

# UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO



DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍAS CAMPUS LEÓN

## “Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones Médicas”

Presentado por:  
Q.F.B. ANA ROSA RANGEL ARGUETA

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ASESOR: DR. CARLOS VILLASEÑOR MORA  
CO-ASESOR: DR. VICTOR HUGO HERNANDEZ GONZALEZ

JULIO 2018

# UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

## RESUMEN

“Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones  
Médicas”

por Q.F.B. Ana Rosa Rangel Argueta

Comité revisor:

Dra. Silvia Alejandra López Juárez  
Dr. Miguel Ángel Vallejo Hernández  
Dr. Arturo González Vega  
Dr. Víctor Hugo Hernández González  
Dr. Carlos Villaseñor Mora

Desde la antigüedad hasta nuestros días el cáncer de mama ha sido un problema de salud pública, dicha enfermedad es catalogada como una de las primeras causas de muerte por cáncer a nivel mundial en mujeres, y en caso de hombres se ha incrementado en nuestros tiempos, hoy en día diferentes organizaciones públicas y privadas se encargan de hacer estudios para detección temprana de esta enfermedad, existen diferentes métodos de diagnóstico; uno de ellos considerado el estándar de oro es la mamografía para detección de cáncer de mama, pero es un método bastante agresivo por lo que alternativas no invasivas se han venido explorando, por ejemplo, desde los 60's se inició el estudio de factibilidad de usar cámaras termográficas para el diagnosticar cáncer de mama, en este trabajo se realizó investigación base para mejorar el contraste térmico por termografía infrarroja pulsada para en un futuro, ser utilizado como protocolo complementario de diagnóstico de cáncer de mama. El objeto de estudio se centró en realizar y probar distintas soluciones que sean inocuas para el organismo y que a su vez produzcan una mejora de contraste térmico en imágenes de infrarrojo con propósitos de uso médico, en este caso una solución tipo aerosol a diferentes concentraciones es aplicada para comprobar si esta produce un cambio en el contraste de la escena que será capturada en imágenes usando una cámara infrarroja.

## TABLA DE CONTENIDO

Lista de Figuras .....	iv
Lista de Tablas .....	v
Agradecimientos .....	vi
Glosario .....	vii
Capítulo I: Generalidades de la mama .....	1
Antecedentes históricos .....	2
Anatomía, fisiología e histología de la mama .....	2
Patología de la mama .....	10
Métodos de diagnósticos .....	14
Estadística de mortalidad en el estado de Guanajuato .....	15
Capítulo II: Termografía infrarroja .....	19
Principios .....	20
Transferencia de calor .....	23
Contraste térmico .....	27
Capítulo III: Estudio de estabilidad de la solución estándar .....	32
Principios activos .....	33
Materiales .....	35
Requisitos para estudio de estabilidad .....	37
Capítulo IV: Captura de imágenes .....	43
Preparación de la cámara .....	44
Captura de imágenes .....	47
Otras pruebas .....	76
Validación .....	81
Capítulo V: Conclusiones y trabajo a futuro .....	93
Bibliografía .....	104
Anexo A: .....	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de la región mamaria.	3
Figura 2. Clasificación anatómica de la mama.	5
Figura 3. Anatomía externa de la glándula mamaria.	5
Figura 4 Anatomía, fisiología e histología interna de la glándula mamaria.	6
Figura 5. Anatomía de a) Venas, b) Arterias, c) Ganglios, d) Estructura general.	7
Figura 6. Exploración anatómica por cuadrantes de la zona mamaria	8
Figura 7. Tipos de cáncer de mama.	11
Figura 8. Autoexploración mamaria.	12
Figura 9. Mortalidad Anual por Edad en el estado de Guanajuato	15
Figura 10. Estadística anual de los casos totales en Guanajuato de mortalidad de cáncer de mama	16
Figura 11. Espectro electromagnético.	18
Figura 12. Rangos de la radiación infrarroja	20
Figura 13. Tipos de transferencia de calor.	22
Figura 14. Interacción de la radiación incidente sobre: a) en la superficie, b) entre una superficie y sus alrededores	24
Figura 15. Solución estándar a) presentación de la solución estándar para estudio de estabilidad y homogeneidad y b) equipo para estudio de estabilidad y homogeneidad de la solución estándar.	36
Figura 16. Degradación de la solución 13 después de 6 meses de su elaboración.	38
Figura 17. Temperatura ambiental de la oficina	39
Figura 18. Porcentaje de humedad relativa de la oficina.	39
Figura 19. Temperatura ambiental del laboratorio	40
Figura 20. Porcentaje de humedad relativa en el laboratorio	40
Figura 21. Adquisición de imágenes.	46
Figura 22. Solución 1 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Justo después de aplicar la solución, c) Después de 3 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no vena durante la fase experimental.	49
Figura 23. Solución 2 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	50

Figura 24. Solución 3 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) imagen a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	52
Figura 25. Solución 4 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Imagen a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	53
Figura 26. Solución 5 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	54
Figura 27. Solución 6 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	56
Figura 28. Solución 7 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	57
Figura 29. Solución 8 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	58
Figura 31. Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	60
Figura 32. Solución 10 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	61
Figura 33. Solución 11 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Durante minuto de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	63
Figura 34. Solución 12 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	64

Figura 35. Solución 13 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de un minuto de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	66
Figura 36. Solución 14 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	67
Figura 37. Solución 15 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	69
Figura 38. Solución 17 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	72
Figura 39. Solución 18 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	73
Figura 40. Solución 19-13 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.	75
Figura 41. Caso 1, a) Región inflamada rodeada por un círculo azul, b) Comparación entre manos, de lado izquierdo esta la mano lesionada y de lado derecho la mano sin ninguna lesión, c) Mano sin ninguna alteración, se puede observar la región de las venas.	76
Figura 42. Caso 2 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 20 minutos de la aplicación de la solución y región afectada encerrada por un círculo azul.	77
Figura 43. Caso 3, días lluviosos a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución.	78
Figura 44. Caso 4, manos frías a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 5 minutos de la aplicación de la solución y d) después de 13 minutos	79
Figura 45. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), sin cuerpo negro en la	80

imagen.	
Figura 46. Datos generales del tiempo y temperatura de las imágenes de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), sin cuerpo negro en la imagen.	81
Figura 47. Captura de imágenes del minuto cero al minuto 10	82
Figura 48. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), con cuerpo negro en la imagen.	84
Figura 49. Datos generales del tiempo y temperatura de las imágenes de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), con cuerpo negro en la imagen.	85
Figura 50. Imágenes que describen la recuperación desde el minuto cero al minuto diez.	86
Figura 51. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 16 en venas (SLN-16) y sin venas (SLN-16. O), con cuerpo negro en la imagen.	88
Figura 52. Datos generales del tiempo y temperatura de las imágenes de la solución 16 en venas (SLN-16) y sin venas (SLN-16. O), con cuerpo negro en la imagen.	88
Figura 53. Captura de imágenes en la fase experimental de la aplicación de la solución 16.	90

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Generalidades de la mama	4
Tabla 2. Clasificación de los diferentes tipos de patología de la mama	10
Tabla 3. Diferentes concentraciones para el mejoramiento de contraste	34
Tabla 4. Diferentes materiales para envasado de la solución 13	37
Tabla 5. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13.O), sin cuerpo negro en la imagen.	80
Tabla 6. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13.O), con cuerpo negro en la imagen	83
Tabla 7. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 16 en venas (SLN-16) y sin venas (SLN-16.O), sin cuerpo negro en la imagen.	87



## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento a los profesores Dr. Carlos Villaseñor Mora por ser asesor y maestro, Dr. Víctor Hugo Hernández González y Arturo González Vega de la División de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Guanajuato por su colaboración en la preparación de este manuscrito. Además, manifiesta agradecimiento a la Dra. Elisa López Loeza, Mtra. Remedio Cisnero por el apoyo en la medición de las muestras en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Un profundo agradecimiento a mi familia en especial a mis padres por apoyarme incondicionalmente en esta etapa de mi vida, a mis hermanos (Héctor, Josué, German y Alejandra) motivándome a seguir cada día, a Leonardo A.L.E. por acompañarme en este proceso tan largo, por el amor, la paciencia, motivación y apoyo. A mis compañeros en este periodo de mi estancia, Miranda, Adán, Román, Paco, a mis amigas Yunuen, Erandi, Gaby, Erika, Lupita, a mis conocidos y amigos del laboratorio de Biofísica, Qca. Guzmán, Qca, Paty, Qca. Ali, Qco. Mario, Kary, Mary, y a todos aquellos que me falta mencionar.

## GLOSARIO

**Autoexploración:** Exploración o reconocimiento que una persona realiza de alguna parte de su propio cuerpo.

**Cámara infrarroja:** Aparato que sirve para registrar imágenes estáticas o en movimiento dentro del rango de infrarrojo medio.

**Contraste:** Es la diferencia de intensidades de radiación en una imagen que permite diferenciar los elementos de la escena.

**Convección:** Una de las formas de transmisión de calor propio de los fluidos.

**Cribado:** acción de cribar, pasar una materia por una criba para separar las partes finas y las gruesas o para limpiarla de impurezas.

**Diagnóstico:** Determinar o identificar una enfermedad mediante el examen de los signos y los síntomas que presenta.

**Enfermedad:** Alteración leve o grave del funcionamiento normal de un organismo o de alguna de sus partes debida a una causa interna o externa.

**Espectro:** Representación gráfica de las energías contenidas dentro de un determinado rango del espectro electromagnético.

**Fármaco:** Sustancia que sirve para curar o prevenir una enfermedad, para reducir sus efectos sobre el organismo o para aliviar un dolor físico.

**Infrarrojo:** Radiación comprendida desde el extremo del rojo hasta las microondas en el espectro electromagnético; se caracteriza por sus efectos térmicos, pero no luminosos ni químicos.

**Longitud de onda:** Distancia entre dos puntos correspondientes a una misma fase en dos ondas consecutivas.

**Medicamento:** Sustancia que sirve para curar o prevenir una enfermedad, para reducir sus efectos sobre el organismo o para aliviar un dolor físico.

**Micrómetros:** Medida de longitud, de símbolo  $\mu\text{m}$ , que es la millonésima parte de un metro.

**Nanómetros:** Medida de longitud que equivale a la milmillonésima parte del metro.

Patología: Según su traducción literal, el término patología hace referencia al estudio (logos) de la enfermedad (pathos, sufrimiento). Se encarga del estudio de las causas de la enfermedad y de los cambios asociados a nivel celular, tisular y orgánico, que son responsables de los signos y síntomas que presentan los pacientes (Cotran, Kumar, & Robbins, 1990a).

Principio Activo: es la sustancia a la cual se debe el efecto farmacológico de un medicamento.

Radiación: Emisión de energía o de partículas que producen los cuerpos y que se propaga a través del espacio.

Reflexión: Cambio de dirección o de sentido de la luz, del calor o del sonido cuando se les interpone un obstáculo.

Sustancia P. Es un decapeptido de estructura Arg-Pro-Lis-Gln-Gln-Phe-Phe-Gli-Leu-Met-NH<sub>2</sub> (RPKPQQFFGLM con una aminación en el carboxilo terminal) especialmente involucrada en la percepción del dolor (Fernando Cerveró, 1998).

Termograma: Imagen de los datos obtenidos por un detector o cámara termográfica.

Transmisión: Cantidad de energía que logra atravesar un objeto o superficie.

Tumor: Masa de tejido de una parte del organismo cuyas células sufren un crecimiento anormal y no tienen ninguna función fisiológica; estas células tienen tendencia a invadir otras partes del cuerpo.

Las definiciones descritas son extraídas del diccionario electrónico Oxford dictionaries (Oxford living Dictionaries, 2018b)

# *Capítulo I*

## *Generalidades de la Mama.*

*“La ciencia no es solo una disciplina de razón,  
sino también de romance y pasión”.*

*Stephen Hawking.*

## Capítulo 1

### 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

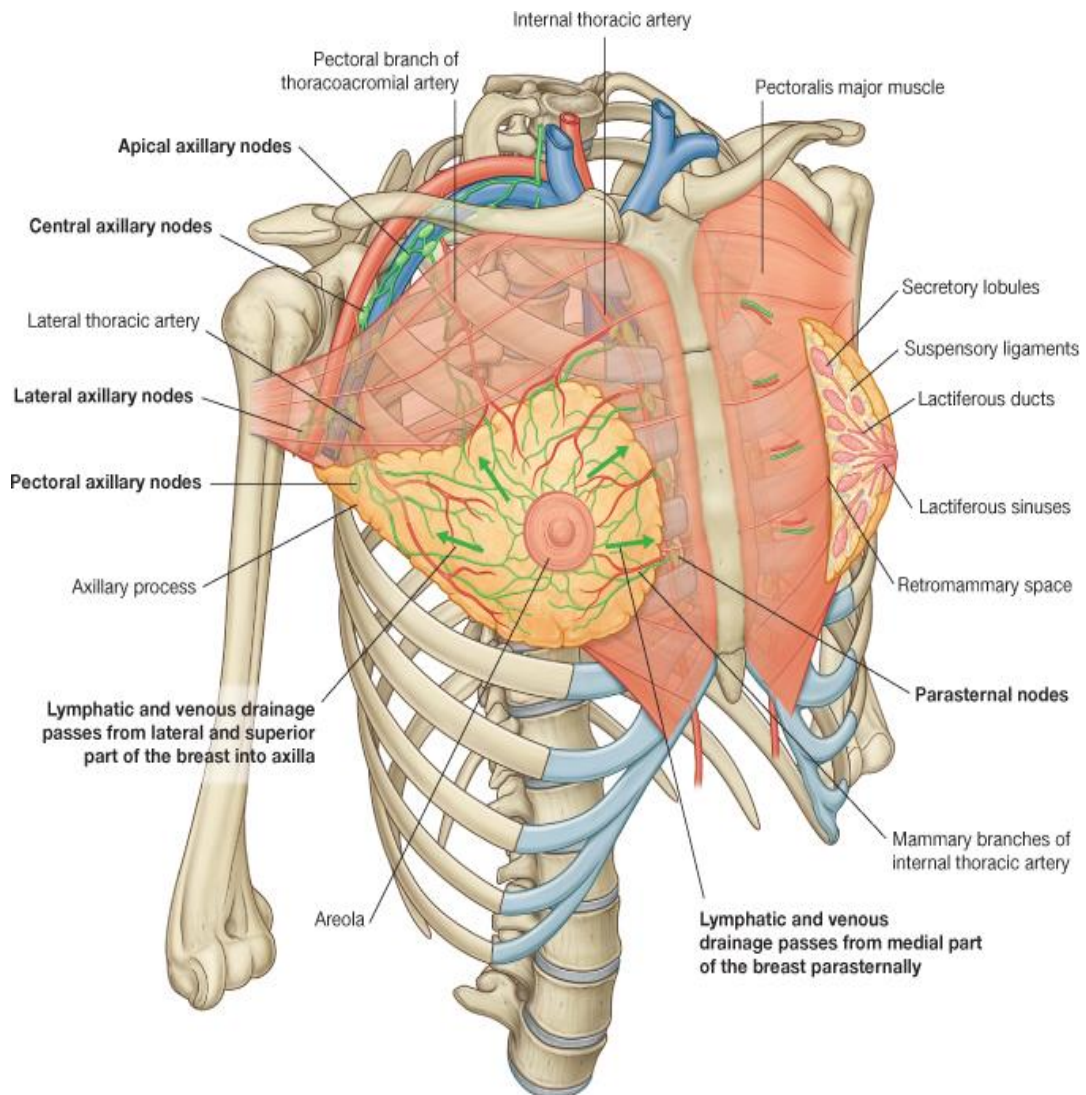
Desde la antigüedad existen diversos estudios sobre el cáncer de mama; los primeros indicios fueron encontrados en Egipto con dos papiros, el primer Papiro de Edwin Smith 2500 a 3000 a.C donde se describen enfermedades mamarias mencionando los casos de tumores, úlceras y diferenciaciones de la mama y el segundo es el Papiro de Ebers 1500 a.C. donde se describían como realizaban cirugías para eliminar el tumor adiposo (REF).

En épocas distintas de Euro-Asia se describen las patologías mamarias y sus diferenciaciones, métodos diagnósticos, tratamientos y procedimientos quirúrgicos. Una época importante donde definen el cáncer es en el siglo II con Galeno el cual describe la apariencia del tumor semejante a un “cangrejo”, también describe la hipertrofia mamaria en los hombres a la cual llamo “*Ginecomastia*”, nombre que se conserva hasta nuestros días (*Compendio de Patología Mamaria*, 2002).

La termografía está siendo estudiada como método para detección de cáncer de mama desde los años 60’s, fue introducida por primera vez en 1956 para diagnóstico de cáncer de mama, en 1982 el FDA (Food and Drug Administration) la aprobó como herramienta de evaluación de riesgo de cáncer de mama (Rajmanova, Nudzikova, & Vala, 2015).

### ANATOMÍA, FISIOLOGÍA E HISTOLOGÍA DE LA MAMA

La mama es una estructura de los mamíferos cuya función principal es la alimentación de las crías, por lo cual, para su estudio se debe conocer su composición tanto interna como externa. En la Figura 1 se observa la estructura y partes de la zona mamaria indicando el nombre de cada una de ellas,



© Elsevier Ltd. Drake et al: Gray's Anatomy for Students www.studentconsult.com

Figura 1. Estructura general de la región mamaria.

Para comprender la estructura de la mama existe un estudio minucioso mostrado en la Tabla 1, la cual presenta la mama desde la parte externa hasta la parte interna (Ross & Pawlina, 2016), (*Compendio de Patología Mamaria*, 2002), (*Fisiología Humana*, 1987), (Mescher & Junqueira, 2013).

TABLA 1 Generalidades de la mama.

MAMA	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN/CARACTERÍSTICAS	FUNCIÓN
GENERALIDADES DE LA MAMA	<p>Vertical: Puede extenderse de la 2ª a la 7ª costilla, una dimensión céfalo-caudal de 10 a 12 centímetros.</p> <p>Horizontal: De la línea paraesternal a la línea media axilar con una anchura de 12 a 14 centímetros.</p>	<p><b>Forma:</b> De gota, de una semiesfera de convexidad anterior.</p> <p><b>Peso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Nacimiento</i> de 3 a 6 gramos.</li> <li>• <i>Normalmente</i> de 200 gramos.</li> <li>• <i>Embarazo</i> entre 400-600 gramos.</li> <li>• <i>Lactancia</i> entre los 600-800 gramos.</li> </ul> <p>La mama está formada por tejido conjuntivo, grasa y tejido mamario que contiene las glándulas que pueden producir la leche materna. También conocida como: seno, busto, teta, ubre, pezón, aréola, pecho, chichi.</p>	<p>Órgano glandular de las hembras de los mamíferos que produce la leche que sirve para alimentar a las crías.</p>

En la actualidad existe un estudio profundo sobre la anatomía, fisiología e histología de la mama y glándula mamaria, la cual se clasifica de la siguiente manera (Figura 2):

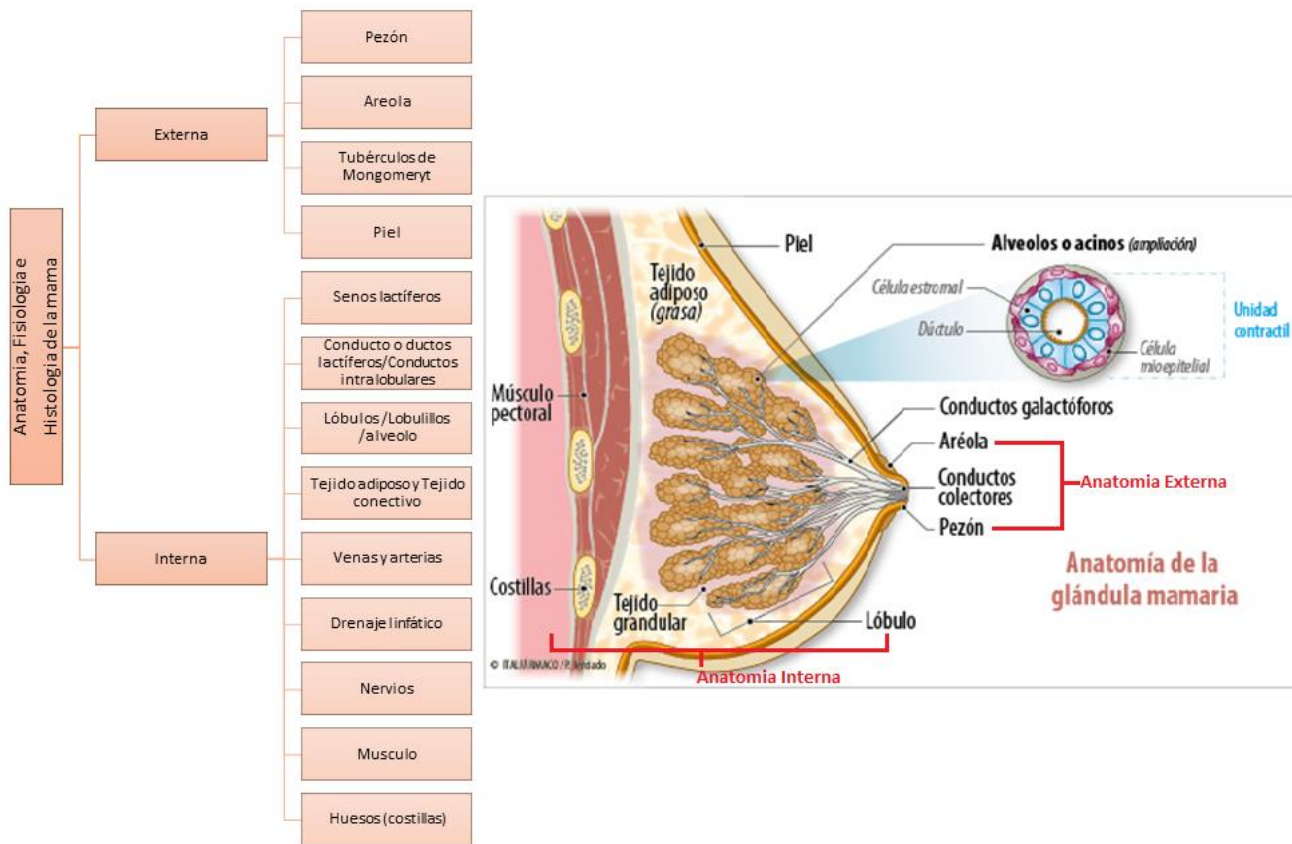


Figura 2. Clasificación anatómica de la mama (Kelly Zambrano Zambrano, 2017).

