definido con el filtro sobel.....	79
Ilustración 46: Funcionamiento del comando impixelinfo.....	80
Ilustración 47: Máscara de valores lógicos de la piel total del paciente.	80
Ilustración 48: A la izquierda, la máscara aplicada a la imagen visible. A la derecha, la imagen luego del comando imfreehand.....	81
Ilustración 49: Zona quemada y sana segmentadas. A la izquierda, la piel sana circundante. A la derecha el área quemada.	81
Ilustración 50: Etapas del procesado de las imágenes de pacientes de quirófano en MATLAB.....	82
Ilustración 51: Selección de la ROI con el comando imfreehand.....	83
Ilustración 52: A la izquierda, mascara de valores lógicos de la quemadura. A la derecha, imagen infrarroja completa.....	83
Ilustración 53: Imagen infrarroja de la zona quemada del paciente.....	83
Ilustración 54: Distintas regiones obtenidas luego de aplicar segmentación de Mahalanobis.....	85
Ilustración 55: Diagrama de torta con los porcentajes de cada grupo ...	88
Ilustración 56: Gráfico de correlación lineal entre temperatura ambiente (°C) y temperatura de piel sana (°C).	89

Ilustración 57: Promedios de temperatura de la piel sana de cada zona. A la izquierda valores de sujetos sanos, a la derecha valores de pacientes con quemaduras.	91
Ilustración 58: Quemadura ABA en mano derecha. A la izquierda imagen infrarroja, a la derecha imagen visible procesada.	93
Ilustración 59: Evolución de quemadura ABA en mano derecha.	93
Ilustración 60: Imagen infrarroja de quemadura en mano. A la izquierda se demarca la quemadura ABA, a la derecha quemadura A.	94
Ilustración 61: Quemadura ABA en muslo izquierdo. De izquierda a derecha, fotografía digital; imagen infrarroja procesada, fotografía de la quemadura ya epitelizada.	95
Ilustración 62: Quemadura ABB en mano izquierda. De izquierda a derecha, fotografía digital; imagen infrarroja, imagen visible procesada.	97
Ilustración 63: Evolución de quemadura ABB en mano izquierda.	97
Ilustración 64: Quemadura ABB en antebrazo derecho. De izquierda a derecha, fotografía digital; imagen infrarroja, imagen visible procesada.	98
Ilustración 65: Evolución de quemadura ABB en antebrazo izquierdo. .	99
Ilustración 66: ΔT positivos en quemaduras ABA y negativos en quemaduras ABB.	100
Ilustración 67: Diagrama de torta junto los porcentajes de cada grupo	103
Ilustración 68: Quemadura en pierna izquierda. A la izquierda imagen visible, a la derecha imagen infrarroja procesada.	104
Ilustración 69: Segmentación de quemadura en pierna. De izquierda a derecha, zonas profundas, intermedias y superficiales.	104
Ilustración 70: Evolución de la quemadura B y ABB en pierna izquierda.	105
Ilustración 71: Injerto de piel en pierna izquierda.	106
Ilustración 72: Quemadura en lado derecho del torso. A la izquierda, imagen visible, a la derecha imagen infrarroja procesada.	106
Ilustración 73: Segmentación de quemadura en torso. De izquierda a derecha zonas profundas, intermedias y superficiales.	106
Ilustración 74: Evolución de quemadura B y ABB en lado derecho del torso.	107
Ilustración 75: Imagen infrarroja procesada de quemadura de 5 días en torso.	108
Ilustración 76: Quemadura en torso. A la izquierda, imagen infrarroja. A la derecha fotografía del injerto.	109
Ilustración 77: Imagen infrarroja y su segmentación de la mano derecha del paciente 4, el día 5 de la quemadura.	109
Ilustración 78: Mano derecha del paciente 4. A la izquierda quemadura precoz, a la derecha mano injertada.	110
Ilustración 79: Mano izquierda del paciente 4. A la izquierda quemadura precoz, al centro imagen termográfica procesada, a la derecha mano inyectada.	110

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Ilustración 80: Mano izquierda del paciente 5. A la izquierda quemadura precoz, al centro imagen termográfica procesada, a la derecha mano injertada 111

Ilustración 81: Mano izquierda del paciente 6 A la izquierda quemadura precoz, , al centro imagen termográfica procesada, a la derecha mano injertada 111

Índice de Tablas

Tabla 1: Profundidad de las quemaduras según las distintas clasificaciones.	28
Tabla 2: Temperatura ambiente y humedad relativa medidas en consultorio y quirófano.	64
Tabla 3: Matriz de covarianza para una imagen RGB.	85
Tabla 4: Características de pacientes de consultorio.	87
Tabla 5: Cantidad de quemaduras según la zona afectada.	87
Tabla 6: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en antebrazos de diferentes pacientes.	88
Tabla 7: Media y rango de temperaturas de promedios de piel sana en personas sanas.	90
Tabla 8: Media y rango de temperaturas de promedios de piel sana en pacientes con quemaduras.	90
Tabla 9: Determinación de la profundidad de las quemaduras según el tiempo de epitelización de la misma.	91
Tabla 10: Días de epitelización y ΔT de las quemaduras ABA de cada zona.	92
Tabla 11: Diferencia de temperaturas entre quemaduras ABA y A.	94
Tabla 12: Días de epitelización y ΔT de las quemaduras ABB en cada zona.	96
Tabla 13: Comparación de resultados entre la evaluación termográfica y evaluación clínica.	101
Tabla 14: Comparación de porcentajes entre la evaluación termográfica y evaluación clínica.	102
Tabla 15: Características de pacientes de quirófano.	102
Tabla 16: Cantidad de quemaduras según la zona afectada.	102
Tabla 17: Temperaturas de piel en brazos, antebrazos y manos de personas sanas.	120
Tabla 18: Temperaturas de piel en muslos, piernas y pies de personas sanas.	120
Tabla 19: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en brazos de diferentes pacientes.	120
Tabla 20: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en manos de diferentes pacientes.	120
Tabla 21: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en muslos de diferentes pacientes.	121
Tabla 22: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en piernas de diferentes pacientes.	121
Tabla 23: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en pies de diferentes pacientes.	121

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Tabla 24: Diferencias de temperaturas entre zonas de la quemadura en pacientes de quirófano.	122
Tabla 25: Precios de instrumentos utilizados y calibración de la cámara termográfica.	123
Tabla 26: Tarifas de horas trabajadas.	123

Introducción

En el diagnóstico de una quemadura hay que tener presentes tres elementos fundamentales: profundidad, extensión y localización. El conjunto de estos elementos nos determinará en gran medida, junto con otros parámetros, el pronóstico de la misma.

Un problema importante en la terapia de quemaduras es la evaluación correcta de la profundidad de la quemadura, lo que puede tener repercusiones en la elección de tratamiento.

Actualmente, el método utilizado para la evaluación de la profundidad se basa en la inspección visual y táctil de las características de la herida, como la apariencia, el color, textura y la sensibilidad. Aunque se ha demostrado que es precisa en solo el 60% al 75% de los casos, incluso cuando es realizado por un cirujano experto en quemaduras [3], este método es el más frecuente en la atención primaria de las quemaduras.

Tradicionalmente, según su profundidad, las quemaduras se pueden clasificar de la siguiente forma: A (superficial), AB-A (dérmica superficial), AB-B (dérmica profunda) y B (espesor total de la piel). En la práctica clínica, incluso un médico inexperto no tiene dificultad en clasificar correctamente entre quemaduras A y B, sin embargo, la diferenciación entre las heridas ABA y ABB es problemática incluso para los profesionales más experimentados. La importancia de las quemaduras AB radica en que, dependiendo del cuidado local que se le realice pueden evolucionar de dos maneras: hacia la epitelización o precisarán tratamiento quirúrgico. Por lo tanto, los médicos deben ser capaces de evaluar rápidamente la gravedad de las quemaduras y así proporcionar un cuidado óptimo de las mismas.

En consideración a lo mencionado, este proyecto integrador propone evaluar la termografía como método objetivo para detectar de manera rápida la profundidad de la quemadura de forma no invasiva, pudiendo cuantificarla en valores de temperatura.

Objetivos

Objetivos Generales

Evaluar la termografía como una técnica alternativa para la distinción de profundidades de quemaduras, que resulte una herramienta complementaria para el diagnóstico de las mismas.

Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte de la termografía como método no invasivo de distinción de profundidades de quemaduras AB.
- Realizar pruebas con una cámara termográfica para la adquisición de imágenes térmicas en pacientes con quemaduras.
- Procesar y analizar las imágenes térmicas a través de SmartView y Matlab.
- Lograr encontrar un patrón térmico que permita discriminar entre los distintos grados de quemaduras.
- Evaluar los resultados y compararlos con la evaluación clínica del equipo médico a fin de determinar la utilidad de la termografía en la distinción de la profundidad de las quemaduras.
- Continuar con las líneas de trabajo del LIADE en el área de bioingeniería

Estado del arte de la Termografía

Existen varias técnicas para la evaluación de quemaduras que se basan en la medición de la perfusión sanguínea de la piel, ya que el potencial de curación de las heridas por quemadura está fuertemente correlacionado con el nivel de flujo microvascular en la dermis. Una técnica tradicional es la imagen térmica, que se basa en la medición de la temperatura de la piel como indicador de la perfusión sanguínea en el tejido. La emisión térmica de la piel es captada por una cámara termográfica infrarroja, que representa la temperatura de las capas de la piel. Al comparar la temperatura de la herida por quemadura con un área de referencia no afectada (ΔT), las quemaduras profundas parecen ser más frías, lo que es probable debido a la reducción del flujo sanguíneo microvascular y/o pérdida del metabolismo celular en el tejido necrótico. Por otra parte, las quemaduras superficiales presentan una temperatura más cálida debido a la inflamación y edema. [49]

A continuación se presentan algunos trabajos relacionados con la implementación de la termografía en la determinación de profundidades de quemaduras:

Burkesmith y Collier [47] evaluaron veinte pacientes con quemaduras, adquiriendo las imágenes entre 48hs y 5 días después de la quemadura. Luego, agruparon las regiones quemadas según la cicatrización de la herida: El grupo A epitelizó en 14 días, el grupo B entre 14 y 21 días y finalmente el grupo C le llevo más de 21 días sanar. Además compararon otros métodos para la evaluación de las quemaduras como ser, espectrometría cutánea y laser doppler.

Medina Preciado y Kolosovas Machuca [48] utilizaron las imágenes infrarrojas para evaluar la gravedad de las heridas por quemaduras en 13 pacientes pediátricos 72hs luego de la lesión. A partir de un parámetro ΔT obtenido al restar la temperatura de una región contralateral sana respecto de la temperatura de la quemadura, la herida se comparó con la profundidad de la quemadura medida histopatológicamente. Los resultados de las imágenes muestran que las quemaduras dérmicas ABA mostraron un aumento de la temperatura en comparación con su región sana, mientras que las quemaduras dérmicas profundas ABB presentaron una temperatura más baja que su región sana contralateral.

Jaspers y Carriere [49] obtuvieron imágenes térmicas de quemaduras en pacientes en el día 1–3, 4–7 y 8–10 después de la quemadura. Posteriormente, calcularon las diferencias de temperatura entre la quemadura y la piel sana (ΔT). Para evaluar la validez, los valores de ΔT se compararon con el tiempo de curación registrado de las heridas por quemaduras, que se especificaron en tres categorías: (I) 14 días, (II) 15-21 días y (III) > 21 días.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Hardwicke y Thomphson [50] estudiaron once pacientes con quemaduras en extremidades superiores e inferiores, tomando las imágenes térmicas entre 48hs y 5 días después de la quemadura. Luego la compararon con la piel sana, encontrando que las quemaduras B fueron 2,3°C más frías, las ABB 1,2°C y finalmente las ABA 0,1°C más frías que la piel sana.

Wearn y Lee [51] analizaron dieciséis pacientes quemados con 52 regiones de interés. La profundidad de la quemadura fue determinada utilizando imágenes térmicas, laser doppler, imágenes fotográficas y evaluación clínica en tiempo real. Se evaluaron los métodos en el día 1 y el día 3 postquemadura. Se utilizaron valores Delta T para la predicción de resultados (cierre de la herida en <21 días), y finalmente la evaluación de la profundidad de la quemadura.

Capítulo 1: Marco Teórico

1. Piel

La piel o cutis, recubre toda la superficie externa del organismo, siendo el órgano más extenso, con una superficie de aproximadamente $2m^2$ debe cumplir un gran número de tareas de una vital importancia.

Conforma una barrera contra la invasión de microorganismos y confiere protección contra acciones mecánicas, compuestos químicos, el calor, el frío y las radiaciones. También tiene gran importancia en la regulación del calor y el mantenimiento del equilibrio hídrico. Es capaz de absorber, de secretar y representa un importante eslabón en la defensa inmunológica. [1]

1.1 Funciones

La piel conforma la capa límite exterior entre el ser humano y el medio ambiente, y en este lugar tan expuesto actúa por una parte como barrera, y por otra como nexo entre el mundo exterior y los órganos internos. Cuando la superficie se encuentra intacta, la piel impide la pérdida de humores corporales.

Presenta una gran capacidad de resistencia y preserva a los órganos internos de agresiones que puedan ser causadas por factores externos.

Protege frente invasiones de microorganismos y puede resistir hasta cierto punto las influencias dañinas de ciertos productos químicos y de los rayos ultravioleta.

Además, gracias a su capacidad de secreción y evaporación (transpiración) de agua, realiza un importante aporte a un factor de vital necesidad como es el mantenimiento de la temperatura corporal.

Cabe señalar que el estado general del cuerpo es reflejado por la piel de muy diversas maneras gracias a la estrecha interrelación funcional que existe entre ésta y los órganos internos del cuerpo.

Como órgano sensorial que es, y mediante la presencia de terminaciones nerviosas independientes y de receptores especiales, la piel posibilita la percepción y localización de estímulos mecánicos como la presión, el roce y la vibración así como también la temperatura y el dolor. La piel transporta con ello información de contenido muy valioso acerca de la realidad, sin la cual no podría tener lugar el proceso de desarrollo del ser humano.

Finalmente, la piel se encuentra en situación de almacenar tejido adiposo en toda la hipodermis, el cual cumple una función aislante y en caso de necesidad puede servir como fuente de energía al organismo humano.[2]

1.2 Histología

Por su estructura, la piel se compone de tres capas. La externa o epidermis es epitelial, mientras que la subyacente, más gruesa, o dermis, se compone de tejido conectivo. Las dos capas forman una masa compacta que descansa sobre una capa subyacente de tejido conectivo, el tejido celular subcutáneo o hipodermis, que a menudo es más rico en lípidos y relaciona a la piel con estructuras más profundas.[1]

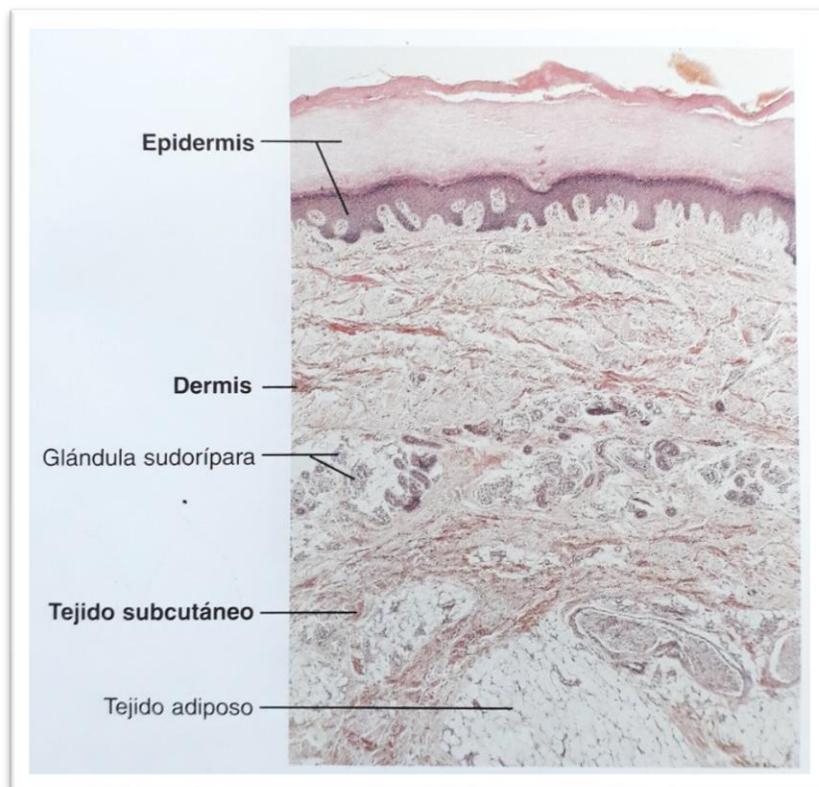


Ilustración 1: Fotomicrografía de piel gruesa de la planta del pie donde se distinguen con claridad las capas de la piel¹

Epidermis

La epidermis es un epitelio plano estratificado cuya función principal es proteger contra acciones lesivas del medio y contra la pérdida de líquidos. Para ello, la epidermis produce una membrana externa protectora, el estrato córneo, compuesta por células aplanadas muertas que contienen el complejo proteico queratina. [1] La epidermis se encuentra en constante proceso de queratinización, que se compone de diferentes capas celulares, siendo en los estratos ce-

¹ Imagen obtenida de: Finn Geneser. "Histología". Tercera edición. Editorial Medica Panamericana

lulares inferiores donde tiene lugar la regeneración. Partiendo desde allí las células migran hacia la superficie de la piel llegando a queratinizarse completamente en el transcurso de dicha migración. [2]

En la mayor parte de la superficie del organismo, el espesor de la epidermis es de unos 0,1 mm y se habla de piel fina. En las zonas lampiñas de las palmas de las manos y las plantas de los pies o piel gruesa, la epidermis puede alcanzar un espesor de más de 1mm. [1]

La epidermis es avascular y su cuidado y mantenimiento se realiza por medio de la difusión de sustancias nutritivas desde el lecho capilar de la dermis. [2]

Queratinocitos

La epidermis está constituida principalmente por queratinocitos, que reciben esta denominación debido a su capacidad para llevar a cabo la síntesis de la queratina. [2] Las células de la epidermis sufren queratinización, es decir, diferenciación en células aplanadas ricas en queratina, y simultáneo desplazamiento hacia arriba, hacia la superficie de la piel.

La epidermis se compone de las siguientes capas a partir del límite dérmico hacia la superficie:

Estrato basal

La capa basal, germinal o germinativa, está formada por células cilíndricas que se disponen generalmente en una hilera [1], que están capacitados para llevar a cabo la división celular (mitosis) y garantizan la continua regeneración de la epidermis. La división celular está sujeta a un control a través de un nutrido número de sustancias como por ejemplo factores de crecimiento, hormonas y vitaminas.

La capa basal discurre de forma ondulada a todo lo largo de las invaginaciones coniformes (papilas) de la dermis. Entre la capa basal y la dermis se encuentra la membrana basal que no posee irrigación vascular. Esta membrana sirve para separar ambas capas de la piel, pero al mismo tiempo contribuye a la fijación de las células basales y hasta cierto punto controla la cantidad de proteínas transportadas. También, en el estrato basal se encuentra la melanina, pigmento normal de la piel, cuya cantidad varía de acuerdo al tipo de piel de cada individuo. [2]

Estrato espinoso

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

El estrato espinoso, escamoso o Malpighiano, lo constituyen células poligonales que poseen puentes intercelulares, estructuras que sirven como medio de unión entre ellas y a la vez con las capas adyacentes. El número de estas células también varía dependiendo de la región corporal de que se trate. [1]

Estrato granuloso

La queratinización paulatina comienza en el estrato granuloso. Se compone de 3-5 capas de células aplanadas, las cuales contienen en su citoplasma una cantidad creciente de queratohialina.[1] Los gránulos contienen, entre otras sustancias, una proteína precursora, la cual es partícipe en la formación de fibras de queratina en el espacio intercelular.[2]

Estrato lúcido

Está compuesta por escasas capas de células aplanadas densamente empaquetadas [1]. Estas células, carentes de núcleo celular, en las cuales se puede observar una intensa actividad enzimática. En el estrato prosigue la queratinización, la cual engloba también la transformación de los gránulos de queratohialina de la capa granulosa en eleidina (semejante a la queratina) [2].

Estrato córneo

Se compone de numerosas capas de células planas totalmente queratinizadas anucleadas o células córneas. Su grosor varía de acuerdo al sitio anatómico, es mayor en las zonas como palmas y plantas, mientras que es más delgado en los párpados y genitales [1]

Estrato disyunto

Es la capa de la superficie que se encuentra en contacto con el exterior, se caracteriza por una continua descamación de las células córneas que están separadas entre sí. [1]

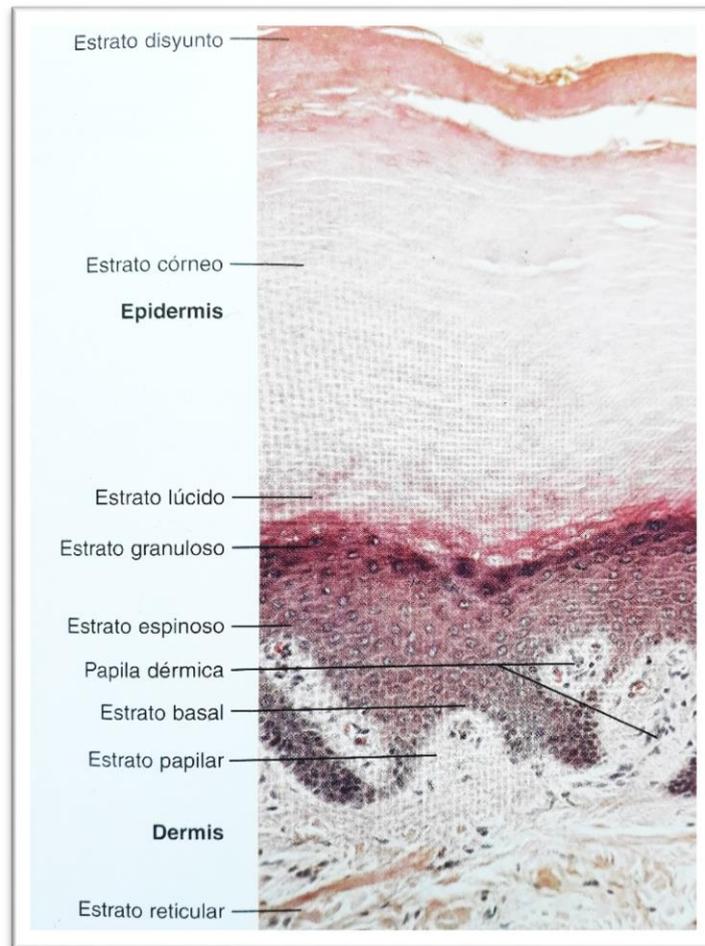


Ilustración 2: Fotomicrografía de piel gruesa de la planta del pie donde se diferencian las distintas capas epidérmicas²

Dermis

Gruesa capa de tejido conectivo que se fija a la epidermis y que se continúa en profundidad con el tejido subcutáneo rico en lípidos. En el tejido conectivo dérmico se insertan los folículos pilosos y las glándulas, sudoríparas y sebáceas. [1] También posee numerosas células que sintetizan colágeno, que le confiere a la dermis una notable fortaleza mecánica, muy importante para su función protectora.

La dermis, es un tejido vascularizado y con abundantes terminaciones nerviosas, que histológicamente se subdivide en dos capas diferentes, estrato papilar y en estrato reticular. Ambas capas se diferencian entre sí por su grosor y la disposición de sus fibras de tejido conjuntivo, sin embargo a pesar de esta diferenciación no se encuentran separadas una de otra. [2]

² Imagen obtenida de Finn Geneser. Op.Cit

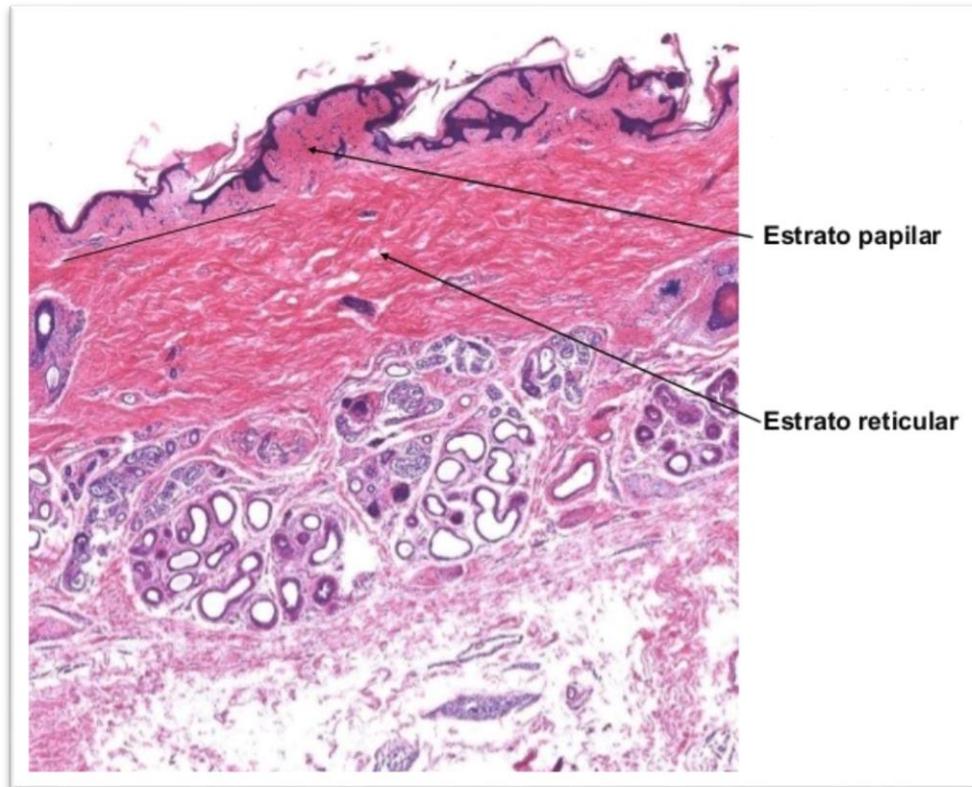


Ilustración 3: Distinción de las capas de la dermis³.

Estrato papilar

El estrato papilar se encuentra estrechamente unido a la epidermis por medio de pequeñas prominencias cónicas de tejido conjuntivo, que reciben el nombre de papilas [2]. Se compone de tejido conectivo laxo con gran cantidad de células y un reticulado laxo de delgadas fibras de colágeno (tipo III) [1]. En la zona de las papilas se encuentran las asas capilares que aseguran el abastecimiento nutritivo de la epidermis avascular, así como también las terminaciones nerviosas independientes, receptores sensoriales y vasos linfáticos. El propio tejido conjuntivo se compone de una estructura de fibrocitos (estado de reposo de los fibroblastos) y es atravesado por un entramado de fibras colágenas elásticas. Los espacios intercelulares situados entre las tramas de las fibras están rellenos con una sustancia amorfa que recibe el nombre de sustancia fundamental, en la cual se pueden desplazar las células sanguíneas y las células del tejido que se encuentran en movimiento. [2]

³ Imagen obtenida de "<https://image.slidesharecdn.com/pieluvs-170419231911/95/piel-histologica-22-638.jpg>". Última visita a la página 16/7/17.

Estrato reticular

Es mucho más denso, compuesto por resistentes fascículos de fibras colágenas (tipo I) unidas entre sí, entre los cuales se encuentran entramados fibrilares elásticos [2]. También se observa musculatura lisa, como los músculos erectores del pelo relacionado con folículos pilosos [1] Esta estructura es la que le otorga elasticidad a la piel, para que de esa manera pueda adaptarse a los diferentes movimientos y fluctuaciones de volumen del organismo. Además se encuentra capacitada, dentro de un proceso dinámico, para absorber agua y volver a expelerla. Las fibras colágenas se distribuyen en todas las direcciones, sin embargo se orientan preponderantemente en dirección oblicua a la epidermis o paralelas a la superficie corporal. [2]

Tejido celular subcutáneo o hipodermis

Representa el estrato más profundo de la piel y está compuesto por tejido conjuntivo laxo. En las profundidades se une a las fascias musculares o bien al periostio. Dejando de lado algunos pocos lugares del cuerpo, en la totalidad de la hipodermis se puede almacenar tejido adiposo, el cual cumple funciones aislantes y de almacenamiento.

1.3 Irrigación

La irrigación sanguínea no sólo nutre la piel y sus anexos, además tiene una gran importancia en la regulación de la temperatura.

Las arterias de la piel parten de las grandes arterias del tejido subcutáneo y forman una red cutánea en la zona de la transición con la dermis, paralela con la superficie de la piel. Desde allí se emiten ramas a través de la dermis, que en la transición con el estrato papilar forman una nueva red, desde donde las arteriolas emiten asas capilares hacia cada papila.

Las venas forman una red que agrandes rasgos se corresponde con la arterial. Se observa una disposición especial bajo la forma de anastomosis arteriovenosas, que desempeñan un papel fundamental en la regulación de temperatura.

2. Quemaduras

Se definen como quemaduras a todas aquellas lesiones producidas por distintos agentes térmicos (físicos, químicos o biológicos) en los tejidos vivos (piel, tejido subcutáneo, músculo o hueso), los cuales pueden afectarse de manera individual o en conjunto según las características del agente, el tiempo de exposición y la localización del mismo. [3]

2.1 Fisiopatología local

Una lesión térmica por calor involucra el calentamiento de los tejidos sobre un nivel donde ocurre daño irreversible de éstos. La respuesta fisiopatológica del paciente quemado es compleja y dinámica. El daño causado depende del contenido de calor del agente quemante, del tiempo de acción y de las características de la piel afectada, siendo mayor el daño, mientras más delgada sea la piel. [4]

La piel humana puede tolerar hasta 44°C durante cierto periodo, entre 44 y 51°C la tasa de destrucción celular se duplica por cada grado que aumenta la temperatura, se presentan daños celulares, pero con carácter de reversibilidad. A temperaturas mayores de 51°C el tiempo de exposición necesario para destruir la epidermis es tan breve, que los procesos reparativos van a verse rápidamente sobrepasados, los daños celulares son irreversibles, resultando en desnaturalización de las proteínas tisulares. Finalmente por arriba de 60°C sólo es necesario una breve exposición para llegar a la destrucción celular total, se produce coagulación de las proteínas; significando muerte celular. [5]

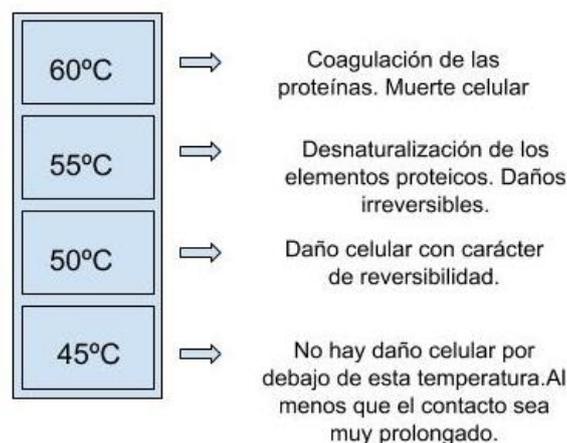


Ilustración 4: Daño asociado a distintos grados de temperatura.⁴

⁴ Imagen obtenida de: Dra Mercedes Porta, Dr Armando Pomerane, Et. Al. "Diagnóstico y tratamiento de las quemaduras radio inducidas", Buenos Aires 2002.

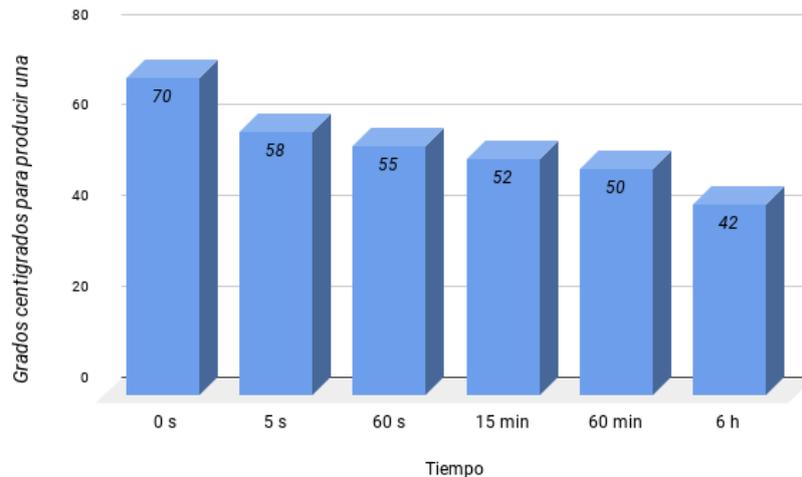


Ilustración 5: Tiempo de contacto requerido para producir una quemadura⁵

Como se observa en la ilustración 5, A 70 °C la lesión se produce instantáneamente, mientras que el contacto prolongado durante 6 horas con un objeto a 42°C produce una quemadura significativa de la piel.

Tras una quemadura, la necrosis se produce en el centro de la lesión y pierde severidad conforme se aleja.