Figura 3 nos muestra la características anatómicas externas de la mama, en la cual se encuentran los tubérculos o folículos de Montgomery que es para la protección de la glándula mamaria.



Figura 3. Anatomía externa de la glándula mamaria (Alberto A. Sánchez García, 2017).



En la Figura 4 nos representa la estructura anatomica, fisiologica e histologica de la glandula mamaria, mostrandolos nombres de cada parte y su histologia de la glandula mamaria.

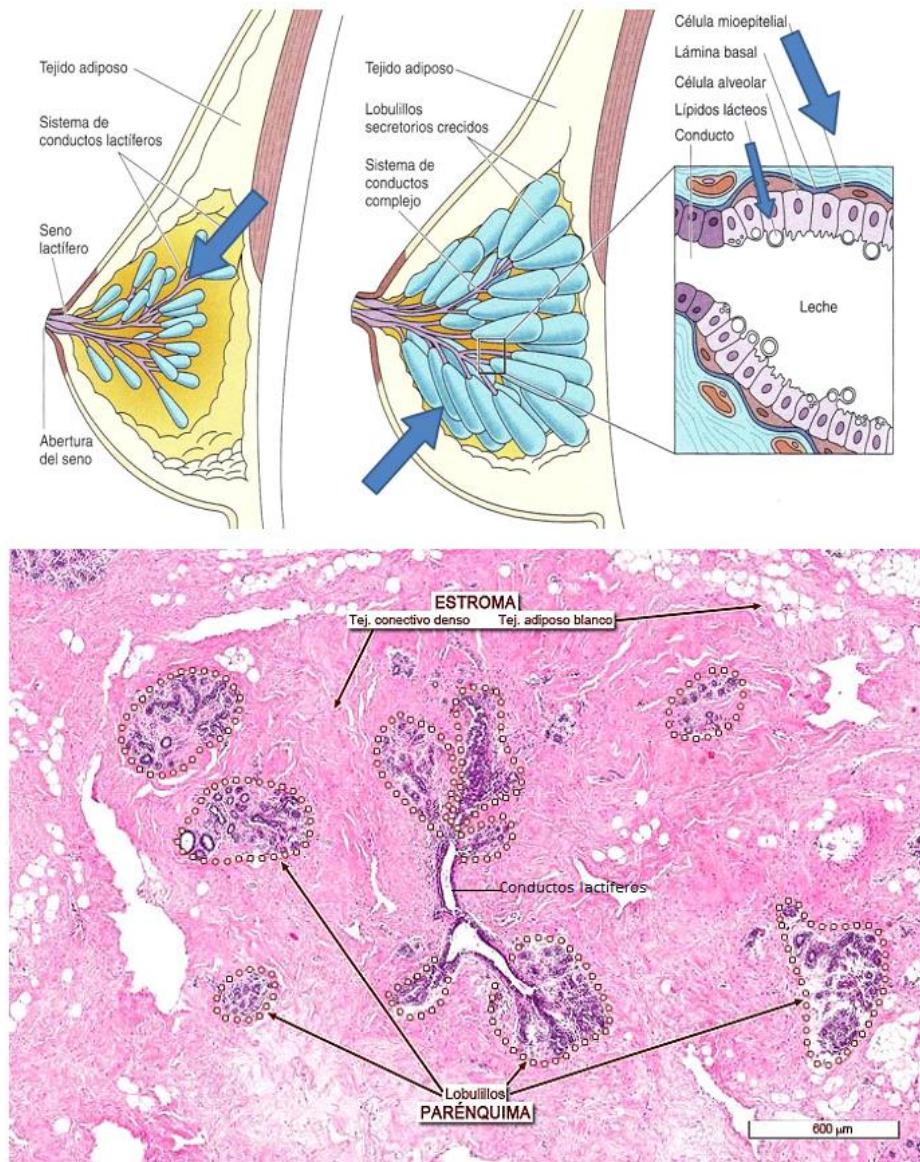


Figura 4 Anatomía, fisiología e histología interna de la glándula mamaria(Kelly Zambrano Zambrano, 2017), (wzar, 2017).

La Figura 5a) nos representa la red venosa. 5b) representación de las arterias que irrigan la zona mamaria, especificando el nombre de cada ella, 5c) nos indica los ganglios de la

zona mamaria y como los divide para su estudio., 5d) Estructura anatómica donde se observan la venas, ganglios linfáticos, músculos y huesos de la zona mamaria, también encontramos un claro ejemplo de un tumor de la glándula mamaria

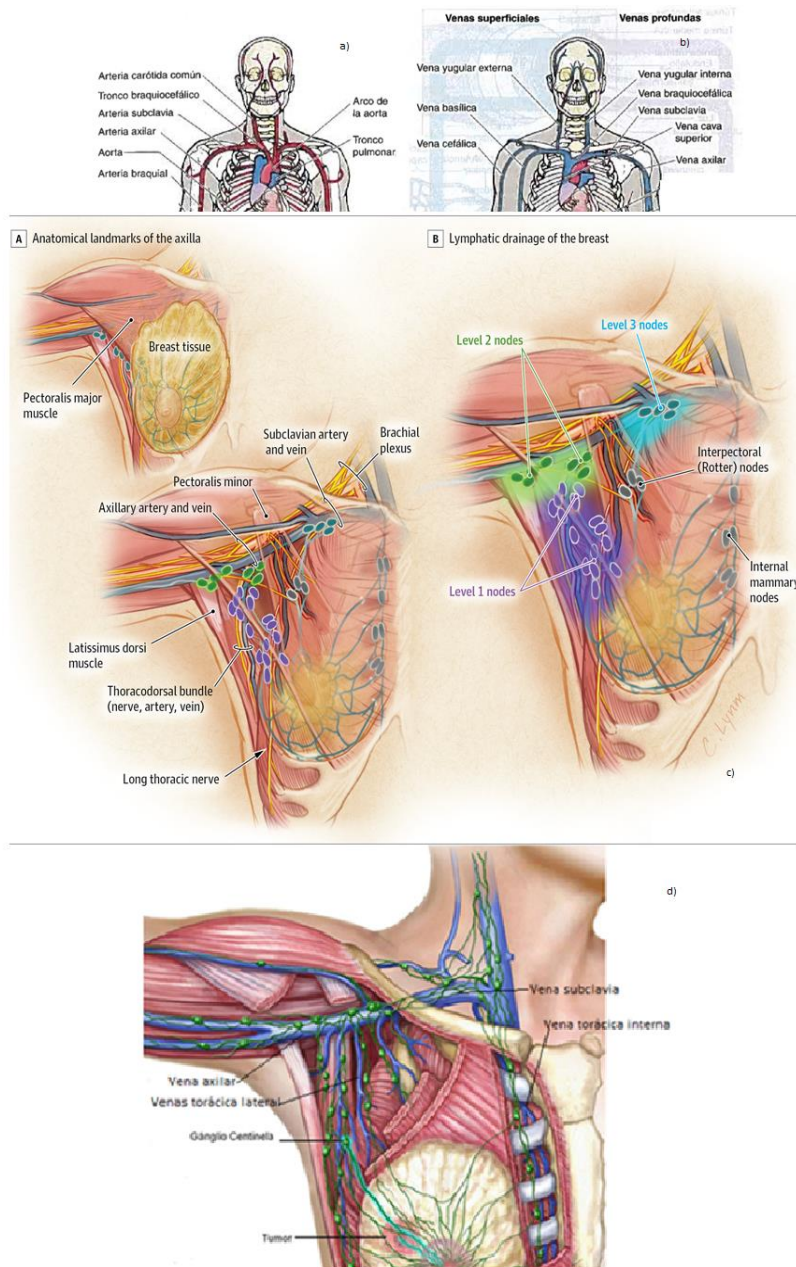


Figura 5. Anatomía de a) Venas, b) Arterias, c) Ganglios, d) Estructura general (Moore, Dalley, & Agur, 2010).

Figura 6. Clasificación Anatómica, fisiológica e histológica de la mama (Natalben, 2018) Teniendo conocimiento sobre las características anatómicas, la exploración para su revisión anatómica por cuadrantes se describe en la Figura 3, donde: a) muestra los nombres de los 4 cuadrantes, como siglas tiene UI es superior interno, LI inferior interno, UO superior externo y LO inferior externo; b) muestra una parte llamada cola de Spencer donde es el comienzo de la mama ubicada en primer cuadrante o cuadrante superior externo, esta imagen muestra también como se tiene que hacer la exploración que es de izquierda a derecha o bien en sentido de las manecillas del reloj.

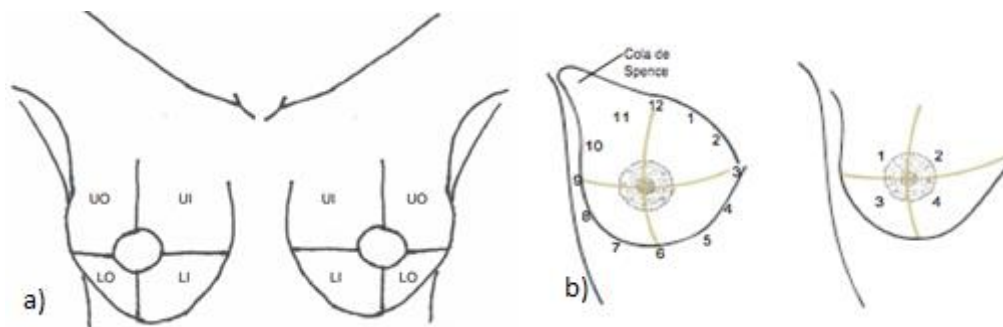


Figura 6. Exploración anatómica por cuadrantes de la zona mamaria (Cotran et al., 1990a).

## PATOLOGÍA DE LA MAMA

El termino patología proveniente del griego “Según su traducción literal, el término patología hace referencia al estudio (logos) de la enfermedad (pathos, sufrimiento). Se encarga del estudio de las causas de la enfermedad y de los cambios asociados a nivel celular, tisular y orgánico, que son responsables de los signos y síntomas que presentan los pacientes (Cotran, Kumar, & Robbins, 1990b), el cual es una de las disciplinas más antiguas de la medicina.

En la actualidad en consenso de varios historiadores, se considera a Antonio Benivieni (1440-1502) como el padre de la patología, por sus publicaciones después de su fallecimiento.

Actualmente en la patología y la aportación de las técnicas innovadoras de biofísica y bioquímica ha llegado a niveles de organización subcelular y molecular, con estas aportaciones, es posible seguir los cambios en las enfermedades e interpretarlos en dimensiones ultraestructural, metabólica y bioquímicamente (Ruy Pérez Tamayo, s. f.).

Considerando que Cáncer es la multiplicación anormal de células que se multiplican sin control y pueden invadir tejidos cercanos; estas células se pueden diseminar a otras partes del cuerpo por medio del torrente sanguíneo y el sistema linfático (Instituto Nacional de Cáncer, 2017).

El cáncer de mama o seno es el más común entre las mujeres y la segunda causa de muerte por cáncer, por lo cual es una enfermedad muy peligrosa (Rajmanova et al., 2015), (Gokul Raj, Chidambaram, Varunkumar, Ravikumar, & Pandi, 2015), (O'Connell, Conover, & Linda Lin, 2009). Algunos factores de riesgo para cáncer de mama es la edad relativa de la menarquia, tabaquismo, la obesidad, el alcohol, antecedentes familiares de cáncer de mama después de la menopausia y la terapia de reemplazo de estrógenos (Rose, 2007).

El estudio de la glándula mamaria tanto en hombres como en mujeres presenta la problemática de que la mayoría de las veces su diagnóstico, y detección se realiza en estado tardío.

Las diferentes patologías que presenta la mama se mencionan en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los diferentes tipos de patología de la mama.

OMS	SECRETARIA DE SALUD		AMERICAN CANCER SOCIETY
	CLASIFICACIÓN	PATOLOGÍA	
Carcinoma de mama invasivo Los tumores epiteliales-mioepiteliales Lesiones precursoras Lesiones proliferativas intraductales Lesiones papilares Proliferaciones epiteliales benignas Tumores mesenquimales Tumores fibroepiteliales Los tumores del pezón Linfoma maligno Los tumores metastásicos Los tumores de la mama masculina Patrones clínicos	TUMORES BENIGNOS	Fibroadenoma mamario, Tumor filoides, papiloma canalicular, intracanalicular, papilomatosis múltiple.	Carcinoma ductal in situ (DCIS) Cáncer de mama invasivo (IDC / CIT) Angiosarcoma de mama Cáncer de mama inflamatorio Enfermedad de Paget del pezón
	DISPLASIAS MAMARIAS	condición fibroquística, adenosis mamaria	
	PADECIMIENTOS INFECCIOSOS E INFLAMATORIOS	absceso mamario, mastitis del puerperio, ectasia de los conductos, enfermedad de Mondor	
	MICELANIAS	Ginecomastia, Hiperplasia virginal, galactocele	
	TUMORES MALIGNOS	carcinoma mamario, sarcoma de la mama	

De la tabla anterior se describe en la siguiente imagen (Figura 7) los tipos de cáncer en la mama, principalmente en el ducto lactífero, la figura muestra una imagen normal del ducto y enseguida las anomalías celulares de los tubos lactíferos.



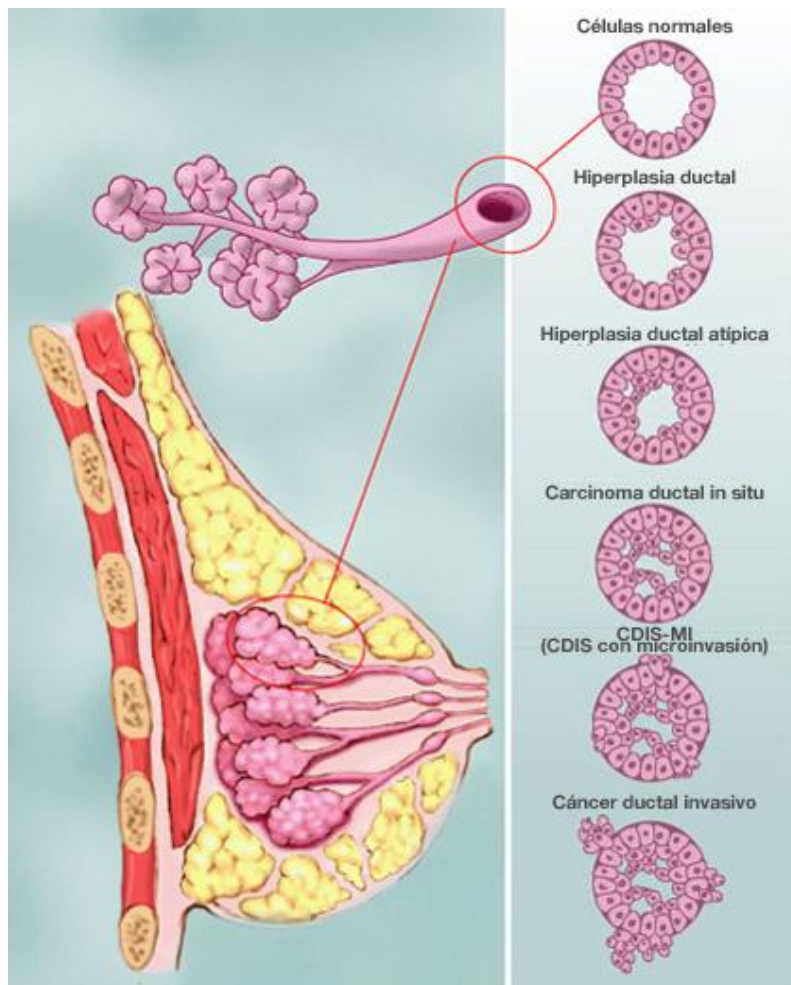


Figura 7. Tipos de cáncer de mama. (breastcancer.org, noviembre 2017)

La formación del cáncer de mama se clasifica de acuerdo a los criterios TNM, que son iniciales de T de tumor, N de nódulo y M de metástasis para esto existe varias tablas mostradas en el anexo A (Joseph A Sparano, 2017).

Para clasificar a los pacientes con cáncer de mama para evaluar el pronóstico y determinar la terapia apropiada deben basarse en los principales factores como son el estado de los ganglios linfáticos axilares, el tamaño del tumor, las características histológicas (especialmente el grado histológico y la invasión linfovascular), el estado del receptor hormonal(Schnitt, 2010).

## MÉTODOS DE DIAGNOSTICO

### *Autoexploración*

Los métodos de diagnóstico para la detección de enfermedades mamarias son varios, complementos unos de otros, uno de los principales métodos de detección estándar es la exploración o autoexploración mamaria, cuyo procedimiento se muestra en la figura 8.

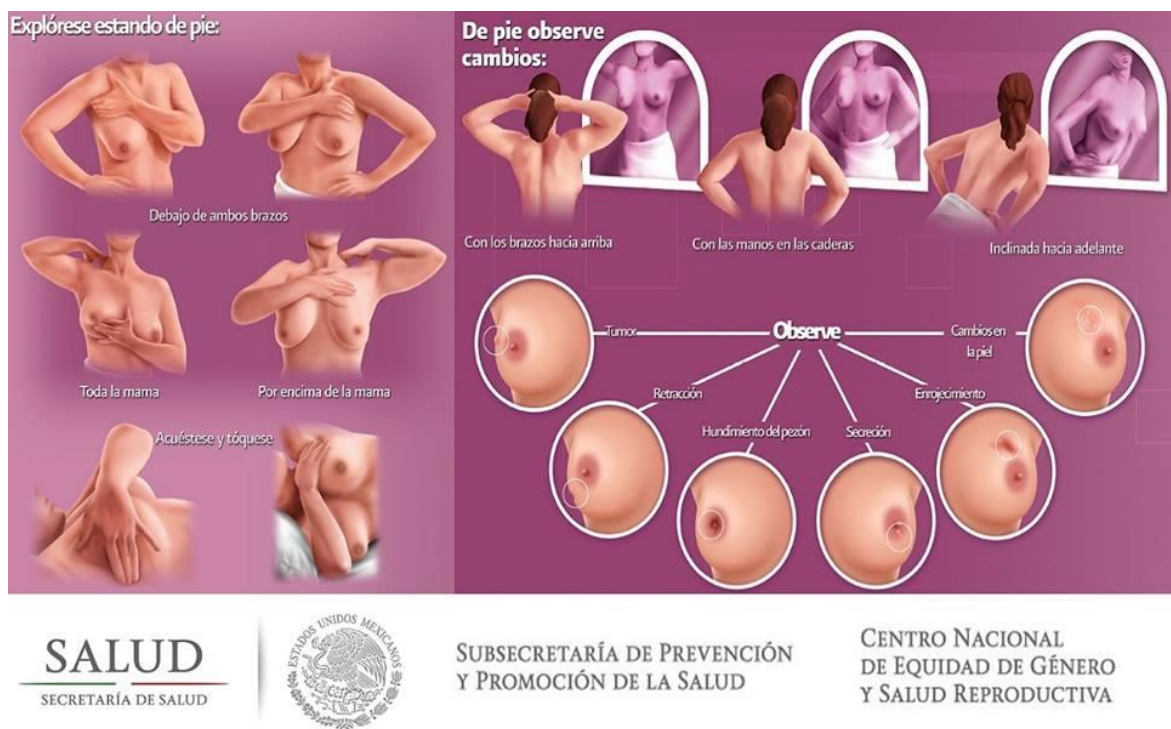


Figura 8. Autoexploración mamaria.

La imagen Izquierda describe la forma de cómo se debe de tocar la zona ganglionar de la mama con las manos, primero por la parte de arriba girando hacia las manecillas del reloj hasta llegar al pezón; primero se hace de pie y posteriormente una revisión acostada, palpando todo el seno para detectar una posible anomalía. En la imagen derecha se observa la técnica que consiste en observar los senos para ver si existe alguna anomalía, describiendo la imagen de los senos con alguna alteración celular.

El método estándar de oro es la Mamografía para detección de cáncer de mama desde los principios de la década 1960. Se utiliza para evaluar las estructuras anatómicas de la mama e identificar cualquier anomalía; teniendo una sensibilidad entre el 75 y 90 % valor predictivo positivo. La sensibilidad puede ser influenciada por factores como edad, densidad mamaria e historia familiar.

La mastografía no es adecuada para las mujeres con mamas densas, con implantes, con mastopatía fibroquística, terapia de reemplazo hormonal. En la mamografía es difícil distinguir tejidos con cáncer y un tejido denso; la asociación Americana de Cáncer clasifica la densidad del tejido mamario en 4 categorías: grado 1 tejido mamario denso menos que el grado 4, grado 2 con el 83% de densidad de tejido mamario, grado 3 el tejido mamario es de 68% y por último el grado 4 con 55% de la densidad del tejido mamario.

La técnica consta de la compresión del tejido mamario con un peso de 22 libras (9,98kg), lo cual es suficiente para romper la encapsulación alrededor de un tumor o liberar células malignas al torrente sanguíneo, existen equipos en la actualidad de 42 libras (19,06 kg) de presión; estos equipos emiten una exposición a la radiación en la compresión del tejido mamario. Esta técnica es más eficaz antes de los 50 años (Kennedy, Lee, & Seely, 2009).

#### *Ultrasonido o Sonografía*

El ultrasonido es también conocido como sonografía, método para crear imágenes de una parte del cuerpo. El ultrasonido expone regiones de interés del cuerpo a ondas sonoras de alta frecuencia, estas imágenes son capturadas en tiempo real mostrando estructuras de una zona en particular del cuerpo, si no también el movimiento de órganos internos así como el flujo de la sangre a través de los vasos (Emory Winship Cancer Institute, 2018).

Su funcionamiento consiste en un soporte con una computadora y electrónicos, un monitor para mostrar la imagen, y un transductor de mano que se usa para explorar el cuerpo. El transductor emite ondas sonoras de alta frecuencia y recibe ondas de regreso



en forma de eco. La computadora recolecta los ecos y crea una imagen en el monitor. Para crear una imagen fina en la computadora analiza varias características de las imágenes que recibe como es la amplitud siendo la fuerza de la señal, frecuencia: numero de ondas recibidas por segundo y tiempo de retraso que es el tiempo que toma una señal en regresar de la región seleccionada al transductor del equipo (Emory Winship Cancer Institute, 2018).

Es una herramienta complementaria en conjunto con la mamografía y el examen clínico, esta técnica es utilizada para las mamas densas. Osaku clasifica el tamaño del tumor por la palpación y densidad de las mamas(Kennedy et al., 2009).

#### *Resonancia Magnética Nuclear*

Es un método imagenológico que usa imágenes y ondas de radio potentes para crear imágenes de mamas y el tejido circundante, no utiliza radiación, es decir, rayos X. Técnica utilizada en combinación con la mamografía (MedlinePlus, 2017), (American Cancer Society, 2017).

La resonancia se utiliza a menudo en las mujeres que ya han sido diagnosticadas con cáncer de seno, utiliza imágenes potentes en lugar de radiación para producir imágenes transversales muy detalladas del cuerpo, tomando imágenes desde varios ángulos de frente, de costado y por encima de la cabeza. Esta técnica crea imágenes de partes del tejido blando del cuerpo que en ocasiones son difícil de ver con otros estudios de imágenes (American Cancer Society, 2017).

#### *Termografía Infrarroja*

Es el registro de la distribución de la temperatura de un cuerpo utilizando la radiación infrarroja emitida por su superficie a longitudes de onda 7  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$ . Estos puntos calientes pueden ser relacionados con problemas de afección fisiológica(Kennedy et al., 2009) (Giansanti, Maccioni, & Gigante, 2006).

Varios autores establecen que la técnica es sensible para la detección de cáncer de mama, es no invasiva y puede detectar a etapas tempranas (Giansanti et al., 2006), (Krawczyk & Schaefer, 2014), (Tan, Quek, Ng, & Ng, 2007). En ocasiones esta técnica infrarroja la utilizan con nanopartículas para detección de cáncer donde de algún modo fijan éstas sobre o dentro del tumor lo que modifica la emisión de energía desde el mismo y facilita su detección (Korkmaz & Korkmaz, 2015).

## ESTADISTICA DE MORTALIDAD EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

En el estado de Guanajuato a partir del año 2010 se cuenta con la estadística mostrada en la Figura 9 de acuerdo con INEGI (INEGI, 2018). Donde se presenta que las personas con mayor mortalidad se encuentran entre los 50 y 64 años, para 2016 el índice mayor es entre los 60 y 64 años.

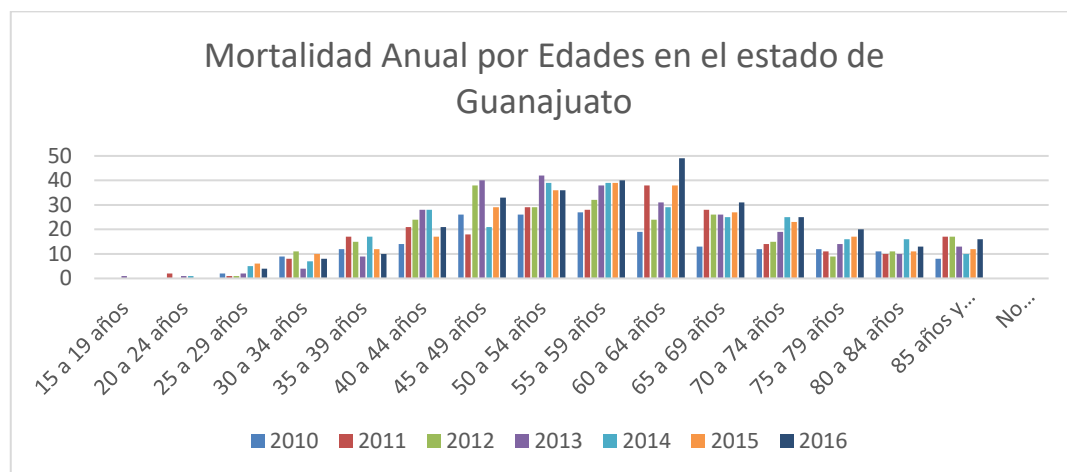


Figura 9. Mortalidad Anual por Edad en el estado de Guanajuato

Haciendo una estadística objetiva de los casos totales anuales se muestra la siguiente grafica figura 10 (INEGI, 2018). A partir del año 2010 hasta el 2016 hubo un incremento de 115 casos de mortalidad, en los años 2013 y 2014 se mantuvieron los casos de mortalidad, para el año siguiente bajo el índice de mortalidad con 29 casos menores al 2016.

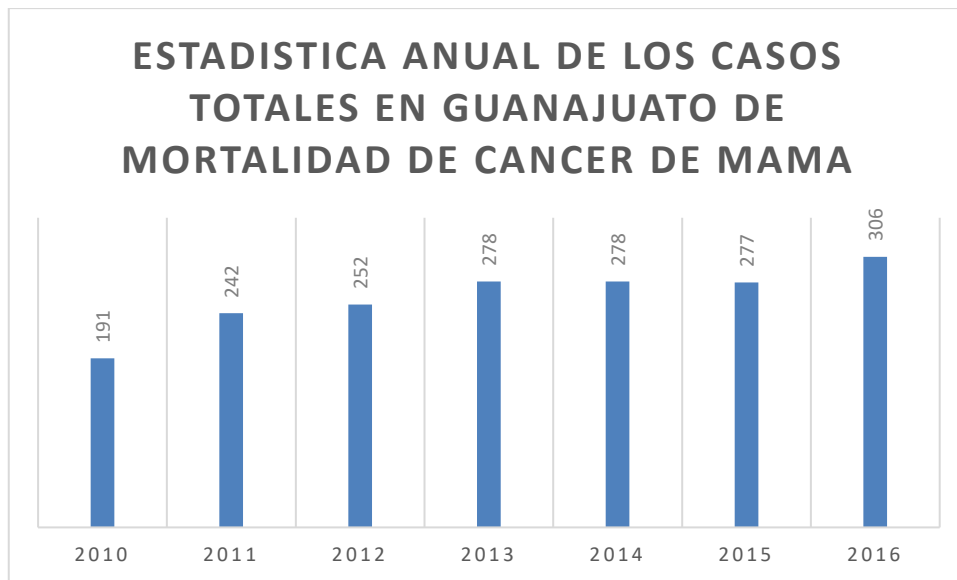


Figura 10. Estadística anual de los casos totales en Guanajuato de mortalidad de cáncer de mama

Esta estadística da la idea de como están incrementando los casos de cáncer de mama en el estado por lo cual es de preocupación de salud pública hacer conciencia sobre la detección temprana de cáncer de mama.

## *Capítulo II*

### *Termografía Infrarroja.*

*“Los problemas que tienes hoy, no pueden ser resueltos pensando de la misma manera  
que pensabas cuando los creaste”.*

*Albert Einstein.*

## TERMOGRAFIA INFRARROJA

### *Principios*

Para entender el por qué se aplica termografía infrarroja primero se considera el rango del espectro electromagnético donde la radiación térmica queda comprendida, abarca desde el UVB pasando por el visible y terminado en el infrarrojo medio, y después se debe tener en cuenta el comportamiento dual de onda y partícula de la energía en este rango del espectro, el estudio de la radiación térmica es posible realizarse utilizando las leyes básicas de la óptica geométrica en la formación de imágenes, la función de un sistema de lentes o espejos al recoger la radiación proveniente de un objeto y formando una imagen en el plano imagen que coincide con la posición del detector de la cámara térmica. De este modo y similar a como la luz es representada como una onda electromagnética armónica que se propaga tanto en el vacío como en distintos medios materiales. La radiación térmica se caracteriza por mantener una longitud de onda ( $\lambda$ ) o un conjunto de longitudes de onda emitidas desde el objeto bajo estudio. Así es posible correlacionar por ejemplo, algún padecimiento con su dependencia a una cierta longitud de onda. Las divisiones de las regiones del espectro electromagnético van direccionadas de acuerdo a las diferentes fuentes de radiación, en el sistema de detección, en la respuesta del ojo humano o en la transmisión atmosférica, por mencionar algunos (Boreman, 1999). En la siguiente Figura 11, se muestra un ejemplo de espectro electromagnético y algunas aplicaciones a las diferentes longitudes de onda



Figura 11. Espectro electromagnético (Taringa, 2018).

La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética que se ha definido comúnmente como térmica, en la cual la energía radiada por la superficie de un objeto está fuertemente influenciada por su temperatura, debido a esto es claro que solo habrá emisión de energía si la superficie tiene una temperatura por encima del cero absoluto; la radiación emitida es función de la temperatura de la materia, cuanto mayor es la temperatura, mayor es la intensidad de la energía infrarroja emitida (Usamentiaga et al., 2014), (Carlomagno & Cardone, 2010).

Existen clasificaciones de rangos o regiones que dividen el espectro electromagnético que comprende la región infrarroja, en este trabajo se utiliza la siguiente clasificación:

1.- Infrarrojo cercano (NIR, de 800 nm a 2500 nm), longitud de onda más cerca del espectro infrarrojo, esta región es comúnmente utilizada para estudiar astronomía.

2.- Infrarrojo medio (MIR, de 2.5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ ), es infrarrojo térmico porque la mayor parte de la emisión térmica de los cuerpos a las temperaturas típicas en la superficie terrestre se producen en este rango.

3.- Infrarrojo lejano (FIR, de 50  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$ ), con longitudes de ondas más largas, solo es significativa en cuerpos muy fríos por encima del cero absoluto (Besure.testo Academia online, 2018).

En la Figura 12 se presenta una representación gráfica de estos rangos.

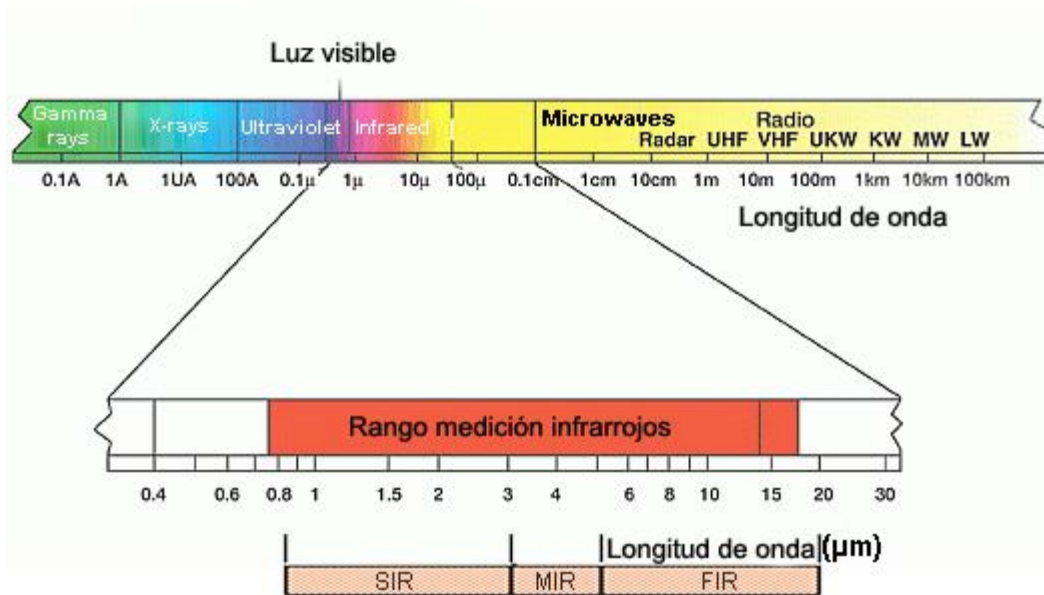


Figura 12. Rangos de la radiación infrarroja (Besure.testo Academia online, 2018).

Existen tres formas en que la energía radiante incide sobre un objeto: absorción, transmisión y reflexión.

La termografía infrarroja se basa en graficar en dos dimensiones la cantidad de energía emitida por un objeto, y transformarla en una señal eléctrica, uno de los dispositivos más básicos es el pirómetro, que produce una única salida usando un solo sensor, cuando se habla de un instrumento avanzado incluye una serie de sensores para producir una imagen de la escena tomada, esta imagen representa los niveles de intensidad captados por el detector en sus diferentes secciones, de tal manera que la imagen mostrada por la cámara es una interpretación de esos niveles energéticos en escalas de niveles de gris o de una interpolación en escala de colores, a esto se le conoce como termograma.

La termografía se ha dividido en dos grandes ramas: pasiva y activa.

Termografía pasiva, es la radiación que proviene del objeto y que es capturada en una sola exposición, o imagen, la cual solo representa un solo momento de la escena, y si es que la escena está siendo estimulada térmicamente una sola imagen de infrarrojo no

permitirá conocer de fondo el proceso que se está desarrollando a menos que se cuente con información extra que permita interpretar la imagen formada, esta información se puede usar para medir temperatura y es ampliamente usada en control de calidad y de procesos.

Termografía activa permite un seguimiento en video o en una serie de imágenes capturadas de manera serial de la escena de interés, así por ejemplo, si la muestra se somete a estimulación térmica externa, la propagación del calor o gradiente térmico es posible de seguir, lo que permite tener un análisis que se puede correlacionar con las propiedades térmicas del material, y con las anomalías subsuperficiales que producen diferencias de temperatura en la superficie del objetivo. Se usa en aplicaciones de pruebas no destructivas.

## TRANSFERENCIA DE CALOR

La causa inicial de la radiación térmica está relacionada con los procesos de convección y conducción, la energía se pone en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, a esto se le llama transferencia de calor.

Cuando hay una diferencia de temperaturas entre zonas de un mismo cuerpo o entre cuerpos sucede una transferencia de calor. Existen tres tipos de transferencia de calor, la Figura 13 describe estos tipos de transferencia de calor.



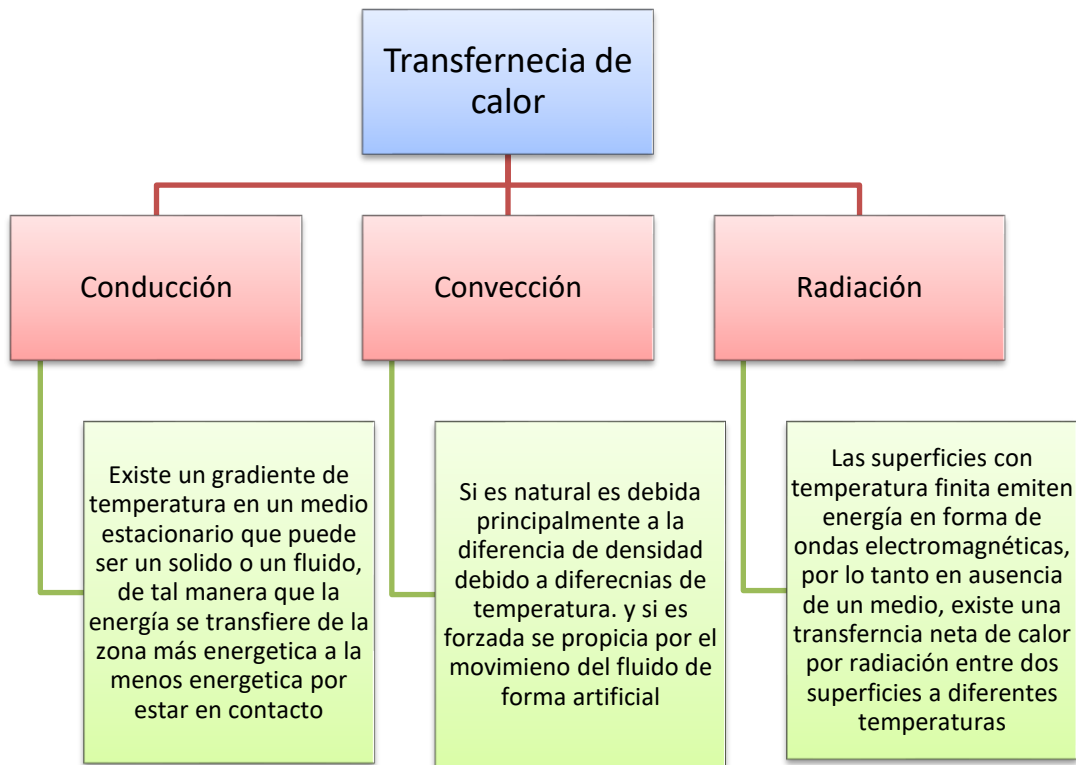


Figura 13. Tipos de transferencia de calor.

*Conducción:*

Todos los procesos de transmisión de calor involucran la transferencia de energía de partículas o zonas más energéticas a las menos energéticas dentro de una sustancia u objeto esto debido a las interacciones y choques entre las moléculas que vibran.

En el caso de conducción, estos choques entre moléculas se van transmitiendo de la zona con mayor energía a la de menor energía, lo que provoca un gradiente de temperatura.

En un material no conductor la transferencia de energía por medio de la transferencia de vibraciones moleculares es más lenta, lo que provoca que esta comunicación de la vibración entre moléculas vecinas sea menor y termine aniquilándose en poca distancia.

Un ejemplo de elemento conductor y no conductor a la vez es el caso de una cuchara, si una cuchara metálica es introducida súbitamente en una taza de café caliente al poco rato toda la cuchara estará caliente, sin embargo, en una cucharada de plástico esta conducción de calor se da de manera más lenta e incluso puede pasar mucho tiempo

antes de que toda la cuchara este caliente o incluso que el extremo de la cuchara no se caliente nunca.