Se puede distinguir , tres áreas concéntricas (Jackson en 1953): el área central o de coagulación (donde no hay células viables) y alrededor de la misma el área de estasis (caracterizada por una mezcla de células viables y no viables, alteraciones en la microcirculación con fenómenos de agregación plaquetaria, depósitos de fibrina, microtrombos, etc.) que nos puede llevar a la isquemia. Esta segunda área representa, por tanto, la «zona de riesgo» y puede evolucionar hacia la necrosis si se produce hipoperfusión, desecación, edema e infección. Con un adecuado manejo local de la herida, estos cambios pueden ser reversibles. [7]

⁵ Imagen Obtenida de: Moncrief JA. "The body's response to heat". Artz CP. Filadelfia: WB Saunders Co; 1979.p.23-44.

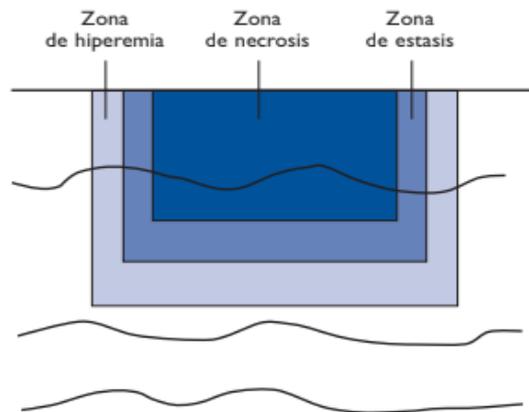


Ilustración 6: Áreas de afectación cutánea tras una quemadura.⁶

La zona más periférica es el área de hiperemia. Se caracteriza por presentar un daño celular mínimo, con células viables y fenómenos de vasodilatación debidos a la acción de los mediadores locales de la inflamación. Los tejidos de esta zona suelen recuperarse completamente, a menos que haya complicaciones como hipoperfusión severa o infecciones.

2.2 Etiología

El mecanismo de producción de las quemaduras puede ser por [3]:

Escaldadura

Son las producidas por líquidos calientes. Es el principal mecanismo de quemadura en niños y adultos.

Llama

El mecanismo es la acción directa de las llamas del fuego. Son las siguientes en frecuencia.

Contacto

Cuando la piel toca sólidos calientes como el tubo de escape de las motos, el horno de la cocina, etcétera.

Eléctricas

Debido al paso de corriente eléctrica, bien de alta tensión (> 1.000 voltios), o bien de baja tensión (< 1.000 voltios). También se incluyen en este mecanismo las producidas por una deflagración eléctrica (fogonazo), a pesar de que no hay paso de corriente eléctrica y fisiopatológicamente se comporta como una que-

⁶ Imagen obtenida de: Ricardo Palao Domenech "Quemados: Valoración y criterios de actuación", 1era edición 2009: Barcelona España, Marge Medical Books.

madura térmica. En las quemaduras producidas por alto voltaje, las lesiones locales acostumbran a ser muy importantes, siendo preciso, en muchos casos, amputar las extremidades afectadas por el paso de la corriente, pudiendo, asimismo, producir lesiones en otros órganos.

Solares

Si bien son las más conocidas y las medidas preventivas son las más difundidas, pueden generar daños graves en especial en los niños pequeños o recién nacidos expuestos. [8]

Químicas

Son producidas por agentes químicos, que se pueden clasificar en ácidos, bases, compuestos orgánicos e inorgánicos. Acostumbran a ser más graves a nivel local que el resto de quemaduras estudiadas y precisan tratamiento quirúrgico en un porcentaje más elevado.

Abrasión

La fricción generada por el roce de un objeto o una superficie con la piel puede ocasionar una injuria térmica por la presión o la velocidad del desplazamiento. [8]

Radiación

Son las producidas por una fuente de radiación (ionizantes, calóricas, etc.) como las solares, radiactivas o las producidas por un brasero.

2.3 Clasificación

La quemadura puede afectar a una o ambas capas de la piel y puede extenderse a la grasa subcutánea, al músculo e incluso afectar a estructuras óseas. [9]

En el diagnóstico de una quemadura hay que tener presentes tres elementos fundamentales: profundidad, extensión y localización. El conjunto de estos elementos determinará en gran medida, junto con otros parámetros, el pronóstico de la misma. [3]

La evaluación de la profundidad de la quemadura puede ser compleja. Existen distintas clasificaciones, siendo las más utilizadas la clasificación de Benaim, Converse Smith y ABA (American Burns Association).

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Benaím	Converse-Smith	ABA	Nivel Histológico	Signos Clínicos	Pronóstico
Tipo A(A eritematosa)	Primer grado	Epidérmica	Epidermis	Color rojizo Eritema Dolor intenso	Cura espontáneamente en 5 a 7 días. Sin secuelas
Tipo AB-A (A flictenular)	Segundo grado Superficial	Dérmica Superficial	Epidermis y dermis papilar	Color rosado Flictena Dolor	Epitelizan espontáneamente en 14 días con secuelas estéticas. Pueden profundizar
Tipo AB-B (AB)	Segundo grado Profundo	Dérmica profunda	Epidermis y dermis papilar y reticular sin afectar glándulas sebáceas, sudoríparas y folículos pilosos profundos	Color moteado o blanquecino Poco dolor	Cura en 3 semanas o más con cicatriz hipertrófica, o no cura. Puede requerir injerto de piel.
Tipo B	Tercer grado	Espesor total	Epidermis dermis e hipodermis pudiendo llegar hasta el plano óseo.	Color blanco nacarado Marrón o negro No hay dolor	Requiere escarpectomía precoz, e injerto

Tabla 1: Profundidad de las quemaduras según las distintas clasificaciones.⁷

⁷ Tabla obtenida y adaptada de: Ministerio de salud. “Guía clínica. Manejo del paciente gran Quemado”. Segunda edición. Santiago de Chile: Minsal; 2017.

2.3.1 Quemaduras tipo A o quemaduras superficiales

En esta quemadura, solamente está lesionada la capa más superficial de la piel; la epidermis. No hay pérdida de continuidad de la piel, por lo tanto no se ha roto la capacidad protectora antimicrobiana de ésta.

Clínicamente, se caracteriza por enrojecimiento cutáneo (eritema), debido a la vasodilatación del plexo dérmico superficial. No aparecen flictenas o ampollas, se acompaña de hipersensibilidad. [10]

La conservación de la capa germinativa permite la epitelización en tres a cinco días y no producen secuelas. Este tipo de quemaduras se produce de forma característica por exposición prolongada al sol o por exposición breve de una llama. [11]

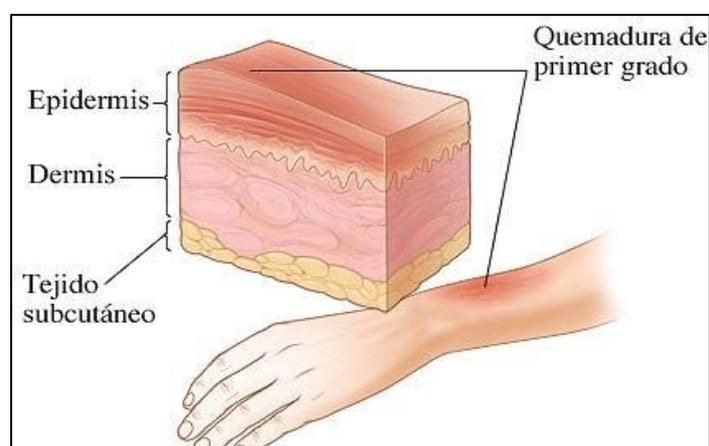


Ilustración 7: Quemadura tipo A o de primer grado.⁸



Ilustración 8: Quemadura tipo A, etiología solar. A la izquierda en torso, a la derecha en brazo.⁹

⁸ Imagen obtenida de <https://salud.uncomo.com/articulo/como-identificar-una-quemadura-de-primer-grado-27568.html>. Última visita a la página 16/01/17.

⁹ Jonathan Matthews, Rajan Atwal "Major Trauma-Burns" .Published:30/10/2017.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

2.3.2 Quemaduras de tipo AB o quemaduras intermedias

Estas quemaduras abarcan toda la epidermis y la dermis. Las quemaduras de segundo grado se subdividen según el grado de destrucción de la dermis como:

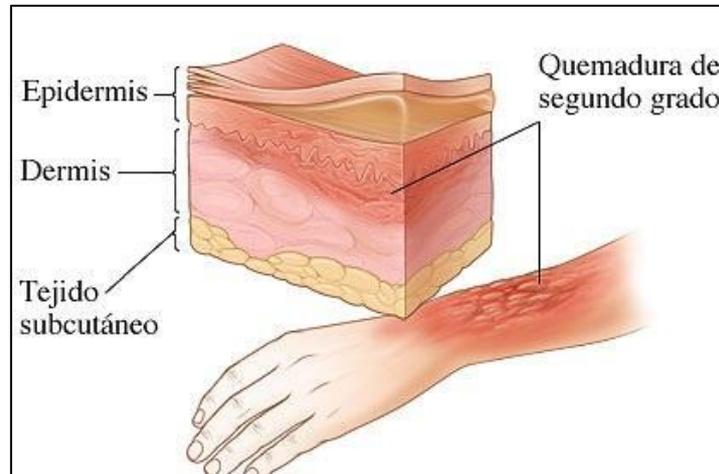


Ilustración 9: Quemadura del tipo AB o de segundo grado. ¹⁰

Quemadura tipo ABA o de espesor parcial superficial

También denominada como segundo grado superficial, en este tipo de quemadura la lesión alcanza la dermis papilar, lo cual se manifestará, clínicamente, de forma característica, con la presencia de flictenas, lecho hiperémico y exudativo. [3]

El área de lesión se presenta con aspecto húmedo, color rosado y el dolor es intenso. [11] Las ampollas se forman por el depósito de exudado que sale al intersticio por los capilares dilatados. Por debajo de la ampolla son de color rojo intenso. [5]

De no mediar complicaciones locales (infección), dichas lesiones epitelizan, espontáneamente, antes de los doce o catorce días a expensas de las células epiteliales existentes en los anexos cutáneos (folículos pilosebáceos y glándulas sudoríparas) de la dermis profunda. Por lo tanto, curarán con un apropiado tratamiento, sin riesgo de cicatrices patológicas y sin necesidad de ser tratadas quirúrgicamente. [3]

Estas quemaduras son comúnmente producidas por líquidos calientes o por exposición breve a flamas. [11]

¹⁰ Imagen obtenida de <https://salud.uncomo.com/articulo/como-identificar-una-quemadura-de-segundo-grado-27568.html>. Última visita a la página 16/01/17.



Ilustración 10: Quemadura ABA. De izquierda a derecha antes y después de desbridar flictenas.¹¹

Quemadura tipo ABB o de espesor parcial profundo

También llamadas como quemaduras de segundo grado profundas, éstas abarcan además de la epidermis y de la dermis papilar, la dermis reticular.

A diferencia que del segundo grado superficial, ya no hay ampollas y la superficie quemada no es dolorosa debido a las lesiones en las terminaciones nerviosas. [12]

Clínicamente, el lecho de la quemadura puede ser pálido, rosáceo y seco, lo que indica que hay mala perfusión vascular o aparecer con aspecto rojizo moteado y al ejercer presión sobre ella el blanqueo producido vira lentamente de nuevo a rojizo. [12]

En estos casos, la capacidad de regeneración a partir de la propia lesión es mucho menor, debido a la afectación de capas profundas de la dermis. [3]

Estas lesiones curan de forma espontánea pero de forma retardada, si en tres semanas, y dependiendo de su magnitud, esta quemadura no cura espontáneamente es posible obtener mejores resultados con injertos cutáneos de espesor parcial. Las quemaduras de segundo grado profundo entran en el umbral de lesiones con criterios quirúrgicos. [11]

Estas quemaduras, comúnmente se asocian a inmersión en líquido caliente o contacto con llamas. Para que se produzcan quemaduras de segundo grado profundos el contacto con la fuente de calor ha de ser más prolongado que en las quemaduras de segundo grado superficial. [12]

¹¹ Imagen obtenida de: Formación Médica Continuada (FMC). "Protocolo de tratamiento de las quemaduras en atención primaria" 2010.

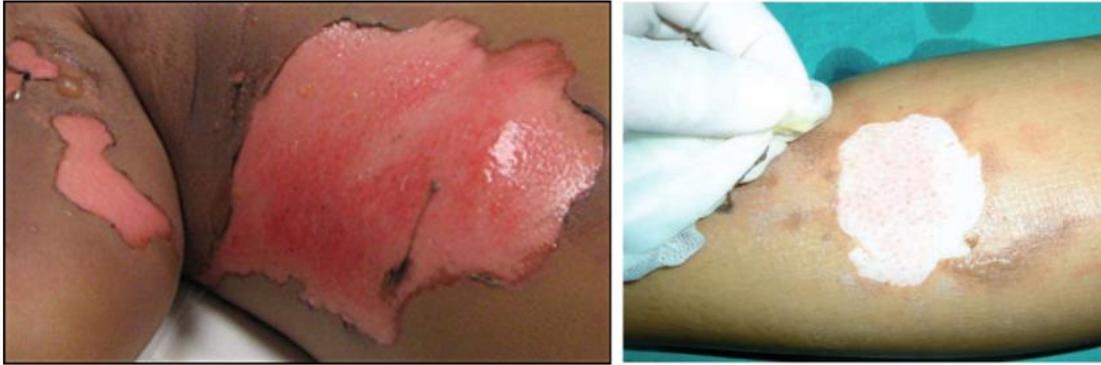


Ilustración 11: Quemadura tipo ABB. A la izquierda lecho rojo moteado, a la derecha, lecho pálido blanquecino¹²

Se debe aclarar que las quemaduras dérmicas profundas, son las más difíciles de tratar. Clínicamente, pueden presentar flictenas, muchas veces rotas, lecho rojo pálido y ligera hiperestesia. Dependiendo del paciente (edad, patologías, etc.) y cuidado local que se realice, evolucionarán hacia la epitelización o precisarán tratamiento quirúrgico. Es decir, con un adecuado tratamiento tópico y reposo del área lesionada, epitelizarán espontáneamente, en un tiempo de catorce a veintiún días sin necesidad de tratamiento quirúrgico. Ahora bien, si la evolución no es correcta, estas quemaduras se comportarán como quemaduras profundas.

2.3.3 Quemaduras de tipo B o quemaduras profundas

Comúnmente denominadas de tercer grado, en ellas toda la dermis está afectada y, en ocasiones, también, el tejido celular subcutáneo y los planos musculares. En estos casos, no hay posibilidad de reepitelización desde el lecho de la herida. Sin embargo, cuando la superficie quemada es pequeña o de forma alargada, la cicatrización se produce por segunda intención, es decir la epitelización es posible por aproximación de los bordes de la superficie cruenta. [13].

Clínicamente se aprecia un lecho seco, blanco-amarillento o negro, con aspecto de cuero y, en algunas ocasiones, con la presencia de vasos trombosados. Existe una anestesia en toda la zona por la completa destrucción de las terminaciones nerviosas. Por todo esto, es inevitable la escisión e injerto de las mismas lo antes posible, para acelerar el proceso de recuperación del paciente con el fin de prevenir la infección y la cicatrización hipertrófica. [3]

¹² Imagen obtenida de: Formación Médica Continuada (FMC). "Protocolo de tratamiento de las quemaduras en atención primaria" 2010.

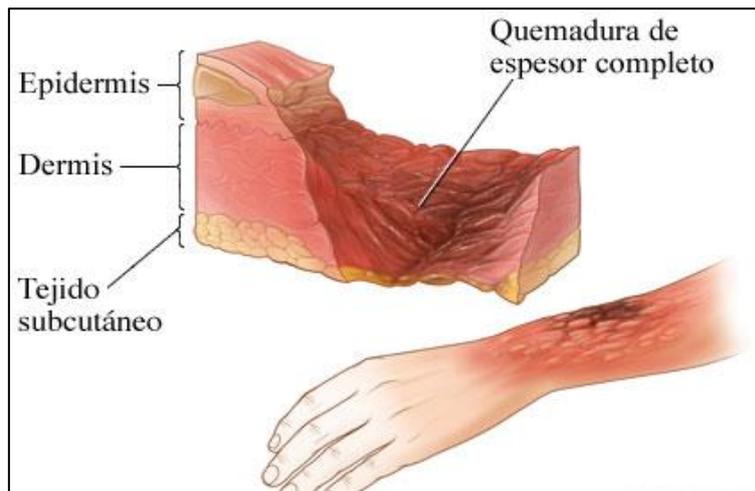


Ilustración 12: Quemadura de tipo B o tercer grado.¹³



Ilustración 13: Quemadura tipo B. A la izquierda en brazo (zona central, rodeada de una zona de menor profundidad de color rojo). A la derecha, en pie, se observa escara parda marrón.¹⁴

Es importante aclarar que las quemaduras en general no son homogéneas en cuanto a su profundidad, y su aspecto puede cambiar en forma diaria. La herida es dinámica, y la isquemia progresiva puede causar lesiones más profundas que las observadas originalmente, por lo que la reevaluación es fundamental. [8]

El diagnóstico definitivo de la profundidad de la quemadura es un diagnóstico evolutivo que se podrá realizar en forma certera después de las 48 - 72 horas y que también depende de muchos factores que van a influir en la evolución de la quemadura, ya sea: presencia de edema (que implica una adecuada hidratación y cuidados posturales), infección (que puede determinar profundización de la quemadura), la curación, etc. [14]

¹³ Imagen obtenida de <https://salud.uncomo.com/articulo/como-identificar-una-quemadura-de-tercer-grado-27568.html>. Última visita a la página 16/01/17

¹⁴ Imagen obtenida de: Formación Médica Continuada (FMC). "Protocolo de tratamiento de las quemaduras en atención primaria" 2010.

2.4 Extensión

La quemadura produce una lesión por energía en diversas áreas anatómicas con mayor o menor repercusión sistémica. Tras producirse una quemadura se desencadenan una serie de alteraciones, unas a nivel local, comentadas anteriormente, y otras a nivel sistémico, independientemente de la profundidad de la misma. Las últimas se presentan en los denominados **grandes quemados**, donde la superficie afectada es superior al 20-25 % de la superficie corporal total (SCT). Para el cálculo de la extensión de una quemadura, tanto en grandes quemados como en pacientes con quemaduras más pequeñas, se pueden utilizar distintas reglas:

Regla de los 9 o de Pulansky y Teninson

Ciertas áreas del cuerpo como la cabeza, el cuello y las extremidades superiores representan el 9 % de la superficie corporal total (SCT); el tórax, la espalda y cada una de las extremidades inferiores, el 18 %; por lo que respecta a los genitales, éstos suponen el 1 % (véase la ilustración 14). [8]

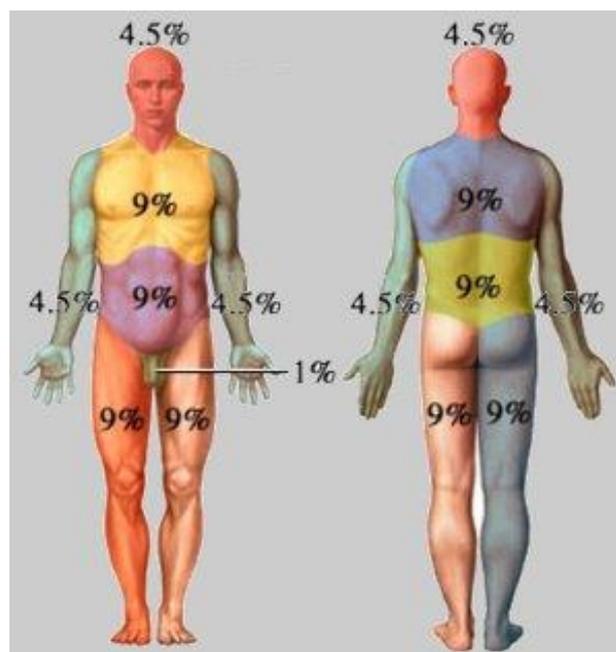


Ilustración 14: Regla de los 9 de Wallace¹⁵

Regla de la palma de la mano

La palma de la mano del paciente equivale al 1 % de su superficie corporal total. Es útil en las quemaduras pequeñas o de distribución irregular y en las

¹⁵ Imagen obtenida de: Ministerio de salud. "Guía clínica. Manejo del paciente gran Quemado". Segunda edición. Santiago de Chile: Minsal; 2017.

quemaduras muy extensas para estimar las áreas sanas y deducir el área quemada por descarte. En las quemaduras extensas esta regla pierde operatividad y se recomienda los gráficos de porcentajes corporales. [8]

2.5 Tratamiento quirúrgico de las quemaduras

El tratamiento de las quemaduras graves y críticas, se debe realizar en un centro especializado y en áreas de complejidad adecuada para su asistencia clínico-quirúrgica.

En esta etapa, el objetivo a cumplir es la promoción y protección de los procesos regenerativos de las lesiones con posibilidades de reparación espontánea, así como la remoción de todos los tejidos desvitalizados y la cobertura definitiva de las lesiones profundas. [8]

Escisión

Una vez que se determina que la quemadura es profunda, está indicada la intervención quirúrgica sin mayor demora, dando lugar a la escisión temprana y aplicación de un injerto de piel frente al tratamiento no quirúrgico de las quemaduras.

La escisión es la extirpación de tejido utilizando dermatomo, bisturí, electrobisturí u otro instrumento cortante [15]. Se elimina secuencialmente finas capas de la escara y del tejido comprometido hasta encontrar un lecho viable.

La escisión masiva y precoz de las lesiones profundas asegura menor incidencia de procesos sépticos, rápida cobertura cutánea, menos tiempo de hospitalización, pronta rehabilitación, menos secuelas y menores costos. [8]

Injerto

En la medida que se logra la remoción del tejido necrótico se hace indispensable la utilización de algún elemento definitivo o temporario que cubra estas brechas. De no ser así, la desecación del lecho, la alta incidencia de infecciones, dificultará las posibilidades de sobrevivencia del paciente y prolongará irremediablemente su tiempo de curación. [8]

Existen diversos injertos de piel, el más utilizado es el autoinjerto, aunque también se pueden utilizar trasplantes homólogos, xenoinjertos y sustitutos artificiales. [16]

El autoinjerto es una cobertura cutánea que se extrae quirúrgicamente de un área del cuerpo y se trasplanta a otra área. Se toma piel sana de un lugar en el cuerpo, llamado el sitio donante. El mismo puede ser cualquier zona del cuerpo. La mayoría de las veces, es una zona que se oculta con las ropas como

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

los glúteos o el muslo. [17]. Se obtienen empleando diferentes tipos de dermatomos y se lo expande en un mallado para permitir la cobertura de grandes superficies y la adaptación a zonas irregulares. Luego la zona se cubrirá totalmente al epitelizar los bordes y cerrar los espacios abiertos. [8]

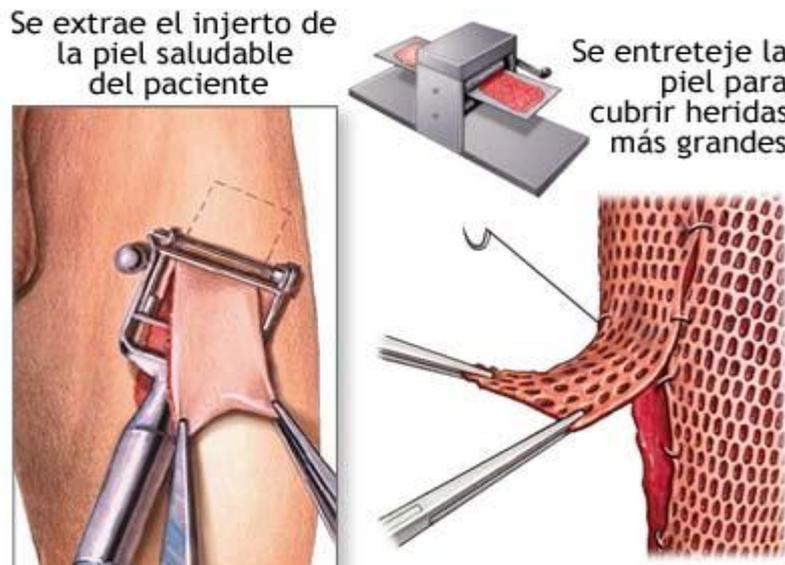


Ilustración 15: Injerto de piel.¹⁶

3. Temperatura y calor

Los cuerpos están constituidos por moléculas en movimiento que dependiendo del aumento o disminución de la energía generan una menor o mayor velocidad en la actividad entre ellas, la medida de esta velocidad se denomina temperatura y se mide en grados Celsius, Fahrenheit o Kelvin. La energía producida se conoce como calor; por lo tanto, la temperatura incrementa o disminuye cuando la energía del cuerpo se aumenta o se reduce, teniendo como noción de caliente (mayor temperatura) o de frío (menor temperatura).

En el organismo humano la temperatura corporal es de $36,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$; y para mantenerla se disponen de distintos mecanismos productores de calor, así como otros mecanismos de pérdida de calor, para adaptarse a las condiciones ambientales. [18]

3.1. Diferencia entre calor y temperatura

Los conceptos de temperatura y calor son diferentes, pero están muy relacionados; por tal motivo se tiene una falsa noción de igualdad. Sin embargo,

¹⁶ Imagen obtenida de: "<http://aia5.adam.com/content.aspx?productid=118&pid=5&qid=002982>" Última visita: 2/11/17

existe una diferencia fundamental, el calor es la energía total del movimiento molecular en un cuerpo y depende de la velocidad, el número, el tamaño y el tipo de partículas. Mientras, la temperatura es la medida de dicha energía y no depende ni del tipo, número y tamaño de las partículas. [19]

3.2. Principios de transferencia de calor

“La teoría de transferencia de calor o termo cinética, es la ciencia que estudia la forma por la cual el calor se propaga de un cuerpo o sus partes más calientes a otros cuerpos o a sus partes más frías”. [19]

Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se relacionan, la diferencia de temperatura entre ellos hace que el calor fluya de forma espontánea del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, hasta cuando los dos cuerpos alcancen la misma temperatura, es decir, el equilibrio térmico. La transferencia de calor permite cuantificar la velocidad con la que ocurre este fenómeno.

Definición termodinámica del calor. “El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura. Una interacción de energía es calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. De ello se deduce que no hay ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura”. [19]

El calor tiene unidades de energía, y la unidad de medida del Sistema Internacional de Unidades es el Joule. Otras unidades empleadas son la caloría, el BTU (British Thermal Unit), entre otras.

Las dos leyes básicas que rigen el calor son:

- El primer principio de la termodinámica, la ley de la conservación de la energía: “La energía total de un sistema cerrado permanece constante”.
- El segundo principio de la termodinámica, la ley del sentido del calor: “Un sistema cerrado tenderá siempre a equilibrar su temperatura”.

3.3. Formas de transferencia de calor

El calor se transfiere en tres diferentes maneras: conducción, convección y radiación [20], como se muestra a continuación:

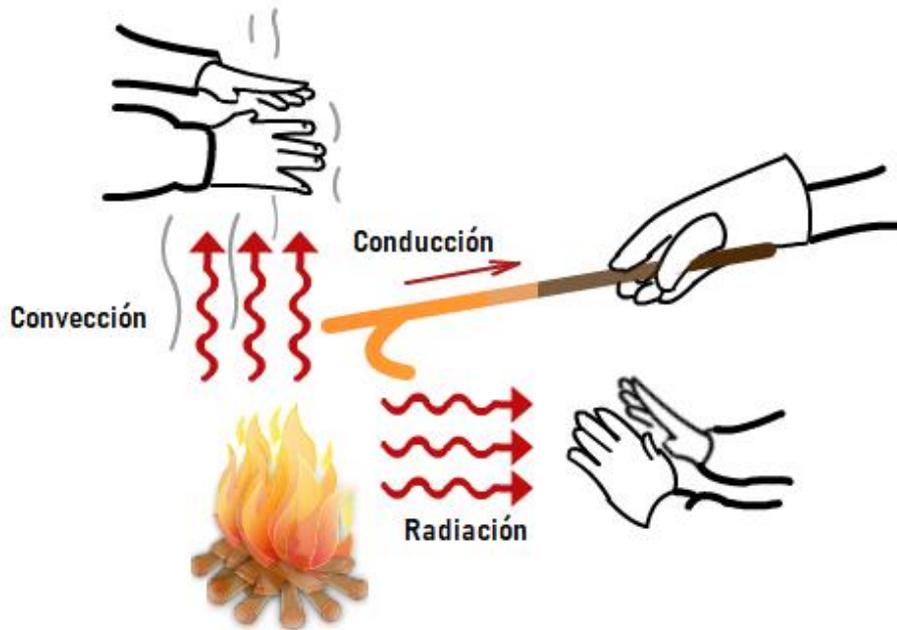


Ilustración 16: Formas de transferencia de calor.¹⁷

3.3.1. Conducción.

La conducción de calor es la transferencia directa de energía térmica desde una molécula caliente a una fría. Esto puede ocurrir en sólidos, líquidos y gases.

3.3.2. Convección.

“Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que está en movimiento, e implica los efectos combinados de la conducción y del movimiento de un fluido. Cuando mayor es el movimiento de un fluido, tanto mayor es la transferencia de calor por convección.” [19]

Existen dos modos de convección: la convección forzada y la convección libre. La convección forzada, cuando el fluido es forzado a cambiar su velocidad de circulación por medios externos. En cambio, en la convección libre el movimiento del fluido es provocado por las fuerzas naturales, como el efecto de flotación que puede ser ocasionado por la variación de la temperatura del fluido.

3.3.3. Radiación

Es la energía emitida por todo cuerpo que se encuentre por encima del cero absoluto de temperatura (0 K o -273,15°C) por ondas electromagnéticas, no

¹⁷ Imagen obtenida de: “<http://beodom.com/en/education/entries/principles-of-thermal-insulation-heat-transfer-via-conduction-convection-and-radiation>”. Última visita: 5/12/2010

necesita un medio material para transferir la energía, es decir, lo hace en el vacío. Cualquier otro medio la entorpece en mayor o menor medida.

“En esta forma de transferencia de calor, una parte de la energía interna del cuerpo caliente se transforma en energía radiante que se propaga a través del campo electromagnético, convirtiéndose después nuevamente en energía termo cinética de las partículas del segundo cuerpo (cuerpo irradiado), cuando a éste lo alcanzan las ondas”. [19]

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial en sólidos opacos a radiación térmica. La tasa de radiación máxima que puede emitirse desde una superficie a una temperatura absoluta T_s está dada por la ley de Stefan-Boltzmann. [19]

$$Q_{emit,max} = \sigma * A * T_s^4$$

Donde,

A Es el área de la superficie.

$Q_{emit,max}$ Es la tasa de radiación máxima W/m^2

σ Es la constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$

T_s Temperatura absoluta del cuerpo (K)

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura entonces, se expresa como:

$$Q_{emit,max} = \varepsilon * \sigma * A * T_s^4$$

Donde,

ε Es la emisividad del material (adimensional)

4. Principios fundamentales de la radiación infrarroja

4.1 Campos eléctricos y magnéticos

Si en alguna región del espacio existe un campo eléctrico que varíe con el tiempo, simultáneamente debe existir un campo magnético [21]. Los campos eléctrico y magnético, cuando varían en el tiempo, deben existir al mismo tiempo,

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

generando de esta manera un campo electromagnético. Las ondas electromagnéticas se caracterizan porque sus campos (eléctrico y magnético) oscilan en planos perpendiculares entre sí.

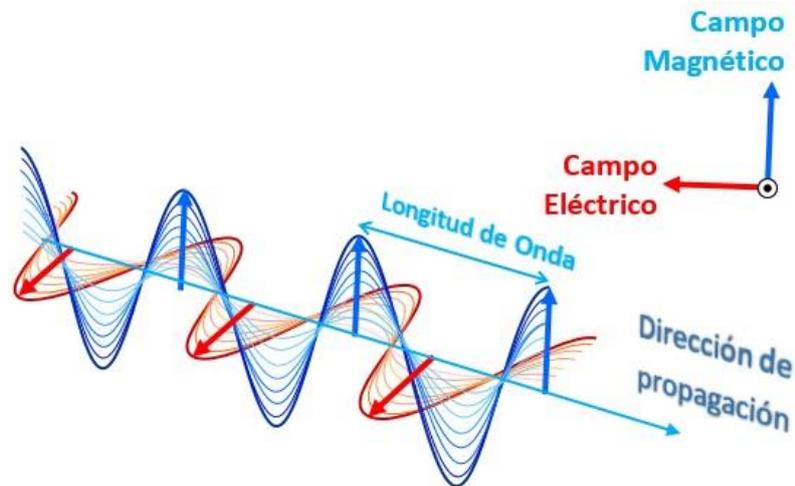


Ilustración 17: Onda electromagnética.¹⁸

Heinrich Hertz (1857-1894) demostró que las ondas electromagnéticas se reflejan, se refractan y se comportan como las ondas de luz. También estimó que la frecuencia de la onda de luz visible era alrededor de $3 \cdot 10^7$ Hz y la longitud de onda era aproximadamente de 10 m. [22].

4.2 Espectro electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. El mismo se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio (ver ilustración 18).