#### *Convección:*

La transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio (difusión) y la separación entre moléculas en los líquidos y gases causa una mala conducción de calor, y provoca que la energía se transfiera mediante el movimiento global o macroscópico del fluido, causando que la molécula que vibra se despache de una forma más libre y que vaya transmitiendo este movimiento en su trayecto a otras moléculas lo que causará al final un equilibrio en las vibraciones y por ende un equilibrio térmico. Desde el punto de vista macroscópico el movimiento de fluido se asocia a grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo de la siguiente manera,

Convección libre o natural: el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Convección forzada: el flujo o desplazamiento de las moléculas además de la contribución de la diferencia de densidad debido a las diferencias de temperatura, es causada por medio externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos.

#### *Radiación:*

La radiación desde las superficies de sólidos, líquidos y gases transmite calor desde el cuerpo hacia el medio que lo rodea, no importa la forma de la materia, la radiación se atribuye al desprendimiento de los fotones causado por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas y como en otros rangos del espectro electromagnético, como el visible, la transferencia de radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío.

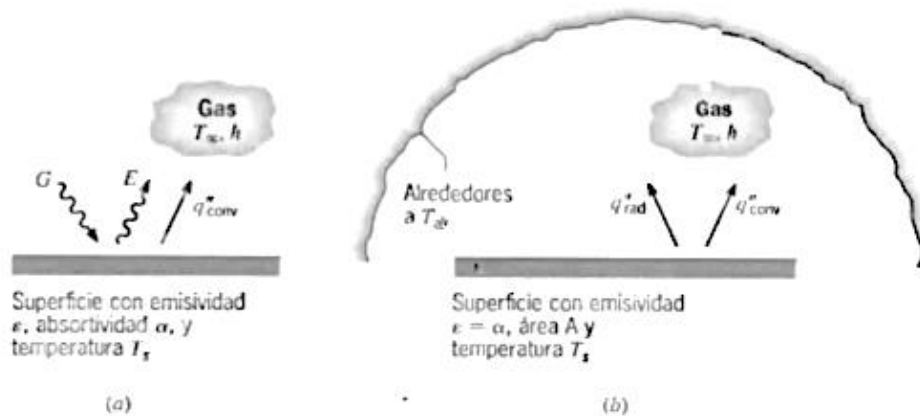


Figura 14. Interacción de la radiación incidente sobre: a) en la superficie, b) entre una superficie y sus alrededores

La radiación que la superficie emite se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera la energía por unidad de área ( $W/m^2$ ) se denomina potencia emisiva superficial  $E$  (Ver Figura 14), hay un límite superior para la potencia emisiva que Planck definió como cuerpo negro, y que si se considera la ecuación de Stefan-Boltzmann:

$$E_b = \sigma T_x^4$$

Donde  $T$  es la temperatura absoluta (K) de la superficie,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann ( $\sigma=5.67 \times 10^{-8} W/m^2$ ), corresponde a un radiador ideal o cuerpo negro.

Sin embargo, la potencia emisiva superficial real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y esta se describe bajo la misma ecuación anterior pero agregando un término correctivo denominado emisividad  $\epsilon$  por:

$$E = \epsilon \sigma T_x^4$$

Donde  $\epsilon$  toma valores de rango de  $0 \leq \epsilon \leq 1$ , esta propiedad proporciona una medida de la eficiencia con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro, esto depende del material de la superficie y del acabado entre otros.

Adicional a lo anterior se considera también el uso de la ley de Wien, que establece la relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura:

$$\lambda_{max} = \frac{0,0028976m \cdot K}{T}$$

donde T es la temperatura del cuerpo negro en Kelvin (K) y  $\lambda$  es la longitud de onda del pico de emisión en micrometros. La constante de Wien está dada en Kelvin x metro.

A mayor temperatura de un cuerpo negro menor es la longitud de onda en la cual emite. Por ejemplo, la temperatura de la piel es alrededor de 300 K y el pico de emisión se produce a 9.6  $\mu\text{m}$  que está dentro del rango de infrarrojo medio.

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde su entorno, de modo que esta es absorbida, reflejada y transmitida por la superficie; cuando hay absorción por el material se incrementa su energía térmica. La relación con que la energía es absorbida por el material respecto a la energía incidente se denominada absorptividad  $\alpha$ , es decir:

$$G_{abs} = \alpha G$$

Donde  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Si  $\alpha < 1$  y la superficie es opaca, parte de la energía incidente se refleja; si la superficie es semitransparente, parte de la energía incidente también se transmite, sin embargo, la energía interna del material tiende a aumentar y empieza a ocurrir una reemisión de la energía térmica de material, que en muchas ocasiones debido a la temperatura del material la longitud de onda de la reemisión no es igual a la de la radiación incidente, la radiación reflejada y transmitida no tiene efecto sobre esta energía, cabe mencionar que el valor de  $\alpha$  depende de la naturaleza de la irradiación así como de las características superficiales del material, además claro de su estructura interna (Incropera & DeWitt, 1996).

## CONTRASTE TÉRMICO

La termografía puede ser empleada para cuantificar características superficiales en una infinidad de investigaciones que implican fenómenos de calor (Fokaides & Kalogirou, 2011). Debido a que la radiación infrarroja (IR) es no ionizante, este tipo de radiación tiene una reducida penetración en los tejidos humanos comparada con los rayos X por ejemplo, por esta razón en los últimos años nuestro grupo de trabajo se ha esforzado por obtener información de mejoramiento de contraste para las aplicaciones médicas, suelos, en plantas y otras aplicaciones industriales (Villaseñor-Mora, Sanchez-Marin, & Garay-Sevilla, 2008). En el transcurso de los años el interés de utilizar imágenes infrarrojas ha aumentado. Los cuerpos que emiten energía a través de la radiación térmica, pueden caracterizarse por medio de la longitud de onda, la temperatura y emisividad que posean, (Villaseñor-Mora, 2013).

En el caso de la caracterización de una zona de interés en el cuerpo humano, como por ejemplo, la visualización de una vena subcutánea donde por el ojo humano sería difícil de observar, y el contraste térmico entre la piel y las venas subcutáneas en la región espectral puede ser de ayuda para visualizarla y caracterizarla, siempre y cuando tenga una relación señal a ruido suficiente para poder visualizarla, una alternativa para mejorar esa relación de señal a ruido es mejorar el contraste térmico de la escena. En el caso del contraste entre venas subcutáneas y el tejido circundante el contraste se ve afectado por la cantidad de grasa subcutánea, y no así por el color de la piel, ya que la emisión en el infrarrojo medio no es afectada por esta característica del color que a nuestros ojos vemos. Se ha confirmado que también es posible aumentar el contraste entre las venas subcutáneas y tejido si se usan secuencias de imágenes adquiridas con cámaras espectrales a diferentes longitudes de onda y analizando los cambios de emisión dependientes de la longitud de onda (Katrašnik, Bürmen, Pernuš, & Likar, 2009),

Existen pocos estudios relacionados con la mejora de contraste, uno de los primeros indicios fue con las venas en tiempo real, por Ontikova; Gostout y Jacques investigaron la viabilidad del uso de imágenes en secuencias de video infrarrojo de los vasos superficiales en el estómago con un endoscopio sensible a infrarrojo y con

iluminación en el infrarrojo cercano. Zeiman y colaboradores tienen una serie de trabajos relacionados al contraste de imágenes (Villaseñor-Mora et al., 2008).

Para el mejoramiento de contraste encaminado a la detección de cáncer de mama, algunos autores desarrollan algoritmos para detectar y diferenciar tumores o alguna otra anomalía térmica en el cuerpo humano, otros investigadores utilizan técnicas de procesamiento digital de imagen una vez que la termografía ha sido adquirida, principalmente consisten en filtros de Gauss o de suavizamiento para poder procesar la imagen y eliminar ruido, y hacer restauraciones de la imagen (Mainiero et al., 2013), (Suganthi & Ramakrishnan, 2014), (Rajmanova et al., 2015), (Fokaides & Kalogirou, 2011), (Kermani, Samadzadehaghdam, & EtehadTavakol, 2015). Otros investigadores prefieren utilizar la versión de pseudo color o falso color para mejorar el contraste y así analizar las diferentes distribuciones de temperatura en las regiones de interés (Kermani et al., 2015), también se pueden realizar segmentaciones en regiones de interés, teniendo por ejemplo, como base de partida para el análisis del termograma de mama los pezones (Abdel-Nasser, Saleh, Moreno, & Puig, 2016) o un análisis asimétrico de características extraídas de los senos (Rastghalam & Pourghassem, 2016). En otros casos lo que hacen para dar un mejoramiento de contraste en el cáncer de mama son biosensores o biomarcadores de anticuerpos que detectan rutas rápidas para el diagnóstico del cáncer de mama y que se contraponen a la termografía para obtener mejores resultados (Mittal, Kaur, Gautam, & Mantha, 2017), (Arif et al., 2015).

La termografía debe considerar una independencia de la cámara utilizada, siempre y cuando sea capaz de captar radiación en el mismo rango de longitudes de onda, ya que la principal fuente de radiación desde el cuerpo es debida a la perfusión sanguínea lo que es posible correlacionar con cambios en el cuerpo humano dependiendo la zona de donde se adquiere la imagen (Gokul Raj et al., 2015).

Ventajas de la tecnología infrarroja

- Tecnología sin contacto: no está en contacto con la fuente de calor.

- Proporciona imágenes térmicas bidimensionales: lo que permite una comparación directa entre las áreas del objeto.
- Tiempo real: escaneo a alta velocidad, adquisición de objetos de movimiento rápido y de patrones térmicos que cambian, en el caso de las cámaras disponibles se logran hasta 585 cuadros por segundo, lo que permite una adquisición de cambios de hasta 1.8 milisegundos y con una resolución de hasta 50 mili Kelvin.
- Ningún efecto nocivo de la radiación, a comparación de rayos X.
- Técnica no invasiva no afecta al objeto de ninguna manera
- Indicador de posible enfermedad en animales y humanos
- Un claro ejemplo es en la detección de cáncer de mama

Por este tipo de ventajas la termografía se ha establecido como herramienta efectiva en muchas aplicaciones como médicas, ambientales, industriales entre otras más.

#### Desventajas de la termografía

- Dispositivo costoso
- Los modelos baratos tienen una menor resolución espacial y proporcionan una menor precisión lo cual los hace inútiles para aplicaciones donde la zona bajo estudio es muy pequeña y no es posible acercarse demasiado.
- Interpretación de las imágenes complicado, problema que se resuelve con un adecuado tratamiento digital de las imágenes posterior a su adquisición.
- Las imágenes dependen de las condiciones de trabajo, es decir, con la temperatura ambiente, flujo del aire o la humedad, deriva térmica de la cámara y reflejo de los objetos que rodean la escena.

- Debe de usarse en entornos controlados.

#### Aplicaciones de la termografía

- Desde control de la temperatura de las cocinas de inducción domestica
- Posicionamiento del robot móvil en espacios inteligentes
- Mantenimiento y supervisión del proceso en industrias
- Inspección de construcción
- Pruebas destructivas



## *Capítulo III*

### *Estudio de estabilidad de la solución estándar.*

*“Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo”.*

*Benjamín Franklin.*

## PRINCIPIOS ACTIVOS

Para la validación del mejoramiento de contraste térmico se sintetizaron y probaron varias sustancias, para poder determinar un cambio de contraste por medio de termografía pulsada se adquirieron y analizaron secuencias de imágenes.

La elaboración de estas sustancias se basa en las normas y procedimientos farmacológicos, y se tomaron como primera base que dichas sustancias tengan un efecto vasodilatador o vasoconstrictor; las sustancias utilizadas se describen a continuación.

Como sustancias base se dispuso de las siguientes:

### **1.- Nombre:** Salicilato de Metilo

**Sinónimo:** O-Hidroxibenzoato de metilo, aceite de Wintergreen sintéticas, Aceite de Betula, Acido Salicilico, éster metílico

**Solubilidad:** Soluble en alcohol 96°, poco soluble en agua.

### **Posología/Dosificación:**

Dosis tópica de 3%-25%

### **Farmacología:**

El uso tópico es para causar dilatación de los capilares, lo que aumenta el flujo sanguíneo en el área aplicada. Se cree que es un neuropéptido activo que disminuye y agota la síntesis, almacenamiento, transporte y liberación de la sustancia P (mediadora de impulsos de dolor desde la periferia al sistema nervioso central). Absorción rápida en la piel (National Center for Biotechnology Information, 2017c).

### **2.- Nombre:** Mentol

**Sinónimo:** Hexahidromitol, metilhidroxiiisopropilciclohexano, p-mentan-3-ol, alcanfor de menta.

**Solubilidad:** Soluble en etanol, petróleo ligero, aceites grasos, parafinas líquidas

Poco soluble en agua

### **Posología/Dosificación:**

Productos tópicos/dermatitis 0.1%-2%

**Farmacología:**

Sensación refrescante debida a la activación de los receptores neuronales denominados canales de potencial transitorio receptor (TRP), principalmente al tipo 8 (TRPM8) y A1 (TRPA1) (Roth, 2015), (Acofarma, 2010), (GTM, 2016), (National Center for Biotechnology Information, 2017b).

**3.- Nombre:** Alcanfor

**Sinónimo:** 2-hidroxy-1,2,3-propanetricarboxylic acid

**Solubilidad:** soluble en etanol 96%, aceites grasos, poco soluble en agua y glicerol

**Posología/Dosificación:**

Tópica 0.05%-20%

**Farmacología:**

El alcanfor excita y desensibiliza los nervios sensoriales al actuar sobre 2 miembros de la subfamilia de canales de potencial transitorio receptor (TRP). TRP vaniloide sensible al calor subtipo 1 (TRPV1) y el canal TRP sensible al frío M8 (TRPM8); la activación se ve potenciada por la estimulación del receptor acoplado a fosfolipasa C que imita las condiciones inflamatorias; la aplicación excesiva y repetitiva del alcanfor puede producir la sensibilización de TRPV3 en aparente contraste con su papel de analgésico, este canal se activa entre 22 y 40 °C (National Center for Biotechnology Information, 2017a).

**4.- Nombre:** Eucalipto

**Sinónimo:** Eucalipto

**Solubilidad:** Soluble parcialmente en etanol, insoluble en agua.

**Posología/Dosificación:**

Aplicaciones dérmicas 0.5%-20%

**Farmacología:**

El aceite de eucalipto es rubefaciente, produce enrojecimiento de la piel por la dilatación de vasos sanguíneos y produce una sensación de calor relajante (Tisserand & Young, 2014).

Para la elaboración de las sustancias utilizadas basadas en las descritas anteriormente, se utilizaron los siguientes

## MATERIALES

Para la solución estándar son los siguientes

- ✓ Frasco de taparrosca de 80 ml,
- ✓ Alcanfor
- ✓ Mentol
- ✓ Eucalipto
- ✓ Salicilato de metilo

Instrumento de medición

- Cámara Infrarroja SDS Infrared
- Software SatIrWizard

## MÉTODO

### *Elaboración de la solución*

1. En un frasco de 80 ml se colocan 20 ml de alcohol de 96° o de grado farmacéutico.
2. Agregar 2.4 g de Alcanfor y homogenizar
3. Adicionar 1.2 g de Mentol y homogenizar
4. Añadir 2 ml de Eucalipto y homogenizar
5. Colocar 2.4 ml de Salicilato de Metilo y homogenizar

6. Por último, se agregan 70 ml de alcohol base para 80 ml de solución, se agita lentamente para homogenizar la solución estándar.

Adicional a las propiedades vasodilatadoras y vasoconstrictoras que menciona la literatura se optó por utilizar estas materias primas debido a que en la región del espectro de infrarrojo medio donde la piel tiene su máxima emisión, estas sustancias tienen un máximo de absorción o de transmisión, esto se detallará más adelante.

Para evaluar el mejoramiento de contraste térmico producido por las diferentes sustancias sintetizadas a partir de las imagen infrarrojas adquiridas, y considerando que el cuerpo humano responde a estas sustancias con la percepción de un cambio de temperatura; se realizó una serie de experimentos basados en diferentes combinaciones de las sustancias mencionadas anteriormente, las cuales van dirigidas a los receptores del frío en el cuerpo humano, la Tabla 5 muestra la concentración y combinaciones que se realizaron:

Tabla No 3. Combinaciones y concentraciones de las diferentes sustancias utilizadas

NUMERO DE SOLUCIÓN	SALICILATO DE METILO (mL)	MENTOL (g)	EUCALIPTO (mL)	ALCANFOR (g)	ESCENCIA DE SANDALO (mL)	TINTURA DE TÚLU (mL)	ALCOHOL 96° (mL)	OBSERVACIONES
1	0.5	0.5	0.5				40	Sln. Agresiva para la piel
2	0.5	0.34					40	Tiempo de recuperación tardío
3							5	0.5 mL bálsamo de Perú
4				0.3371			5	
5			0.5				5	
6			0.5			0.5	5	
7						0.5	40	BASE DE PERFUME, cambio a los 7 minutos
8	1	0.5	1	0.5			10	
9						0.5	10	SE AGREGA PROPIELINGL

								ICOL 2mL
10	2	1.51	3				40	
11	4	3.58	4	5.18			250	Agresiva para la piel
12					10	0.2	40	BASE DE PERFUME, cambio después de 7 minutos
13	2.4	1.2	2	2.4			80	<b>PRUEBAS DE ESTABILIDAD</b>
14		0.675					45	
15		0.15	0.25	0.3			45	
16							10	1ml hamamelis
17							10	1ml de castaña de india
18							10	1ml belladona
19							20	1ml de castaña de india y 1ml de belladona

## REQUISITOS Y ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Cuando se aplica un nuevo fármaco o medicamento en la piel se debe realizar un estudio de los principios activos por sí solos, y en combinación entre ellos de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2005, Estabilidad de fármacos y medicamentos (modifica a la NOM-073-SSA1-1993, Estabilidad de medicamentos, publicada el 3 de agosto de 1996), publicada por el diario oficial de salud del gobierno así mismo también Cofepris ofrece una guía que describe los lineamientos sobre cómo hacer la estabilidad y homogeneidad para la aplicación, y creación de un medicamento por primera vez.

El estudio de estabilidad para los productos farmacéuticos son una parte fundamental de todo proceso de investigación y desarrollo de un producto, los datos arrojados de la estabilidad se utilizan para conocer las condiciones para resguardar, ya sea en frasco de

plástico, vidrio o un material en específico, así mismo la temperatura ambiente, el porcentaje de humedad relativa y el tiempo de vida de la solución, es decir, el tiempo de degradación del medicamento (Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, 2018), (Cofepris, 2003), (Subsecretaría de Salud Pública, 2006).

Siguiendo estos lineamientos la Figura 15, describe en el inciso a) la presentación de la soluciones en diferentes tipos de frascos (tubos de ensayo, tubos falcón, frascos aspersores y viales, para su distribución en diferentes áreas, para esto, se consideró almacenarlas en condiciones reguladas de laboratorio en cuanto a temperatura, humedad relativa y en casos específicos de oscuridad, y se repitieron en condiciones de oficina de trabajo sin controlar temperatura ni humedad relativa para el estudio de la estabilidad; en el inciso b) se muestra el equipo de espectroscopia infrarroja utilizado (Espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier, Marca: Bruker, modelo Tensor 27. No. Serie T27 0680 04. ), que aporta una medición del espectro de absorción y transmisión de estas sustancias sometidas a diferentes condiciones, utilizado para evaluar el cambio del espectro de absorción y correlacionarlo con la degradación de la muestra en estas condiciones sometidas.

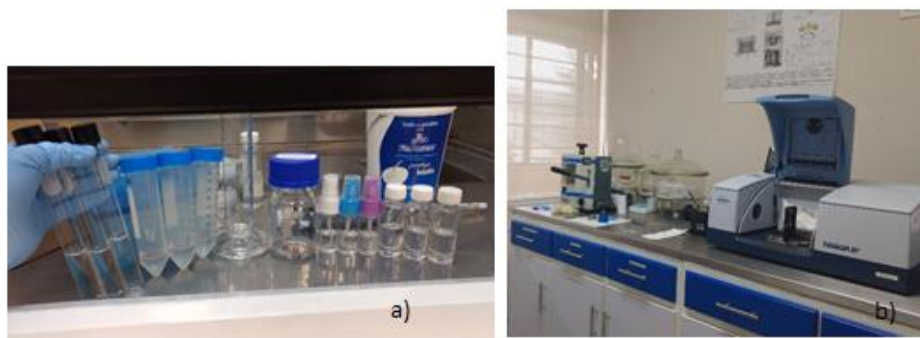


Figura 15. Solución estándar a) presentación de la solución estándar para estudio de estabilidad y homogeneidad y b) equipo para estudio de estabilidad y homogeneidad de la solución estándar.

La Tabla 4 muestra los diferentes materiales para envasado de la solución 13 y el lugar de resguardo para el estudio de la estabilidad de nuestra solución estándar de acuerdo a los lineamientos establecidos por la norma, se realizaron 12 repeticiones de esta

sustancia que después de la medición del contraste se determinó que logró el mejor contraste térmico; de estas 12 repeticiones, 3 muestras se almacenaron en frascos de plástico (frasco aspersor); 3 muestras en tubo falcón, que está compuesto de plástico especial para resguardo de muestras de laboratorio; 3 muestras en un vial de vidrio y por último 3 muestras en tubo de ensayo con taparroca.

Tabla 4. Diferentes materiales para envasado de la solución 13

No de muestra	Tipo de material	Ubicación
001	Plástico (frasco aspersor)	Laboratorio
002	Plástico (tubo falcón)	Laboratorio
003	Cristal (tubo de ensayo)	Laboratorio
004	Cristal (vial)	Laboratorio
005	Cristal (vial)	Laboratorio área oscura
006	Cristal (tubo de ensayo)	Laboratorio área oscura
007	Plástico (frasco aspersor)	Laboratorio área oscura
008	Plástico (tubo falcón)	Laboratorio área oscura
009	Cristal (vial)	Oficina
010	Plástico (tubo falcón)	Oficina
011	Plástico (frasco aspersor)	Oficina
012	Cristal (tubo de ensayo)	Oficina

Se realizó la medición en espectroscopia infrarroja de la solución 13, es decir, se hace la medición de cada muestra de los diferentes frascos obteniendo los siguientes espectrogramas de transmitancia y absorbancia de la solución 13, para darle continuidad al estudio de estabilidad de los lineamientos de la norma.



Acorde a la ley de desplazamiento de Wien, se tiene que la emisión de radiación de la piel humana tiene un máximo entre los 9.5 y 10  $\mu\text{m}$ . En la fase experimental los resultados arrojaron que esta sustancia presenta una alta absorción en dicha región, lo que explica en parte la mejora de contraste térmico. En la Figura 16 se muestra la gráfica del espectro de absorción inicial de la solución estándar en color azul, al transcurrir 6 meses nuevamente se obtiene el espectro de absorción (color rojo), observando la degradación respectiva de esta solución que en este sentido se observa un aumento en la absorción de la radiación en el rango de longitud de onda de interés (9 a 10  $\mu\text{m}$ ), lo que puede o no beneficiar la mejora del contraste térmico.

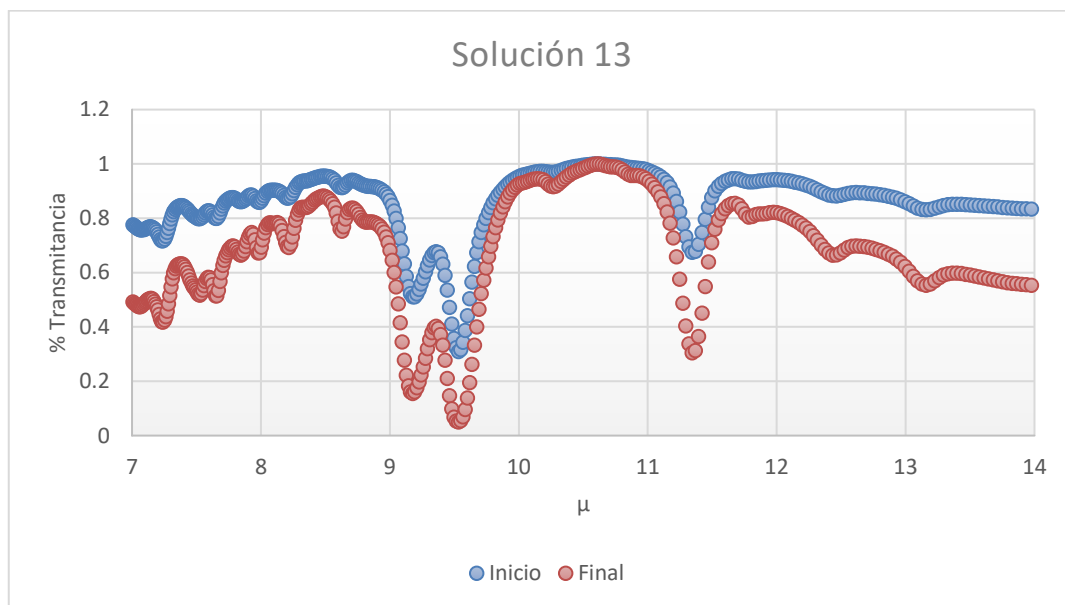


Figura 16. Degradación de la solución 13 después de 6 meses de su elaboración.

Las condiciones ambientales son tomadas una vez al día en la mañana (11:00 horas), con la puerta cerrada y aire acondicionado a 22°C en la oficina, en un espacio de un escritorio, en este espacio se encuentran las muestras de la solución estándar, donde no se exponen al aire tanto de la apertura de la puerta y el aire acondicionado ; la Figura 17 (gráfica) presenta la temperatura ambiente de la oficina, se observa una temperatura prácticamente constante con una disminución de 1.5 °C en los últimos del experimento, el pequeño cambio que existe es por la inestabilidad ambiental de la oficina, es decir, entran y salen del espacio donde se encuentran ubicadas la solución en prueba.

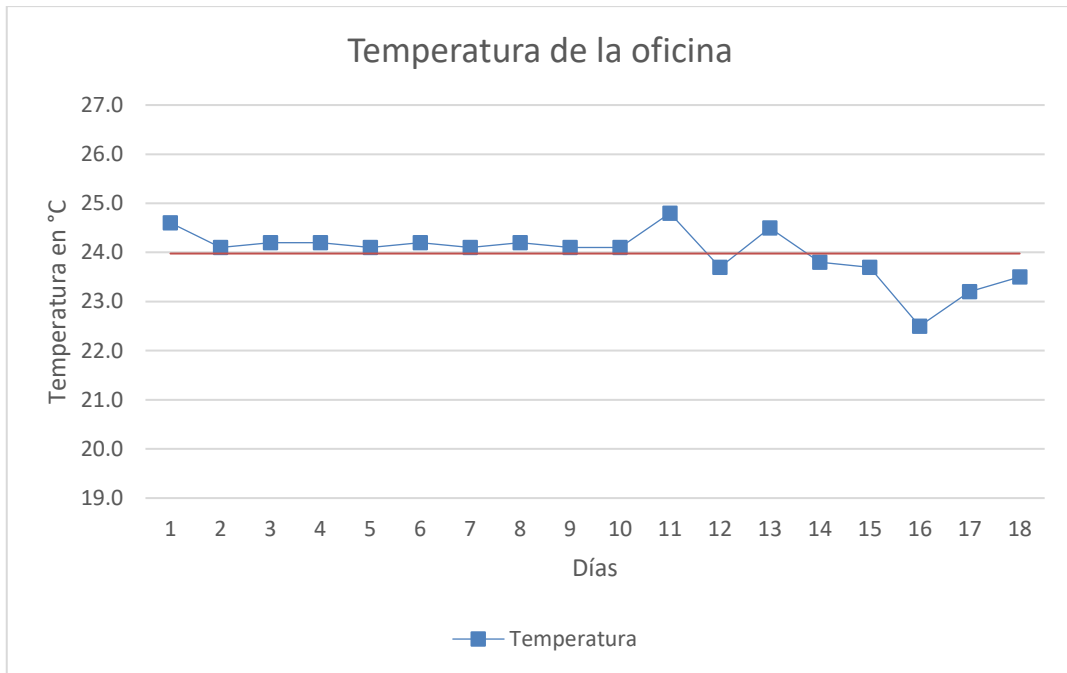


Figura 17. Temperatura ambiental de la oficina

En la Figura 18 se muestra el porcentaje de humedad relativa de la oficina durante los días del experimento, de igual manera que la condición ambiental de la temperatura, se encuentra encendido el aire acondicionado, la hora de toma de datos es a las 11:00 horas, en los últimos días se observa una disminución esto es debido a la apertura de la puerta y de la estancia de varias personas en el espacio.

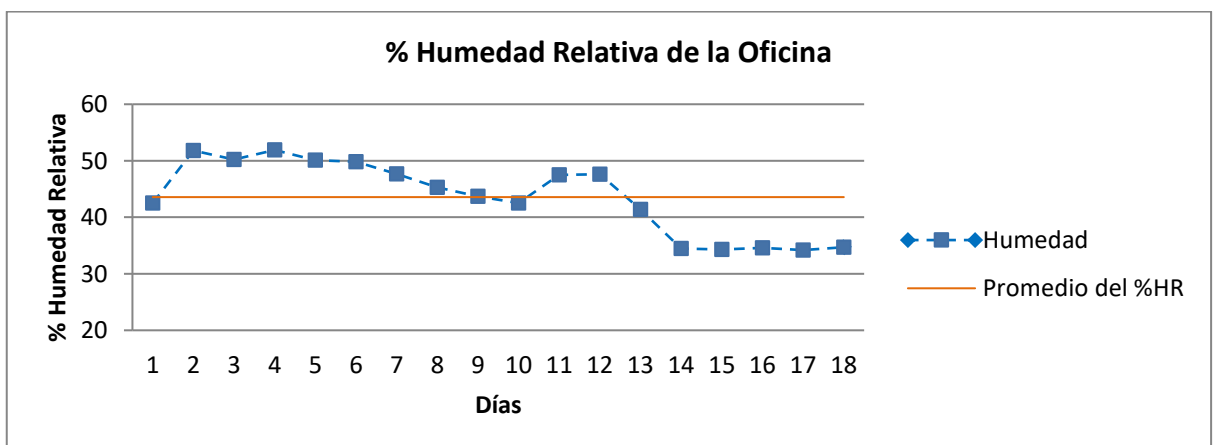


Figura 18. Porcentaje de humedad relativa de la oficina.

En el laboratorio se cuenta con un equipo que controla la temperatura y humedad relativa, aun así, la toma de datos en este espacio fue a las 11:30 horas, en el cual se encontraban trabajando tres personas, el espacio del laboratorio es doble del espacio de la oficina, la Figura 19 la temperatura ambiental del laboratorio y Figura 20 humedad relativa, las mediciones varían al final, esto es debido, a que en los últimos días sucedieron variantes como el apagar el aire, bajar la temperatura del aire acondicionado, mantener la puerta abierta, solo haber una persona y en ocasiones sin personas en el laboratorio, estos factores influenciaron a las mediciones de las cartas control de temperatura.

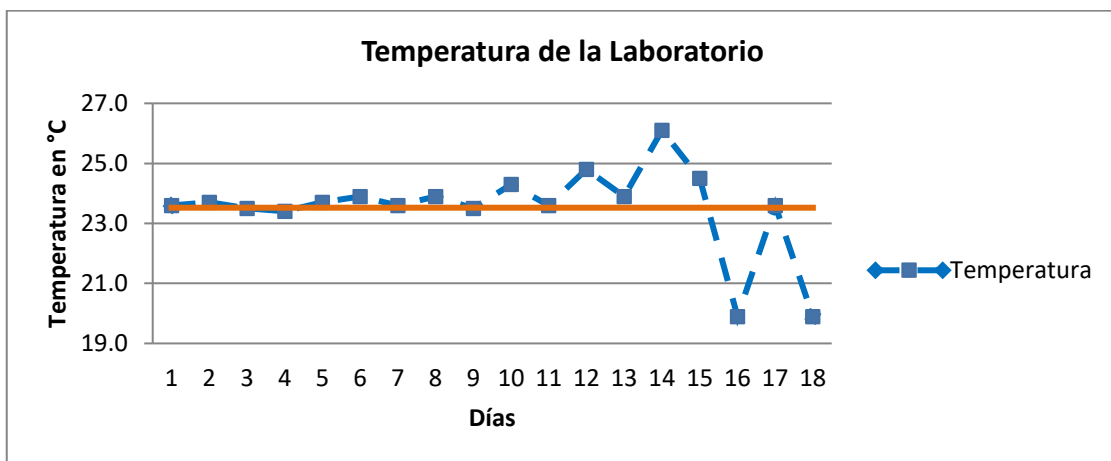


Figura 19. Temperatura ambiental del laboratorio

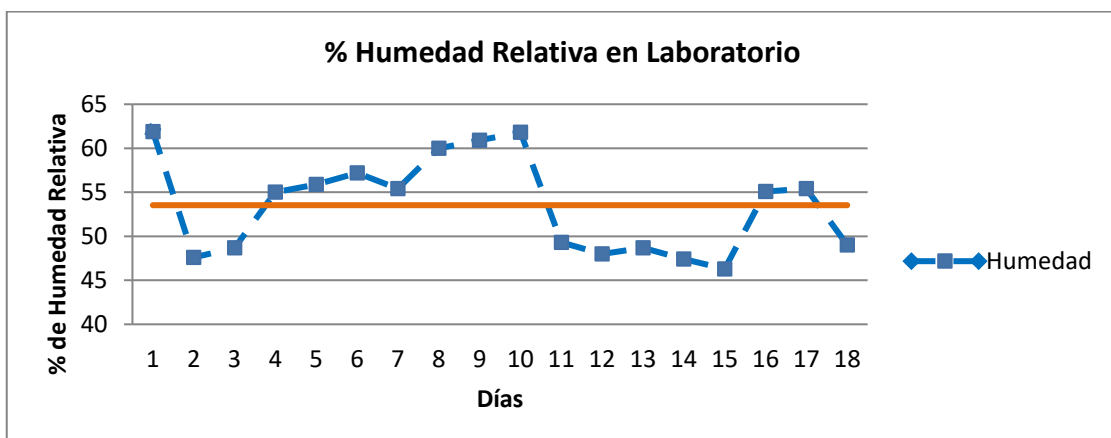


Figura 20. Porcentaje de humedad relativa en el laboratorio

Obteniendo nuestras graficas de las condiciones ambientales tanto en oficina como en laboratorio nos dan valores del comportamiento a esa hora del día en temperatura ambiental y humedad relativa; en este caso solo se realizó una vez al día por la mañana; se toma en cuenta este estudio para evaluar la estabilidad de la solución estándar a esa temperaturas y humedades. En un futuro para demostrar que nuestras condiciones ambientales no afecten a nuestros experimentos hacer la toma de datos a distintas horas así evaluando el impacto que tiene sobre el experimento en esas condiciones ambientales.

Dando un seguimiento a la realización de encontrar un mejor contraste para imágenes térmicas por medio de termografía activa, realizamos en el capítulo siguiente las pruebas con la cámara infrarroja, obteniendo imágenes radiométricas y trabajando con la temperatura de la imagen radiométrica y mismo software que la cámara tiene.

## *Capítulo IV*

### *Captura de imágenes.*

*“Siento menos curiosidad por la gente y más curiosidad por las ideas”.*

*Marie Curie.*

La piel y el grupo de arterias o venas subcutáneas, permite dividir a la piel o zona de interés en dos partes principales, las cuales deben ser consideradas al momento de adquirir la imagen para ser analizadas.

- 1) La primera se encuentra directamente sobre las venas o arterias subcutáneas, consideradas como principal fuente de energía, así como el límite con el ambiente externo.
- 2) La segunda es la piel que se encuentra alejada de las arterias y venas subcutáneas, y que en principio debería tener una temperatura diferente ya que su emisión se debe a la energía que logra conducirse desde las venas y arterias principales y desde los pequeños vasos sanguíneos que la nutren (Villaseñor-Mora et al., 2008).

Como se menciono anteriormente en este trabajo se realizó investigación base para mejorar el contraste térmico por termografía infrarroja pulsada para en un futuro, ser utilizado como protocolo complementario de diagnóstico de cáncer de mama, la mano se utilizo por la accesibilidad que se tiene, a parte de la característica de las venas superficiales.

#### PREPARACIÓN DE LA CÁMARA:

Descripción de la cámara utilizada: Cámara infrarroja, marca SDS Infrared, modelo: SAT-HOTFIND-LX, cámara Hotfind-LX Infrarroja, Serie: 30320454, con los siguientes ajustes, se elige temperatura de esfera de -20 a 250 °C, eligiendo que sea solo el alcance el que esté siendo ajustado automáticamente cuando lo requiera la deriva de la cámara y ajustando a mano un nivel 39°C y un alcance 30°C, este último como es inevitable que la cámara lo esté autoajustando antes de adquirir la imagen de infrarrojo se deberá ajustar a mano nuevamente conforme al manual de este equipo (SATIR, 2017).

Para la adquisición de las imágenes se elige una distancia de enfoque que permita observar completamente la extremidad (mano) y que a su vez tratándose de una mano

grande esta cubra por completo el campo de la imagen, se enfoca procurando un ángulo recto entre la lente de la cámara y la superficie de la extremidad, y se fija el tripee para que estos valores sean siempre los mismos, se coloca sobre una mesa cuidando los siguientes aspectos, soporte o tripee de la cámara esté nivelado (se usa la burbuja que contiene el tripee), en cada proceso de adquisición de las imágenes, se enciende la cámara y se espera para su estabilización 15 minutos que por experiencia del grupo esta cámara requiere para poder considerar una uniformidad de condiciones en la captura de las imágenes.

En lo que se estabiliza la cámara se prepara el área donde se van a adquirir las imágenes usando el siguiente procedimiento:

1. Previamente se enciende la cámara 15 minutos antes de la adquisición de las imágenes para estabilizar el detector de ésta.
2. Se recaba la firma del con sentimiento informado y se llena el formulario de datos generales del paciente (Formato 1).
3. Se solicita al paciente que coloque la mano sobre la superficie de la mesa, donde la cámara se encuentra lista para adquirir la imagen.
4. Se adquieren 3 imágenes del dorso de la mano antes de colocar la solución estándar, estas imágenes se utilizan como imagen basal.
5. La solución estándar se encuentra en un frasco de aerosol, que permite una aplicación homogénea sobre la piel; en la mano (el dorso de la mano) se colocan cinco aspersiones por zona de la mano.
6. Inmediatamente después de la aplicación de la sustancia, se inicia la captura de las imágenes cada 15 segundos hasta llegar al periodo de 10 minutos.

Formato 1

<b># PACIENTE:</b>		<b># Aspersiones:</b>	<b>Sln #:</b>	<b>Tiempo total de prueba:</b>
<b>PRUEBA #:</b>				
<b>Nombre:</b>				<b>Fecha:</b> _____
<b>Ocupación:</b> _____				<b>Hora inicio:</b> _____
<b>No. Tel:</b> _____				<b>Hora final:</b> _____
<b>Sexo:</b>	<b>Edad:</b> _____	<b>Tamb:</b> _____	<b>Presión arterial</b>	
F	<b>Altura:</b> _____	<b>%HR:</b> _____	I-S: _____	D-S: _____
M	<b>Peso:</b> _____	<b>Tcorp:</b> _____	I-D: _____	D-D: _____
			I-P: _____	D-P: _____
<b>Lugar de experimentación:</b>				
<b>Enfermedad (es):</b>				
<b>Toma medicamento ¿Cuál?:</b>				
<b>Tratamientos:</b>				
<b>Ultima vez:</b>	<b>Comida:</b>	<b>Fumar:</b>	<b>Bebida</b>	<b>Otro:</b>
<b>Características de Cámara:</b>				
<b>Nivel:</b>	<b>Alcance:</b>	<b>Temperatura de espera:</b>	<b>Otro:</b>	
<b>PRUEBA</b>				
<b>Parte del cuerpo:</b>				
<b>Tiempo de recuperación DERECHA:</b>			<b>Tiempo de recuperación IZQUIERDA:</b>	
<b>Rx. Alérgica:</b>			<b>Rx. Alérgica:</b>	
<b>Observaciones:</b>			<b>Observaciones:</b>	

NOMBRE Y FIRMA DE AUTORIZACIÓN DEL PACIENTE

NOTA: I-D (Presión Diastólica Izquierda), I-S (Presión Sistólica Izquierda), I-P (Pulsación Izquierda), D-D (Presión Diastólica derecha), D-S (Presión Sistólica derecha), D-P (Pulsación derecha), Sln. (Solución), Rx. (Reacción), Tamb. (Temperatura ambiental), %HR (Porcentaje de humedad Relativa), Tcorp. (Temperatura corpora), F (femenino), M (masculino).



La Figura 21 muestra la configuración de la mano sobre la mesa y el arreglo que incluye la cámara, en la misma imagen se puede observar un ejemplo de la imagen capturada por la cámara de infrarrojo utilizada, es importante mencionarle al paciente que no se mueva mientras se hacen la captura de imágenes.