Para su estudio, el espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas, aunque esta división es inexacta. [23]

¹⁸ Imagen obtenida de: "<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbaseees/electric/elefie.html>" Última visita: 04/08/2009

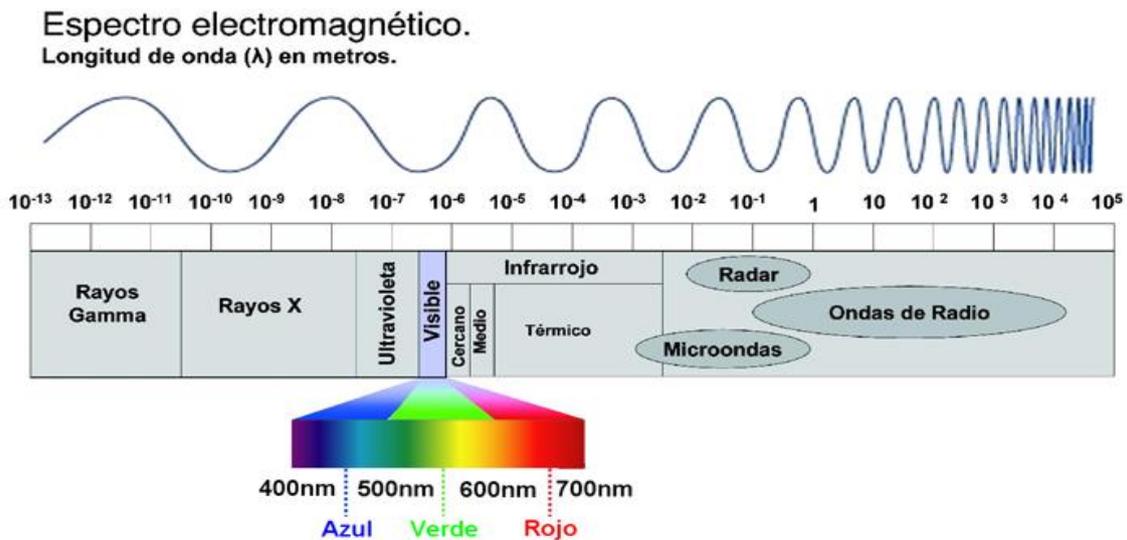


Ilustración 18: Espectro electromagnético.¹⁹

4.2.1. Infrarrojo.

La radiación infrarroja (IR) es una radiación electromagnética cuya longitud de onda comprende desde los 760-780 nm, limitando con el color rojo en la zona visible del espectro, hasta los 10.000 o 15.000 nm, limitando con las microondas.

Los IR se produce por los cuerpos calientes ya que se deben a cambios en los estados de energía de electrones orbitales en los átomos o en los estados vibracionales y rotacionales de los enlaces moleculares. Todos los objetos a temperatura superior al cero absoluto ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) emiten radiación IR. La cantidad y la longitud de onda de la radiación emitida dependen de la temperatura y la composición del objeto considerado. [24]

La banda infrarroja se localiza entre 300 GHz hasta aproximadamente 400 THz, esta banda se divide en tres regiones: [25]

- IR Próximo, se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 780nm hasta 2500 nm.
- IR Intermedio, se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 2500 nm a 6000 nm.
- IR Lejano, se encuentra en el intervalo de longitud de onda desde 6000 nm a 15000 nm.

4.2.2. Luz visible

El espectro visible es la porción del espectro electromagnético percibida por el ojo humano, y comprende las emisiones radiantes de longitud de

¹⁹ Imagen obtenida de: "<http://info-radiofrecuencia.es/propiedades-de-la-radiofrecuencia/>." Última visita: 25/08/16

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

onda desde los 380 nm hasta los 780 nm. La luz blanca percibida es una mezcla de todas las longitudes de onda visibles. [26]

4.3 Emisividad (ϵ)

Es la propiedad de un material de emitir radiación infrarroja, cuyo valor está en el intervalo de $0 \leq \epsilon \leq 1$ donde la emisividad máxima $\epsilon=1$ que se corresponde a la del cuerpo negro.

El valor de la emisividad varía según las propiedades de la superficie, del material y para algunos materiales según la temperatura del objeto medido. Para algunos materiales no metálicos como el PVC, el hormigón y sustancias orgánicas tienen una elevada emisividad ($\epsilon=0,8$ a $0,95$) y no dependen de la temperatura. Los metales sobre todo aquellos con superficie brillante, tienen baja emisividad que fluctúa con la temperatura. [27]

4.3.1 Emisividad en el cuerpo humano

La emisividad en el cuerpo humano sobre piel intacta es aproximadamente a $0,98$ [28], sin embargo, las emisividades de las quemaduras se encuentran en el rango de $0,976$ a $0,992$. Siendo superiores a las de la piel intacta en $0,01$ a $0,03$ [29]. Estos valores fueron medidos en un rango de longitud de onda de $8 - 14 \mu\text{m}$.

4.4 Procesos de IR en cuerpos

4.4.1 Radiación incidente

“La radiación incidente es toda la radiación que llega a un cuerpo procedente de su entorno” [20] (ver ilustración 19). Para una misma longitud de onda λ se tiene que el balance de la radiación incidente de un cuerpo es dado por la ecuación 2 y contribuyen tres procesos que dependen de la habilidad de los cuerpos de:

- Absorber, llamada absorptividad α
- Reflejar, llamada reflectividad ρ
- Transmitir, llamada transmisividad τ

La suma de estos tres procesos es siempre uno (ver ecuación 1)

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

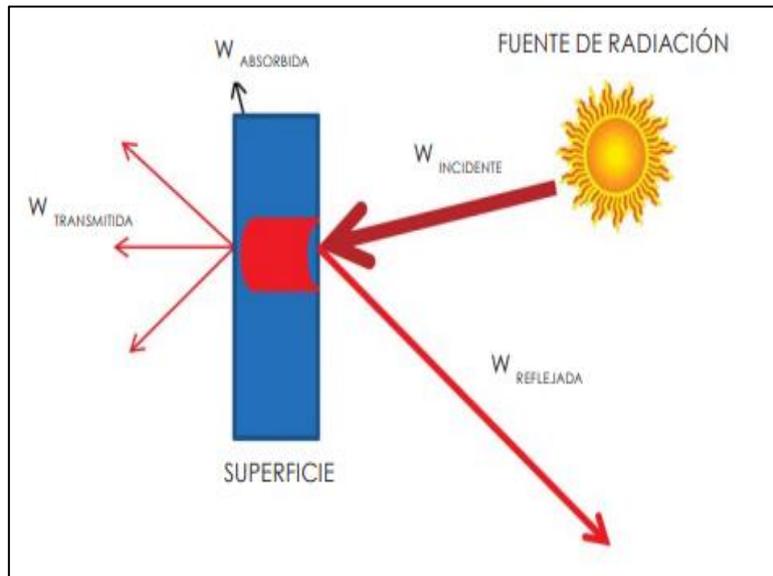


Ilustración 19: Balance de la radiación incidente de un cuerpo. ²⁰

Cuando la radiación incidente (W_{incid}) alcanza la superficie de un cuerpo ocurren tres cosas, parte la radiación será absorbida y el cuerpo la retiene, esta se conoce como radiación absorbida (W_{α}) en la ilustración 19. La segunda llamada radiación reflejada (W_{ρ}), será reflejada y no afecta al cuerpo de ninguna forma. La última es la radiación transmitida (W_{τ}) que atraviesa el cuerpo sin afectarlo en lo absoluto.

En la ecuación 2 se contabiliza toda la energía incidente y se puede notar que la energía no se crea ni se destruye.

$$W_{\alpha} + W_{\rho} + W_{\tau} = W_{\text{incid}} = 100\% \quad (2)$$

Un cuerpo negro ideal absorberá el 100% de la radiación incidente, lo que significa que ni refleja ni transmite ninguna radiación. Es decir que:

$$\alpha = 1 \quad (3)$$

$$\rho + \tau = 0 \quad (4)$$

4.4.2 Radiación saliente

“La radiación saliente es toda la radiación que abandona la superficie de un cuerpo, independientemente de su fuente original’ [20].

La radiación incidente y la saliente son diferentes porque la primera no interesa la fuente de donde proviene, solo que no viene del mismo cuerpo, mientras tanto en la segunda se analiza la radiación procedente de tres fuentes de radiación específica.

²⁰ Imagen obtenida de: Fernecom. “Guía de la termografía infrarroja” Madrid:2011

La primera componente de la radiación saliente es la radiación emitida (W_{ϵ}) que es la capacidad del cuerpo de emitir por sí mismo en todas las direcciones y la cantidad de radiación emitida depende de la temperatura y la emisividad del cuerpo (ver ilustración 20).

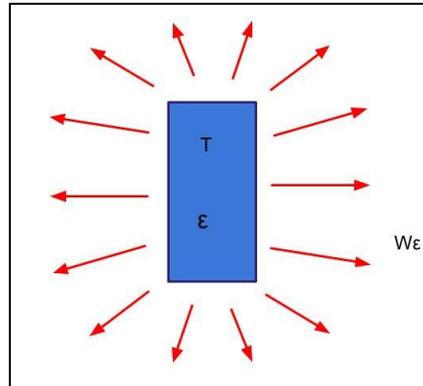


Ilustración 20: Cuerpo emitiendo radiación térmica en todas las direcciones. ²¹

Las otras dos fuentes de radiación son cuerpos que se encuentran detrás o frente del cuerpo, éste refleja su radiación o permitirá el paso de la radiación a través de él. Por lo tanto, la radiación total saliente de un cuerpo proviene de diferentes componentes:

- Emitida por el objeto por sí mismo.
- Reflejada desde una fuente externa al cuerpo.
- Transmitida, desde una fuente detrás del objeto.

Lo anterior se expresa en la ecuación 5:

$$W_{\epsilon} + W_{\tau} + W_{\rho} = W_{sali} = 100\% \quad (5)$$

En la ilustración 21 se tienen las tres fuentes de radiación, la del cuerpo objetivo por sí mismo, una fuente delante, y otra detrás de él. Si se mira al cuerpo de derecha a izquierda. La radiación saliente del cuerpo es una combinación de la radiación emitida por él mismo, la de fuente de calor que se refleja en el cuerpo (radiación reflejada), y la originada por la fuente posterior al cuerpo y pasa a través de él (radiación transmitida).

²¹ Imagen obtenida de: Infrared Training Center. "Course Manual Thermography Basics", 2009.

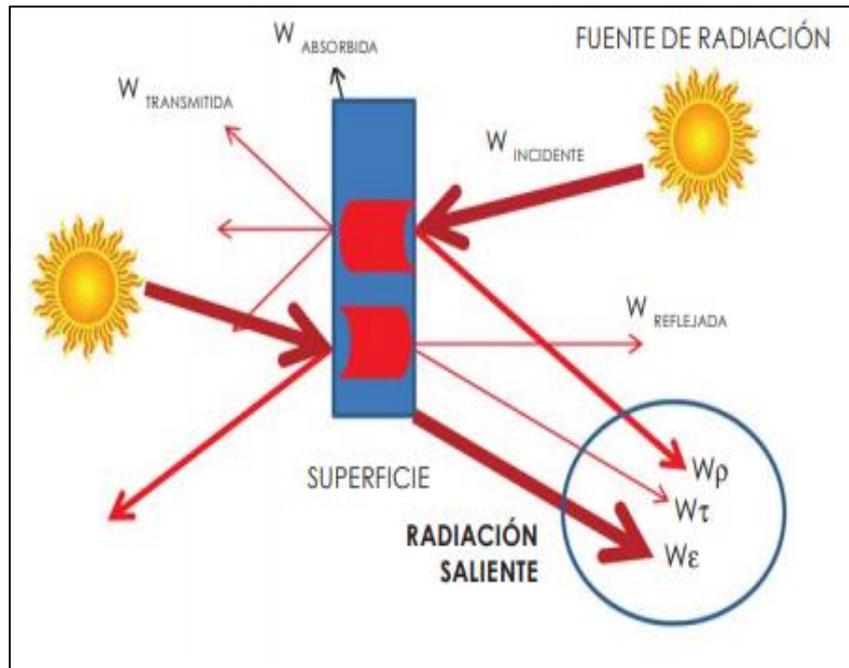


Ilustración 21: Las tres fuentes de radiación saliente de un cuerpo.²²

La magnitud de las componentes de la radiación reflejada y radiación transmitida, depende de la reflectividad y transmisividad del cuerpo y la radiación proveniente del objeto depende de la temperatura y emisividad de él.

“La capacidad de un cuerpo para absorber energía en forma de radiación incidente siempre coincide con su capacidad para emitir su propia energía como radiación” [20].

Lo anterior se relaciona en la ecuación:

$$\alpha = \varepsilon \quad (6)$$

Entonces, el balance de radiación saliente de un cuerpo dependerá de la capacidad del cuerpo y su suma es:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (7)$$

Un cuerpo negro emite el 100% de su energía, lo que significa que no existe ningún otro objeto que sea capaz de emitir más energía. Por consiguiente, sus características son:

$$\varepsilon = 1 \quad (8)$$

$$\rho + \tau = 0 \quad (9)$$

²² Imagen obtenida de: Fernecom. “Guía de la termografía infrarroja” Madrid:2011

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

En la vida real los objetos pueden poseer todas las características, es decir, la habilidad de emitir, absorber, reflejar y transmitir radiación infrarroja, aunque la mayoría de cuerpos sólidos no transmiten porque son opacos, esto significa:

$$\tau = 0 \quad (10)$$

Por consiguiente, la radiación saliente solo tiene dos componentes la radiación reflejada y la radiación emitida, por lo tanto:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (11)$$

Los objetos reales no son cuerpos negros, entonces, la emisividad de los cuerpos es diferente a uno ($\varepsilon \neq 1$) y la componente de reflexión sí existe, es decir, es diferente de cero ($\rho \neq 0$). Lo anterior expresa que sólo se consideran dos fuentes de radiación (la emitida por objeto en sí mismo y la reflejada por el objeto proveniente del entorno) en la medición de temperatura por medio de la radiación infrarroja (ver ilustración 22), por lo tanto el balance de la radiación saliente se encuentra definido por la ecuación 12.

$$W\varepsilon + W\rho = Wsali = 100\% \quad (12)$$

Es importante comprender que la radiación saliente proviene de dos fuentes diferentes y esto permite interpretar correctamente la información suministrada por la medición de la radiación infrarroja de un cuerpo. Sí el cuerpo no es opaco se deben hacer otras consideraciones para la medición de temperatura.

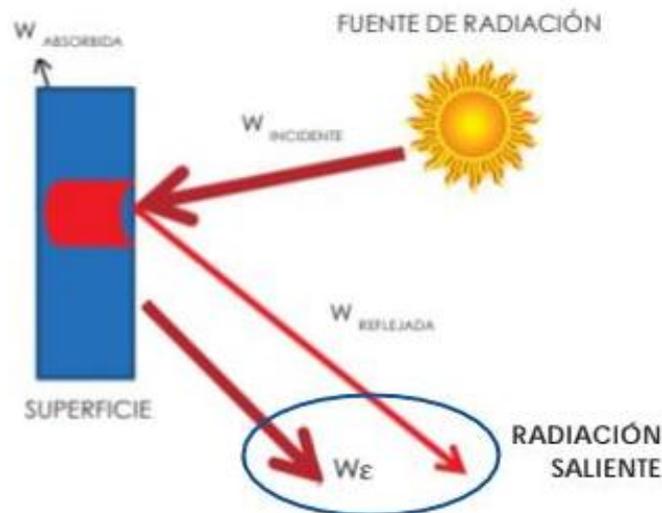


Ilustración 22: Radiación saliente en un cuerpo opaco. ²³

²³ Imagen obtenida de: Fernecom. "Guía de la termografía infrarroja" Madrid:2011

5. Termografía Infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica que permite medir a distancia y sin contacto, la distribución de temperaturas en un cuerpo a través de la detección y cuantización de radiación infrarroja que este emite. Mediante una cámara termográfica, es posible la medición de la distribución de energía térmica radiante (calor) emitida desde una superficie objetivo y convertirlo en un mapa de diferencias de intensidad de radiación (termograma). [30]

5.1 Termografía Clínica

La termografía clínica es una forma de medir y representar gráficamente el calor sobre la superficie del cuerpo humano mediante una cámara infrarroja. En esencia, el principio de esta técnica se fundamenta en que los seres vivos mamíferos emiten una alta cantidad de radiación infrarroja debido a su propio calor corporal. Un gran número de enfermedades producen un aumento de la temperatura corporal en los seres humanos, pudiéndose usar dicho incremento térmico para detectar y diagnosticar enfermedades. Mediante el uso de cámaras térmicas es posible obtener imágenes bidimensionales (termograma) en las que se puede ver representado el calor irradiado por las diferentes partes del cuerpo y, por tanto, su temperatura.

La temperatura depende de la circulación de la sangre en la piel, el flujo de sangre está sujeto a una regulación compleja por el sistema nervioso y factores locales. Es decir, en los procesos de vasodilatación e inflamación se produce un aumento del flujo sanguíneo, el cual se traduce en un aumento de temperatura. Lo contrario sucede cuando existe vasoconstricción o en casos de destrucción de la vasculatura, al no haber flujo sanguíneo, la temperatura disminuye significativamente.

Para interpretar la imagen térmica, las áreas rojas de la imagen son las de mayor temperatura, seguidas por las amarillas, las verdes y finalmente las azules, que son las de menor temperatura. [31]

5.2 Imagen radiométrica

Los sistemas termográficos se calibran para producir imágenes radiométricas completas, de manera que se pueda medir la temperatura en cualquier zona de la imagen. Una imagen radiométrica es una imagen térmica que contiene cálculos de las medidas de temperatura en varios puntos de la imagen. [32]

5.3 Termograma

Un termograma es la imagen térmica de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

blanco. De esta manera, se puede ver que el termograma se corresponde con la energía radiada procedente de la superficie del blanco. [32]

Una imagen térmica es una imagen de la intensidad de radiación térmica. No se debe confundir con una imagen de la distribución de temperaturas. Dos objetos que se encuentran a la misma temperatura pero tienen emisividades diferentes, representarán distinta intensidad de radiación. [33]

5.4 Elementos de un sistema de termografía

Una de las características más importantes de los sistemas de termografía es que, basados en la teoría de la radiación, pueden sensar la temperatura de manera remota (sin contacto) y a partir de esto, obtener características térmicas de un cuerpo o un sistema. Para poder obtener información de interés, la adquisición de los datos es realizada por sensores que proporcionan toda la información necesaria sobre el objeto o sistema estudiado; posteriormente, los datos sensados son procesados digitalmente aplicando una serie de algoritmos que permitirán obtener la imagen térmica del objeto.

Partiendo de lo descrito anteriormente podemos inferir que los elementos que componen un sistema de termografía son: [34]

Fuente de radiación u objeto

Conformado por el cuerpo principal al que se desea estudiar y los demás cuerpos que están dentro del campo visual del sensor.

Trayectoria de transmisión

Hace referencia al medio a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas, y determinan las bandas de transmisión en el espectro.

Sensor y subsistema de procesamiento

Componen el instrumento de medición (cámara termográfica), los resultados que se obtengan serán de gran utilidad dependiendo del sensor y el subsistema de procesamiento que se elijan para la aplicación.

5.5 Temperatura aparente

La temperatura aparente es diferente de la temperatura real (que está relacionada con el movimiento de átomos y moléculas). Es una lectura de temperatura no compensada, justo como la percibe la cámara infrarroja.

Para obtener una temperatura real a partir de una cámara termográfica se debe compensar la influencia de varios factores:

Que el objeto no emite solo su energía propia, sino que también refleja; la cámara debe incluir dentro de los cálculos que hace internamente este fenómeno basado en los valores de temperatura ambiente reflejada y la emisividad de la superficie del objeto, datos que se deben medir y tener en cuenta a la hora de tomar la imagen.

Que parte de la energía emitida por el objeto es absorbida por la atmósfera, para eliminar este efecto la cámara debe tener en cuenta la distancia al objeto a inspeccionar, la humedad relativa y la temperatura atmosférica.

La Figura 23 muestra de manera general cómo funciona una cámara termográfica. Parte de la energía saliente del objeto a inspeccionar es absorbida por la atmósfera, la temperatura que se mida en ese momento será una temperatura aparente.

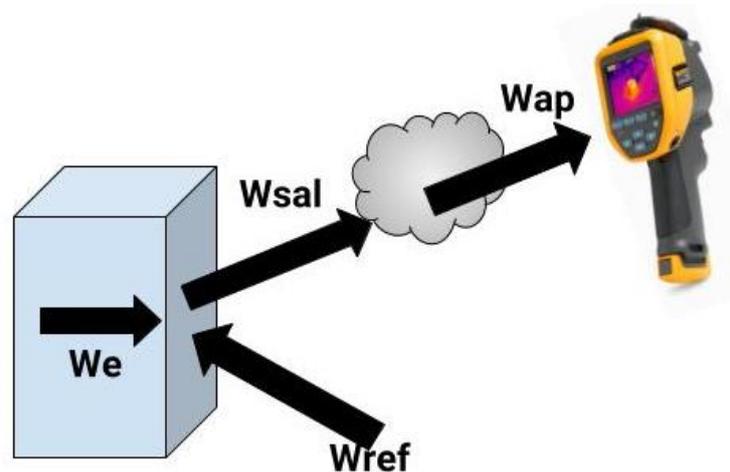


Ilustración 23: Esquema general de las radiaciones detectadas por el instrumento. ²⁴

La cámara lee la energía infrarroja aparente (W_{ap}) que llega y calcula la energía infrarroja que sale del objeto (W_{sali}), basado en los datos de distancia al objeto, humedad relativa y temperatura atmosférica, luego resta la energía infrarroja reflejada (W_{ref}) y de esta manera estima la energía infrarroja emitida por el objeto (W_e) basado en los datos de temperatura ambiente reflejada y emisividad de la superficie del objeto. [34]

²⁴ Imagen obtenida y adaptada de: Veratti, Atilio Bruno. "Curso de Introducción y aplicaciones de la Termografía Infrarroja". Infrared Training Center.

6. Cámara Termográfica

Las cámaras termográficas son dispositivos que registran la intensidad de la radiación en el espectro de la longitud de onda infrarroja y la convierte en una imagen visible. [35]

Existen cámaras termográficas de onda larga y de onda media, la primera es una cámara que detecta energía infrarroja en la banda de longitudes de onda que van desde las 8 μm hasta los 15 μm , mientras que las de onda media es una cámara que detecta energía infrarroja en la banda de longitud de onda desde los 2.5 μm a los 6 μm . [32]

Con la cámara termográfica, se obtiene tanto la imagen infrarroja y la imagen visible del objeto a medir, este conjunto forma la imagen termográfica.

6.1 Funcionamiento

La cámara convierte la radiación infrarroja invisible en una imagen visible. La cámara mide la radiación infrarroja que es irradiada desde el cuerpo que se está observando, la radiación atraviesa las lentes y es enfocada en el detector. El detector genera una señal eléctrica que varía con la intensidad de la radiación infrarroja que incide sobre él. La señal eléctrica es amplificada, digitalizada y procesada por la electrónica de la cámara. Es entonces cuando se convierte en una imagen que es visualizada en la pantalla y que podemos ver como una imagen infrarroja, donde cada color representa un nivel térmico de la superficie. [33].

6.1.1 Componentes internos

Receptor óptico

Está compuesto por el lente, los filtros y el diafragma [34]:

- *El lente:* Es por donde entra la energía infrarroja emitida por el objeto, el lente está hecho de un material transparente a la radiación infrarroja (Germanio o el Silicio) y son revestidos con anti reflexivos para mejorar sus características ópticas y aumentar la eficiencia de transmisión de energía.
- *El diafragma:* Es denominado unidad de apertura y permite seleccionar la cantidad de energía que ingresa al sistema, la apertura se selecciona de acuerdo al nivel de temperatura que se desea observar.
- *El filtro:* Permite seleccionar la calidad de energía infrarroja que ingresa al sistema. Normalmente no se usa filtro, pero puede ser necesario un filtro especial cuando se desea ver y medir las tempera-

turas donde se deben eliminar efectos perturbadores, de igual manera se utilizan para eliminar supuestos puntos calientes provocados por reflejos cuando se hacen inspecciones en lugares abiertos; de manera que el filtro elimina las longitudes de onda no deseadas.

Detector infrarrojo

Convierte la energía radiada en una señal eléctrica que posteriormente será procesada. Los detectores están contruidos con materiales semiconductores y operan a muy bajas temperaturas para evitar interferencias (por ruido térmico) y así obtener una relación señal/ruido que corresponda a la alta sensibilidad que poseen las cámaras.

El detector está formado por una matriz o mosaico de pequeños detectores individuales y fijos, denominado Arreglo de Plano Focal (FPA). [36]. El FPA es un dispositivo sensor de imagen que consta de un arreglo rectangular de detectores sensibles al infrarrojo situado en el plano focal de una lente. Esto puede ser descrito como una matriz de píxeles bidimensional con cada píxel (detector) teniendo dimensiones de tamaño micrométrico. Las resoluciones de FPA pueden variar desde aproximadamente 160 x 120 píxeles hasta 1024 x 1024 píxeles.

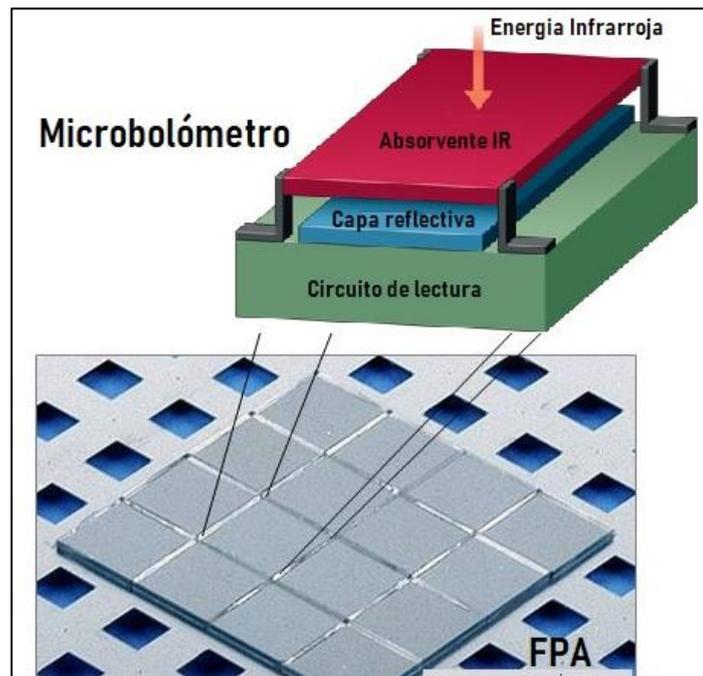


Ilustración 24: Arreglo de plano focal con microbolómetros²⁵

Cada detector individual del FPA es un micro bolómetro, el cual, es un diminuto resistor de óxido de vanadio o de silicio amorfo con un elevado coeficiente térmico. La radiación infrarroja procedente de una gama específica de longitudes de onda impacta el óxido de vanadio y modifica su resistencia eléctrica.

²⁵ Imagen obtenida y adaptada por autores.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Los cambios de temperatura de la escena provocan cambios en la temperatura del bolómetro que se traducen en señales eléctricas y se procesan, para convertirlas en una imagen. [37]

Microprocesador y electrónica de control

Procesan la salida de la imagen generada partir de la interacción de los fotones de la energía emitida por el objeto y los electrones del material detector que genera una señal eléctrica proporcional a la energía que ingresa al sistema. Dentro de la cámara están ubicado cuerpos negros de referencia con los que se hace una comparación varias veces por segundo para así mantener un control permanente sobre la compensación (offset) y la ganancia, haciendo de la cámara un instrumento de altísima precisión en la medición de temperaturas. [34]

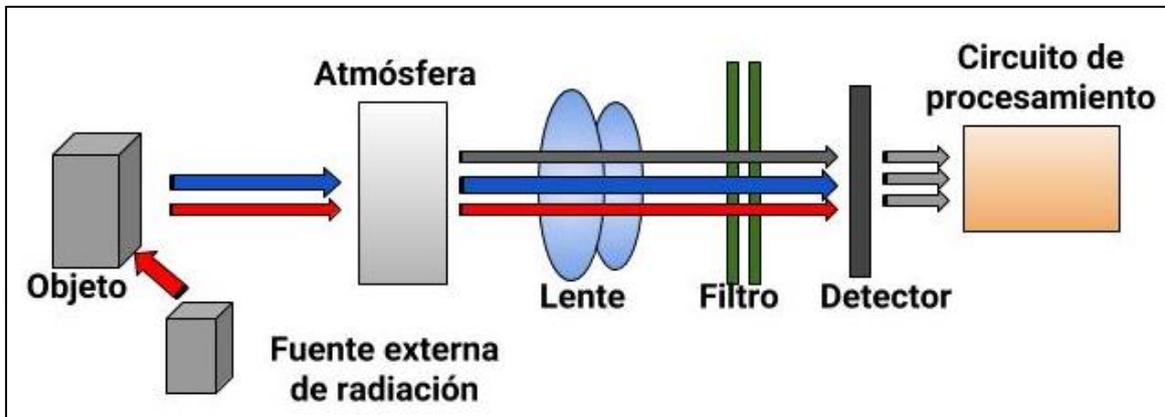


Ilustración 25: Esquema de funcionamiento del microprocesador de la cámara termográfica²⁶

²⁶ Imagen adaptada por autores.

6.1.3 Componentes externos

Externamente la cámara termográfica consta de varios componentes incluyendo la lente, tapa de la lente, pantalla, controles, dispositivos de almacenamiento de datos y además cuenta con un software de procesamiento de datos. [32]



Ilustración 26: Distintas partes de una cámara termográfica.²⁷

Pantalla

Las imágenes térmicas se muestran en la pantalla de cristal líquido (LCD) de la cámara termográfica. En la pantalla también suele presentarse información útil como la carga de la batería, fecha, hora, temperatura del blanco (en °F, °C o °K), imagen de luz visible y la paleta de colores asociada a las temperaturas que se miden.

Controles

Se pueden realizar distintos ajustes electrónicos con los controles para mejorar la imagen térmica visualizada en la pantalla. Los ajustes electrónicos pueden afectar a varias variables como el rango de temperaturas, intervalo y nivel térmico, paletas de colores y fusión de imágenes, los cuales se describen más adelante. Los ajustes también pueden afectar a la emisividad y la temperatura de fondo reflejada.

Dispositivos de almacenamiento de datos

Los archivos digitales que contienen imágenes térmicas y los datos asociados se almacenan en distintos tipos de tarjetas de memoria electrónicas o dispositivos de almacenamiento y transferencia.

Software de procesamiento de datos

²⁷ Imagen obtenida de: "Introducción a los principios de la Termografía". Fluke.

Las imágenes digitales térmicas y de luz visible se importan a un ordenador donde se pueden ver utilizando varias paletas de colores, y en donde se pueden realizar más ajustes en todos los parámetros radiométricos y funciones de análisis.

6.2 Características de una cámara termográfica

Las principales características que se deben tener en cuenta a la hora de elegir una cámara termográfica son: la sensibilidad térmica, la precisión, la resolución espacial y la frecuencia de la imagen. [34]

6.2.1 Sensibilidad térmica

Es la diferencia entre la temperatura del objeto observado (T_{ob}) y la temperatura ambiente (T_o) que genera un nivel de señal igual al nivel de ruido. También se llama temperatura de resolución.

Otra definición es, como el incremento mínimo de la diferencia de temperatura, o como la diferencia mínima de temperaturas T_{ob} y T_o que se puede distinguir por un punto (individual) detector (o un detector lineal o de matriz) para un ancho de banda de amplificador determinado.

6.2.2 Precisión

Es la medida de dispersión de las temperaturas medidas a un objeto con respecto a su verdadera temperatura. Las cámaras actuales alcanzan precisiones de $\pm 2^\circ\text{C}$ o $\pm 2\%$.

6.2.3 Resolución espacial

Depende del tamaño del detector y del lente. Esta característica es de gran importancia cuando se buscan defectos de tamaño reducido.

Campo de visión (FOV)

FOV o Field of View, se expresa en grados y depende del lente de la cámara y de las dimensiones del plano focal. Determina el área de la superficie total que el instrumento puede observar desde una distancia dada. Este parámetro determina la resolución espacial (geométrica) de una cámara infrarroja. [37]

Campo de visión instantáneo (IFOV_{geo})

IFOV o Instantaneous Field of View, determina el FOV de un solo detector (píxel) en una matriz. Es utilizado para describir la resolución espacial instantánea, o el objeto más pequeño que puede ser visto por el sistema a una distancia dada. El IFOV se especifica en miliradianes (mRad) para una combinación de instrumento y lente dada. [40]

Medición del campo de visión instantáneo (IFOVmeas)

Se utiliza para medir la resolución de la medición [33] Para medir con precisión, el objeto a medir debe ser 2 a 3 veces más grande que el objeto identificable más pequeño (IFOVgeo). [38]

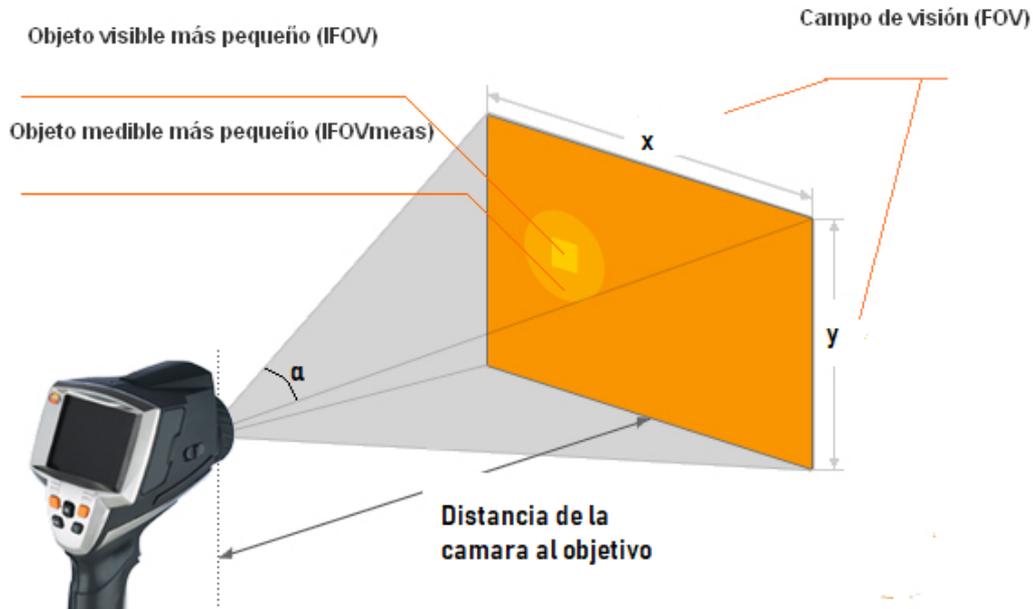


Ilustración 27: FOV e iFOV.²⁸

6.2.4 Frecuencia de la imagen

Las cámaras actuales actualizan las imágenes a una tasa de centenares de Hz (cuadros por segundos), también ofrecen la posibilidad de reducir el tamaño de las imágenes permitiendo además aumentar la tasa de actualización, alcanzando varias millares de Hz. Esta característica es importante cuando el sistema observado es un buen conductor del calor, lo que implica tiempos característicos muy cortos. [33]

6.3 Herramientas de la cámara termográfica

6.3.1 Rango

El rango fijará las temperaturas máxima y mínima a partir de las cuales se puede medir con la cámara. Para cada cámara existen diferentes rangos de temperatura, esto es para evitar que la cámara reciba más radiación de la necesaria (y que no aporta información) evitando así que el detector de la cámara se sature.

²⁸ Imagen obtenida y adaptada de: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/marcas-de-medicion-y-distancia-fov-fov-fovmeas> (Última visita: 2018)

6.3.2 Intervalo o escala térmica

El intervalo es una parte o franja dentro del rango de temperatura, que puede ser ajustado con la cámara o con software y nos define el contraste térmico de la imagen. [29]

Un tramo más amplio dará menos detalle térmico, uno más estrecho dará buen detalle térmico, por lo que se debe seleccionar un tramo que muestre todos los datos en lo que se está interesado dentro del rango de medición. El objeto más caliente estará en la parte superior del tramo y el objeto de interés más frío estará en la parte inferior del tramo. Las áreas con temperaturas situadas fuera de la configuración del tramo aparecen coloreadas mediante colores de saturación. Entre los colores de saturación hay un color de exceso (blanco) y un color de defecto (negro).

Si no se fija el intervalo, la cámara automáticamente lo fijará entre la temperatura más alta y más baja que se está viendo. Esto que a priori parece una ventaja, en determinadas aplicaciones puede camuflar lo que se está buscando. [38]

6.3.3 Nivel

El nivel es el punto medio del intervalo y si éste varía, también lo hace el nivel. [38]

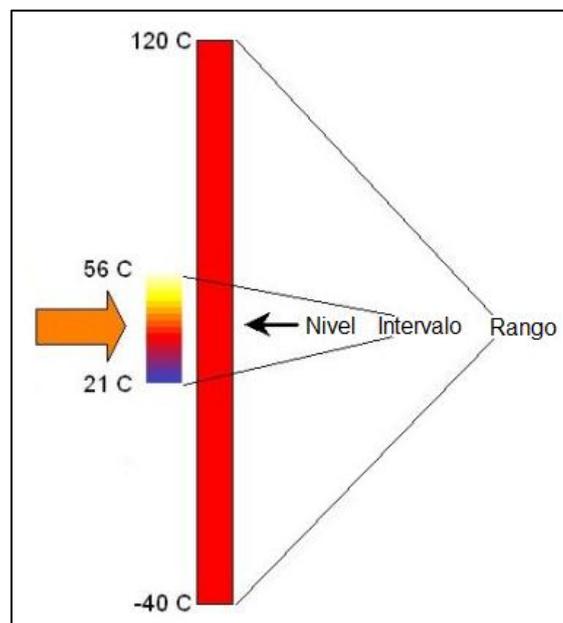


Ilustración 28: Diferencias entre Rango, Nivel e Intervalo.²⁹

²⁹ Imagen obtenida de: <https://www.infraredtraining.com/community/boards/thread/3079/> (Última visita: 2012)

6.3.4 Enfoque

El enfoque óptico es importante ya que la precisión de la medida se ve afectado por el enfoque, malas imágenes producen malas lecturas de temperatura. [33]

6.3.5 Paleta de colores

La paleta de color de la imagen asigna diferentes colores para marcar niveles específicos de temperatura aparente. Existen distintas paletas según la cámara que se utilice, como ser, ámbar, metal caliente, hierro, escala de grises, rojo azulado y alto contraste.

Las paletas pueden dar mayor o menor contraste, dependiendo de los colores que se utilice.

La imagen térmica puede presentarse con un máximo de 256 colores o grises al mismo tiempo. En una escala de grises se empieza con el color negro en un extremo de la escala, que se irá aclarando paulatinamente en cada uno de los 256 pasos hasta llegar a ser completamente blanco. [33]

Capítulo 2: Materiales y Métodos

1. Dinámica de la Institución

El Instituto del Quemado es una unidad especializada en el tratamiento de quemaduras, el cual cuenta con distintas áreas, entre ellas guardia, terapia intensiva, internación, quirófano y consultorio externo.

En primera instancia, la persona que sufrió la lesión ingresa por la guardia del hospital, para ser asistida. Dependiendo de la situación y severidad de la quemadura se define si será un paciente ambulatorio u hospitalizado.

Si el paciente será tratado de manera ambulatoria asistirá frecuentemente a las curaciones por consultorio externo. En cuanto al paciente que necesite ser hospitalizado, será derivado a internación o a la unidad de terapia intensiva. Estos últimos serán tratados en quirófano, mientras que los pacientes internados, dependiendo de la gravedad de la quemadura, ingresarán a quirófano o se los curará en su habitación.

2.1.1 Consultorio Externo

Se considera en general que una quemadura que no supere el 15% de la SCT en un adulto no altera su estado general y por lo tanto se trataría en forma ambulatoria. Una quemadura requiere cuidado y una evaluación periódica visual por un especialista que sepa apreciar y diagnosticar las posibles complicaciones. Por lo tanto los pacientes asisten a las curaciones por consultorio externo dos veces por semana, hasta el momento de su alta.

Como se mencionó anteriormente el paciente ingresa por la guardia y aquí se le realiza la primera curación, protegiendo la herida con un vendaje oclusivo. Este vendaje debe tener ciertos cuidados y no debe ser removido hasta la próxima curación en consultorio externo.

Una vez que el paciente asiste por primera vez al consultorio externo, se le retira el vendaje, y se evalúa la extensión y profundidad de la quemadura. Si el vendaje se encuentra muy adherido a la piel del paciente, para que no le produzca dolor se le coloca solución fisiológica al momento de retirarlo, y se desprenda fácilmente.

Seguidamente, se hace el lavado de la herida con soluciones antisépticas, y dependiendo del tipo de quemaduras se coloca un tópico especial, o se coloca celofán. El celofán puro conocido vulgarmente como “celofán dulce” se encuentra fraccionado, esterilizado y con agregado de antibióticos. Éste cumple una función análoga a la de la piel y promueve la epitelización y cierre de la herida.

Finalmente la quemadura se vuelve a ocluir con vendas, y el paciente volverá en la próxima curación.

2.1.2 Quirófano

El tratamiento quirúrgico precoz de las quemaduras constituye el procedimiento de elección en quemaduras tipo ABB y tipo B. Las quemaduras graves y críticas se deben tratar en un área de complejidad adecuada para su asistencia clínico-quirúrgica, en donde el equipo quirúrgico reevaluará al paciente y establecerá un plan estratégico para su atención.

La unidad cuenta con un quirófano especial, en el cual los pacientes ingresan cada 48 hs, para su aseo, curación, y escarectomía e injerto en caso de ser necesario. Estos procedimientos son procesos prolongados asociados a mucho dolor, por lo tanto el paciente se encuentra bajo anestesia general.

Es importante destacar que las quemaduras en general no son homogéneas en cuanto a su profundidad y su aspecto puede cambiar en forma diaria. Un paciente posee distintos grados de quemadura en simultáneo y la evolución de las mismas, dependerá del paciente y sus condiciones clínicas. Las quemaduras de tercer grado o tipo B, necesitaran de autoinjerto. En una primera instancia se les realiza la curación en donde se higieniza al paciente con agua y solución jabonosa, y transcurrido un determinado tiempo (aproximadamente tres semanas) se lleva a cabo la escarectomía. A partir de allí, se espera que crezca el tejido de granulación, siendo este un lecho viable para poder colocar el injerto.

Puesto que la quemadura es dinámica, se pueden generar lesiones más profundas que las observadas originalmente. Esto quiere decir, que una quemadura del tipo ABB, con el correr de los días, podría epitelizar espontáneamente o podría profundizar y ser una quemadura del tipo B. Por esta razón, cuando existe incertidumbre sobre la profundidad de la quemadura, se espera un lapso de tiempo para dar la oportunidad al tejido a que responda satisfactoriamente y evitar una escarectomía innecesaria.

2. Muestra

Se evaluaron 25 pacientes, con un rango de edad de 18 a 75 años, que ingresaron al Instituto del Quemado del Hospital Córdoba entre junio y septiembre de 2018. Un total de 36 quemaduras de diverso tamaño, fueron fotografiadas, termografiadas y evaluadas clínicamente. Las mismas fueron de tipo A, ABA, ABB y B según el diagnóstico inicial realizado por el equipo médico especializado en quemaduras. Además, se tomó como parámetro que la captura termográfica inicial fuera de quemaduras con un mínimo de dos días de producida la lesión y con un máximo que no supere los cinco días de ocasionada aquélla.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo simultáneamente en base a dos líneas de trabajo, la primera consistió en la toma de imágenes en quemaduras

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

de pacientes que ingresaron por consultorio externo, y la segunda en pacientes que ingresaron por quirófano.

Cabe aclarar, que se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes, y el estudio fue aprobado por el comité de ética del hospital. El mismo se observa en el Anexo I.

2.2.1 Consultorio Externo

De la totalidad de los pacientes anteriormente mencionados, 19 pacientes correspondieron a consultorio externo, de los cuales 16 fueron mujeres y 3 hombres. Las quemaduras fueron del tipo A, ABA y ABB, causadas por escaldadura, afectando una superficie corporal total que varió del 1 al 5%. Se consideraron solamente lesiones en extremidades superiores e inferiores, subdividiéndose en brazos, antebrazos y manos; en muslos piernas y pies, respectivamente.

A este grupo de pacientes se le realizó la toma termográfica solamente el primer día que asistieron a consultorio externo. Luego, el seguimiento se llevó a cabo únicamente con una cámara digital, para registrar el tiempo de curación de la herida, considerando que la quemadura estaba sana el día de la alta médica.

2.2.2 Quirófano

En vista de que existe una baja tasa de ingresos de pacientes grandes quemados, solo se incluyeron seis de ellos para este estudio, dos mujeres y cuatro hombres. Este grupo contaba con quemaduras del tipo ABB y B en torso, pierna y manos. El agente etiológico determinante de este grupo fue fuego directo y la superficie total corporal comprometida fue mayor al 18%.

En lo que respecta al periodo de toma de imágenes, a un grupo de pacientes de quirófano se les realizó el seguimiento termográfico y digital desde su primera intervención quirúrgica hasta la colocación del injerto. Con el propósito de evaluar el día en que la imagen termográfica fuera lo suficientemente fiable para predecir las zonas a injertar.

Respecto al otro grupo se les realizó la toma de imágenes termográficas por única vez en el día encontrado en el análisis del primer grupo, ya que se buscaba reafirmar que el mismo fuera el más adecuado para predecir la profundidad de la quemadura y la zona a injertar.



Ilustración 29: Regiones anatómicas que se evaluaron en los pacientes del estudio.³⁰

2.2.3 Criterios de exclusión

En el presente estudio, los criterios de exclusión que se tuvieron en cuenta, tanto en quirófano como en consultorio externo fueron:

- Pacientes que no firmen el consentimiento informado, puesto que deja en manifiesto la disconformidad en la participación del estudio.
- Que al momento de la toma de imágenes, hayan pasado más de 5 días de haberse quemado: diferentes estudios aseguran que el mejor momento para la toma de imágenes es dentro de las 120 hs. [29], además el método pierde utilidad al no evaluar las quemaduras de manera temprana.
- Al momento del retiro del vendaje, tenían celofán sobre la herida: esto interfiere significativamente en la emisión de la radiación infrarroja de la piel, por lo que introduce error en la medición.
- Que tenían quemado rostro, cuello y/o genitales: para preservar la identidad e intimidad del paciente.
- Pacientes que comenzaron el tratamiento y dejaron de asistir a las curaciones.

3. Protocolo de adquisición

En el desarrollo de la adquisición de las imágenes termográficas es importante crear un protocolo, que ayude a disminuir el porcentaje de error en las mediciones que pueda otorgar cada imagen o cada segmento de esta.

³⁰ Imagen adaptada por autores.

Después de realizar una revisión del estado del arte de protocolos de adquisición de imágenes infrarrojas [41], se tuvieron en consideración los siguientes puntos:



Ilustración 30: Esquema general del protocolo de adquisición de imágenes.³¹

2.3.1 Preparación del sujeto para la toma de imágenes termográficas

Considerando que no se puede realizar el estudio sin autorización previa del paciente, antes de iniciar la toma de imágenes térmicas, se le explicó el procedimiento a realizar, en caso de conformidad de participación voluntaria, se firmó el consentimiento informado.

En cuanto a los pacientes de quirófano esta formalidad difiere, al encontrarse en estado de inconsciencia, se le debía explicar al entorno familiar acerca del estudio a realizar. Llegados a este punto, se realizaba la lectura de la historia clínica para reunir la información pertinente del paciente, como ser datos personales, patología de base, fecha de la lesión y agente causante.

2.3.2 Condiciones ambientales del lugar de medición

Las condiciones ambientales se registraron continuamente, realizando mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa durante las pruebas.

³¹ Imagen adaptada por autores

Para el registro se utilizó un termohigrómetro de ambientes modelo UNI-T UT333, el cual es un medidor digital compacto de humedad y temperatura.



Ilustración 31: Termohigrómetro utilizado durante la medición³²

Cuenta con las siguientes especificaciones:

Humedad:

- Rango: 0 - 99% RH
- Resolución: 0.1% de Humedad Relativa
- Precisión: $\pm 5\%$ de Humedad Relativa (0 - 99% RH)

Temperatura:

- Rango: -10 a 60 ° C
- Resolución: 0.1 ° C
- Precisión: ± 1 ° C
- Frecuencia De muestreo: 0.5 s
- Retención de Máximos y Mínimos: Si
- Backlight: Sí

Temperatura y Humedad relativa del aire

La temperatura ambiente es un factor importante a la hora de tomar las imágenes termográficas, considerando que el cuerpo responde a los cambios de la misma. Cambios abruptos de la temperatura pueden introducir error en las mediciones dando lugar a una interpretación errónea de la imagen térmica.

La humedad relativa del ambiente puede afectar la cámara ya que esta se puede condensar y empañar el lente afectando la exactitud de las medidas debido a que parte de la radiación infrarroja que llega a la cámara se puede perder,

³² Imagen obtenida de: <https://www.cetronic.es>. Última visita en 2017

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

ocasionando pérdida de información, debido a esto es recomendable que la humedad relativa sea menor al 50%.

En **quirófano** los requisitos son exigentes en cuanto a la temperatura y humedad del ambiente, debiendo mantenerse en un rango de 23°C-27°C y una humedad relativa de 25% - 55%. [42]

En **consultorio**, no existen tales exigencias, sin embargo, en cada medición se llevó un seguimiento de la variación de la humedad relativa del aire y la temperatura de fondo.

En la tabla 2 se exponen el promedio de los valores registrados los días que se realizó el registro termográfico.

	Temperatura ambiente	Humedad Relativa
Consultorio	22,33°C	35,52%
Quirófano	24,80°C	32.19%

Tabla 2: Temperatura ambiente y humedad relativa medidas en consultorio y quirófano.

Iluminación

Si bien la iluminación no afecta de una manera significativa en las medidas, es importante evitar fuentes de luz caliente ya que emiten radiación infrarroja como es el caso de la luz proveniente de los focos, o la luz directa del sol. Tanto en quirófano como en consultorio no ingresaba luz solar, solamente se contaba con iluminación artificial. No obstante, en quirófano se optó por apagar las cialíticas que se ubican próximas al paciente, para prevenir errores en la medición.

Corrientes de aire

Las corrientes de aire pueden afectar las mediciones debido al intercambio de calor por convección, haciendo que el aire cercano a la superficie medida se encuentre a la misma temperatura de esta. Si hay corrientes de aire, habrá variaciones de temperatura debido a que el objeto a medir no se ha adaptado a la temperatura del ambiente.

El *consultorio*, no contaba con ventanas y se realizaron las mediciones con las puertas cerradas para evitar corrientes de aire sobre el paciente.

En *quirófano* la ventilación debe cumplir condiciones más estrictas, según la norma mencionada anteriormente, no debe haber recirculaciones de aire y el flujo debe ser laminar para no levantar polvo y/o partículas. Además, la presión atmosférica de la sala debe permanecer constante, por esta razón no contiene ventanas, y no se abren las puertas en el momento de la cirugía.

2.3.3 Configuración de parámetros de la cámara termográfica

Para la toma de imágenes se utilizó una cámara termográfica Fluke modelo TiS75.



Ilustración 32: Cámara termográfica Fluke TiS75.³³

Posee las siguientes especificaciones técnicas:

- IFOV 2.0 mrad
- Resolución del detector 320 x 240 (76,800 píxeles)
- Campo de visión 35.7 °H x 26.8 °V
- Banda espectral infrarroja 7,5µm A 14µm
- Profundidad de campo de 504:1
- Precisión de ± 2 °C o 2 % con una nominal de 25°C.
- Enfoque manual, mínima distancia de foco 15 cm
- Rango de medición de temperatura de -20 °C a 550 °C (-4 °F a 1022 °F)
- Sensibilidad térmica o NETD ≤ 0.08 °C a una temperatura del blanco de 30 °C
- Rango de frecuencia de 30 Hz o 9 Hz
- Contiene modo de fusión IR-Fusion para detectar claramente su ubicación
- Pantalla LCD de 3.5 pulgadas, 320 x 240
- Sistema óptico con cámara digital de 5 megapíxeles.
- Sistema de batería inteligente: batería inteligente de iones de litio con indicador de nivel de carga LED de cinco segmentos
- Almacene miles de imágenes: memoria interna de 4 GB y tarjeta micro SD de 4 GB

Ajuste de temperatura de fondo y emisividad

³³ Imagen obtenida de: <https://www.fluke.com/en-us/product/thermal-imaging/infrared-cameras/performance-series/fluke-tis75>.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

El ajuste del procesador térmico con valores correctos de emisividad es crítico para hacer mediciones exactas de temperatura. Como el cuerpo humano es considerado un emisor casi perfecto, el valor de la emisividad es 0,98 [29] y este valor se fijó en la cámara termográfica.

Los objetos demasiado fríos o cálidos que se encuentran en el entorno pueden afectar la precisión de la medición de temperatura del sujeto, por lo cual se debe configurar la temperatura reflejada de fondo. El valor se configura según el valor de la temperatura ambiente, medida al iniciar las pruebas a través del termohigrómetro. [43]

Ajuste de escala térmica, enfoque y paleta de colores

Previo al momento de capturar las imágenes infrarrojas se debe ajustar la cámara con una escala térmica adecuada. Se configuró el ajuste manual en lugar del automático, con el fin de utilizar el intervalo y nivel de temperatura más adecuados a las condiciones ambientales y temperatura corporal del paciente.

Se definieron los máximos y mínimos del intervalo de forma tal que en el display se pueda visualizar correctamente la región de interés, sin que la misma escape del intervalo. Además, siempre que sea posible, se deja fuera del intervalo cualquier objeto o material del entorno que pueda causar alguna interferencia.

Otro aspecto que se considero fue el enfoque de la imagen, una imagen desenfocada dará medias erróneas y no se la puede modificar una vez tomada. [41]

Elegir una paleta de colores apropiada también es de suma importancia, durante la toma de imágenes se utilizó la paleta “alto contraste”, la cual se compone de siete colores bien diferenciados brindando un mayor contraste entre temperaturas, lo que facilita la interpretación de la imagen térmica. Se fijó el intervalo lo más estrecho posible, para lograr que menores diferencias de temperatura sean representadas con múltiples colores. [38]

2.3.4 Posicionamiento adecuado de la cámara

Para lograr una imagen termográfica provechosa, se deben tener en cuenta ciertos parámetros al momento de la toma de imagen, tales como la distancia a la región de interés y el ángulo de posicionamiento entre la cámara termográfica y la quemadura del paciente.

Se buscó un ángulo de posicionamiento que sea perpendicular a la quemadura ya que en este punto la emisividad está en lo más alto, y a medida que el ángulo aumenta esta disminuye. [44]

Con respecto a la distancia elegida, esta determinará la resolución que tendrá la imagen, dependiendo de parámetros intrínsecos de la cámara como el FOV e IFOV. Se debe tener en cuenta que a medida que aumenta la distancia entre la cámara y el área de interés, la resolución disminuirá.

El ángulo de visión (FOV) de la cámara termográfica describe el área visible con la misma. Según las especificaciones mencionadas anteriormente, la mínima distancia entre el objeto y la cámara debe ser de 0.15 m para un ángulo de visión de $35,7^\circ \times 26,8^\circ$. Entonces, a dicha distancia de la cámara se puede capturar un área de 0.0066 m^2 y entre más lejos se esté de ella mayor es el área que puede enfocar.

A continuación, se muestra en la Ilustración 33 el área de interés y el campo de visión a cierta distancia de la cámara.

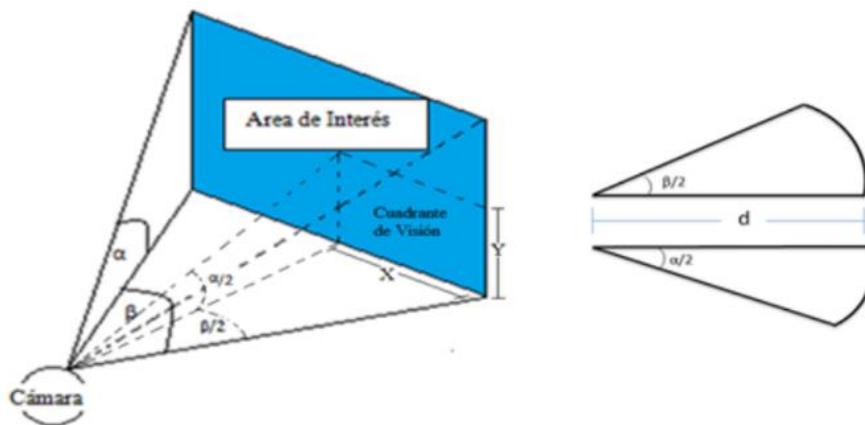


Ilustración 33: Campo de visión de la cámara termográfica.³⁴

En donde:

- d = distancia del lente al objeto
- β = ángulo horizontal ($35,70^\circ$)
- α = ángulo vertical ($25,8^\circ$)
- X = campo de visión horizontal/2
- Y = campo de visión vertical/2

El área de un cuadrante está delimitada por la ecuación 13 y 14:

$$\frac{X}{d} = \tan(\beta/2) \quad (13)$$

³⁴ Imagen obtenida de: Kevin Estupiñan Roldan, "Diseño e implementación de un protocolo de adquisición de imagen infrarroja para el estudio del comportamiento térmico en las manos de personas sanas" 2013.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

$$\frac{Y}{d} = \tan(\alpha/d) \quad (14)$$

Como el área calculada es con respecto a $\frac{\beta}{2}$ y $\frac{\alpha}{d}$ (un cuadrante) se debe multiplicar por 4 para así obtener la totalidad del área de interés (los 4 cuadrantes). Entonces el área total capturada está dada por la ecuación 15:

$$A = 4 * X * Y \quad (15)$$

$$A = 4 * \left(d^2 * \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) * \tan\left(\frac{\alpha}{d}\right) \right) \quad (16)$$

Las imágenes termográficas fueron adquiridas a una distancia de 30 a 40 cm del área quemada. Se tomará la mayor distancia para calcular la mínima resolución con la que se trabajó.

Para obtener el FOV del instrumento se debe realizar el cálculo $2X * 2Y$. Por lo tanto, para una distancia de 40cm será de $0,2576 x 0,3664$ con un área de visión de $0,0471 m^2$.

La configuración del FPA de la cámara termográfica es 320x240 detectores, lo que da un total de 76800 píxeles. Dividiendo las dimensiones FOV por el número de píxeles de cada fila y columna respectivamente, encontramos que el IFOV de un píxel es un área de aproximadamente $0,8 x 1,5mm$ a esa distancia.

Entonces, a una distancia de 40 cm se garantiza que se tiene aproximadamente un píxel por mm^2 de piel, esto indicaría una elevada resolución, ya que el mínimo tamaño de quemadura está en el orden de los cm. Por lo tanto, dicha distancia es ideal y suficiente para la toma de las imágenes infrarrojas en quemaduras.

2.3.5 Adquisición de imágenes térmicas

Para iniciar el procedimiento de curación, el médico procede al retiro del vendaje, dejando al descubierto la herida. Tanto en quirófano como en consultorio externo, se le solicitó al médico que evite humedecer la zona de estudio previo al momento de la captura termográfica, para evitar alteraciones en la temperatura corporal.

Posicionamiento del sujeto

Vale la pena señalar, que además de los parámetros anteriormente mencionados, la predisposición del paciente y el médico, es crucial para una buena medición.

Antes de comenzar, se le explicó al paciente la importancia de mantenerse lo más quieto posible y evitar tocar la zona en estudio con otras partes del cuerpo, a fin de no generar distorsiones al momento de la medición. En el caso de los pacientes de quirófano debido al estado de inconsciencia, eran los médicos quienes manipulaban la posición del paciente.

Toma de imágenes térmica

Para tener un número considerable de mediciones, se tomaron un mínimo de tres imágenes térmicas por quemadura. Simultáneamente, se capturaron imágenes con la cámara digital de un celular con el objetivo de detectar detalles que no se perciben fácilmente con la cámara digital del propio del instrumento termográfico, debido a su baja resolución.

Para finalizar, luego de la toma de imágenes, se verificaron las mismas antes de que el paciente se retire de la posición. Algunos de los criterios que se tuvieron en cuenta para descartar la toma fueron, que la imagen se encuentre desenfocada, o que no haya contraste entre el cuerpo del paciente y el fondo.

4. Procesamiento digital de Imágenes

En esta sección se explicará el registro y la segmentación de las imágenes infrarrojas, en donde se detalla cada uno de procesos realizados con el fin de preparar todos los datos para la extracción de características y así comenzar a observar comportamientos discriminatorios entre profundidades de quemaduras. Es necesario señalar, que existieron pequeñas diferencias en el procesado de los pacientes de quirófano y consultorio, en vista de que la extensión, profundidad y condiciones de las quemaduras no fueron iguales.

El diagrama de bloques de la figura 34 presenta de manera sintética el esquema de trabajo.



Ilustración 34: Esquema de trabajo general.³⁵

³⁵ Imagen adaptada de autores

2.4.1 Software

Una vez que las imágenes termográficas han sido adquiridas por la técnica de Termografía, resulta conveniente la realización posterior de un análisis cuantitativo y cualitativo para el estudio de la profundidad de quemaduras.

La cámara termográfica Fluke es de uso industrial e incluye un software asociado llamado *SmartView*, el cual es una herramienta que permite visualizar, optimizar y analizar imágenes infrarrojas (IR). Sin embargo, no es lo suficientemente provechoso para aplicaciones médicas, puesto que se necesita un análisis de mayor complejidad. Razón por la cual en la etapa inicial, se realizaron ajustes generales de la imagen con *SmartView*, y luego un análisis más específico y extracción de datos con *MATLAB*.

MATLAB es un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para el cálculo numérico, la visualización y la programación [41]. Las funciones incluidas, que fueron de especial utilidad en el proyecto, forman parte de la toolbox de procesado de imágenes de Matlab, que proporciona un conjunto de algoritmos útiles para el procesado, análisis y visualización de las imágenes.

2.4.2 Pre- procesado: Smart View

Una vez abierto el programa se cargó la imagen termográfica y se la analizó a través del editor de imágenes de *SmartView*. El mismo permitió mejorar y ajustar de forma rápida y sencilla las imágenes infrarrojas, como ser el ajuste del nivel y la amplitud, utilizar controles para imágenes IR-Fusion y ajustar los valores de emisividad y temperatura de fondo.

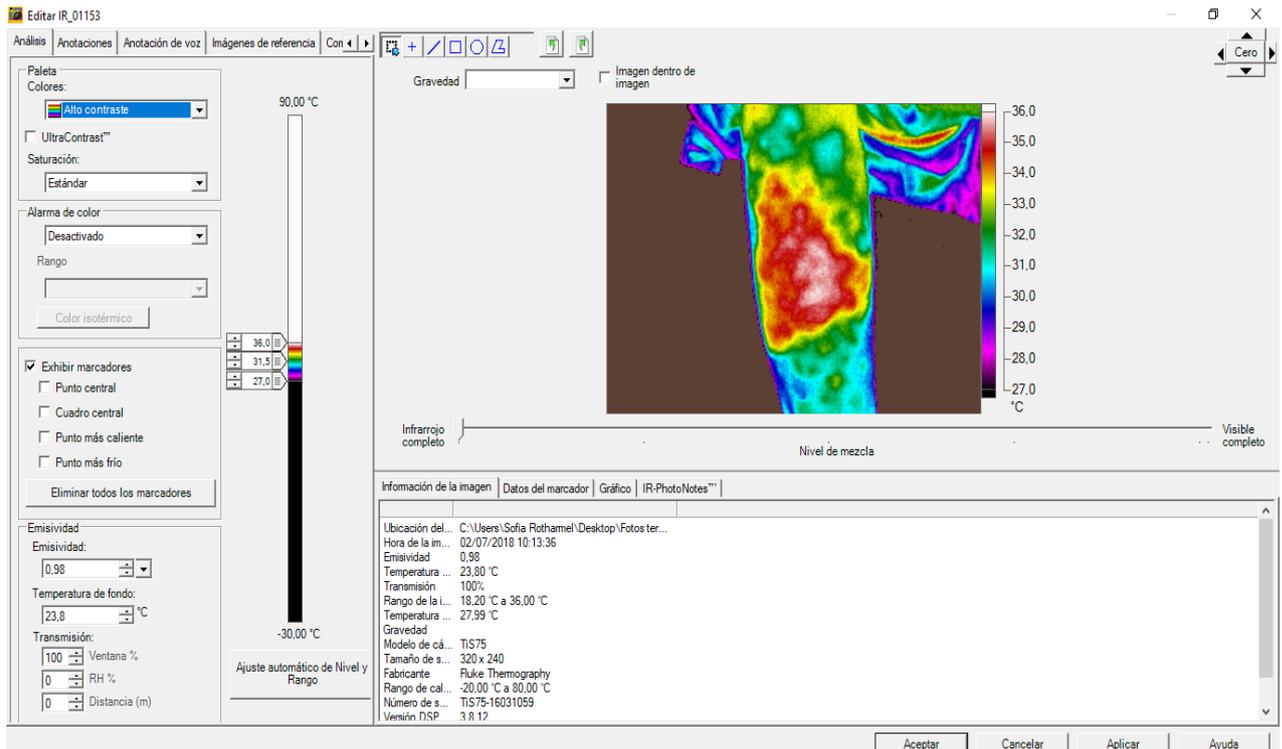


Ilustración 35: Pantalla principal de edición del SmartView³⁶

En la ilustración 35, se observa a la izquierda una barra de rango de temperaturas con un conjunto de cuadros deslizantes que indican el intervalo inferior, el nivel (conjunto central) y el intervalo superior de los valores de temperatura de los píxeles. Se deslizaron los cuadros hacia arriba o hacia abajo a lo largo de la barra de temperaturas para desplazarse en incrementos mayores o menores, y así modificar la escala de temperatura de la imagen.

Así también, se debió tener en cuenta el intervalo de medición utilizado, ya que temperaturas fuera del mismo saturan. La pestaña *saturación* por defecto, aparece en modo estándar como se observó en la imagen 35, esto hace que el fondo de la imagen previo al preprocesado se vea de color marrón.

Para comenzar el preprocesado, se cambió del modo estándar a la opción blanco/negro; esto significa que los píxeles de valores de temperatura por encima del límite superior del intervalo, o sea los puntos más calientes de la imagen, tornaran a blanco. Por el contrario, los que estén por debajo del límite inferior, es decir los píxeles más fríos de la imagen, cambiarán a negro.