Figura 21. Adquisición de imágenes.

Ya que se adquirieron las imágenes, se procede a realizar el análisis de estas, se crea una carpeta para cada paciente. Y mediante el uso del programa SatIrWizard se cambian las imágenes a formato X.bmp, que es el formato de imagen que mejor conserva la información radiométrica proveniente de la imagen con extensión X.SAT que usa la cámara; en ese mismo programa se da seguimiento de la temperatura de la o las regiones de interés.

En la fase experimental; los resultados de las temperaturas obtenidas desde las imágenes de las manos utilizando las diferentes soluciones que se hicieron de acuerdo con la Tabla 3 se grafican y se comparan para evaluar la razón del mejoramiento de contraste térmico obtenido.

A continuación, se presentan series de imágenes con sus correspondientes graficas de medición de contraste que:

- a) Muestra la imagen antes de ser sometida a un cambio de condición, es decir, antes de aplicar la solución para tratar de mejorar el contraste térmico.
- b) Muestra la imagen justo después de aplicar la solución y se observa una pequeña mancha negra sobre el área de aplicación este pulso térmico es fuertemente causado por la diferencia de temperatura de la solución que se encuentra a temperatura ambiente y la superficie de la mano que está a una temperatura mayor, el choque térmico provoca una disminución local de la temperatura de la piel por unos segundos, este efecto contribuye inicialmente al mejoramiento de contraste térmico.
- c) Se muestra la mejor imagen (se podrá observar en el pie de la Figura el tiempo en el que se consiguió el mejor contraste térmico en minutos), la imagen muestra un cambio en ciertas zonas de la mano indicando si existe un cambio de contraste en la zona de aplicación de la solución.
- d) Nos enseña la gráfica si la solución que estamos aplicando nos ayuda a mejorar el contraste o hace lo contrario, indicando con las barras de error este mejoramiento, existen dos líneas una de color azul es la que indica la toma de datos de las venas y otra de color verde los datos de la zona sin venas.

Las Figuras con los incisos a), b) y c), tienen unas indicaciones en un círculo es la zona donde se tomó el dato graficar y en cuadrado la zona donde no hay venas, cabe mencionar que se tomó solo un pixel de esta región donde se ve la vena y no vena, se hizo manualmente en el software que tiene la cámara en todas las imágenes que se capturaron de los pacientes durante el periodo de 10 minutos. La gráfica del inciso d) se realizó de la siguiente manera, es el promedio de las imágenes de cada minuto, después se realiza el cálculo de la desviación estándar de cada tiempo.

## CAPTURA DE IMAGENES

### *Solución 1*

Figura 22, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de un hombre de 22 años, la sustancia aplicada está compuesta por salicilato de metilo, alcanfor, eucalipto y mentol, con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación durante el minuto de la aplicación, pero presenta el problema de irritar la piel y la deja reseca, pero con aroma agradable. 22a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 22b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 1, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 22c) muestra la mejor imagen captada a los 3 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución encerrada en un círculo rojo, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas y de la zona sin venas en cuadrado; 22d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, donde podemos ver un pequeño cambio de contraste es en el minuto 3, cuando pasa al minuto 4 no permite ver ese cambio de contraste hasta el minuto siete y este hasta unirse o acercarse la temperatura en el minuto nueve conservando este comportamiento hasta el minuto diez.

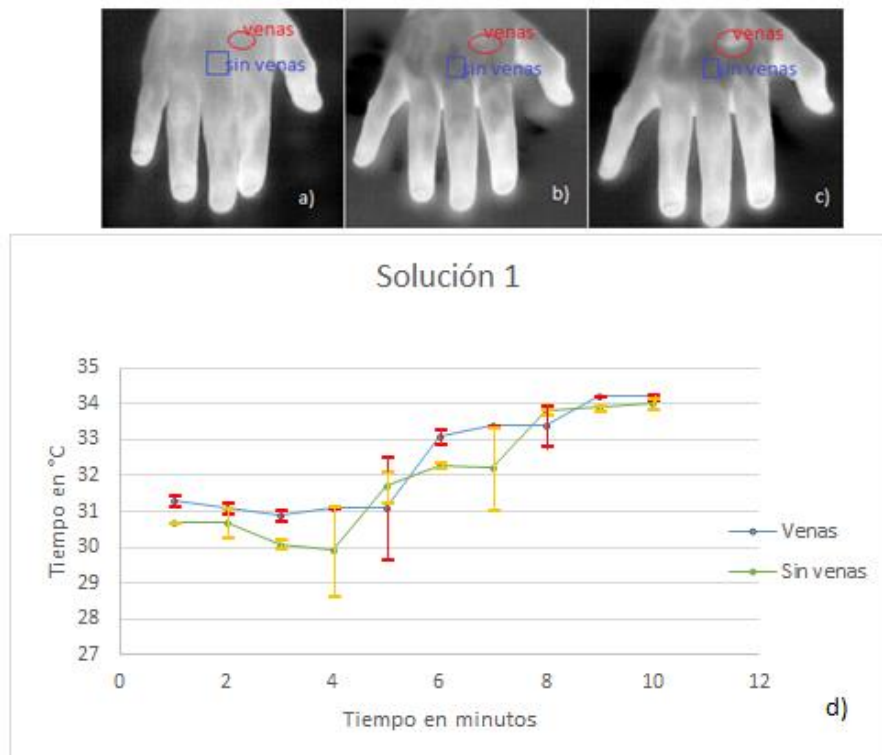


Figura 22. Solución 1 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Justo después de aplicar la solución, c) Después de 3 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no vensa durante la fase experimental.

Aunque esta solución arrojó excelentes resultados en el mejoramiento del contraste térmico no se siguió utilizando y por ende no se realizó estudio de estabilidad, ya que presenta irritación en la piel, provocando una fuerte sensación de frío en la zona aplicada.

### *Solución 2*

Figura 23, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de un hombre de 22 años, la sustancia aplicada está compuesta por salicilato de metilo y mentol, con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación después de 5 minutos de la aplicación, pero presenta el problema de irritar la piel y resecarla, pero con aroma

agradable. 23a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 23b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se puede observar la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 2, y el contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 23c) muestra la imagen a los 5 minutos, dentro de la zona donde se aplicó la solución encerrada en un círculo rojo se muestra la región donde se calculó el cambio de contraste térmico sobre la vena y la zona sin venas encerrado en un cuadrado, los dedos presentan una mayor emisión en esta persona; 23d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, donde podemos ver un pequeño cambio de contraste es en el minuto 2, posteriormente en la gráfica se observa el incremento de energía y a su vez la diferencia de temperatura del cambio de contraste entre venas y no venas del minuto tres hasta el minuto diez manteniéndose esta diferencia en este lapso de tiempo.

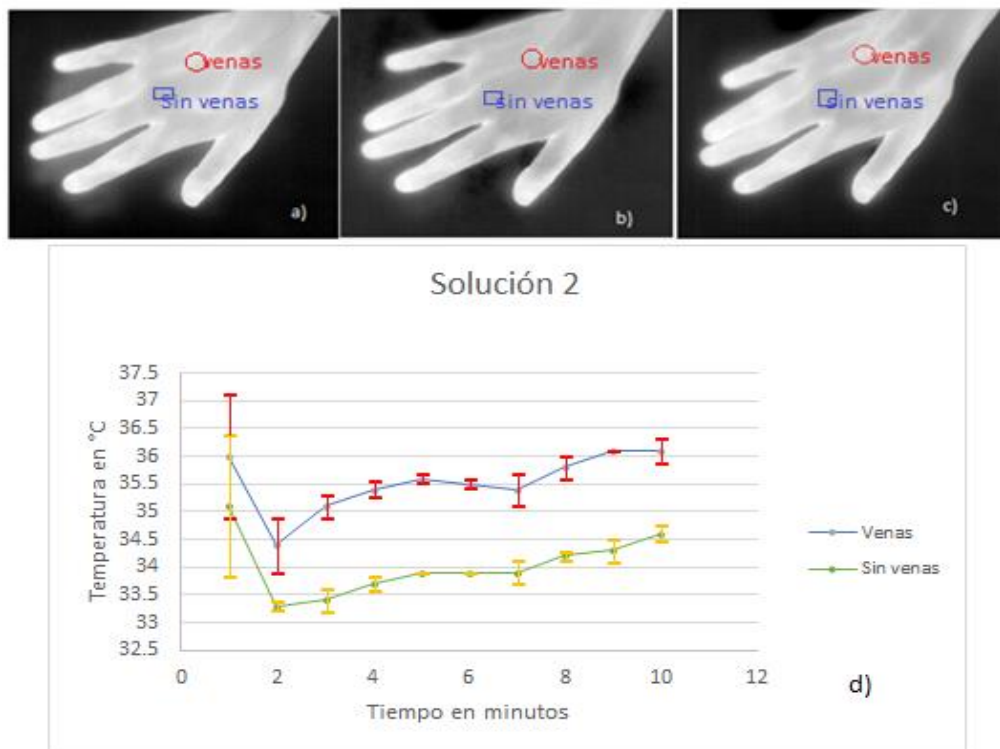


Figura 23. Solución 2 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 3

Figura 24, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por bálsamo de Perú, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación después de 7 minutos de la aplicación. 24a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 24b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 3, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que fue alcanzada por la solución; 24c) muestra a los 10 minutos la zona donde se aplicó la solución encerrada en un círculo rojo, del cambio de emisión de la zona con venas y de la zona sin venas, presenta a simple vista un cambio muy pequeño en la emisión sin embargo cuando se analiza por energías y temperaturas se puede constatar que sí hay mejoramiento del contraste; 24d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, donde podemos ver un pequeño cambio de contraste es en el minuto 3, cuando pasa al minuto 4 no permite ver ese cambio de contraste, en el minuto seis comenzamos de nuevo ver este cambio de contraste, también vemos el incremento de temperatura en ambas partes de venas y sin venas con una diferencia aproximada de un grado este comportamiento se observa hasta el minuto diez que es el tiempo que dura nuestra prueba.

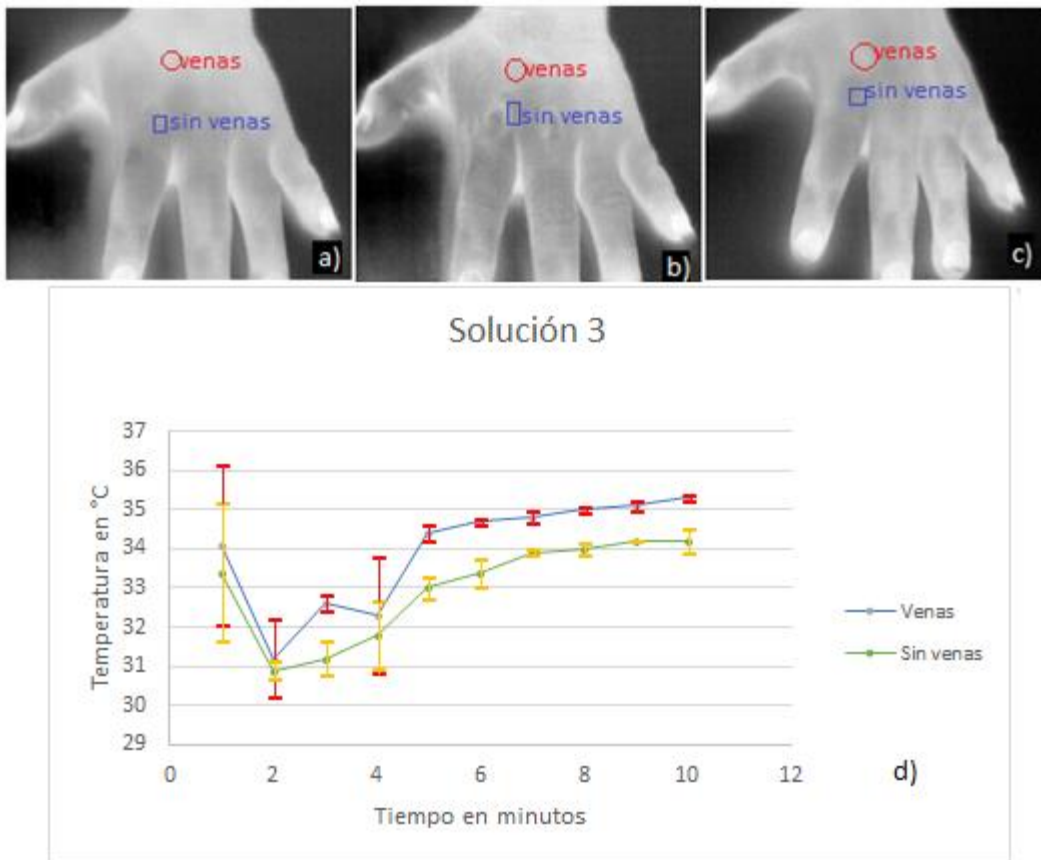


Figura 24. Solución 3 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) imagen a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

#### Solución 4

Figura 25, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por alcanfor, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, presenta un aroma agradable. 25a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 25b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 4, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 25c) indica la imagen a los 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución; 25d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, donde podemos ver que en los

primeros minutos si existe un cambio de contraste hasta llegar al minuto 5, cuando vemos el minuto 6 nos percatamos de que a ese tiempo no es posible ver este cambio tanto en venas y sin venas, cuando pasamos al minuto siete se mantiene este cambio hasta llegar al minuto diez que es el tiempo que tarda nuestra prueba.

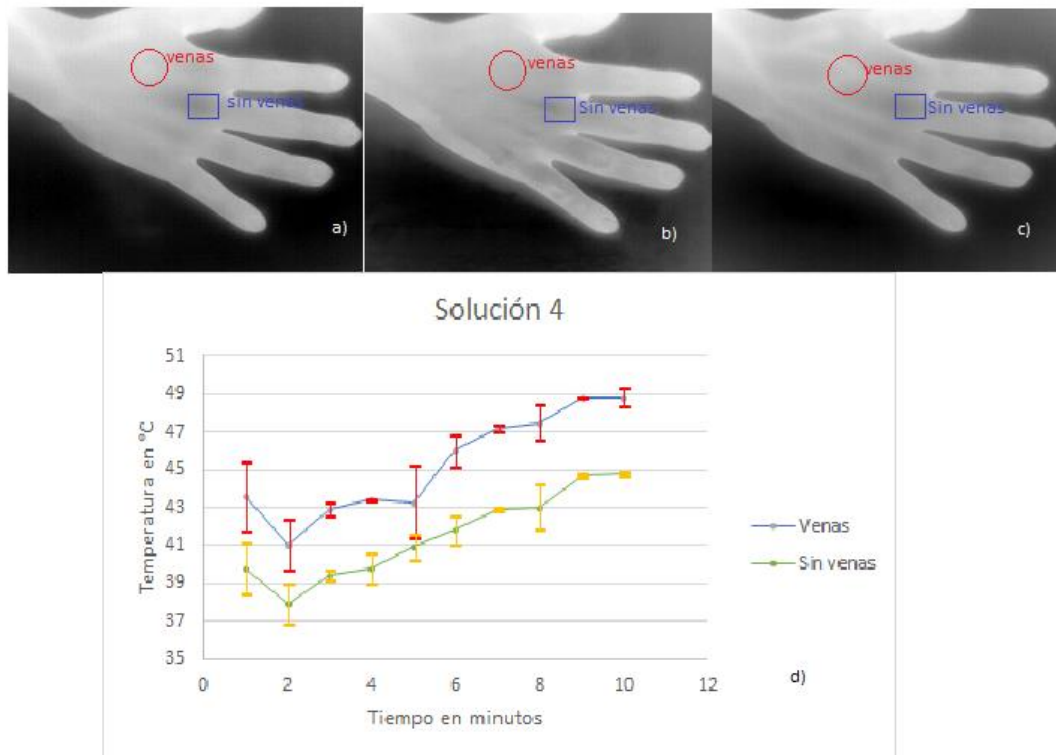


Figura 25. Solución 4 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Imagen a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 5

Figura 26, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de un hombre de 22 años, la sustancia aplicada está compuesta por eucalipto con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, presenta una capa pequeña de aceite donde se aplicó y con aroma agradable. 26a)



imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 26b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 5, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 26c) muestra a los 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, la zona aplicada no presenta ningún cambio de emisión de las venas encerrada en un círculo rojo y de la zona sin venas encerrado en un cuadrado, podemos decir que no existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 26d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, se observa hasta el minuto ocho un pequeño cambio manteniéndose este cambio hasta el minuto diez, esto nos indica que esta solución tiene un efecto retardado, ya que en los primeros minutos no existe dicho cambio visto hasta el minuto ocho..

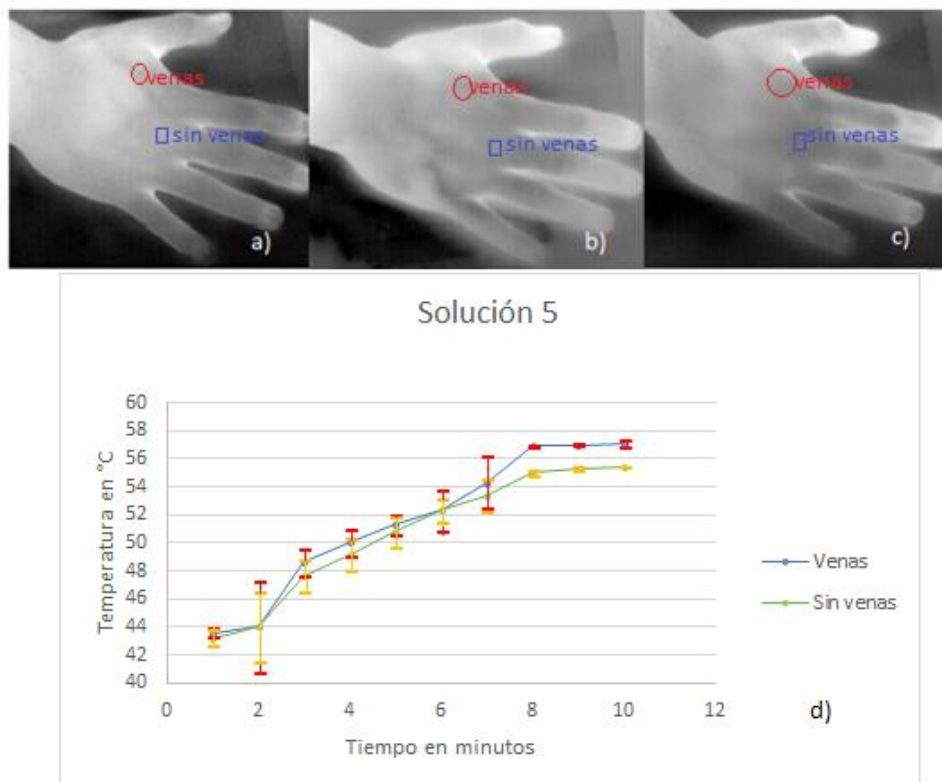


Figura 26. Solución 5 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### *Solución 6*

Figura 27, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por eucalipto y tintura de tule, esta solución no presenta cambios de contraste térmico en la zona de aplicación esperando los 10 minutos después de la aplicación, deja residuos en la piel y pequeñas partículas de aceite en la zona donde se aplicó. 27a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 27b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 6, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 27c) muestra a los 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución encerrada en un círculo rojo, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas y de la zona sin venas, podemos decir que no existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 27d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en los primeros minutos de la prueba podemos observar que existe un cambio en la zona de venas y no venas pero con el tiempo va disminuyendo este cambio, donde podemos observar el mejor cambio de las venas y no venas es entre el primer minuto y el minuto tres, pasando al minuto cinco hay un comportamiento de mejoramiento y del minuto seis hasta el minuto diez su comportamiento fue disminuyendo.