³⁶ Imagen obtenida del software Smartview

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

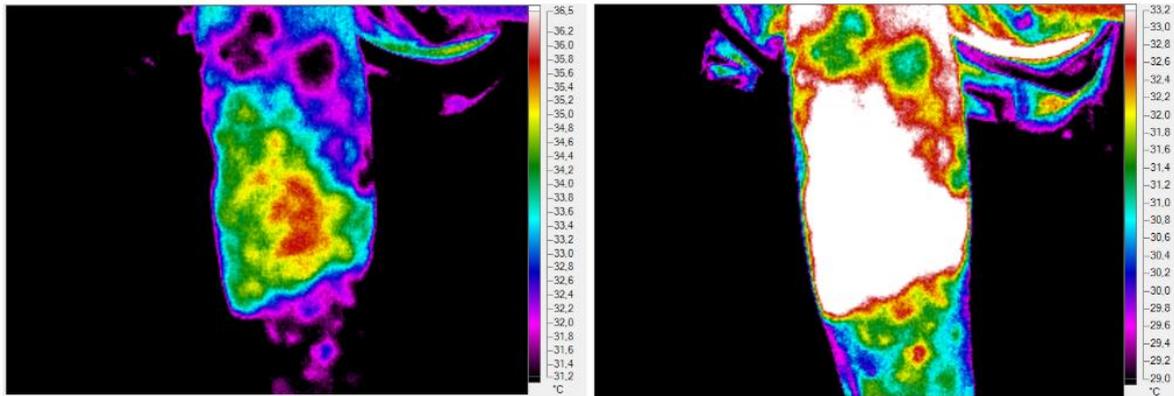


Ilustración 36: Intervalo térmico incorrecto.³⁷

Come se ilustra en la figura 36, a la izquierda, se configuró el límite inferior muy elevado, ocasionando que no se logre distinguir la forma de la región anatómica del paciente. Por el contrario, en la derecha de la ilustración, el límite superior es muy bajo, ocasionando que se pierdan los distintos colores dentro de la quemadura

Hecha esta salvedad, se adecuó el intervalo de forma tal que sólo se perciban las emisividades de la región de interés. A condición de que se mantengan los límites de la piel junto la quemadura de forma íntegra en su totalidad, y se buscó que las temperaturas de fondo saturan a negro para simplificar su posterior procesado en MATLAB.

No obstante, hubo casos en que la ropa del paciente se encontraba a la misma temperatura que su piel, como se observa en la figura 37. Este inconveniente, se resolverá en la etapa del procesado.

³⁷ Imagen obtenida del software Smartview

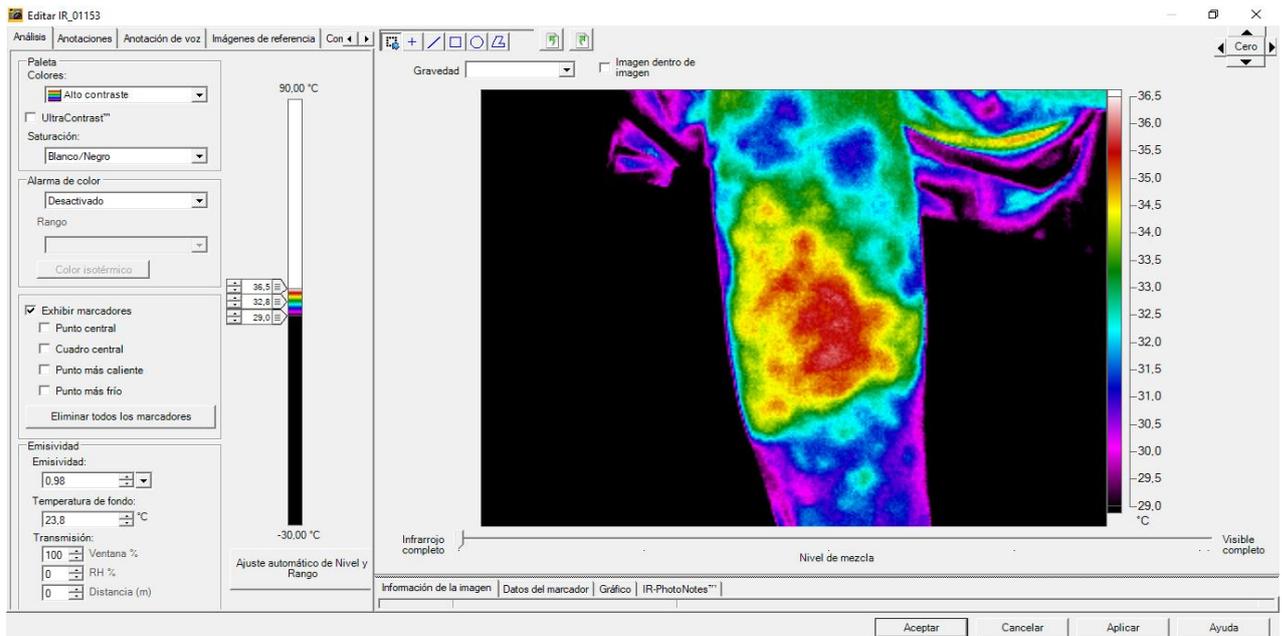


Ilustración 37: Intervalo térmico adecuado.³⁸

Para *consultorio*, se mantuvo un intervalo constante, variando el nivel del intervalo en cada zona. Esto es porque la temperatura difiere según la zona del cuerpo, debido a que la irrigación no es la misma. Para ejemplificar, en manos el intervalo fue entre 29°C a 36°C, mientras que en pie el intervalo fue entre 23°C a 30°C.

En *quirófano*, se estableció un intervalo constante de 7°C en las imágenes infrarrojas de cada paciente, de esta manera cada color de la paleta representa 1°C de temperatura. El nivel del intervalo fue variando en función de las condiciones que se encontraba el paciente (por ejemplo afiebrado).

Por otro lado, el Smart View cuenta con una herramienta muy práctica llamada PIP (picture in picture o imagen dentro de imagen). El PIP proporciona un marco visible alrededor de la imagen infrarroja para orientar y hacer referencia al área de interés. Además, existe un modo llamado IR-Fusión el cual permite modificar el nivel de mezcla de las imágenes desde infrarrojo completo hasta imagen visible completa o alguna combinación intermedia. Estas dos herramientas se utilizaron en conjunto para corregir aquellos casos en los que la imagen infrarroja y su respectiva visible se encontraban desfasadas entre sí, a fin de hacerlas coincidir.

En la ilustración siguiente, se muestra la imagen IR no coincide con la visible en la imagen izquierda y a la derecha, como la imagen fue corregida.

³⁸ Imagen obtenida del software Smartview

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

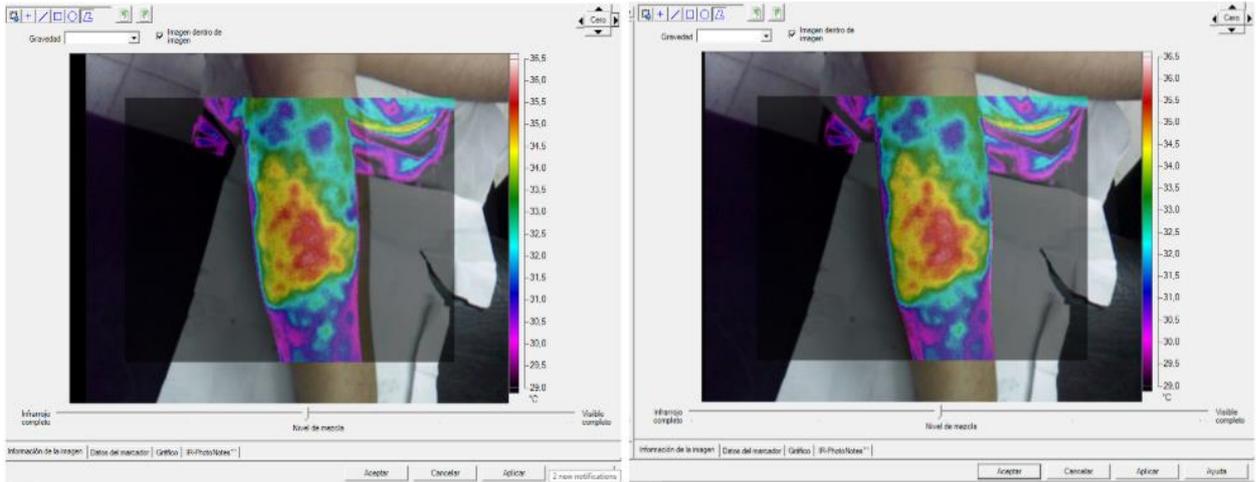


Ilustración 38: Modo IR Fusión al 50% y PIP. A la izquierda, imágenes desfasadas, a la derecha imágenes corregidas.³⁹

Smart View permite exportar las imágenes en diferentes formatos. De cada paciente, se requiere la imagen visible, la infrarroja y la matriz de temperaturas de cada pixel de la imagen térmica. Las imágenes fueron exportadas en formato gráfico .png, y la matriz en formato tipo texto .txt.

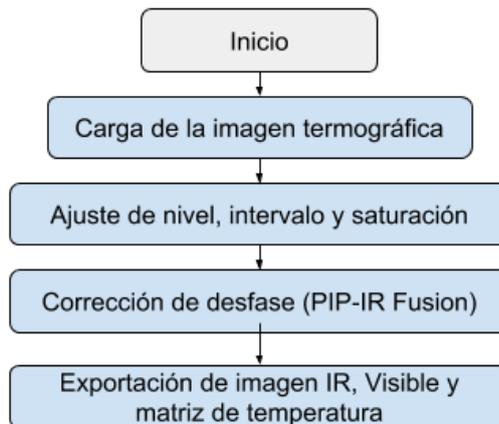


Ilustración 39: Etapas del preprocesado de la imagen en SmartView.⁴⁰

2.4.3 Procesado: MATLAB

En este apartado se ha desarrollado un algoritmo que permita seleccionar y separar la quemadura del paciente para cuantificar, analizar y clasificar según su profundidad.

³⁹ Imagen obtenida del software Smartview

⁴⁰ Imagen adaptada por autores

Consultorio

En las imágenes provenientes de *consultorio* se aisló la quemadura de la piel sana circundante del paciente, luego se separó la región anatómica de interés del paciente respecto al fondo. Como resultado se obtuvieron las partes segmentadas para ser estudiadas individualmente: por un lado, la quemadura y por otro, la piel sana.

Es importante recordar, que la determinación de la profundidad se corresponde con los días en que la herida demora en epitelizar. Bajo el criterio de Benaím, Converse Smith y la Asociación Americana de Quemaduras, se considera que los pacientes que sanaron en menos de 14 días, presentan quemaduras del tipo ABA, y los que demoraron más de 14 días, poseen quemaduras del tipo ABB.

Por esta razón, considerando como criterio estándar el tiempo de epitelización de las heridas, en el procesado de la quemadura se busca un patrón de temperatura que caracterice las quemaduras que fueron ABA y ABB.

Quirófano

En las imágenes provenientes de *quirófano*, debido a la gran extensión de las heridas, además de aislar la quemadura, se la segmentó en diferentes regiones.

La determinación de la profundidad de las quemaduras se basó tomando como criterio la evolución de la herida según las clasificaciones de Benaím, Converse-Smith y la Asociación Americana de Quemaduras. Donde las heridas ABB sanan en un periodo mayor a 14 días pudiéndose extender hasta pasado los 21 días, en cambio las quemaduras tipo B requerirán de injerto.

Es por esto que en el procesado de la imagen se busca discriminar las zonas que fueron injertadas de las que no. Cada región de la quemadura agrupa dos o tres colores de la paleta que representan las distintas de temperaturas. Las regiones serán comparadas entre sí con el objetivo de encontrar un patrón de temperatura que represente las distintas profundidades.

2.4.3.1 Consultorio

En el siguiente cuadro se observa de manera esquemática y resumida la modalidad de trabajo para imágenes de pacientes de consultorio.

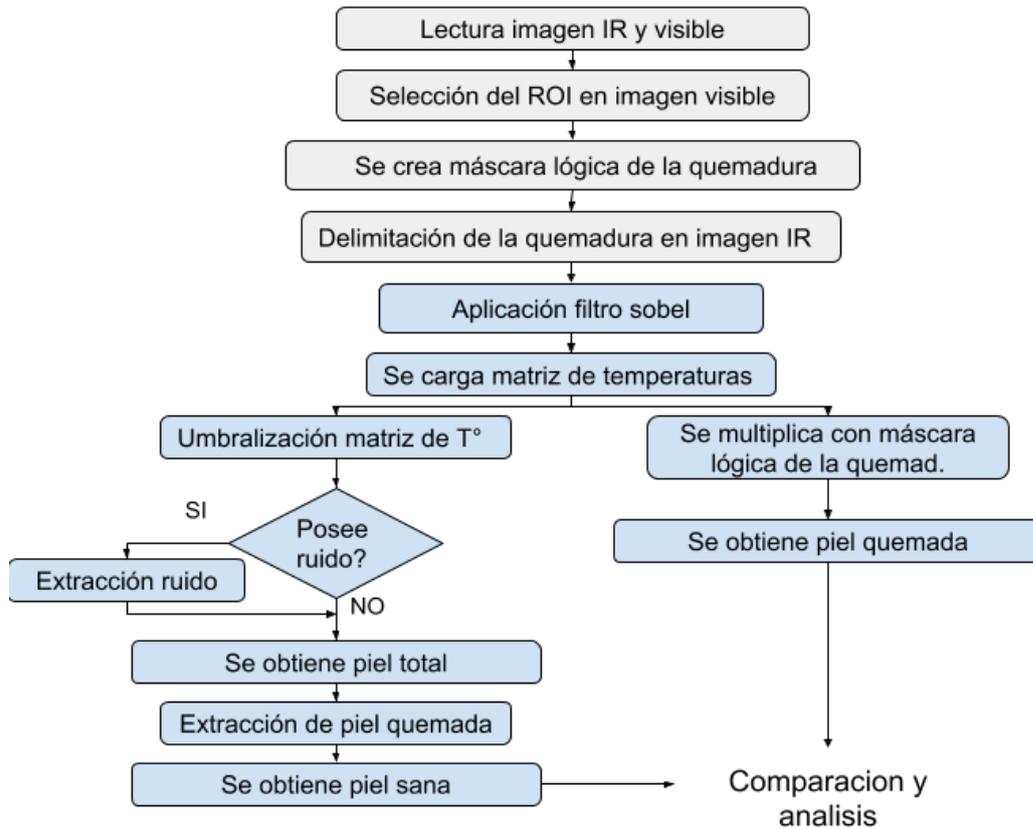


Ilustración 40: Etapas del procesado de imágenes de pacientes de consultorio en Matlab⁴¹

Primera etapa: Procesado de imagen

Para comenzar, se leyeron las imágenes con el comando *imread*, la infrarroja de una dimensión de 240x320 y la visible de 480x640. Como es notorio, la imagen visible es de mayor tamaño que la IR, por lo tanto se las tuvo que emparejar, por lo que se redujo la imagen visible y recortó, para no tener inconvenientes a la hora de superponerla con la imagen IR.

Se debe aclarar que la región de interés (ROI) es la quemadura. Ahora bien, en la imagen visible el contraste entre la quemadura y la piel del paciente es más evidente, por lo que es aquí donde se realizó la selección de la ROI, de forma manual a través del comando “imfreehand”.

⁴¹ Imagen adaptada por autores.



Ilustración 41: Imagen visible de la cara interna de un brazo quemado donde se observa la selección manual de la región de interés con un bordeado blanco.⁴²

Una vez seleccionada la ROI, automáticamente se crea una máscara de valores lógicos del tamaño y forma de la quemadura, denominada BW, la cual se utilizó reiteradas veces en esta etapa de procesamiento.

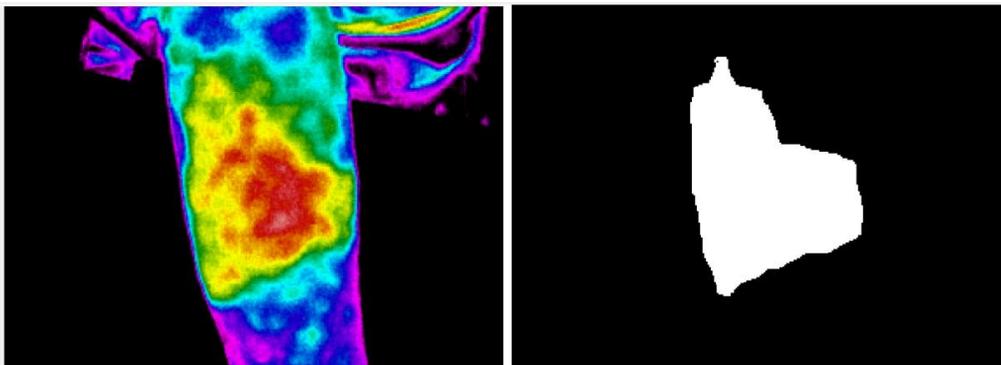


Ilustración 42: A la izquierda, imagen infrarroja completa; a la derecha, máscara de valores lógicos de la quemadura (BW).⁴³

En primera instancia, se multiplicó la máscara BW, con la imagen infrarroja completa, obteniéndose una imagen donde queda delimitada solamente la quemadura en infrarrojo, como se muestra en la figura 43:

⁴² Imagen obtenida del software MATLAB

⁴³ Imagen obtenida del software MATLAB

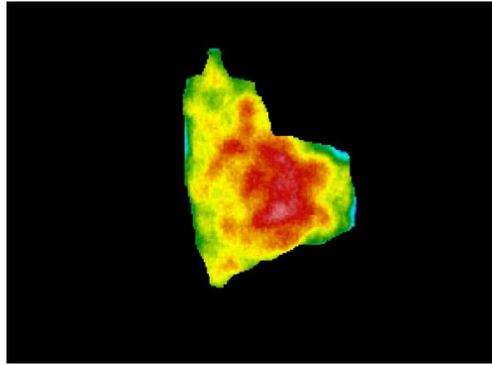


Ilustración 43: Resultado de la multiplicación de la máscara lógica con la imagen infrarroja.⁴⁴

Adicionalmente, se utilizó un filtro de detección de bordes, denominado filtro *sobel*. Los bordes se detectan por ser puntos en los que los valores de píxeles adyacentes de la imagen cambian de forma significativa. Sobre este filtro se creó una nueva máscara del borde de la quemadura, que luego se superpuso a la imagen infrarroja completa como se observa en la imagen 44.

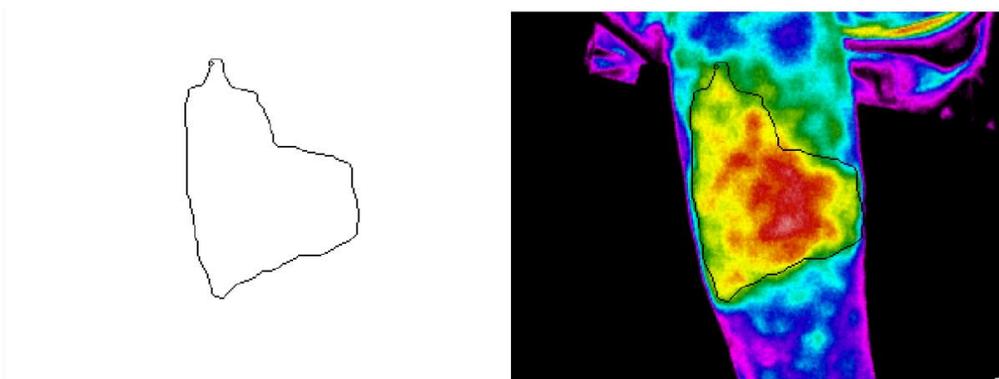


Ilustración 44: A la izquierda, máscara del filtro *sobel*. A la derecha, la imagen IR con la máscara *sobel*.⁴⁵

Es importante recalcar, que en la imagen infrarroja no es habitual que sean evidentes los límites de la quemadura, como se aprecia a la izquierda de la figura 45. Por ende, en estos casos el filtro *sobel* resultó de gran utilidad a los fines de lograr una referencia visual, simplificando así la identificación de la quemadura.

⁴⁴ Imagen obtenida en el software MATLAB

⁴⁵ Imagen obtenida en el software MATLAB

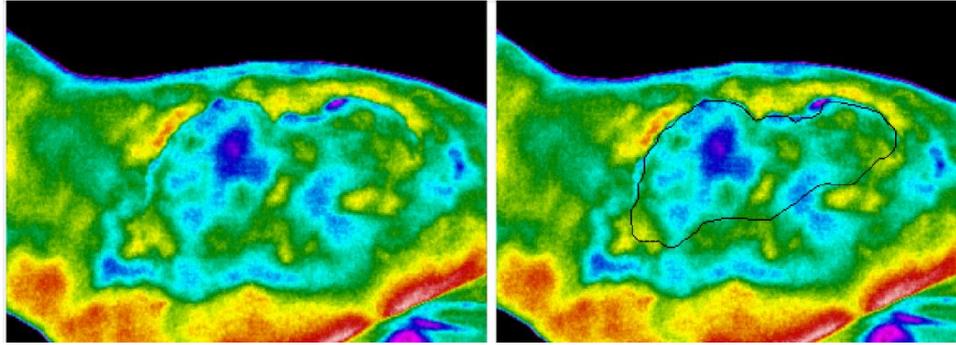


Ilustración 45: A la izquierda, no se observa el contorno de la quemadura. A la derecha, borde definido con el filtro sobel.⁴⁶

Segunda etapa: Matriz de temperatura

Antes de continuar con el procesamiento, es necesario aclarar que en los procedimientos explicados anteriormente, se trabajaron con imágenes solamente, las cuales no poseen información de temperatura, sino de intensidad de colores. Razón por la cual, se debe introducir la información contenida en la matriz de temperaturas que se había extraído en formato .txt del Smartview, denominada MT. En efecto, la matriz es imprescindible para lograr un análisis y cuantificación de las profundidades de la quemadura.

Para comenzar con esta etapa, se cargó la matriz de temperaturas MT y se la multiplico por la máscara BW, para obtener un nuevo arreglo donde a cada píxel le corresponde un valor de temperatura del tamaño y forma de la quemadura.

Además, se empleó el comando `impixelinfo`, para que al momento de posicionar el cursor del mouse en cualquier parte de la imagen se visualice el valor de temperatura de cada píxel, como se observa en la siguiente figura.

⁴⁶ Imagen obtenida en el software MATLAB

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

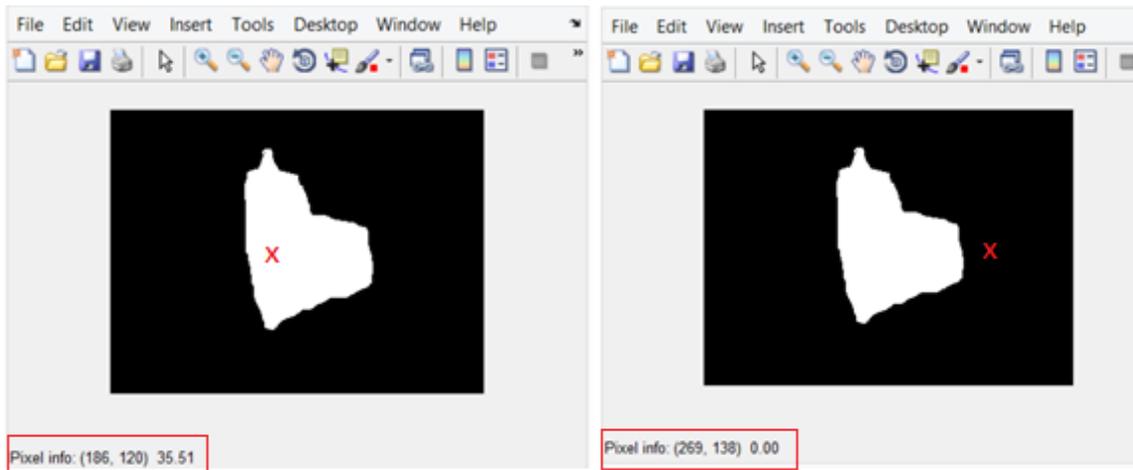


Ilustración 46: Funcionamiento del comando impixelinfo.⁴⁷

En la ilustración 46, se señala a la izquierda que el cursor rojo se encuentra en el interior de la quemadura indicando el valor de temperatura correspondiente al pixel en la porción inferior de la pantalla; y a la derecha, el cursor rojo se encuentra en el exterior de la quemadura, señalando el valor 0.

Seguidamente se busca separar la piel total de la región anatómica del paciente respecto al fondo, entendiéndose por piel total como el conjunto de la quemadura y la piel sana circundante.

Esto se logró definiendo un valor de temperatura umbral, en donde los valores de la matriz que se encuentren por debajo del valor umbral se toman como cero y los que sean mayores o iguales se toman como uno. El valor umbral elegido se corresponde con el valor del límite inferior del intervalo de temperaturas seleccionado en el SmartView.



Ilustración 47: Máscara de valores lógicos de la piel total del paciente.⁴⁸

Como se puede observar en la ilustración 47 en el proceso de umbralización se pueden visualizar los límites de la piel del paciente, no obstante, se ven

⁴⁷ Imagen obtenida de MATLAB

⁴⁸ Imagen obtenida de MATLAB

incluidos contornos de otros objetos que introducen información irrelevante. Baste como ejemplo, la ropa del paciente o la camilla, que poseen una temperatura mayor o igual al umbral previamente fijado. A fin de corregir este error, se multiplicó la máscara con la imagen visible de forma tal que se dejen expuestas las partes que no correspondan, para poder eliminarlas por completo con el comando `imfreehand`.

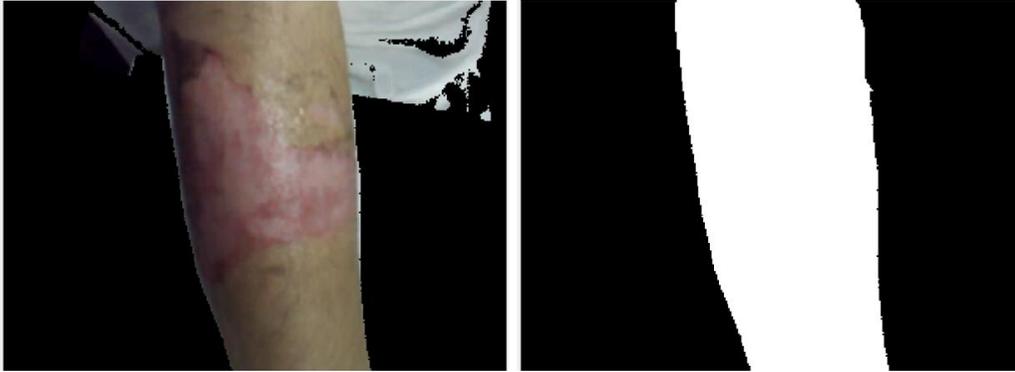


Ilustración 48: A la izquierda, la máscara aplicada a la imagen visible. A la derecha, la imagen luego del comando `imfreehand`.⁴⁹

Finalizado este proceso, se obtuvo una imagen donde se delimita correctamente el contorno de la piel total. La zona blanca o piel total, contiene en cada píxel su valor de temperatura correspondiente, por el contrario en la zona negra los píxeles valen cero puesto que es información irrelevante.

Introduciéndonos en el tramo final de la etapa del procesado, se desea discriminar entre piel sana y quemada para poder extraer los datos de manera separada con el fin de analizarlas. Esto se logró, a través de la máscara BW, extrayendo la zona quemada del área sana, como se puede observar en la figura 49.



Ilustración 49: Zona quemada y sana segmentadas. A la izquierda, la piel sana circundante. A la derecha el área quemada.⁵⁰

⁴⁹ Imagen obtenida de MATLAB

⁵⁰ Imagen obtenida de MATLAB

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Finalmente, se pueden obtener las características de cada región para su posterior caracterización, análisis y clasificación. Estas características se relacionaron con las propiedades estadísticas de cada región, como valor medio, máximo y mínimo. Considerando que la media es un parámetro que puede representar por sí solo a todo el conjunto de valores de temperatura, fue de gran utilidad para contrastar entre las quemaduras de los diferentes pacientes y así unificar el estudio.

2.4.3.2 Quirofano

Para una mejor comprensión, se muestra un cuadro indicando el procedimiento que se llevó a cabo para los pacientes quirúrgicos.

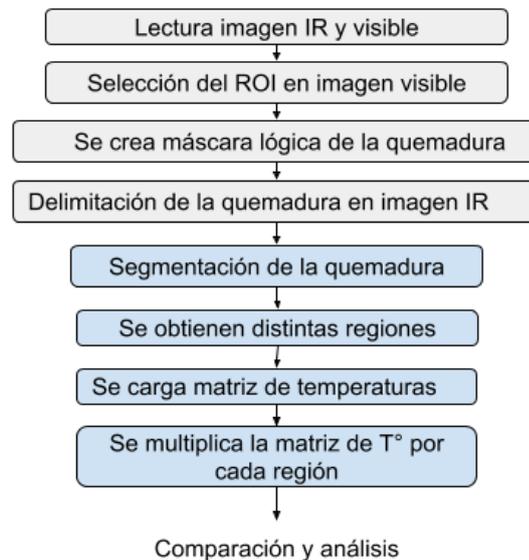


Ilustración 50: Etapas del procesado de las imágenes de pacientes de quirófano en MATLAB.⁵¹

Primera etapa: Procesado de imagen.

Para comenzar, la primera etapa del procesado se realizó de la misma forma que en consultorio. No solo la lectura y corrección de la imagen visible e infrarroja, sino también la selección manual de la quemadura en la imagen digital.

⁵¹ Imagen adaptada por autores.



Ilustración 51: Selección de la ROI con el comando imfreehand⁵²

Una vez seleccionada la ROI, se creó automáticamente una máscara de valores lógicos con la forma y tamaño de la quemadura, que luego se multiplica por la imagen infrarroja completa.

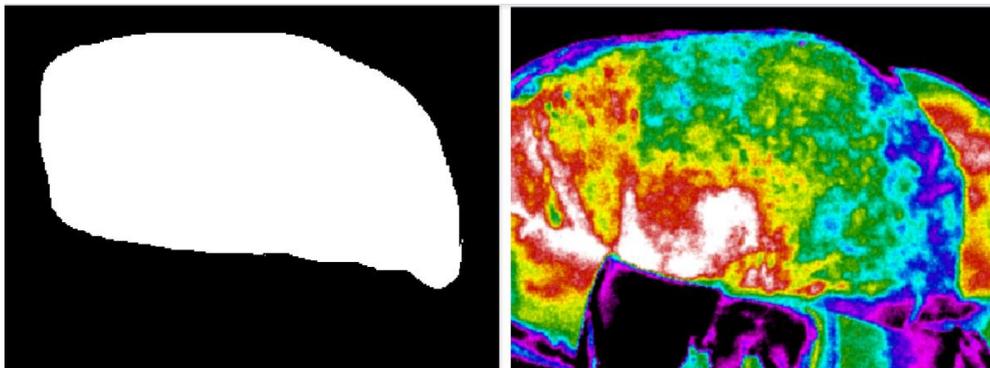


Ilustración 52: A la izquierda, máscara de valores lógicos de la quemadura. A la derecha, imagen infrarroja completa.⁵³

Esta multiplicación dio como resultado, la delimitación de la quemadura en el espectro infrarrojo, como se observa en la siguiente figura.

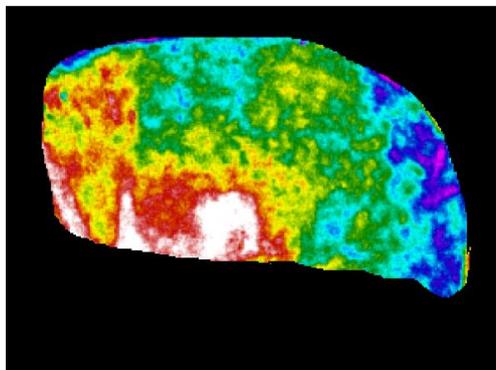


Ilustración 53: Imagen infrarroja de la zona quemada del paciente⁵⁴

⁵² Imagen obtenida de MATLAB

⁵³ Imagen obtenida de MATLAB

⁵⁴ Imagen obtenida de MATLAB

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Hay que destacar que en estas imágenes no se aplicó la misma técnica de procesado que se utilizó en los pacientes de consultorio. La diferencia principal radica en que los pacientes de quirófano no cuentan con piel sana circundante, es decir, al ser grandes quemados, un gran porcentaje de su cuerpo se encuentra afectado. Por lo tanto, no fue posible extraer un delta de temperatura entre piel quemada y piel sana.

Dicho lo anterior, se continuó el procesado con la imagen infrarroja, y no con la imagen visible como en consultorio.

Segunda etapa: Segmentación de la imagen infrarroja.

El objetivo en esta etapa, a diferencia de consultorio, fue separar la quemadura en regiones y realizar una comparación entre ellas. En particular, las quemaduras de los pacientes de quirófano resultan ser de gran extensión, facilitando su segmentación.

La segmentación es el proceso por el cual se divide la imagen en diferentes partes, mediante la agrupación de los píxeles próximos basándose en criterios de similitud, que serán determinados usando propiedades específicas o características representativas de los píxeles de la imagen [45]. Es decir, permite particionar la imagen en un conjunto no solapado de regiones, cuya unión es la imagen completa.