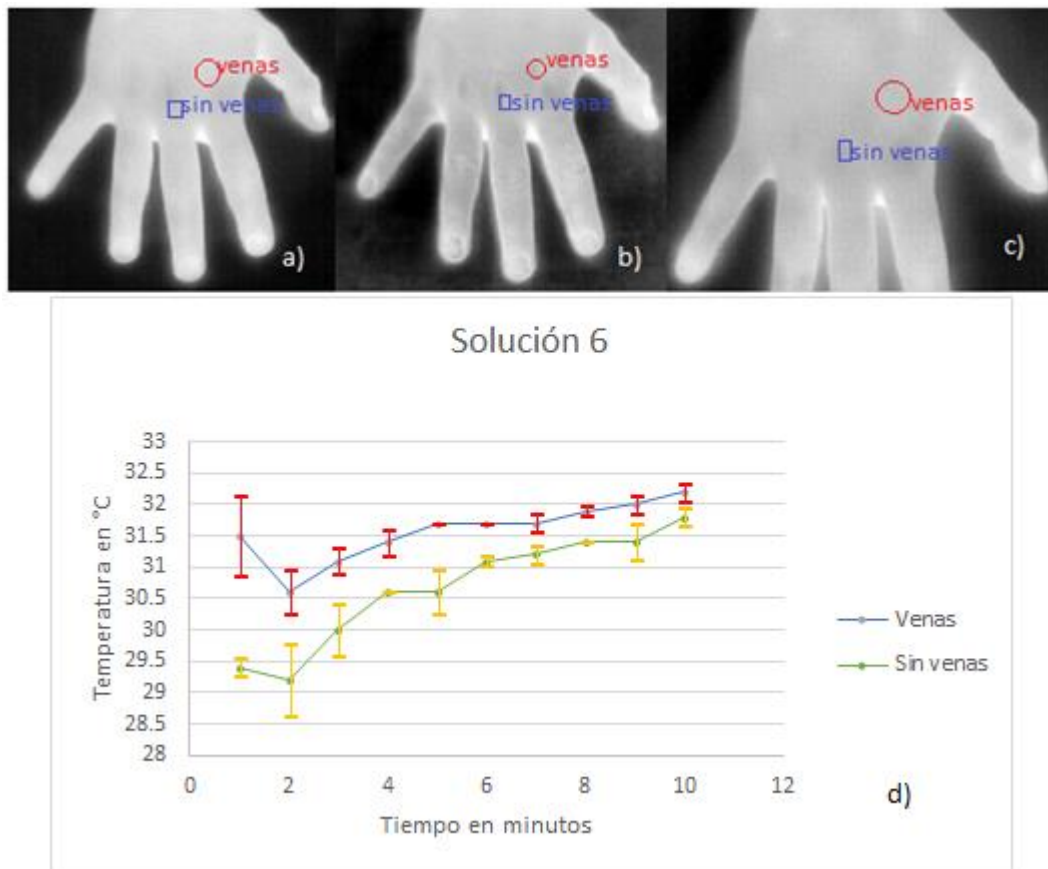


Figura 27. Solución 6 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 7

Figura 28, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por tintura de tulle con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación después de 6 minutos de la aplicación, presenta el problema de dejar residuos y con aroma poco agradable. 28a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 28b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 7, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 28c) muestra después de 6 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas

encerrada en un círculo rojo y de la zona sin venas encerrada en un cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 28d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en los primeros minutos el comportamiento de la solución no tiene ningún efecto pero llegando al minuto 6 observamos que hay un cambio repentino y sigue observándose este cambio hasta llegar al minuto diez.

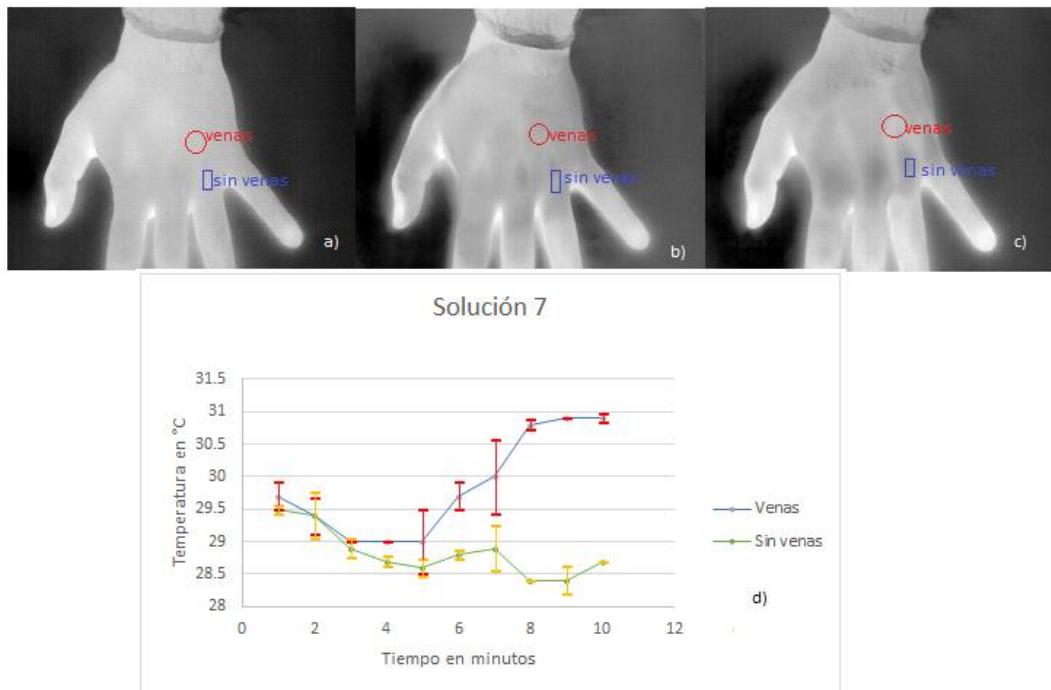


Figura 28. Solución 7 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 8

Figura 29, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por salicilato de metilo, alcanfor, eucalipto y mentol, con esta solución se observan cambios de contraste térmico mínimo en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, presenta el problema de irritar la piel y la deja reseca, pero con aroma agradable. 29a) imagen adquirida en estado basal en

condiciones normales, 29b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 8, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 29c) muestra después de 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerrada en un círculo y de la zona sin venas encerrada en un cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 29d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en el proceso experimental no se pudo observar un cambio de contraste hasta el minuto 10, ya que se mantuvo el mismo comportamiento en todo el tiempo de la prueba.

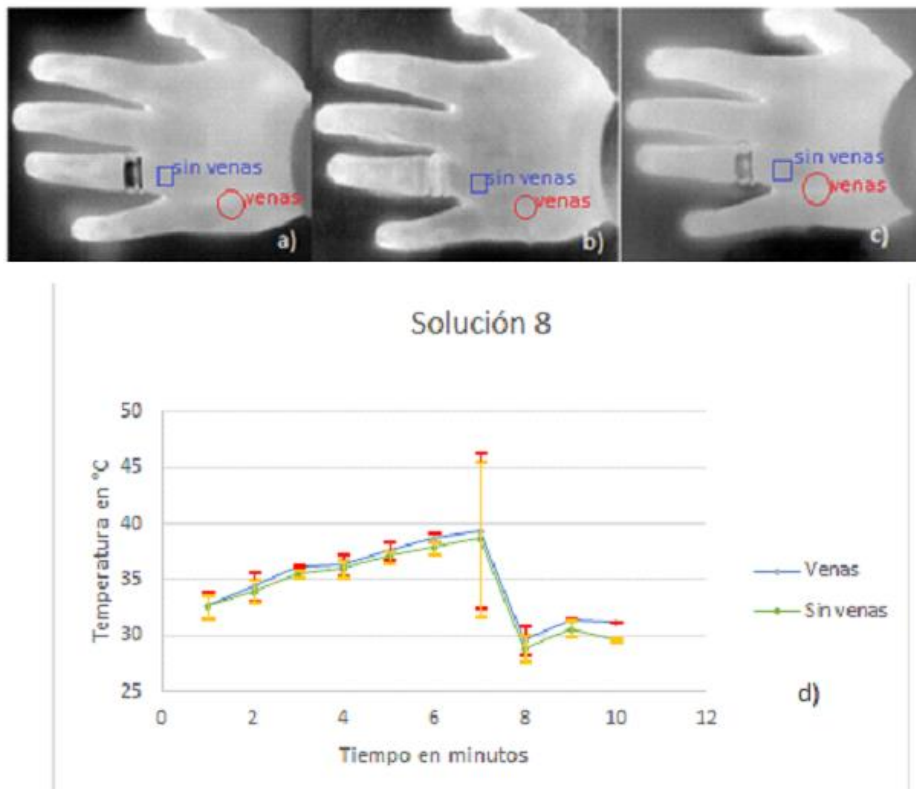


Figura 29. Solución 8 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### *Solución 9*

Figura 30, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por tintura de tulle y propilenglicol, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, presenta en la zona aplicada una capa poco gruesa de aceite, con aroma poco agradable. 31a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 31b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 9, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 31c) muestra después de 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, no existen en la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerrada en un círculo y de la zona sin venas encerrado en un cuadrado, podemos decir que no hay un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 31d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, desde el inicio el comportamiento que presenta esta solución es negativo, es decir, no hay cambio alguno durante el proceso de la experimentación, siempre se mantuvo el comportamiento igual.

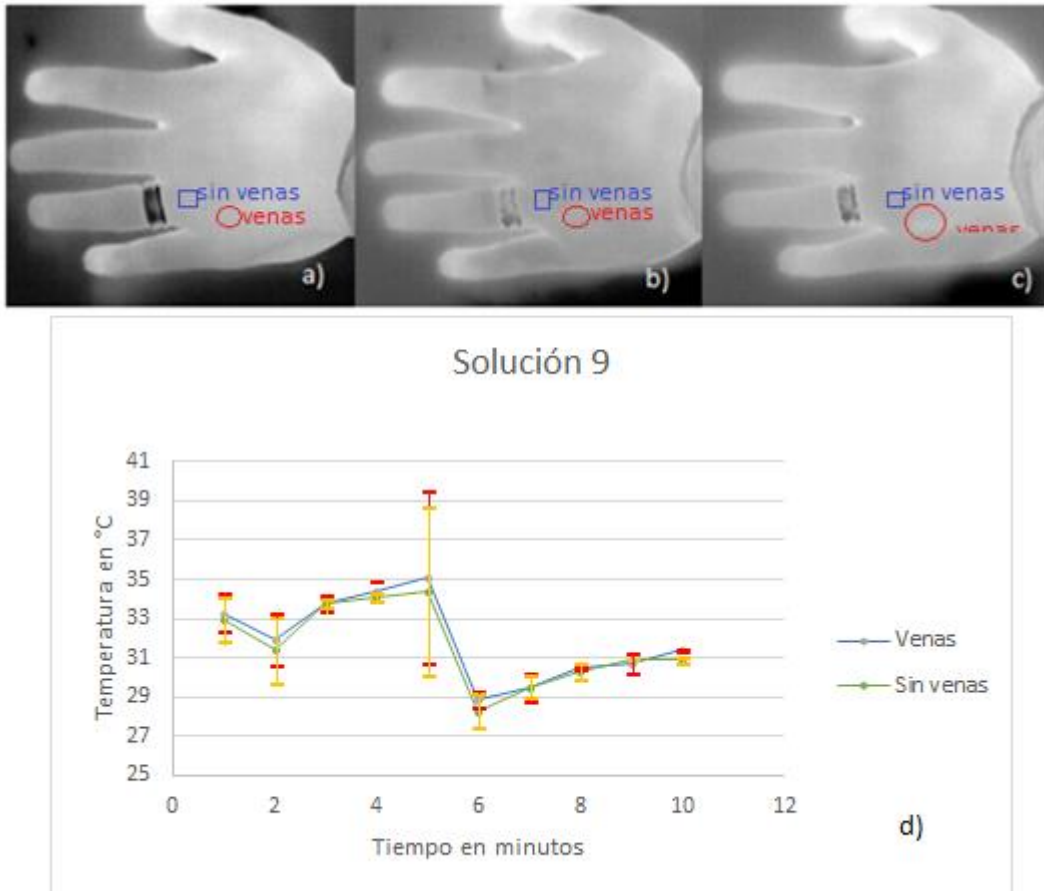


Figura 31. Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 10

Figura 32, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por salicilato de metilo, eucalipto y mentol, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, pero presenta el problema de irritar la piel y la deja reseca, con aroma agradable. 32a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 32b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 10, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 32c) muestra a los 10 minutos la

zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerrada en un círculo y de la zona sin venas en un cuadrado que se tomó para hacer el análisis; 32d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en los primeros minutos el cambio de contraste no se pudo observar, al llegar al minuto tres existe la visualización de un mejoramiento que al principio este cambio hasta llegar al minuto siete hasta el nuevo en el minuto diez se puede observar un cambio pequeño.

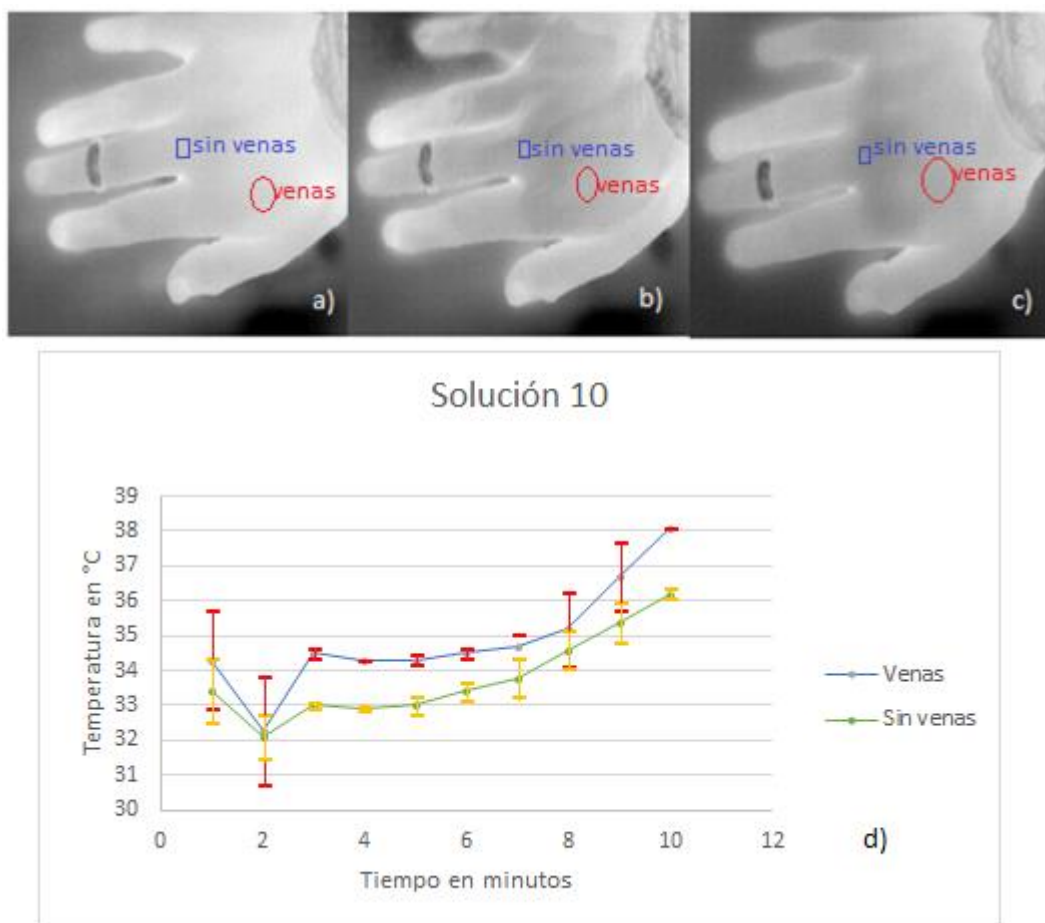


Figura 32. Solución 10 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.



### *Solución 11*

Figura 33, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de un hombre de 23 años, la sustancia aplicada está compuesta por salicilato de metilo, alcanfor, eucalipto y mentol, con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación durante el 1 minuto de la aplicación, pero presenta el problema de irritar la piel y la deja reseca, pero con aroma agradable. 33a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 33b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 11, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 33c) muestra después durante el minuto la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerrada en un círculo y de la zona sin venas encerrado en un cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 33d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en los primeros minutos no se observa un cambio de contraste deseado pero al llegar al minuto cinco existe pronunciado este cambio hasta llegar al minuto diez.

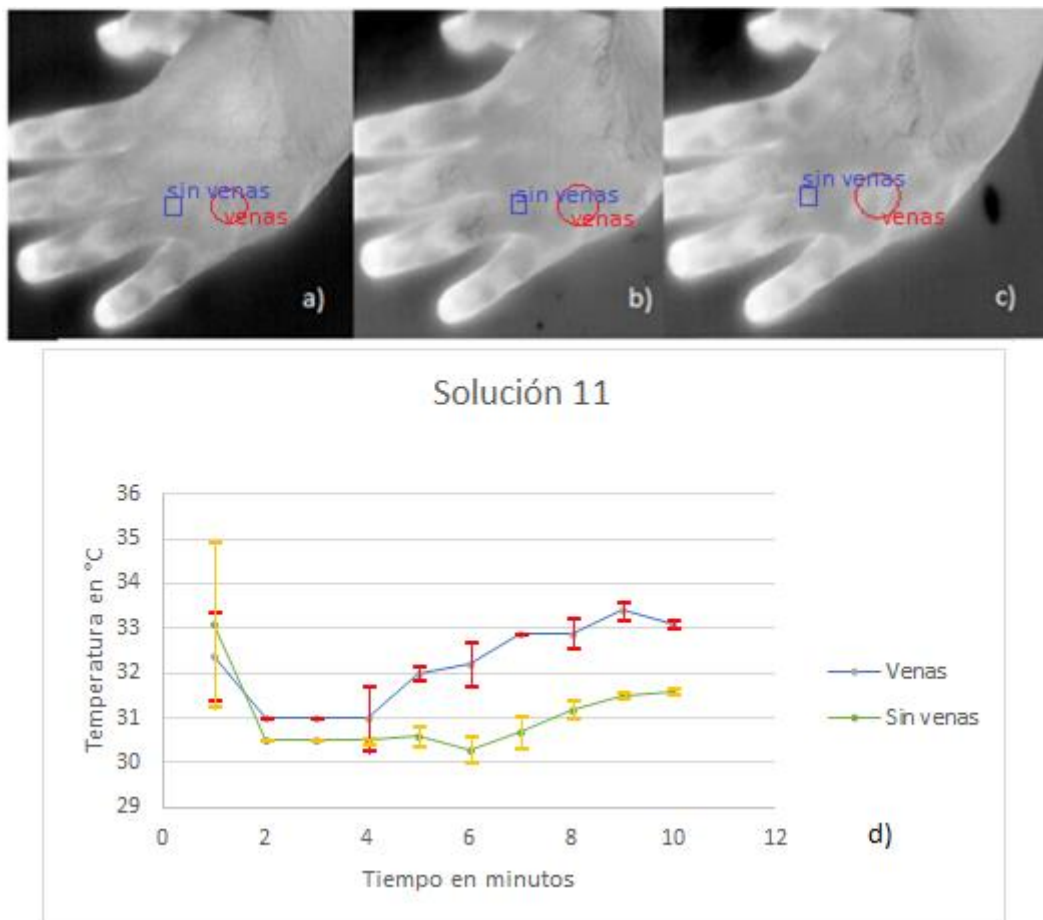


Figura 33. Solución 11 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Durante minuto de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 12

Figura 34, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 29 años, la sustancia aplicada está compuesta por esencia de sándalo y tintura de tule con esta solución no se observa cambio de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, presenta pocos residuos aceitosos en la piel, con aroma agradable. 34a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 34b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 12, y un contraste con la punta de los dedos desde

la zona que no fue alcanzada por la solución; 34c) muestra a los 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de las venas encerrado en un círculo y de la zona sin venas encerrado en un cuadrado; 34d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en el transcurso del experimento existe un cambio de mejoramiento, antes y después de aplicar, esta información nos indica que desde el inicio hay un factor que implica en el cambio de contraste de la solución o que la solución no presenta el fenómeno de cambio de contraste.