Existen distintos métodos de segmentación, entre ellos uno comúnmente utilizado: la umbralización. En un principio, se intentó utilizar este método en la matriz de temperaturas correspondiente a cada paciente. Sin embargo no fue posible determinar un único valor umbral para todos los pacientes, que fuese capaz de caracterizar las distintas profundidades de la quemadura. El problema radica en que cada paciente presenta temperaturas corporales distintas por el simple hecho de estar en terapia intensiva, estar afiebrado, presentar patologías de base o estar bajo efectos de agentes anestésicos. Por ejemplo una matriz de temperaturas en un paciente se encontraba entre 28°C a 35°C, mientras que en otro paciente el intervalo fue de 32°C a 39°C, dificultando aplicar un método de umbralización.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, los patrones de temperatura corporal están sujetos a los cambios en la irrigación sanguínea de los tejidos. Por esta razón, en las zonas con quemaduras de espesor total o tipo B, donde los vasos sanguíneos se encuentran comprometidos, las temperaturas serán menores que la temperatura corporal del paciente, inclusive según el daño vascular serán más frías que otras regiones dentro de la misma quemadura.

Así, los colores fríos de la imagen térmica representaran las quemaduras más profundas, mientras que colores más cálidos representaran quemaduras más superficiales.

Surge entonces la necesidad de implementar un método de segmentación por colores. El método que se utilizó fue la técnica basada en píxeles con la distancia de Mahalanobis.

La distancia de Mahalanobis es una forma de determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales con respecto a la matriz de covarianza de sus datos, la covarianza corresponde a una medición estadística que indica la fuerza de la correlación entre dichas variables.

Es decir permite calcular distancias entre colores ponderados por la importancia del matiz (color principal) y la covarianza en cada componente, en el caso de imágenes RGB, se puede considerar que existen tres variables aleatorias R, G y B. Incluyendo la inversa de la matriz de covarianza de un conjunto de píxeles representativos, se puede lograr una ponderación.

i/j	R	G	B
R	Cov(R,R)	Cov(R,G)	Cov(R,B)
G	Cov(G,R)	Cov(G,G)	Cov(G,B)
B	Cov(B,R)	Cov(B,G)	Cov(B,B)

Tabla 3: Matriz de covarianza para una imagen RGB.

Con esta técnica se crean grupos de datos donde están los píxeles que, mediante la distancia de Mahalanobis se asemejan entre sí, y píxeles que estén en conjuntos diferentes, no sean semejantes.

El código implementado para el cálculo de la distancia de Mahalanobis se encuentra en el Anexo II.

Partiendo de la ROI en la imagen infrarroja de la quemadura, se la fraccionó en tres gamas distintas, rojos-blancos por un lado, amarillos-verdes por otro lado, y finalmente azul-celeste-violeta. Para lograr la segmentación, el código desarrollado, solicita al usuario realizar 10 click sobre píxeles representativos de cada región mencionada.

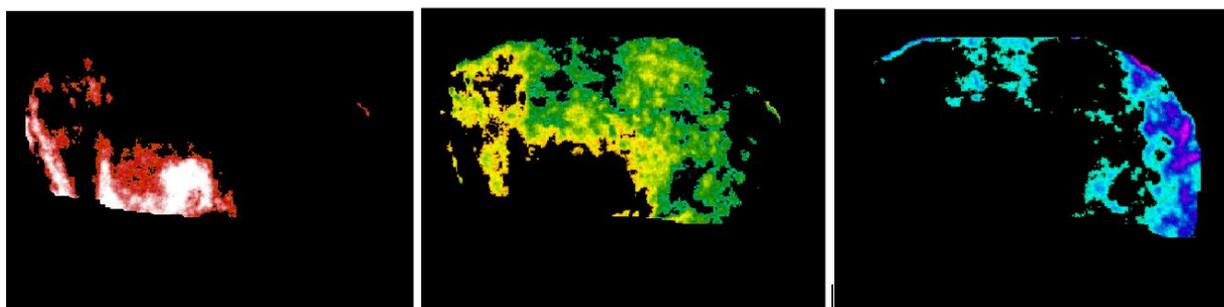


Ilustración 54: Distintas regiones obtenidas luego de aplicar segmentación de Mahalanobis.⁵⁵

⁵⁵ Imagen obtenida de MATLAB

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Es propicio mencionar, que existieron casos donde se segmentó en dos regiones en lugar de tres. Ciertamente, esto ocurre porque que los colores de la paleta utilizada están sujetos a las temperaturas a las que se encuentre el paciente, por esta razón si no hay diferencias de temperaturas significativas, no existirá una gran variedad de colores en la imagen. Para ilustrar mejor, si en la imagen no se encontraban colores rojos y blancos, solamente se realizaba la segmentación en dos regiones, verdes-amarillos, y azules-celestes- violetas respectivamente.

Una vez separadas las diferentes regiones de la imagen, se multiplicó cada una de ellas por la matriz de temperaturas previamente extraída del Smart-View, obteniendo cada región con sus datos de temperatura en cada pixel.

Finalmente se realizó el cálculo de la media de los píxeles de cada zona en particular y además, se obtuvieron los valores máximos y mínimos, para su posterior análisis.

Capítulo 3: Discusión y Análisis de Resultados

En este capítulo se realiza un análisis detallado de los resultados que se obtuvieron en la adquisición de imágenes mediante la implementación del protocolo de adquisición para evaluar la termografía como método de detección de profundidades de distintos grados de quemaduras.

Se desarrolla en dos secciones, las cuales se corresponden al análisis de resultados en pacientes de consultorio y quirófano. En consultorio, se desarrolla de forma general donde solo se exponen los casos particulares y necesarios para la comprensión del estudio; a diferencia de consultorio, en quirófano se desarrolla en detalle cada paciente de manera individual debido a que el número de pacientes es menor.

1. Consultorio

Para comenzar, se tomaron imágenes termográficas de 19 pacientes con quemaduras, 16 mujeres y 3 hombres, con un rango de edad de 18 a 76 años.

	Valor n	Porcentaje
Pacientes	19	100
Sexo		
Femenino	16	84,3
Masculino	3	15,7
Edad	42 (18-76)	
Promedio(Rango)		

Tabla 4: Características de pacientes de consultorio.

Se analizaron un total de 29 quemaduras, cada quemadura fue clasificada según la zona afectada, organizándose en 6 grupos: brazo, antebrazo, mano, muslo, pierna y pie.

	Valor n
Quemaduras	29
Zonas	
Brazo	1
Antebrazo	8
Mano	2
Muslo	12
Pierna	3
Pie	3

Tabla 5: Cantidad de quemaduras según la zona afectada.

Como se puede observar en la tabla 5, no existió homogeneidad en el número de quemaduras que conforma cada grupo. Esto se debe a que al ser las lesiones causadas por escaldaduras, es previsible que se afecten con más facilidad las zonas de muslo y antebrazo, en lugar de brazos y piernas. Acorde

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

con lo mencionado, esto se puede visualizar en el diagrama de torta en el cual se detalla en porcentaje el número de quemaduras de cada zona.

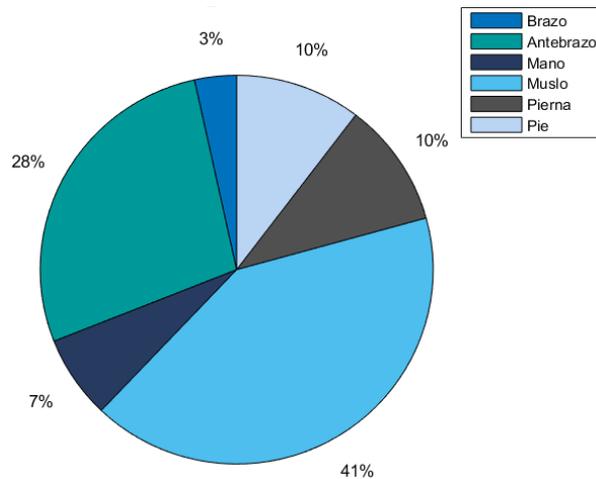


Ilustración 55: Diagrama de torta con los porcentajes de cada grupo

Para comenzar el análisis, se calcularon los promedios de temperatura correspondientes a la piel quemada y la piel sana de cada zona. También, se tuvieron en cuenta otras variables para caracterizar a los pacientes, como ser los mínimos y máximos. A partir de aquí, se determinó un valor Delta T (ΔT), el cual se obtuvo de la diferencia entre la temperatura media de la quemadura y la temperatura media del área circundante de piel sana. Este valor fue de gran utilidad y relevancia para el análisis de los pacientes de consultorio y el mismo será desarrollado más adelante.

En la siguiente tabla se muestran sólo los valores de la zona de antebrazo que fueron arrojados en la etapa del procesamiento, las tablas correspondientes a las zonas restantes se adjuntan en el anexo II.

Zona: Antebrazo				
Quemadura (Q)		Piel sana (Ps)		Delta (media Q - media Ps) (°C)
Min-Max (°C)	Media (°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)	
31,48 - 35,93	33,93	30,01 - 36,01	33,66	0,27
31,39 - 36,35	35,34			1,68
31,43 - 36,04	34,41	29,01 - 35,31	31,94	2,47
31,76 - 34,26	33,06	30,01 - 34,58	32,36	0,70
27,06 - 29,99	28,40	27,02 - 31,54	29,87	-1,47
28,11 - 34,14	31,42	27,02 - 33,66	30,08	1,34
28,32 - 35,15	32,92	27,02 - 34,89	33,12	-0,20
28,58 - 35,14	30,83			-2,29

Tabla 6: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en antebrazos de diferentes pacientes.

Como se mencionó en el capítulo anterior, durante la adquisición de las imágenes termográficas se llevó a cabo un registro continuo de la temperatura ambiente del consultorio. Se graficaron para cada zona los valores de temperatura ambiente Vs. temperatura media de la piel sana y se realizaron regresiones lineales para los datos correspondientes.

En el grupo de antebrazo, el coeficiente de correlación fue de 0.887, lo que indica que existe una tendencia lineal ascendente entre las variables, es decir, que existe un aumento de la temperatura superficial de la piel sana a medida que aumenta la temperatura ambiente. A continuación se ilustra lo mencionado anteriormente:

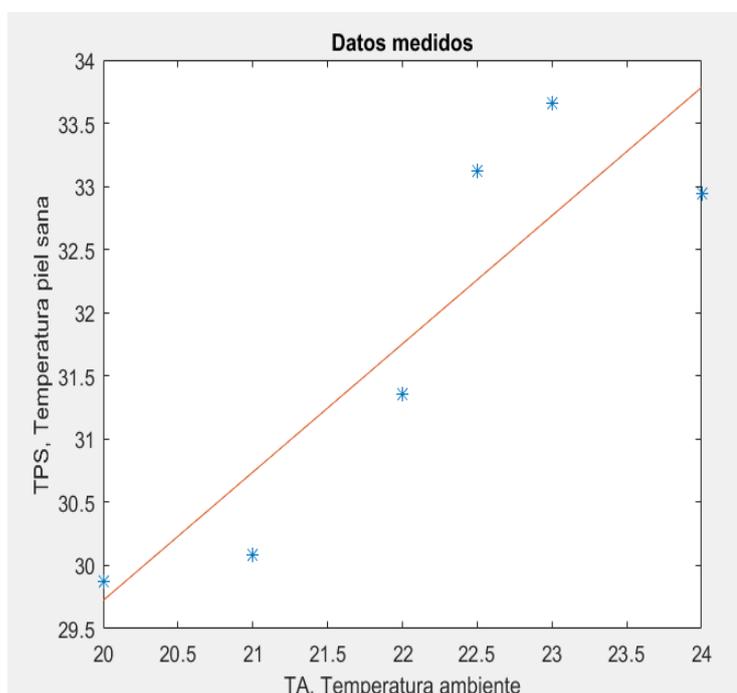


Ilustración 56: Gráfico de correlación lineal entre temperatura ambiente (°C) y temperatura de piel sana (°C).

Esta estrecha relación entre las variables de temperatura ambiente y piel sana, es la razón por la cual es necesario llevar a cabo un registro y control de la temperatura ambiente, ya que es un factor que podría producir variaciones en la medición.

Hay que mencionar, que los coeficientes de correlación lineal entre variables fueron cercanos a 1 en todas las zonas analizadas.

Además se realizó una base de datos de cinco personas sanas, sin quemaduras, en un rango de edad de 23 a 45 años, que fue de gran utilidad, para comparar sus valores de temperatura de piel sana con los valores de piel sana de los pacientes quemados.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Las personas participaron de manera voluntaria para la adquisición de imágenes termográficas de brazo, antebrazo, mano, muslo pierna y pie. De esta forma, se obtuvieron cinco valores promedios de temperatura por cada zona, que se detallan en el anexo II.

Al contar con cinco promedios de temperatura de piel sana por cada zona, para unificar estos valores se calculó la media de los promedios de cada zona y su valor mínimo y máximo. Los mismos se exponen en la tabla 7:

Grupo	Rango (Mínimo – Máximo)	Media
Brazo	29,08 - 35,54	32,74
Antebrazo	29,03 - 33,31	31,67
Mano	25,13 - 32,66	29,16
Muslo	26,69 - 34,17	30,13
Pierna	25,55 - 32,24	29,83
Pie	23,26 - 32,31	29,52

Tabla 7: Media y rango de temperaturas de promedios de piel sana en personas sanas.

Obsérvese la diferencia de aproximadamente 1°C entre zonas, esta distribución irregular del calor, se explica a través de la vasoconstricción, que causa un gradiente de temperatura de entre 2 y 4 °C desde el centro a la periferia. [46]

Análogamente se demostró que este patrón se mantiene en la piel sana de pacientes con quemaduras, aunque la diferencia de temperatura entre zonas fue menor.

Grupo	Rango (Mínimo – Máximo)	Media
Brazo	31,39 – 35,39	33,33
Antebrazo	29,87 - 33,66	31,83
Mano	30,99 - 33,91	32,45
Muslo	30,16 - 33,21	31,49
Pierna	27,11 - 31,42	29,86
Pie	24,02 - 29,97	26,82

Tabla 8: Media y rango de temperaturas de promedios de piel sana en pacientes con quemaduras.

A continuación, se expone de manera gráfica lo desarrollado hasta aquí:

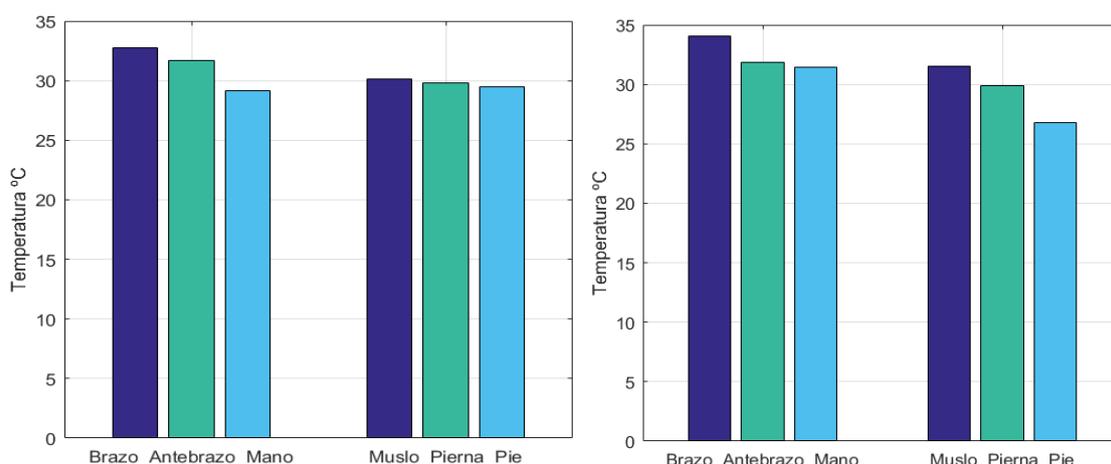


Ilustración 57: Promedios de temperatura de la piel sana de cada zona. A la izquierda valores de sujetos sanos, a la derecha valores de pacientes con quemaduras.

Estos valores fueron calculados con el objetivo de justificar la división por grupos que se realizó en el análisis de consultorio.

Análisis para la determinación de la profundidad

Lo analizado anteriormente fue una herramienta fundamental para el estudio, pero no fue suficiente para la determinación de la profundidad de la quemadura. Razón por la cual, en esta sección no sólo se consideraron las temperaturas de la piel, sino también, los días que demoró en sanar la herida.

Para comenzar, los pacientes fueron divididos en dos grupos, I y II dependiendo del tiempo de curación de las quemaduras. Basándose en los estándares oficiales para la determinación de la profundidad, una quemadura del tipo ABA se considera que epiteliza en menos de 14 días y una quemadura del tipo ABB, demora más de 14 días en hacerlo. Por lo tanto, los pacientes del grupo I tuvieron quemaduras que sanaron antes de los 14 días y al grupo II le tomó más de 14 días sanar. De la totalidad de las quemaduras, 16 pertenecieron al grupo I y 13 quemaduras al grupo II como se observa en la tabla 9.

Grupo	n quemaduras	Días de epitelización	Profundidad de la quemadura
I	16	<14	A (3) ABA(13)
II	13	>14	ABB

Tabla 9: Determinación de la profundidad de las quemaduras según el tiempo de epitelización de la misma.

Como se mencionó en el capítulo anterior, a cada paciente se le realizó un seguimiento registrando imágenes digitales de cada día que asistió a consultorio. De esta manera se pudo presentar al médico la imagen de la quemadura en cada día del tratamiento y controlar cuanto tiempo tardó en epitelizar la herida, para así poder clasificarla correctamente.

Para proseguir el análisis se retoma el valor delta T (ΔT) que, como se mencionó anteriormente se obtiene de la diferencia entre el promedio de temperatura de la quemadura y el promedio de temperatura del área circundante de piel sana.

El valor ΔT permite comparar todas las quemaduras entre sí, sin tener en cuenta los distintos rangos de temperaturas obtenidos en cada una de las zonas. En las siguientes secciones se trabajará con el gradiente ΔT como elemento diferenciador entre las quemaduras.

3.1.1 Quemaduras ABA

Los 16 valores ΔT de las quemaduras correspondientes al grupo I se exponen en la tabla 10 junto con el tiempo que demoró en sanar la herida.

Grupo	Días de epitelización	Delta ΔT (°C)
Antebrazo	13	2,47
Antebrazo	10	0,70
Antebrazo	14	1,34
Antebrazo	13	0,27
Antebrazo	7	1,68
Mano	11	1,82
Muslo	12	0,02
Muslo	14	1,55
Muslo	12	0,33
Muslo	12	0,75
Muslo	13	2,82
Muslo	5	4,11
Muslo	24	1,75
Muslo	7	1,77
Pierna	11	0,61
Pie	14	-0,92

Tabla 10: Días de epitelización y ΔT de las quemaduras ABA de cada zona.

Para comprender mejor los valores de la tabla 10, baste como muestra la ilustración 58. Donde se observa la imagen infrarroja y visible de la cámara termográfica, de la primera vez de un paciente en consultorio. Se puede apreciar la diferencia positiva de temperatura entre la lesión y la piel sana a la derecha de la ilustración.

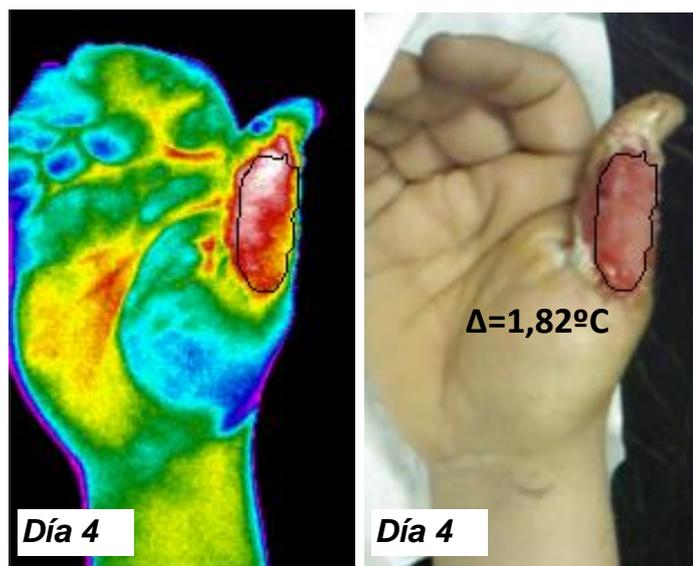


Ilustración 58: Quemadura ABA en mano derecha. A la izquierda imagen infrarroja, a la derecha imagen visible procesada.

Otro aspecto fundamental es destacar la diferencia de colores en la imagen infrarroja. Bajo el concepto de que los colores cálidos de la imagen representan temperaturas altas, a la izquierda de la ilustración 58 el color rojo indica que la temperatura de la quemadura es mayor que la temperatura que la piel sana.



Ilustración 59: Evolución de quemadura ABA en mano derecha.

Nótese que la calidad de la imagen visible de la cámara termográfica en la ilustración 58, no permite visualizar detalles como así lo permite una cámara digital. Es por esto que a la izquierda de la ilustración 59 se muestra la foto del paciente la primera vez en consultorio con una mejor resolución. Y, a la derecha se puede observar la imagen del día de alta, el día 11 de haberse quemado, confirmando así que la quemadura fue ABA.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Asimismo, es importante aclarar que dentro de los pacientes del grupo I, hubieron 3 pacientes que además de la quemadura ABA tuvieron quemaduras del tipo A, es decir, que sanaron antes de los 7 días.

Como el objetivo de este proyecto no es el estudio de las quemaduras del tipo A, no se las analizó en profundidad. Sin embargo, se destacó una particularidad entre las quemaduras ABA y A en cada paciente; en los tres casos existió una diferencia de temperatura mayor a 1°C entre los deltas de temperatura de cada quemadura (ΔT). Esto se ilustra mejor en la tabla siguiente:

Paciente	Quemadura	Días de epitelización	Delta T (°C)	Diferencia entre Deltas T (°C)
1	ABA	13	2,82	1.29
	A	5	4,11	
2	ABA	12	0,02	1,75
	A	7	1,77	
3	ABA	13	0,27	1,41
	A	7	1,68	

Tabla 11: Diferencia de temperaturas entre quemaduras ABA y A.

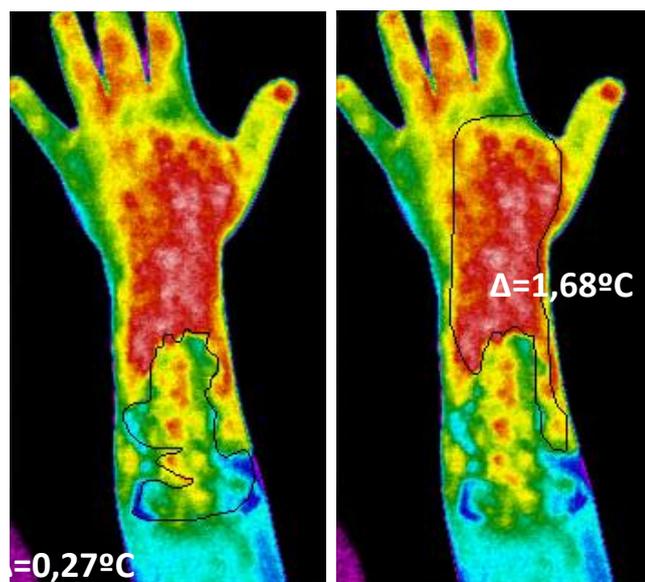


Ilustración 60: Imagen infrarroja de quemadura en mano. A la izquierda se demarca la quemadura ABA, a la derecha quemadura A.

Para concluir, las quemaduras tipo ABA presentaron un aumento de la temperatura en comparación con su región de piel sana circundante, es decir el valor ΔT de temperatura fue siempre positivo. Esto podría ser explicado por la hiperemia en las quemaduras dérmicas superficiales, ya que la vasculatura se encuentra intacta, y se dilata como parte de la respuesta inflamatoria a la lesión [47].

Los resultados de imágenes térmicas muestran que la piel quemada en el grupo I se mantuvo en un rango entre 30,18 - 34,92°C y tuvo una temperatura media de 33,01°C. Los valores mínimos y máximos del ΔT fueron de 0,02 y 2,82°C respectivamente, con un promedio de 1,29 °C.

Caso excepcional

En este apartado se pondrá en evidencia, el caso donde se considera una excepción a lo mencionado anteriormente, y no un error en la medición, ya que es de suma importancia para la comprensión e interpretación de un estudio con termografía infrarroja en quemaduras. Este caso en particular, fue consultado de manera específica al equipo médico especializado en quemaduras y de aquí su explicación.

Existen factores extrínsecos, que exceden al estudio termográfico ya que dependen de las características particulares de cada paciente, como enfermedades de base o la responsabilidad del paciente de cumplir el tratamiento.

Para comenzar, este paciente corresponde a los valores remarcados en la tabla 8, donde se puede ver que los resultados arrojados indican un valor ΔT positivo, de 1,75°C. Esto supondría que la quemadura es del tipo ABA e implicaría un tiempo de epitelización menor o igual a 14 días, sin embargo, la herida demoró en sanar 24 días.

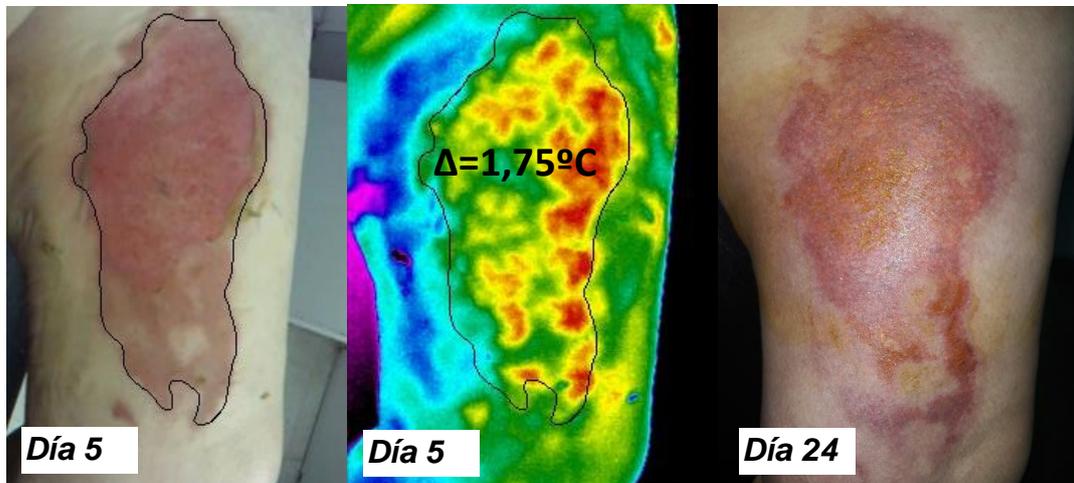


Ilustración 61: Quemadura ABA en muslo izquierdo. De izquierda a derecha, fotografía digital; imagen infrarroja procesada, fotografía de la quemadura ya epitelizada.

Por consenso médico se clasificó a la quemadura del tipo ABA, pero con retardo en el tiempo de epitelización dado que el paciente presentaba una enfermedad de base que afectaba la pierna que contenía la quemadura. El mismo sufría trombosis, lo que significa una mala circulación sanguínea y por lo tanto un retardo en la regeneración de los tejidos o en el proceso de epitelización.

Otro factor que se asocia a la demora del proceso, es la edad avanzada, ya que se ve disminuida la capacidad de respuesta del organismo ante los procesos de regeneración, por lo que no es un dato menor que la edad del paciente fuera de 68 años. Se podría objetar que el estudio termográfico fue erróneo, no obstante, se debe tener en cuenta que estos factores no pueden ser percibidos por la cámara, ya que no dependen del estudio en cuestión.

Para finalizar, la cámara brinda una imagen de la situación actual en la que se encuentra la quemadura y su profundidad, pero los tiempos de epitelización quedan sujetos exclusivamente a la salud del paciente y a la voluntad del mismo de cumplir el tratamiento médico.

Llegados a este punto, se puede concluir que en 15 de 16 pacientes que fueron estudiados, la cámara pudo detectar los cambios de la temperatura y revelar qué tipo de quemadura tenía el paciente, resultando efectiva en el 93% de las quemaduras contenidas en este grupo.

El 7% restante, es para la quemadura en el pie donde el delta arrojado es un valor negativo y la quemadura epitelizó en 14 días. Aquí, no se considera un caso excepcional sino un error en los resultados, esto puede deberse a una falla en la medición o en el momento de adquisición de la imagen, o simplemente la cámara no fue capaz de detectar la profundidad de la quemadura en este caso.

3.1.2 Quemaduras ABB

En las quemaduras del grupo II, se halló un descenso de temperatura con respecto a la temperatura de la piel sana circundante, por lo tanto los valores ΔT fueron negativos. Las diferencias de temperatura obtenidas de cada zona se presentan en la siguiente tabla:

Grupo	Días de epitelización	Delta ΔT (°C)
Brazo	46	-0,73
Antebrazo	18	-1,47
Antebrazo	35	-0,20
Antebrazo	35	-2,29
Mano	21	-1,53
Muslo	33	-0,76
Muslo	33	-0,51
Muslo	42	-0,35
Muslo	18	-0,20
Pierna	33	-1,92
Pierna	17	-0,42
Pie	21	-0,18
Pie	19	-2,09

Tabla 12: Días de epitelización y ΔT de las quemaduras ABB en cada zona.

Del mismo modo que en las quemaduras ABA, los valores de la tabla 12 se podrían interpretar con mayor facilidad con las imágenes de los pacientes. La siguiente ilustración corresponde a la imagen termográfica de un paciente la primera vez en consultorio.

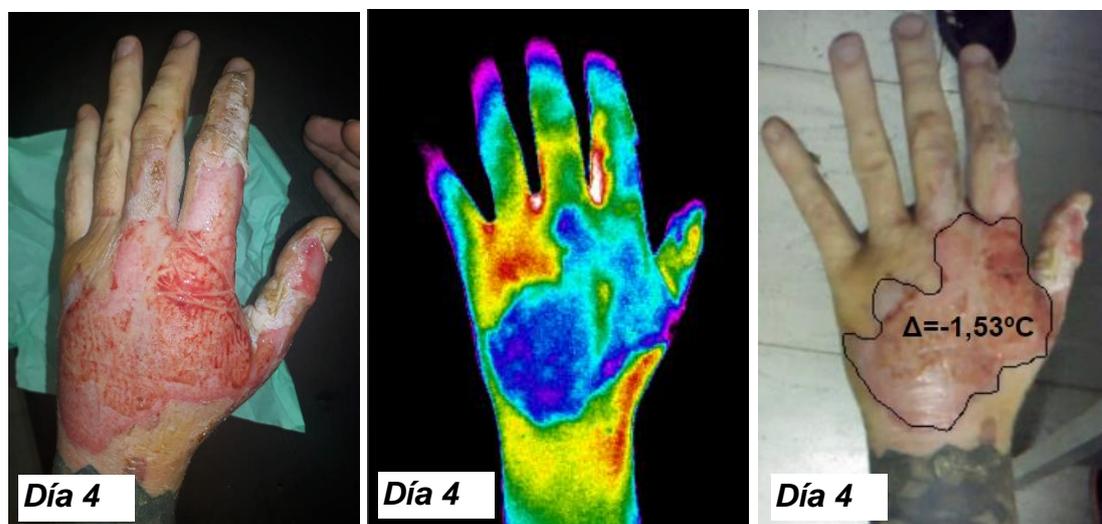


Ilustración 62: Quemadura ABB en mano izquierda. De izquierda a derecha, fotografía digital; imagen infrarroja, imagen visible procesada.

Conviene subrayar que el ΔT es negativo y la diferencia de temperaturas entre la quemadura y la piel sana se hace evidente con los colores más fríos en la quemadura.



Ilustración 63: Evolución de quemadura ABB en mano izquierda.

De izquierda a derecha, se puede observar el celofán en el día donde todavía no está completamente sano. La imagen central corresponde al día de alta (día 22) donde se muestra que la piel por debajo del celofán ya se encuentra epitelizada, corroborando que es una quemadura ABB. Y por último, el día de control con la piel totalmente sana.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

A continuación se expone un caso particular de un paciente donde en la imagen infrarroja de la quemadura, se delimita un salto de temperatura muy grande, por lo que se las analizó como si fuesen dos quemaduras.

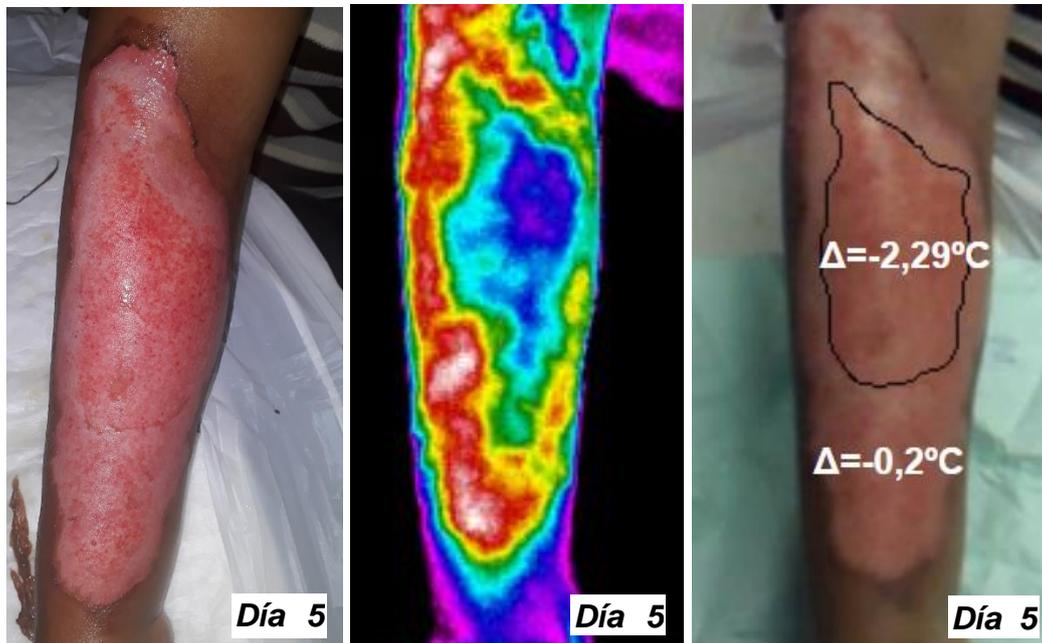


Ilustración 64: Quemadura ABB en antebrazo derecho. De izquierda a derecha, fotografía digital; imagen infrarroja, imagen visible procesada.

Aunque ambas quemaduras fueron del tipo ABB, arrojaron ΔT negativos muy diferentes, lo que se podría traducir en que una era de mayor profundidad que la otra. Finalmente, esto se confirmó con el tiempo de epitelización de cada una, ambas quemaduras tardaron más de 14 días en sanar, sin embargo la quemadura externa epitelizó antes que la interna.



Ilustración 65: Evolución de quemadura ABB en antebrazo izquierdo.

En resumen, las quemaduras del grupo ABB presentaron una temperatura entre 23,84 y 33,33°C, con una media de 29,89°C. Estas quemaduras fueron en promedio 0,88°C más frías que la piel sana con un rango de -2,29 hasta -0,18°C. Las quemaduras del tipo ABB o dérmicas profundas, como su nombre lo indica afectan las capas profunda de la dermis, el descenso de temperatura en este tipo de quemaduras se puede explicar debido a que la vasculatura está comprometida y la perfusión sanguínea se encuentra disminuida.

Para ultimar, la cámara termográfica ha sido un 100% efectiva a la hora de detectar las quemaduras del tipo ABB, ya que no se presentaron discrepancias entre los 13 pacientes de este grupo, obteniendo uniformidad en los resultados.

Conclusiones de consultorio

Lo analizado hasta aquí se condensa en que las quemaduras del tipo ABA, se corresponden con temperaturas de la quemadura mayores que la piel sana, con colores cálidos como el rojo o naranja y finalmente se traducen con un valor ΔT positivo. Por el contrario, las quemaduras del tipo ABB son más frías que la piel sana circundante evidenciándose con colores azules violáceos, y los valores ΔT siguen un patrón negativo.

En el siguiente gráfico de barras se ilustran los deltas de temperatura (ΔT) ABA y ABB de las 29 quemaduras. Obsérvese los valores positivos y negativos en cada grupo:

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

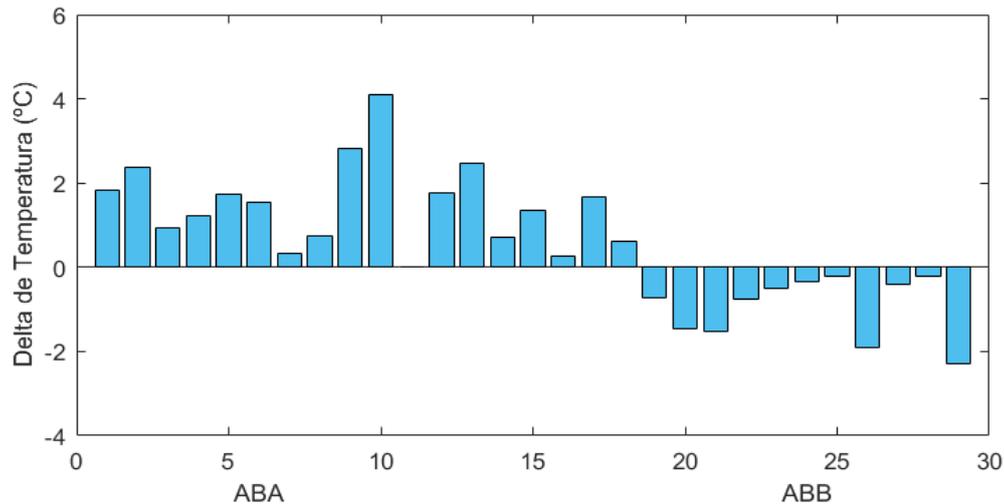


Ilustración 66: ΔT positivos en quemaduras ABA y negativos en quemaduras ABB.

Los valores ΔT en la ilustración 66, se pueden explicar debido al hecho de que quemaduras dérmicas o ABB implican la afectación de los vasos sanguíneos reduciendo la cantidad de sangre de perfusión a la piel y por lo tanto reduce la temperatura de la piel, mientras que las quemaduras superficiales aún tienen tejido viable, lo que genera una respuesta inmunológica que produce inflamación y aumentando así la temperatura de la quemadura.

Por último, no se encontró una relación entre el valor ΔT y los días de epitelización de los distintos pacientes. Sin embargo, existió un patrón en aquellos que poseían dos tipos de profundidades en una misma quemadura, o dicho de otra manera dos valores diferentes de ΔT .

En quemaduras que tuvieron dos deltas positivos, el ΔT de mayor valor tardó menos días en epitelizar, es decir esa región fue más superficial. Sirva de ejemplo los tres casos analizados anteriormente, donde los pacientes contenían una quemadura A y ABA.

Caso contrario ocurrió en quemaduras ABB con dos deltas negativos, aquel ΔT con un valor más alejado del cero, fue la quemadura que más tiempo demoró en epitelizar, o la de mayor profundidad. Así, por ejemplo fue el caso del último paciente descrito en la sección ABB.

Además, se comparó la evaluación termográfica de la profundidad de la quemadura con la evaluación clínica inicial del médico, usando como criterio estándar los días de epitelización de la herida. Es importante recordar, que la determinación de la profundidad se corresponde con los días en que la herida demora en epitelizar. Bajo el criterio de Benaím, Converse Smith y la Asociación Americana de Quemaduras, en donde se considera que las quemaduras A cicatrizan en un tiempo menor a 7 días, las quemaduras ABA sanan en menos de 14

días y, finalmente las quemaduras del tipo ABB, demoran más de 14 días en epitelizar.

Los dos métodos de evaluación se combinaron para cada zona y los resultados comparados con el criterio estándar se resumen en la siguiente tabla.

	Criterio estándar (Días de epitelización)			
	A	ABA	ABB	Total ev. Termográfica
Evaluación termográfica				
A	3	0	0	3
ABA	0	12	0	12
ABB	0	1	13	14
Total criterio est.	3	13	13	29
Evaluación Clínica				Total ev. Clínica
A	3	1	0	4
ABA	0	11	3	14
ABB	0	1	8	9
B	0	0	2	2
Total criterio est.	3	13	13	29

Tabla 13: Comparación de resultados entre la evaluación termográfica y evaluación clínica.

La tabla 13 revela que en la evaluación termográfica, los valores que arrojó la cámara concuerdan con el tiempo de epitelización en las quemaduras A y ABB. En cambio, no coincide en un caso donde indico que quemadura era ABB cuando en realidad fue ABA.

Por otra parte, en la evaluación clínica el equipo médico consideró que 3 quemaduras eran ABA y finalmente fueron ABB. De manera inversa valoraron una quemadura del tipo ABB cuando en realidad fue ABA.

A diferencia de la evaluación termográfica, en la evaluación clínica se agregó el grupo B ya que existieron casos donde el equipo médico hizo alusión que dos quemaduras necesitarían injerto, cuando con el correr de los días epitelizaron espontáneamente, es decir fueron ABB. En estas dos zonas quemadas la evaluación termográfica fue correcta y la clínica incorrecta, lo cual es de vital importancia, ya que un estudio termográfico podría ser capaz de evitar una intervención quirúrgica innecesaria.

Sin embargo, existió un caso donde el equipo médico evaluó correctamente la profundidad de la quemadura y la termografía no.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Para simplificar, los ΔT obtenidos en la evaluación termográfica coincidieron con el tiempo de epitelización de la herida en 12 de 13 quemaduras ABA, y en la totalidad de las quemaduras ABB. Mientras que la evaluación clínica del médico, fue correcta en 11 de 13 quemaduras ABA y en 8 de 13 quemaduras ABB. Esto se ilustra mejor en la tabla 14.

	Evaluación clínica	Evaluación termográfica
ABA	84%	93%
ABB	61%	100%

Tabla 14: Comparación de porcentajes entre la evaluación termográfica y evaluación clínica.

Los resultados muestran que la termografía infrarroja arrojó muy buenos resultados para diferenciar las quemaduras dérmicas superficiales de las profundas, que son particularmente difíciles de evaluar clínicamente.

Por lo tanto, las imágenes térmicas infrarrojas digitales podrían ser de gran utilidad para complementar la evaluación clínica, como un procedimiento no invasivo para el diagnóstico de la profundidad de las quemaduras en los pacientes de consultorio.

2. Quirófano

En este apartado fueron analizadas imágenes termográficas de siete quemaduras pertenecientes a seis pacientes, cuatro hombres y dos mujeres, con un rango de edad de 32 a 65 años.

	Valor n	Porcentaje
Pacientes	6	100
Sexo		
Femenino	2	33
Masculino	4	66
Edad	42 (32-65)	
Promedio(Rango)		

Tabla 15: Características de pacientes de quirófano.

	Valor n
Quemaduras	7
Zonas	
Torso	2
Pierna	1
Mano	4

Tabla 16: Cantidad de quemaduras según la zona afectada.

Es importante recordar, que en los pacientes de quirófano no se compararon temperaturas de la quemadura con la piel sana, sino que se compararon temperaturas de diferentes regiones dentro de la misma quemadura.

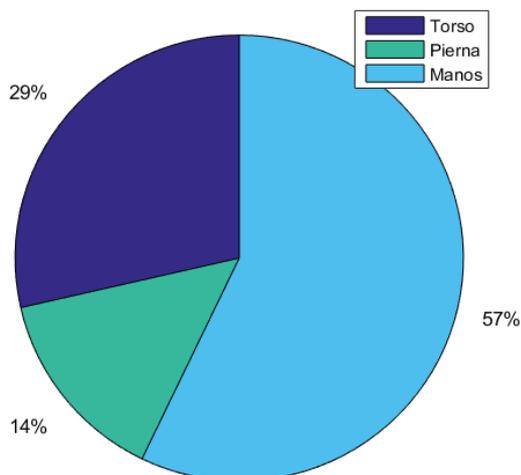


Ilustración 67: Diagrama de torta junto los porcentajes de cada grupo

Los pacientes fueron divididos en dos grupos, grupo I y II según la modalidad de la adquisición de imágenes termográficas que se utilizó y además, lo que se buscó examinar en cada grupo fue diferente.

3.2.1 Grupo I

Este grupo está constituido por tres pacientes, que sufrieron quemaduras en torso y piernas. Con respecto a la adquisición de imágenes, se les realizó el seguimiento termográfico y digital desde su primera intervención quirúrgica hasta la colocación del injerto, esto generalmente demora un tiempo mayor a 21 días.

Se analizaron todas las imágenes infrarrojas tomadas hasta el día del injerto con el objetivo de encontrar el día en que la imagen termográfica se corresponda con la zona que necesitó ser injertada.

Las quemaduras de los pacientes de quirófano fueron extensas, lo que permitió segmentarlas en diferentes regiones de temperaturas según la paleta de colores. Para comenzar con el análisis se calcularon los promedios de temperatura de cada región, sus máximos y mínimos y fueron comparadas entre sí.

Paciente 1

Para comenzar, se examinaron la totalidad de las imágenes termográficas de cada día de evolución de un paciente que sufrió una quemadura en muslo y pierna izquierda. Luego de un análisis exhaustivo, resultó que al día 5 de haberse

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

producido la quemadura, fue el día en que la imagen infrarroja mejor se correspondía con la zona que luego fue injertada. Por esta razón, se la estudió con detalle.

La ilustración 68, muestra la primera vez que el paciente ingresó a quirófano, en donde el médico especialista manifestó que era una quemadura del tipo ABB, que podría profundizar con el tiempo.

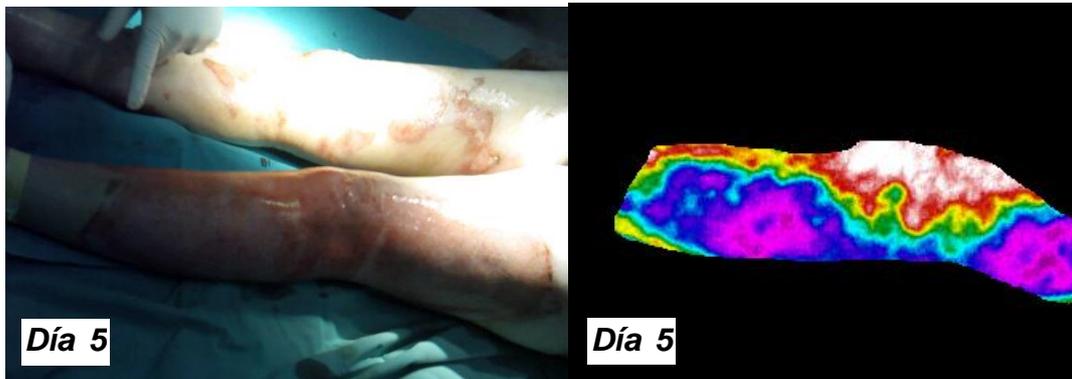


Ilustración 68: Quemadura en pierna izquierda. A la izquierda imagen visible, a la derecha imagen infrarroja procesada.

No obstante, en la imagen infrarroja se aprecian distintos colores de la quemadura asociados a diferentes profundidades. Por lo tanto, se la segmenta en función de los mismos, como se observa en la siguiente figura.

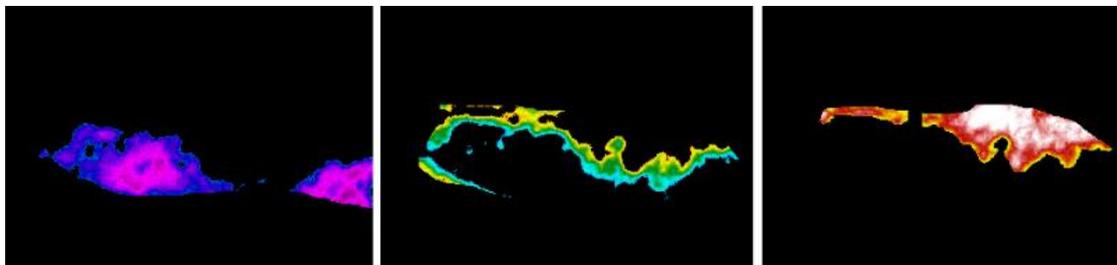


Ilustración 69: Segmentación de quemadura en pierna. De izquierda a derecha, zonas profundas, intermedias y superficiales.

Luego de la segmentación, quedan en evidencia tres zonas en distintos colores, las azules-violáceas que arrojaron una temperatura promedio de $29,59^{\circ}\text{C}$, las con una temperatura promedio de $32,02^{\circ}\text{C}$ y por último las rojas-blancas con un valor de $34,3^{\circ}\text{C}$.

Nótese la diferencia de temperatura mayor a 2°C entre cada zona, la región de menor temperatura es la de mayor profundidad, por lo que estamos en frente de una quemadura del tipo B ya que fue la zona injertada. Las dos zonas restantes al no ser injertadas demuestran que fueron del tipo ABB, sin embargo la diferencia de 2°C entre estas últimas, indican que la zona rojas y blancas tardaran menos en epitelizar que la zona amarillas -verdes -celestes. En definitiva, podríamos asumir que a mayor temperatura menor profundidad y viceversa.

Prosiguiendo con el análisis, en la imagen superior de la ilustración 70, la palidez y textura que caracterizan a la quemadura indican al médico que esta zona no epitelizará espontáneamente. Es decir, la profundidad de la quemadura del tipo B se hizo visualmente evidente el día 11 de haberse producido, mientras que en la termografía se puso en manifiesto 6 días antes.



Ilustración 70: Evolución de la quemadura B y ABB en pierna izquierda.

En cuanto a la imagen inferior de la ilustración, se observa cómo la quemadura B sigue profundizando habiendo transcurrido sólo tres días entre una foto y la otra, debido al aspecto acartonado de la piel. Mientras que las zonas rosadas correspondientes a la quemadura ABB, están epitelizando.

Finalmente, la ilustración 71 exhibe a la pierna junto con el injerto, luego de 28 días de haberse producido la lesión. Llegados a este punto, podemos remarcar como la forma del injerto coincide con la imagen infrarroja del día 5, y también, cómo esto pudo hacerse notable con la cámara termográfica desde la primera intervención quirúrgica.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.



Ilustración 71: Injerto de piel en pierna izquierda.

Paciente 2

El segundo paciente estudiado, sufrió una quemadura extensa en la región del torso, luego del análisis del seguimiento se determinó que la imagen termográfica del día 10, resultó ser la que concuerda con la condición final del paciente. La misma corresponde a la cuarta intervención quirúrgica y se muestra en la ilustración 72:

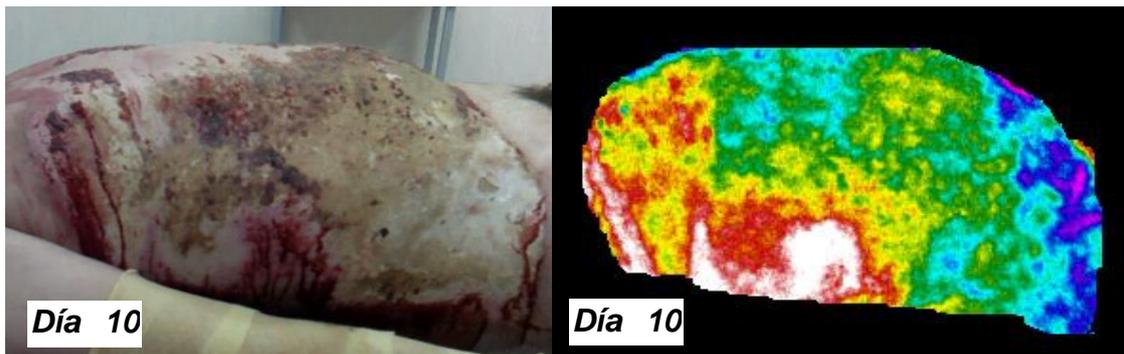


Ilustración 72: Quemadura en lado derecho del torso. A la izquierda, imagen visible, a la derecha imagen infrarroja procesada.

Se debe destacar en la imagen anterior, el aspecto acartonado que presenta el torso. Considerando esta particularidad el equipo médico afirmó que toda la quemadura era del tipo B. Por el contrario, la imagen infrarroja pone en evidencia a través de la paleta de colores, que existen distintas profundidades.

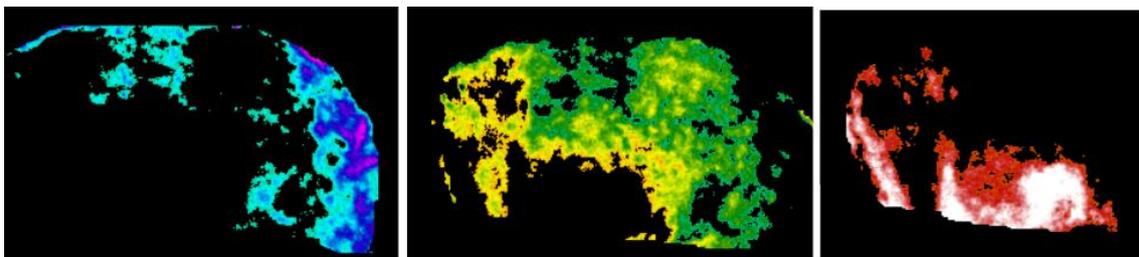


Ilustración 73: Segmentación de quemadura en torso. De izquierda a derecha zonas profundas, intermedias y superficiales.

Análogamente al primer paciente, luego de la segmentación se obtuvieron tres zonas con sus correspondientes promedios de temperaturas. Las zonas azules y violáceas arrojaron un valor de 34,55 °C, la zona verde y amarilla 35,5°C y finalmente en la zona roja y blanca se obtuvo un valor medio de temperatura de 36,7°C. En este caso la diferencia de temperatura entre zonas fue de 1°C, aunque este valor fue menor que el paciente anterior, se conservó el mismo patrón. Dicho de otra forma, la región de menor temperatura resultó ser una quemadura del tipo B, y las dos regiones restantes quemaduras ABB.

A continuación se muestran las fotografías del paciente los días 20 y 26 de haberse producido la quemadura.



Ilustración 74: Evolución de quemadura B y ABB en lado derecho del torso.

En la imagen superior, se percibe una escara en tonos marrones, característica de las zonas más profundas. Apréciase como la quemadura evoluciono de tal forma como lo muestra la imagen infrarroja 10 días antes.

La imagen inferior de la ilustración 74, fue tomada luego de la escarectomía, proceso imprescindible para la colocación del injerto en dicha zona. A pesar

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

de no contar con la foto del injerto, el equipo médico ratificó que fue situado en las áreas blanquecinas. Por ende, podríamos afirmar que la predicción de la zona a injertar fue acertada.

Por otro lado, el paciente difiere del anterior en el día en que la imagen infrarroja predice la zona a injertar. Esto podría explicarse por el tamaño de la quemadura y las condiciones desfavorables del paciente, ya que se encontraba en terapia intensiva. La ilustración 75, muestra que al día 5 no se pudo hallar patrón alguno en la imagen infrarroja, debido a que el paciente no estaba fisiológicamente estabilizado.

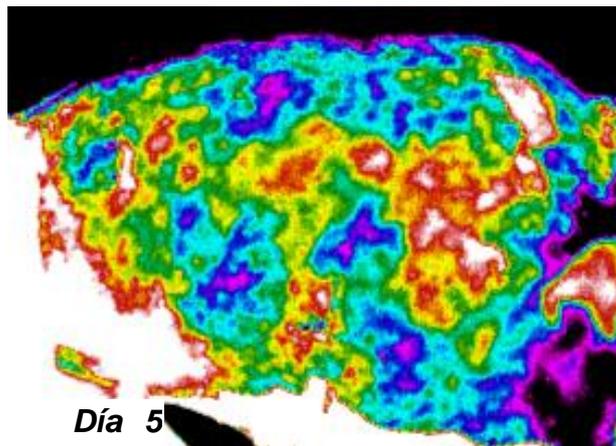


Ilustración 75: Imagen infrarroja procesada de quemadura de 5 días en torso.

Paciente 3

El último paciente de este grupo, sufrió una quemadura que afectó torso y cuello. En este caso, luego de analizar todas las imágenes del seguimiento, el estudio termográfico no arrojó resultados favorables, ya que no fue posible predecir la zona a injertar.

Hay que mencionar, que se encontró un patrón en su quemadura, la cual se pudo segmentar por colores, pero aun así, estos no coincidieron con el resultado final del paciente.

Aquí se muestran la imagen infrarroja del día 5 y digital del injerto del paciente:

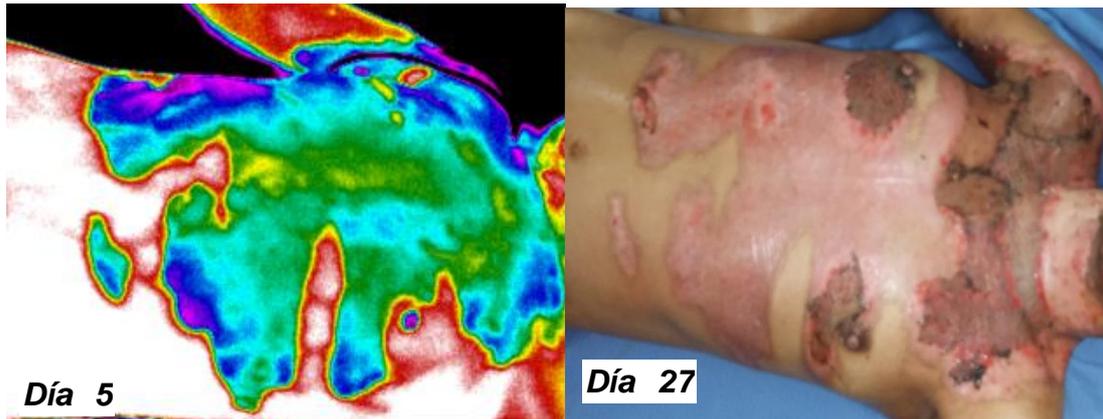


Ilustración 76: Quemadura en torso. A la izquierda, imagen infrarroja. A la derecha fotografía del injerto.

3.2.2 Grupo II

Este grupo estuvo constituido por los tres pacientes restantes a los cuales sólo se les realizó la toma de imágenes termográficas por única vez en la primera intervención quirúrgica, habiendo pasado 5 días de producirse la quemadura.

Esta decisión se fundamentó en lo concluido en el primer paciente del grupo I, ya que los pacientes del grupo II se encontraban en situación semejante: las quemaduras fueron en las extremidades y la extensión fue menor al 9% de la SCT. Dicho de otra manera, se busca reafirmar que el día de la primera intervención fuese el más adecuado para predecir la profundidad de la quemadura y la zona a injertar.

Todos los pacientes de este grupo sufrieron quemaduras en manos, el paciente 4 tuvo quemaduras en ambas manos, mientras que el paciente 5 y 6 solo en una.

A la imagen infrarroja de cada paciente se le realizó el proceso de segmentación, como se observa en el ejemplo a continuación:

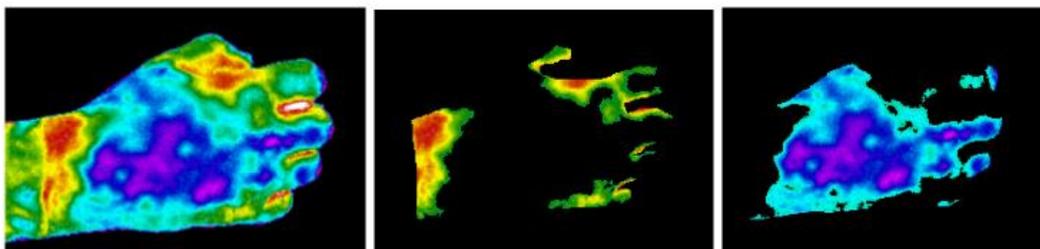


Ilustración 77: Imagen infrarroja y su segmentación de la mano derecha del paciente 4, el día 5 de la quemadura.

Luego de la segmentación, los resultados arrojaron una diferencia de temperatura de aproximadamente 2°C entre zonas azules-violáceas y rojas-verdosas. Incluso en un paciente afebrado, la misma diferencia de temperatura se mantuvo. Las mismas se encuentran en el anexo II.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Nuevamente, la región de menor temperatura fue la de mayor profundidad, por lo que se trató de una quemadura del tipo B y la misma fue injertada. La zona restante de mayor temperatura indicó que la quemadura fue del tipo ABB y finalmente epitelizó.



Ilustración 78: Mano derecha del paciente 4. A la izquierda quemadura precoz, a la derecha mano injertada.

Como el objetivo de este grupo es evaluar la capacidad de la termografía para predecir prematuramente la zona a injertar, se realizó el mismo análisis a todos los pacientes.

A continuación se comparan las imágenes infrarrojas de cada paciente con su respectiva zona injertada. Nótese que los colores fríos, son claros indicadores de la profundidad, y se corresponden con el injerto. En cambio las zonas con los colores cálidos, resultaron ser quemaduras más superficiales y no fueron injertadas.

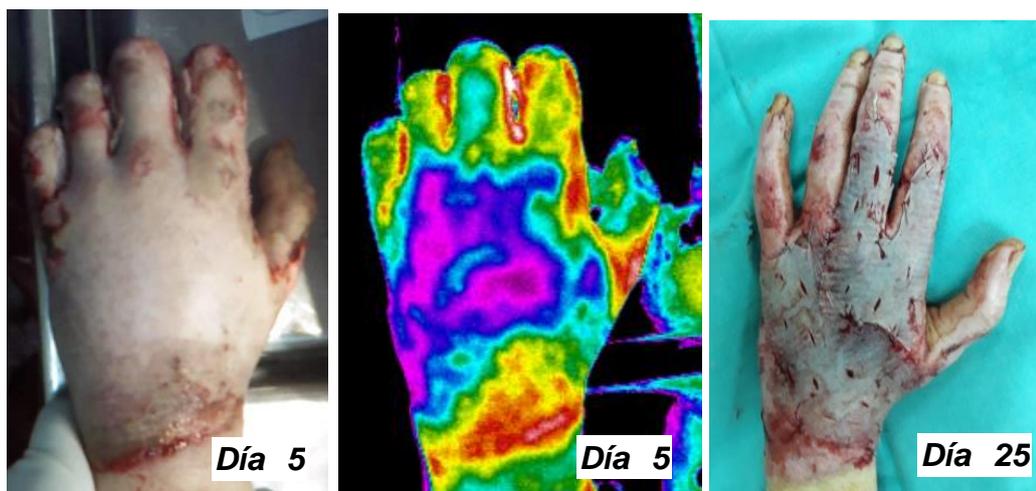


Ilustración 79: Mano izquierda del paciente 4. A la izquierda quemadura precoz, al centro imagen termográfica procesada, a la derecha mano injertada

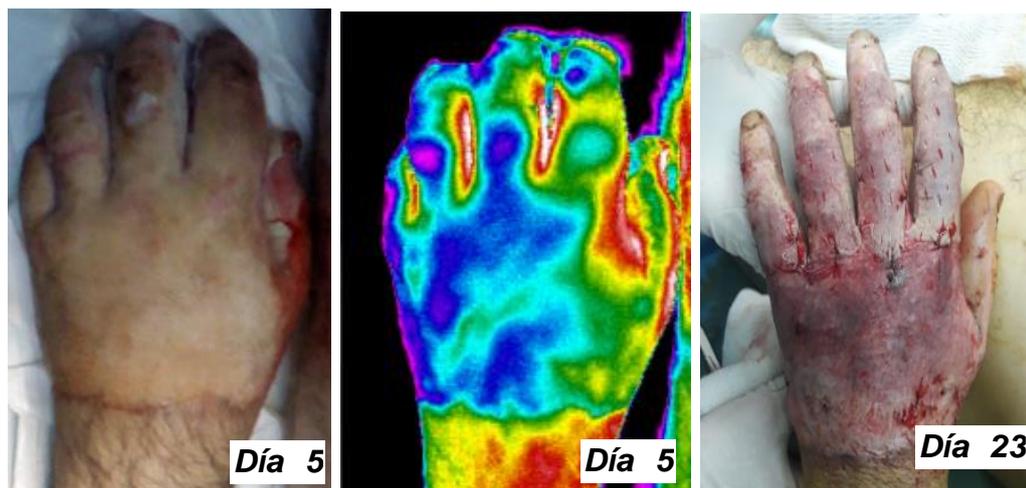


Ilustración 80: Mano izquierda del paciente 5. A la izquierda quemadura precoz, al centro imagen termográfica procesada, a la derecha mano injertada



Ilustración 81: Mano izquierda del paciente 6 A la izquierda quemadura precoz, , al centro imagen termográfica procesada, a la derecha mano injertada

Conclusiones de quirófano.

Luego de lo estudiado, en quemaduras menores o iguales al 9% de la SCT, la termográfica del día 5 postquemadura se correspondió con la zona injertada en un 100%, mientras que en quemaduras mayores al 9% de la SCT, no se encontró un único día que la termográfica concuerde con la zona a injertar, ya que en un paciente coincide en el día 10, y en otro no hubo correlación.

Por lo tanto, se puede afirmar que la termografía arrojó resultados favorables en 6 de 7 quemaduras analizadas. Esto significa que en un 85,7% existió una correlación directa entre las zonas profundas de la imagen infrarroja y la zona posteriormente injertada. Si se logran obtener los mismos resultados en un mayor número de pacientes, la termografía podría ser de utilidad para realizar escarectomía temprana en pacientes de quirófano, evitándose tiempos de espera prolongados y menos tiempos de internación.

Conclusiones

Durante el desarrollo del proyecto integrador, se logró cumplir con el objetivo primordial planteado, logrando evaluar la termografía como una técnica alternativa para la distinción de profundidades de quemaduras. A su vez, se alcanzaron los siguientes objetivos particulares:

- Se investigó el estado del arte de la termografía como método no invasivo de distinción de profundidades de quemaduras ABA y ABB.
- Se realizaron pruebas con una cámara termográfica para adquirir imágenes térmicas en pacientes con quemaduras.
- Se procesaron y analizaron las imágenes térmicas a través de los software SmartView y Matlab
- Se logró encontrar un patrón térmico característico que permitió discriminar entre quemaduras ABA y ABB.
- Se compararon los resultados con la evaluación clínica del equipo médico, obteniendo datos que infieren la utilidad de la termografía en la distinción de la profundidad de las quemaduras.
- Se continuaron con las líneas de trabajo del LIADE en el área de bioingeniería.

En *consultorio*, se encontró un patrón térmico ΔT que diferencia a las quemaduras del tipo ABA de las ABB, siendo un ΔT positivo en el 93% de las quemaduras ABA y un ΔT negativo en el 100% de las ABB. A su vez, en los pacientes que tuvieron una quemadura de dos profundidades diferentes, A y ABA respectivamente, se encontró una diferencia entre los ΔT de 1,5°C. No se pudo establecer un ΔT para quemaduras del tipo B, ya que en consultorio no hubo pacientes que hayan necesitado injerto.

En *quirófano*, en 6 de 7 quemaduras (85,7%), se encontró el día en el que la imagen termográfica se correspondió con la zona injertada. De las 7 quemaduras, 5 fueron menores al 9% de la SCT, en estas últimas, todas las termográficas del día 5 postquemadura se correspondieron con la zona a injertar. Con respecto a las 2 quemaduras restantes, fueron mayores al 9% de la SCT, de las cuales en solo una la termografía concuerda con la zona injertada el día 10 postquemadura. No se pudo encontrar un patrón térmico característico e inherente de cada quemadura ABB y B. No obstante, los resultados arrojaron una diferencia de temperatura entre 1 a 2°C entre zonas que fueron injertadas y que no lo fueron.

Aunque la evaluación clínica de las quemaduras no podría ser reemplazada por un sistema de imágenes termográficas, los resultados obtenidos demuestran que la termografía podría ser de gran utilidad para los cirujanos especializados en quemaduras, en la decisión del tratamiento de las mismas.

La sensibilidad de la cámara termográfica permitió detectar diferencias de temperatura de la superficie de la piel tanto en grandes quemados como en pacientes con quemaduras de menor extensión logrando determinar la profundidad de las quemaduras.

Es de suma importancia destacar que en un inicio se planteó solamente la distinción entre quemaduras ABA y ABB, sin embargo, en el transcurso del proyecto integrador fueron surgiendo nuevos desafíos presentados por el equipo médico. Por esta razón, el trabajo se extendió al análisis de otros tipos de quemaduras, logrando diferenciar entre A vs ABA, ABA vs ABB y finalmente ABB vs B.

La termografía tiene la ventaja de ser no invasiva, rápida, practica y económica, que brinda información en tiempo real sobre la profundidad de la herida por quemadura, resultando un método complementario al utilizado actualmente para la evaluación de las mismas.

Por otro lado, este proyecto fue un trabajo interdisciplinario, donde los profesionales médicos se mostraron siempre predispuestos, brindando sus conocimientos y recursos para llevarlo a cabo de la mejor manera posible.

Es importante destacar que al concluir el trabajo en el hospital, se realizó un ateneo donde se expusieron los resultados obtenidos con la termografía. El objetivo del mismo, además de poner en conocimiento al equipo médico acerca del alcance de esta tecnología, fue de obtener una devolución de parte de los especialistas para correlacionarla con los resultados obtenidos. Esto fue de gran utilidad, ya que analizar los resultados en conjunto fue imprescindible para lograr concluir el proyecto.

Mejoras y trabajos futuros

Para optimizar la evaluación de la termografía en pacientes con quemaduras, se podría incrementar la muestra, ya que el número de quemaduras analizado es pequeño para establecer una regla general. Además en el estudio, se podrían incluir otras regiones anatómicas como ser, cabeza y cuello. Otro punto a considerar, es que se podría agregar un protocolo de procesamiento de imágenes en donde se pueda utilizar el mismo procedimiento para analizar todos los tipos de profundidades de quemaduras.

A largo plazo, se podría implementar una interfaz gráfica que sea intuitiva y fácil de usar para el profesional de la salud, donde se incluya el procesamiento de las imágenes termográficas y adicionalmente, una base de datos para el registro y documentación de las imágenes.

Bibliografía y Referencias

1. Finn Geneser. “*Histología*”. Tercera edición. Editorial Médica Panamericana. Enero, 2003.
2. Hartmann. “Las heridas y su tratamiento”. 1999
3. Ricardo Palao Domenech. “*Quemados, valoración y criterios de actuación*”. Primera edición. Editorial Marge Medica Books. Barcelona; 2009.
4. Angel Polibio Moreno Flores. “*Quemaduras de segundo grado superficial y segundo grado profundo*”. Universidad de Guayaquil, Ecuador; 2016.
5. Dra Mercedes Porta, Dr Armando Pomerane, Et. Al.”*Diagnóstico y tratamiento de las quemaduras radioinducidas*”, Buenos Aires 2002.
6. Alvarez, G. “*Temas de Guardia Médica*” Tercera edición. Ciencias Médicas. La Habana: 2006.
7. Zawacki BE. “*Reversal of capillary stasis and prevention of necrosis in burns*”. Ann Surg 1974.
8. Dr. Riutort Analia, Et.Al “*Urgencias en quemaduras*”. Editorial Edimed; Argentina; Octubre 2011
9. Forage AV. “*The history of the classification of burns (diagnosis of depth)*”. Br J Plast Surg 1963.
10. “Asociación Argentina de quemaduras” <http://aaq.org.ar/>. (Última visita: 2018)
11. “Quemados” <http://www.quemados.com/> (Última visita: Agosto 2018)
12. Prof. Antono Taboada Suarez “*Quemaduras, patología quirúrgica*”. Curso 2013-2014
13. Ferrada, R. “*Manejo del Paciente Quemado Grave*” Cuarta edición. Bogotá: Ordoñez 2002
14. “*Criterios de gravedad*” http://www7.uc.cl/sw_educ/ninoquemado/html/mod1/criterios.html (Última visita: 2012)
15. Olbright S. Bologna JL, Et. Al “*Biopsy techniques and basic excisions Dermatology*”. Cuarta edición. Elsevier Saunders; 2018. Philadelphia: chap 146.
16. Garcia Alonso. “*Traumatismos por agentes físicos: Quemaduras*”
17. “*Injerto de piel*” <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002982.htm> (Última visita: Agosto 2018)
18. Marina Maté Moreno, Javier Mora Robles, Et. Al. “*Trastorno de la regulación de la temperatura*”. Málaga: 2015
19. Cengel Yunus A, Boles Michael A. “*Termodinámica*”. Segunda edición, McGraw-Hill, 2000.
20. Infrared Trainig Center. “*Course Manual Thermography Basics*”, 2009.

21. BRAUN, Eliecer. *“Electromagnetismo de la Ciencia a la Tecnología”* 1998.
22. Alonso y Finn. *“Física Volumen II: Campos y ondas”*. Primera edición. 1986.
23. *“¿Qué es el espectro electromagnético?”* <https://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html> (Última visita 2018)
24. F. Sendra Portelo y M. Martínez Morrillo. *“Manual de medicina Física”* Madrid: Elsevier España; 2016.
25. “Radiación Infrarroja” <https://www.windows2universe.org>
26. *“Física de la luz”* http://www.elisirlin.com.ar/11_fisica%20de%20la%20luz.pdf (Última visita: 2006)
27. Testo AG. *“Termografía, guía de bolsillo”*. Septiembre 2008.
28. Togawa T. *“Non-contact skin emissivity: Measurement from reflectance using step change in ambient radiation temperature”* 1989.
29. Anne Boylan, Colin J Martin Et. Al. *“Infrared emissivity of burn wounds”* Scotland: 1991.
30. ISO 18434-1. (01 de 03 de 2008). *“Condition monitoring and diagnostics of machines Thermography - Part 1: General procedures.”*
31. Sánchez, A.N., G.J. Velasquez, 2013. *“Imágenes por radiación infrarroja y termografía”*, Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) e Instituto de Ciencias de la Salud.
32. Fluke. *“Introducción a los principios de la termografía”*. American Technical Publishers; 2009. Países Bajos.
33. Infrared Training Center. *“Curso de Termografía Infrarroja Nivel I”*. Primera edición. Brasil.
34. Lidia Y. Neita Duarte, Elkin O. Peña Rodríguez. *“Principios Básicos de la Termografía Infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo.”* Universidad Pontificia Bolivariana. Froidablanca; 2011
35. *“La cámara termográfica y su funcionamiento”*. <http://www.energiza.org/mantenimiento-de-plantas/19-mantenimiento-de-plantas/17-la-camara-termografica-y-su-funcionamiento> .Última visita: 2013
36. José Ignacio de Grado Contreras. *“Termografía Infrarroja”*. Energuia; 1998.
37. Charly Chong, Fion Zhang. *“Infrared Thermography Testing”*. Shangai; 2015
38. Fernecom. *“Guía de la termografía infrarroja”* Madrid: 2011
39. Testo. *“Termografía, Guía de Bolsillo”*; Septiembre, 2008.
40. Snell Infrared. *“Aplicaciones de la Termografía Infrarroja”*. Montpellier; 2007.

41. Kevin Estupiñan Roldán. *“Diseño e implementación de un protocolo de adquisición de imágenes infrarrojas para el estudio del comportamiento térmico en las manos de personas sanas.”* 2013
42. Ley provincial 6222. Decreto reglamentario 33/08. Resolución 15/09 de la provincia de Córdoba.
43. Diego Fernando Ruiz. *“Estudio termográfico del ojo humano bajo la influencia de la pantalla del computador- Estudio piloto.”* 2016
44. FLIR. *“Guía sobre termografía para aplicaciones en edificios y energía renovable”*.2011
45. Irene Prieto. *“Procesado de Imágenes Médicas en Matlab”*. 2015
46. *“Hipotermia en trauma y anestesia”*. <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=47665>. Última visita: Agosto de 2007
47. Alexandra Burke-smith, Jonathan Collier Et. Al *“A comparison of non-invasive imaging modalities: Infrared Thermography, spectrophotometric intracutaneous analysis and laser doppler imaging for the assessment of adults burns”* London, UK. 2015
48. David Medina Preciado, Samuel Kolosovas- Machuca Et. Al *“Noninvasive determination of burn depth in children by digital infrared thermal imaging”*. Jalisco, Mexico. 2013
49. M.E.H Jaspers, M.E. Carriere Et Al *“The FLIR ONE thermal imager for the assessment of burn wounds: Reliability and validity study”*.Amsterdam, Holanda. 2017
50. Joseph Hardwicke, Richard Thomson Et Al *“A pilot evaluation study of high resolution digital thermal imaging in the assessment of burn depth”*. Birmingham, UK, 2012
51. Christopher Wearn, Kwang Chear Lee Et Al *“Prospective comparative evaluation study of laser doppler imaging and thermal imaging in the assessment of burn depth”* Birmingham, UK, 2017

Anexos

Anexo N° 1: Declaración de consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE Y FORMULARIO PARA CONSENTIMIENTO INFORMADO.

Se le solicita que lea el siguiente material, para informarse de la naturaleza de este estudio de investigación clínica, y de la forma en que Usted participará en el, si Usted diera su consentimiento para hacerlo.

La firma del formulario de consentimiento indicará que Usted ha sido informado y acepta participar en este estudio de investigación:

La información que se detalla a continuación describe el estudio.

Evaluación de la termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB: Proyecto de investigación realizado en el Hospital Córdoba para lograr una adecuada elección en el tratamiento de quemaduras, mejorando la calidad de vida del paciente.

Un problema importante en la terapia de quemaduras es la evaluación correcta de la profundidad de la quemadura de la piel, lo que puede tener repercusiones en la elección de tratamiento.

Según la profundidad de las heridas podemos clasificar las quemaduras de la siguiente forma:

A: Eritema (primer grado)

AB

ABA: Dérmicas superficiales (segundo grado superficial)

ABB: Dérmicas profundas (segundo grado profundo)

B: Espesor total (tercer grado)

En la práctica clínica existe un grupo importante de quemaduras que son las más difíciles de distinguir: las quemaduras dérmicas AB. Es por esto que surge este proyecto en el que se propone la evaluación de un método de adquisición de imágenes para la distinción entre distintos grados de quemaduras utilizando termografía infrarroja.

La termografía infrarroja es una técnica diagnóstica no invasiva que permite al profesional clínico visualizar y cuantificar los cambios en la temperatura de la superficie de la piel utilizando cámaras infrarrojas con el fin de obtener una imagen térmica.

Una imagen infrarroja o térmica es una representación de las temperaturas corporales. Cuanto más caliente sea en la superficie, más rojos aparecerá en la imagen y los puntos fríos se verán más azules. El resultado de la foto térmica, se observará como un espectro de colores desde rojo, naranja, amarillo, verde al azul, que brindara la información necesaria para conocer las temperaturas de la quemadura y así conocer su profundidad.

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

En este proyecto se tomarán imágenes de las quemaduras del paciente que así lo consientan utilizando una cámara infrarroja. Las mismas le permitirán al médico elegir el tratamiento adecuado en función del grado de la quemadura, optimizando los procesos en las curaciones de la herida.

Se evaluará la evolución de las quemaduras del paciente periódicamente, dependiendo de la duración del tratamiento del paciente. Se tomarán las imágenes en el marco de tiempo de 24 a 72 horas después de que la quemadura se produzca. A las 48 hs, se considera el mejor momento para evaluar las quemaduras. Adicionalmente, este estudio se evaluará la cicatrización de las heridas a los diez, veinte y treinta días.

Es importante destacar que durante el estudio no hay contacto directo con el paciente por lo que es no invasivo, no se utiliza radiación ionizante, no produce dolor y no se evidencian futuras complicaciones.

El paciente será beneficiado con esta investigación, contará con todo el equipo de salud involucrado para resolver sus dudas, y servirá para disminuir los tiempos de curación.

Su participación en este estudio es voluntaria. Si usted decide retirarse, en algún momento del estudio, podrá hacerlo, sin que esto afecte la calidad de atención médica y tratamiento médico, si correspondiera.

Usted, no recibirá retribución económica alguna por la participación en este estudio.

OBLIGACIONES DEL PARTICIPANTE:

Confidencialidad:

Al firmar este consentimiento, Usted está autorizando al acceso a la información clínica personal, contenida en sus registros médicos, al personal directamente relacionado con el estudio.

Los resultados obtenidos, podrán presentarse en conferencias y/o publicaciones, pero nunca será divulgado su identidad u otros datos personales.

El manejo de la información médica obtenida en este estudio, está protegida por la Ley N° 25.326 "Protección de Datos Personales".

El titular de los Datos Personales, tiene la facultad de ejercer el acceso a los mismos en forma gratuita, a intervalos no menores de 6 meses, salvo que acredite un interés legítimo conforme al artículo 14, inciso 3 de la Ley N° 23.326, dependiente del Ministerio de Justicia, Seguridad y Derechos Humanos, tiene la atribución de atender las denuncias y reclamos ante el incumplimiento de dicha norma.

Si usted tuviera preguntas adicionales referidas a la investigación, puede contactarse con:

Investigador/ res:

Estudiantes de Ingeniería biomédica:

Carranza Romina, Teléfono: 0297-154200110.

Rotharmel Sofia, Teléfono: 03751- 15558148.

Dra. Campos Margarita, Teléfono: 0351-5423412

Cieis del Adulto: Comité Institucional de Ética de la Investigación de la Salud del Adulto
– Hospital Córdoba- Domicilio: Av. Patria N° 656 C.P.:X5004CDT – Tel. 0351-4524476 – Coordinador Dr Germán Bernardi

Consentimiento Informado

Afirmo que he leído y entiendo la información referida a este estudio, y que he tenido oportunidad de realizar preguntas, respecto de mi participación en el mismo, las cuales me han sido contestadas.

Entiendo que mi participación, es voluntaria, y no recibiré retribución alguna. Entiendo que puedo retirarme en cualquier momento del estudio, sin que esto afecte mi atención médica. En este acto recibo una copia del Consentimiento Informado, firmado y fechado.

.....

Firma del Participante

Fecha y Hora

.....

Aclaración: Nombre y Apellido

.....

Firma del Investigador.

Fecha y Hora.

.....

Aclaración: Nombre y Apellido

.....

Firma del Investigador.

Fecha y Hora.

.....

Aclaración: Nombre y Apellido

.....

Firma del Investigador.

Fecha y Hora.

.....

Aclaración: Nombre y Apellido

Anexo N° 2: Tablas de temperaturas.

Brazo		Antebrazo		Mano	
Min-Max (°C)	Media(°C)	Min-Max (°C)	Media(°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

31,02 - 34,15	32,59	29,36 - 32,31	30,96	25,13 - 29,72	27,74
31,23 - 34,91	33,51	29,69 - 33,17	32,16	27,42 - 31,71	29,15
30,98 - 35,54	33,20	29,83 - 33,31	32,18	26,72 - 31,45	29,42
30,97 - 35,50	32,69	30,46 - 32,86	31,78	28,55 - 32,66	30,77
29,08-34,82	31,73	29,03 - 33,01	31,30	26,33 - 30,53	28,73
Promedio:	32,74		31,67		29,16

Tabla 17: Temperaturas de piel en brazos, antebrazos y manos de personas sanas.

Muslo		Pierna		Pie	
Min-Max (°C)	Media(°C)	Min-Max (°C)	Media(°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)
28,93 - 33,31	30,67	26,70 - 32,24	29,62	23,26 - 31,79	29,89
26,69 - 34,17	32,12	28,20 - 31,90	30,62	25,13 - 31,69	29,54
26,86 - 32,66	28,77	27,12 - 31,98	29,67		29,84
28,80 - 32,21	30,23	28,24 - 31,45	29,89	25,97 - 32,31	29,96
27,32 - 33,38	28,86	25,55 - 30,13	27,83	24,41 - 32,08	29,95
Promedio:	30,13		29,83		29,52

Tabla 18: Temperaturas de piel en muslos, piernas y pies de personas sanas.

Zona: Brazo					
Quemadura (Q)		Piel sana (Ps)		Delta (media Q - media Ps) (°C)	
Min-Max (°C)	Media (°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)		
31,39 - 35,39	33,33	30,03 - 35,99	34,06	-0,73	

Tabla 19: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en brazos de diferentes pacientes.

Zona: Mano					
Quemadura (Q)		Piel sana (Ps)		Delta (media Q - media Ps) (°C)	
Min-Max (°C)	Media (°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)		
25,16 - 33,17	30,34	29,01 - 33,42	31,87	-1,53	
28,93 - 35,01	32,81	29,01 - 34,45	30,99	1,82	

Tabla 20: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en manos de diferentes pacientes

Zona: Muslo					
Quemadura (Q)		Piel sana (Ps)		Delta (media Q - media Ps) (°C)	
Min-Max (°C)	Media (°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)		
28,69 - 34,79	32,39	26,02 - 34,18	32,06	0,33	
30,80 - 34,79	32,81	26,02 - 34,18	32,06	0,75	
31,75 - 35,34	33,77	26,02 - 35,35	30,95	2,82	
31,68 - 36,43	35,06	26,02 - 35,35	30,95	4,11	
26,72 - 33,13	30,18	26,02 - 33,40	30,16	0,02	
28,38 - 34,11	31,93	26,02 - 33,40	30,16	1,77	
29,49 - 35,96	32,86	27,03 - 35,26	33,21	-0,35	
30,25 - 36,59	34,76	27,03 - 35,26	33,21	1,55	

30,73 – 35,46	33,01	27,03 – 35,26	33,21	-0,20
29,67 – 35,26	33,02	26,03 – 34,53	31,27	1,75
26,03 – 34,60	30,57	26,02 – 35,44	31,33	-0,76
28,01 – 33,42	30,82	26,02 – 35,44	31,33	-0,51

Tabla 21: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en muslos de diferentes pacientes.

Zona: Pierna				
Quemadura (Q)		Piel sana (Ps)		Delta (media Q - media Ps) (°C)
Min-Max (°C)	Media (°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)	
25,81 – 34,07	31,66	27,02 – 34,91	31,05	0,61
24,92 – 28,73	26,69	24,55 – 29,5	27,11	-0,42
26,22 – 33,03	29,50	26,02 – 35,09	31,42	-1,92

Tabla 22 Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en piernas de diferentes pacientes.

Zona: Pie				
Quemadura (Q)		Piel sana (Ps)		Delta (media Q - media Ps) (°C)
Min-Max (°C)	Media (°C)	Min-Max(°C)	Media(°C)	
23,44 – 28,24	25,57	22,64 – 29,89	26,49	-0,92
21,55 – 24,90	23,84	21,02 – 26,95	24,02	-0,18
25,53 – 31,23	27,88	25,21 – 32,76	29,97	-2,09

Tabla 23: Diferencias de temperaturas entre quemaduras y piel sana en pies de diferentes pacientes.

Paciente 1		
	Piel Quemada	
	Min-Max(°C)	Media(°C)
Profunda	28,44 – 30,55	29,59
Intermedia	30,54 – 33,60	32,02
Superficial	32,52 – 35,70	34,30
Paciente 2		
	Piel Quemada	
	Min-Max(°C)	Media(°C)
Profunda	33,30 – 35,11	34,55
Intermedia	34,83 – 36,23	35,50
Superficial	36,12 – 37,97	36,70
Paciente 3		
	Piel Quemada	
	Min-Max(°C)	Media(°C)
Profunda	32,40 – 33,50	33,01
Intermedia	33,40 – 36,63	34,55
Paciente 4: mano derecha		
	Piel Quemada	
	Min-Max(°C)	Media(°C)

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

Profunda	30,91 - 33,44	32,30
Intermedia	33,27 – 35,88	34,32
Paciente 4: mano izquierda		
Piel Quemada		
	Min-Max(°C)	Media(°C)
Profunda	30,84 – 33,51	32,20
Intermedia	33,58 – 36,09	34,62
Paciente 5		
Piel Quemada		
	Min-Max(°C)	Media(°C)
Profunda	33,65 – 36,04	35,22
Intermedia	36,07 – 38,06	36,90
Paciente 6		
Piel Quemada		
	Min-Max(°C)	Media(°C)
Profunda	30,61 – 36,46	34,02
Intermedia	36,47 – 37,40	36,28

Tabla 24: Diferencias de temperaturas entre zonas de la quemadura en pacientes de quirófano.

Anexo N°3: Costos

En este anexo, se detallan los costos de los instrumentos utilizados, las tarifas de mano de obra y desarrollo de algoritmo de dos personas que realizaron el proyecto integrador, por ello la cantidad de horas se encuentra duplicada.

Cantidad	Detalle	Precio unitario (\$AR)	Importe total (\$AR)
1	Cámara termográfica FLUKE Tis75	\$223.600 ⁵⁶	\$223.600
1	Calibración Cámara termográfica	\$10.000 ⁵⁷	\$10.000
1	Termohigrómetro UNI-T UT333	\$1.318 ⁵⁸	\$1.209
Total			\$234.809

Tabla 25: Precios de instrumentos utilizados y calibración de la cámara termográfica.

Cantidad horas	Detalle	Valor unitario (\$AR)	Importe total (\$AR)
320	Toma de imágenes	\$325	\$104.000
80	Procesado de imágenes	\$300	\$24.000
80	Desarrollo de algoritmo	\$147	\$11.760
Total			\$139.760

Tabla 26: Tarifas de horas trabajadas.

Con respecto a la mano de obra, se considera tanto la toma de imágenes como el procesado de las mismas. Los precios de las horas de trabajo se calcularon a partir de las tarifas determinadas por el Colegio de Ingenieros Especialistas de Córdoba. El trabajo de terreno está valorado en \$2.600 el día laboral de 8 horas y el trabajo de gabinete en \$2.400. Se consideró a la toma de imágenes en pacientes como un trabajo de terreno, las cuales fueron 20 horas semanales durante dos meses, dando un total 160 hs por persona. Mientras que las horas de procesado de imágenes, se estimaron como horas de gabinete, se destinaron 10 horas semanales en el periodo de un mes, lo que significa 40 hs por persona.

Por otro lado, las horas de desarrollo de algoritmo se determinaron a través de las tarifas estipuladas por el Consejo Profesional de Ciencias informáticas de la Provincia de Córdoba. El sueldo mínimo de un analista Jr., es de \$23.582, considerando una semana laboral de 40 horas, el valor hora redondeado es de

⁵⁶ Precio consultado en Viditec S.A <https://www.fluke.com/es-ar/donde-comprar>

⁵⁷ Precio consultado en JPS Argentina <http://www.jpsargentina.com/site/>

⁵⁸ Precio extraído de Mercado libre <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-692702453-termohigrometro-digital-mini-uni-t-ut333- JM>

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

\$147. Para el desarrollo de algoritmo cada integrante destinó un total de 40hs en el periodo de un mes.

En caso de brindar un servicio de termografía en hospitales, se deberían contabilizar las horas que se requieran para tal actividad, considerando las horas de toma de imágenes, el procesado de las mismas y una calibración anual de la cámara termográfica.

Anexo N° 4: Códigos de Matlab.

Consultorio

```
%Ajuste de quemadura
vchica= imresize(I2, [318, NaN]);          %se achica la visible
ble
vcort= imcrop(vchica,[52,39,319,239]);    %se recorta la
visible reducida del mismo tamaño que IR

imshow (vcort);
h = imfreehand;                          %se selecciona ROI

BW= createMask(h);                       %se crea la mascara en va-
lores logicos
figure, imshow(BW);

Quemadura(:,:,1) = uint8 (double(BW) .* double(I1(:,:,1)));
Quemadura(:,:,2) = uint8 (double(BW) .* double(I1(:,:,2)));
Quemadura(:,:,3) = uint8 (double(BW) .* double(I1(:,:,3)));
%multiplicamos
figure, imshow(Quemadura);              %nos queda el
ROI en IR solo
imwrite(Quemadura, 'Quemadura.png')

B= edge (BW, 'sobel');                   %Defino borde de parte marcada
BC= imcomplement(B);                    %Hago el complemento para que
la linea quede negra

%Delimitacion de borde en quemadura Infrarroja

Borde_quem_IR(:,:,1) = uint8 (double(BC) .*
double(I1(:,:,1)));
Borde_quem_IR(:,:,2) = uint8 (double(BC) .*
double(I1(:,:,2)));
Borde_quem_IR(:,:,3) = uint8 (double(BC) .* dou-
ble(I1(:,:,3))); %multiplicamos por la IR
figure, imshow(Borde_quem_IR);
imwrite(Borde_quem_IR, 'Borde_quem_IR.png')

%Delimitacion de borde en quemadura visible

Borde_quem_v(:,:,1) = uint8 (double(BC) .*
double(vcort(:,:,1)));
Borde_quem_v(:,:,2) = uint8 (double(BC) .*
double(vcort(:,:,2)));
Borde_quem_v(:,:,3) = uint8 (double(BC) .*
double(vcort(:,:,3))); %multiplicamos por la visible
figure, imshow(Borde_quem_v);
imwrite(Borde_quem_v, 'Borde_quem_v.png')
```

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

```
%Matriz de temperaturas

[num,raw] = xlsread('Paciente1.txt');
Temp_quem_bin=(double(BW).*num);      %multiplica la máscara
binarizada a la matriz de Temperaturas
imshow(Temp_quem_bin);
impixelinfo;      %se ve cada temperatura en la zona
blanca

%Piel Total

Temp_pieltotal_bin=(num>29);%genera imagen binaria con lo
que corresponde a temp mayores a 29
Temp_pieltotal=(double(Temp_pieltotal_bin).*num);
%creamos la matriz de temperaturas de la piel total y ropa
separadas del fondo.
imshow(Temp_pieltotal);
Piel_total(:,:,1) = uint8 (double(Temp_pieltotal_bin) .*
double(vcort(:,:,1)));
Piel_total(:,:,2) = uint8 (double(Temp_pieltotal_bin) .*
double(vcort(:,:,2)));
Piel_total(:,:,3) = uint8 (double(Temp_pieltotal_bin) .*
double(vcort(:,:,3)));
figure,imshow(Piel_total);
imwrite(Piel_total,'Piel_total.png')

%Extraccion de Zonas no relevantes

imshow(Piel_total);
k=imfreehand; %separo piel total de todo a mano
Mascara= createMask(k);      %creo la mascara
Piel_total2= Mascara.*Temp_pieltotal; %multiplico la más-
cara anterior con la matriz de temperaturas
imshow(Piel_total2);
Temp_pieltotal=Piel_total2;
impixelinfo;      %deberiamos obtener una matriz con tempera-
turas solo en el brazo (parte blanca) y el resto, cero.

%Piel sana

BWneg=~BW;
imshow(BWneg);
Pielsana= (double(BWneg).*Temp_pieltotal); %Restamos la
quemadura y queda solo piel sana con temperaturas
imshow(Pielsana);
imwrite(Pielsana,'Pielsana.png')
impixelinfo;

%Maximos minimos
```

```

Max_quem=max(max(Temp_quem_bin));
Min_quem= min(Temp_quem_bin(Temp_quem_bin>0));      %Calculamos los valores min y max de la quemadura
Matriz_sin_ceros_quem= Temp_quem_bin;                %Asignamos a salid3 como Matriz sin ceros
Matriz_sin_ceros_quem(Matriz_sin_ceros_quem==0)=NaN; %Todos los ceros se hacen NaN
Media_quem= mean(Matriz_sin_ceros_quem(~isnan(Matriz_sin_ceros_quem))); %Media de la matriz sin los NaN

Max_Piel_sana=max(max(Pielsana));
Min_Piel_sana= min(Pielsana(Pielsana > 0));          %Calculamos los valores min y max de la quemadura
Matriz_sin_ceros_Ps= Pielsana;                        %Asignamos a salid3 como Matriz sin ceros
Matriz_sin_ceros_Ps(Matriz_sin_ceros_Ps==0)=NaN;     %Todos los ceros se hacen NaN
Media_Piel_sana= mean(Matriz_sin_ceros_Ps(~isnan(Matriz_sin_ceros_Ps))); %Media de la matriz sin los NaN

%Delta
Delta=(Media_quem -Media_Piel_sana);

```

Quirófano

%Ajuste de quemadura

```

vchica= imresize(I2, [318, NaN]);                    %se achica la visible
vcort= imcrop(vchica,[52,39,319,239]);              %se recorta la visible reducida del mismo tamaño que IR
imshow (vcort);
h = imfreehand;                                     %se selecciona ROI
vcort= createMask(h);                               %se crea la mascara en valores logicos
figure, imshow(vcort);

```

%Quemadura Infrarroja

```

Quemadura(:,:,1) = uint8 (double(vcort) .*
double(I1(:,:,1)));
Quemadura(:,:,2) = uint8 (double(vcort) .*
double(I1(:,:,2)));
Quemadura(:,:,3) = uint8 (double(vcort) .*
double(I1(:,:,3))); %multiplicamos
figure, imshow(Quemadura); %nos queda el ROI en IR solo

```

Uso de la Termografía como método de distinción de profundidades de quemaduras de tipo AB-A y AB-B.

```
B= edge (vcort, 'sobel');           %Defino borde de parte mar-
cada
BC= imcomplement(B);               %Hago el complemento para que
la linea quede negra

%Mahalanobis

IM=Quemadura;
[nf nc c]=size(IM); disp('Seleccione 1 punto de color');
subplot(1,3,1);imshow(IM);
title('Imagen Original');
figure, imshow(IM);
imwrite(IM, 'Quemadura.png')
ROI=[];
for f=1:10
    [x y]=ginput(1);
    x=round(x);
    y=round(y);
    color=[IM(y,x,1) IM(y,x,2) IM(y,x,3)];
    ROI=[ROI; color];
end;

%Mahalanobis en quemaduras profundas

ROI= double (ROI);
mapROI=ROI/255;
R=1:5;
R=[R;R;R;R;R];
subplot(1,3,2);imshow(R,mapROI);
title('Los 10 pixeles de colores seleccionados visualizados
como columnas');
MC=cov(ROI);
MCI=inv(MC);
MCI=MCI/max(max(MCI));
colormedio2=[mean(ROI(:,1)); mean(ROI(:,2));
mean(ROI(:,3))];
IM3=IM;
for f=1:nf
    for c=1:nc
        z=[IM(f,c,1); IM(f,c,2); IM(f,c,3)];
        d2=DMaha(z,colormedio2,MCI);
        if d2>0.12,
            IM3(f,c,:)= [0 0 0];
        end;
    end;
end;
subplot(1,3,3);imshow(IM3);
title('Distancia de Mahalanobis');
figure, imshow(IM3);
imwrite(IM3, 'Profundas.png')
%Codigo de la funcion de distancia de Mahalanobis.
```

```

function d2=DMaha(z,a,MCi)
z=double(z)/255;
a=double(a)/255;
%d2=distancia al cuadrado
d2=(z-a)'*MCi*(z-a);

%binarizacion

IM3G=rgb2gray(IM3);
IM3bin= IM3G>0;
imshow(IM3bin);

%Se asigna matriz de temperaturas a la imagen binaria
%Matriz de temperaturas

[num,raw] = xlsread('Paciente1.txt');

Temp_profundas = (double(num) .* double(IM3bin));
%Calculamos los valores min y max de la quemadura
Max_quem=max(max(Temp_profundas));
Min_quem = min(Temp_profundas(Temp_profundas> 0));
Matriz_sin_ceros_quem= Temp_profundas; %Asignamos a
Temp_profundas como Matriz sin ceros
Matriz_sin_ceros_quem(Matriz_sin_ceros_quem==0)=NaN;
%Todos los ceros se hacen NaN

%Media de la matriz sin los NaN
Media_quem=mean(Matriz_sin_ceros_quem(~isnan(Matriz_sin_ceros_quem)));

```