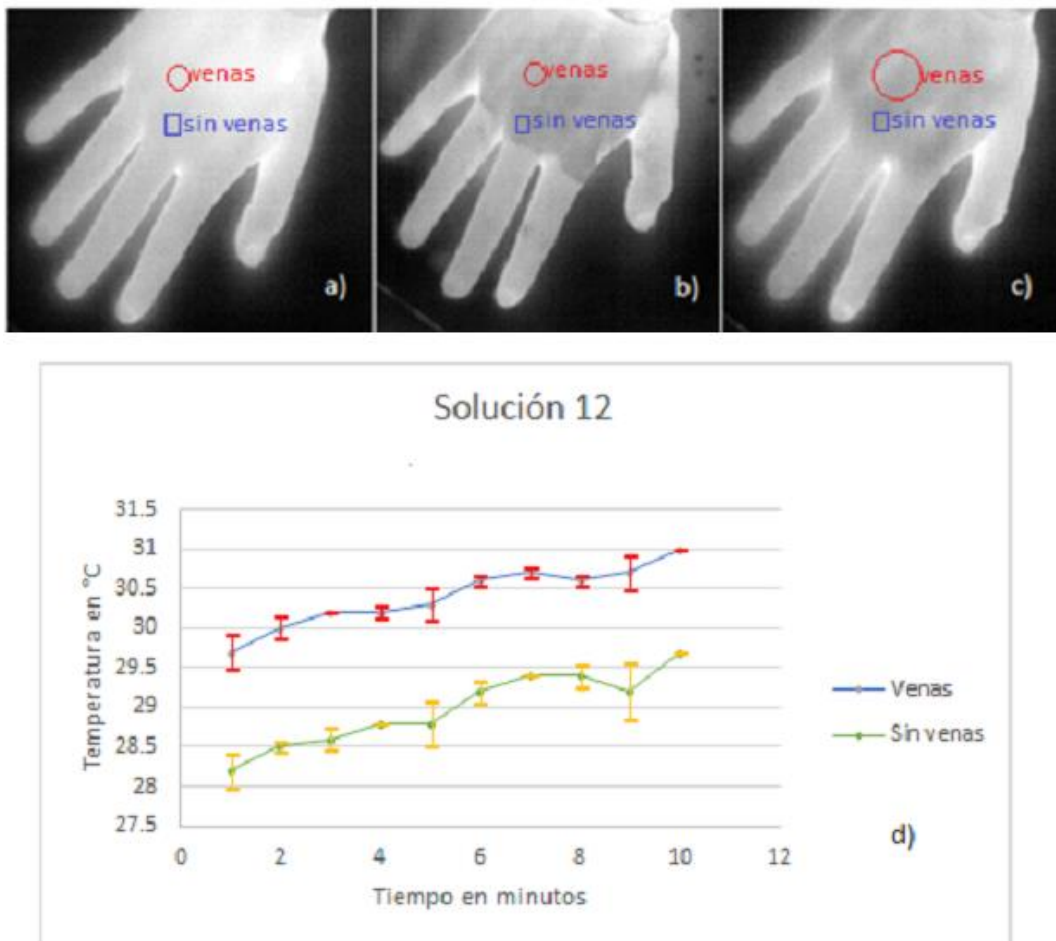


Figura 34. Solución 12 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### *Solución 13*

Figura 35, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 30 años, la sustancia aplicada está compuesta por salicilato de metilo, alcanfor, eucalipto y mentol, con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación después de 1 minuto de la aplicación, ya no presenta el problema de irritar la piel y la deja reseca y con aroma agradable. 35a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 35b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 13, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 35c) muestra después de 1 minuto la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerrada en un círculo y de la zona sin venas encerrado en un cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 35d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, esta solución no presenta un cambio en los primeros minutos al llegar al minuto cuatro existe un ligero cambio, después al llegar al minuto cinco no se observa el cambio del contraste hasta llegar al minuto seis, los minutos siete al nueve el comportamiento de la solución no permite ver este cambio si no hasta el minuto diez.

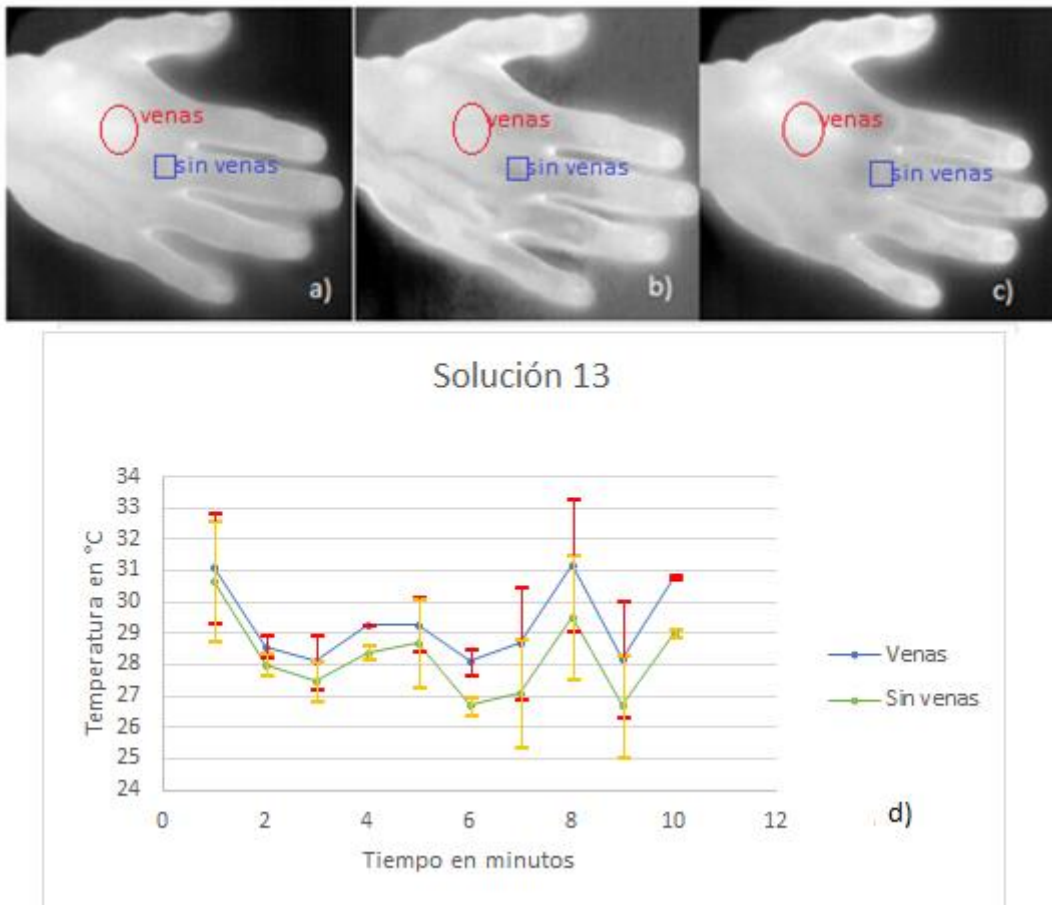


Figura 35. Solución 13 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de un minuto de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

#### *Solución 14*

Figura 36, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 30 años, la sustancia aplicada está compuesta por mentol, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, pero presenta el problema deja una sensación rubefaciente y reseca la piel, pero con aroma agradable. 36a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 36b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más

oscura debido a la aplicación de la solución 14; 36c) muestra a los de 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerrada en un círculo y de la zona sin venas encerrada en un cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste los valores que se obtienen en la gráfica de venas está encerrado en un círculo rojo, en el caso de los dedos ocurrió un fenómeno inesperado, ya que en tres de ellos si hay un cambio térmico en las puntas de los dedos pero en dos de ellos no ocurrió este cambio esperado; 36d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en los primeros minutos no se observa un cambio de contraste hasta el minuto cuatro al seis pero este cambio es mínimo, siguiendo con este comportamiento de mejoramiento de contraste se observa hasta el minuto nueve y diez, los minutos siete y ocho no hay cambio de contraste.

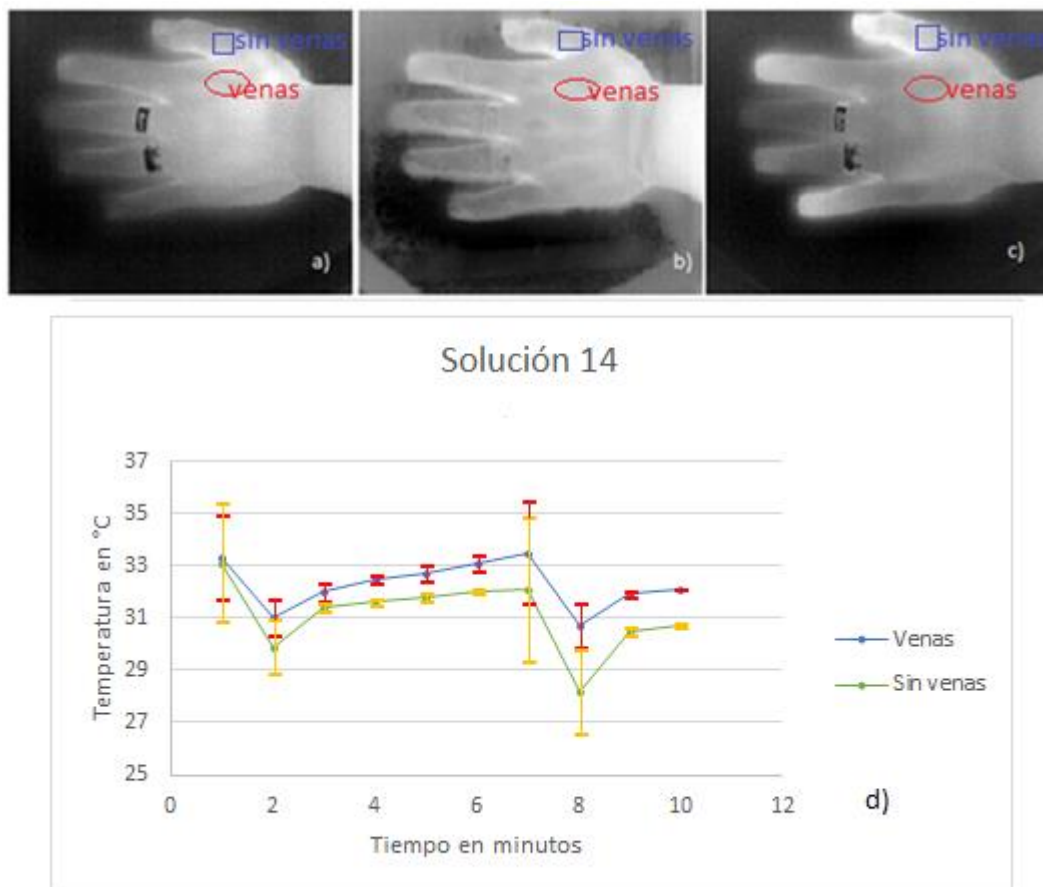


Figura 36. Solución 14 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) a los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica

de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### *Solución 15*

Figura 37, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 30 años, la sustancia aplicada está compuesta por eucalipto, alcanfor y mentol, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, presenta el problema de irritar la piel y la deja reseca, pero con aroma agradable. 37a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 37b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 15, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 37c) muestra a los 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada que no hay un cambio de emisión de la venas encerradas en un círculo y de la zona sin venas encerradas en un cuadrado, podemos decir que no existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 37d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, el comportamiento de los primeros minutos no hay cambio de contraste, existe un pequeño cambio al minuto cinco, al minuto seis no se observa el cambio si no hasta el minuto seis hasta el minuto ocho donde existe un cambio de contraste, en el minuto nueve no se ve y empieza a ver un cambio hasta el minuto diez.

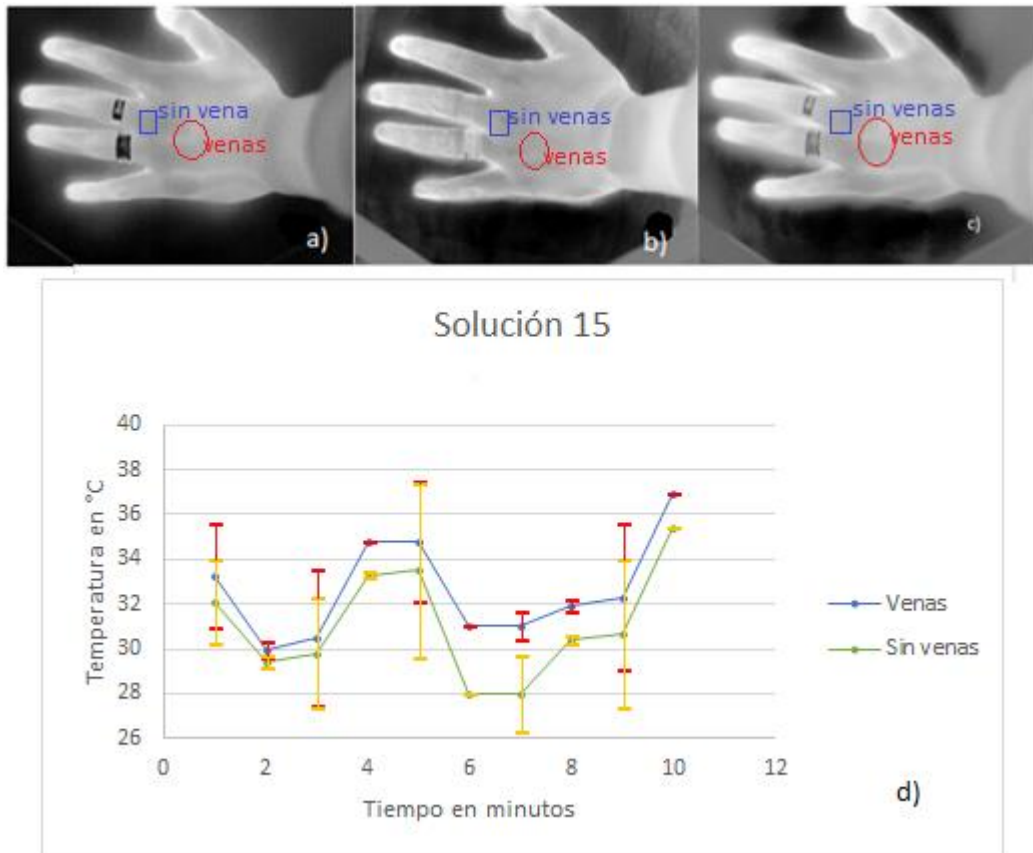


Figura 37. Solución 15 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 16

Figura 38, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de un hombre de 26 años, la sustancia aplicada está compuesta por tintura de hamamelis con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación después de 1 minuto de la aplicación, presenta el problema deja partículas brillosas y con aroma poco agradable. 38a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 38b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 16, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 38c) muestra después de un minuto la zona donde se



aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas círculo y de la zona sin venas cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste, el círculo rojo muestra las coordenadas donde fueron sacados los valores para evaluar el cambio de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 38d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, nos muestra que en el primer minuto existe un cambio, en el minuto dos no hay cambios hasta el minuto tres, cinco, seis, ocho, nueve y diez, los minutos cuatro y siete son donde no hay un cambio de contraste.

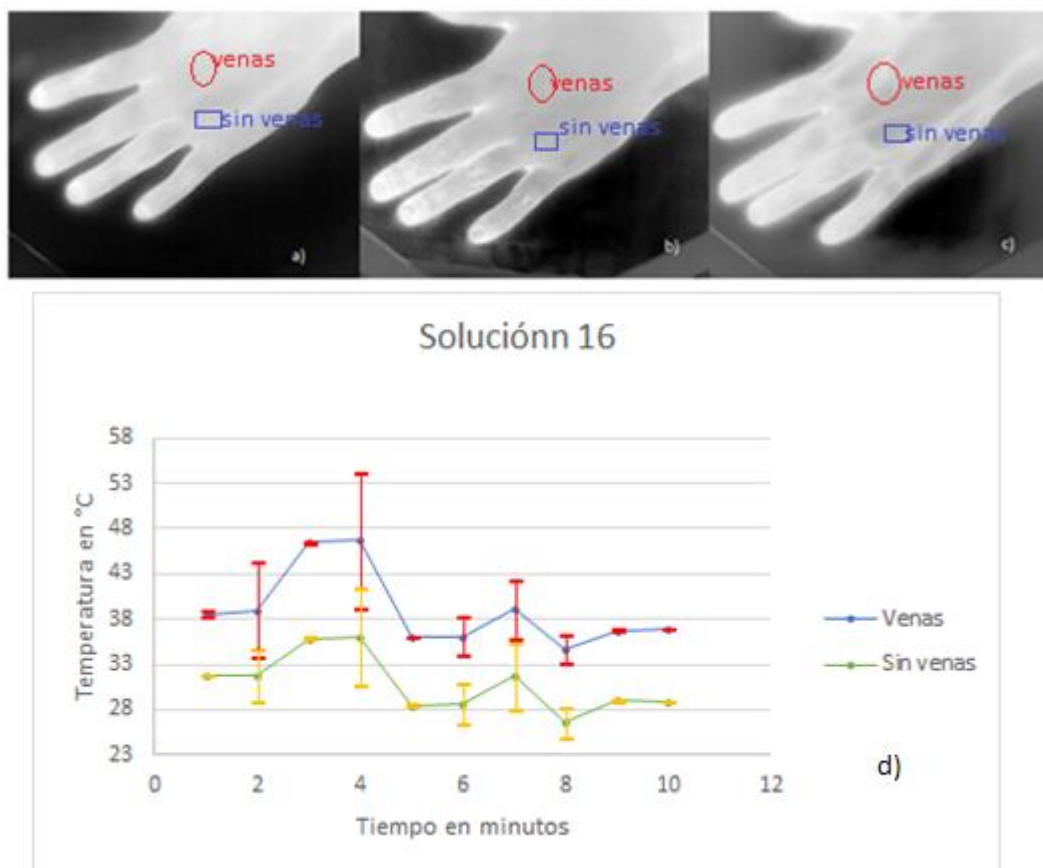


Figura 38. Solución 16 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después del 1 minuto de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### *Solución 17*

Figura 38, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 20 años, la sustancia aplicada está compuesta por castaña de indias, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación durante 10 minutos de la aplicación, con aroma poco agradable. 38a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 38b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 17, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 38c) muestra durante los 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerradas en un círculo y de la zona sin venas encerrado en un cuadrado, podemos decir que no existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 38d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, el comportamiento del minuto uno hasta el minuto seis no se observa mejoramiento de contraste, se observa un pequeño cambio al minuto siete y después al minuto ocho y nueve no se observa cambio alguno hasta el minuto diez.

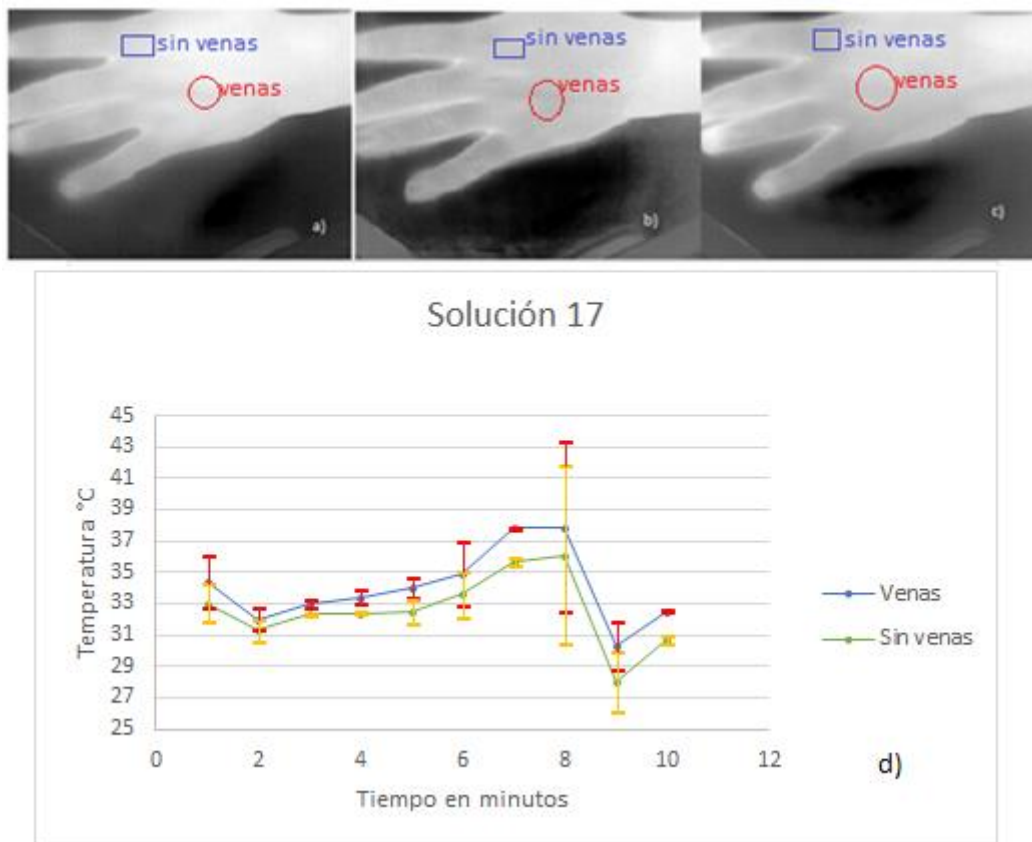


Figura 38. Solución 17 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### Solución 18

Figura 39, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 30 años, la sustancia aplicada está compuesta por tintura de belladona, con esta solución se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación durante 10 minutos de la aplicación, con aroma poco agradable. 39a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 39b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 18, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 39c) muestra a los de 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la

zona aplicada un cambio de emisión de la venas en círculo y de la zona sin venas en cuadrado, podemos decir que existe un mejoramiento de contraste valores que arrojan las coordenadas donde está el círculo rojo, los dedos presentan un incremento mayor que la imagen anterior de emisión calórica; 39d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, desde los primeros minutos hasta terminar el experimento se observa un cambio de contraste.

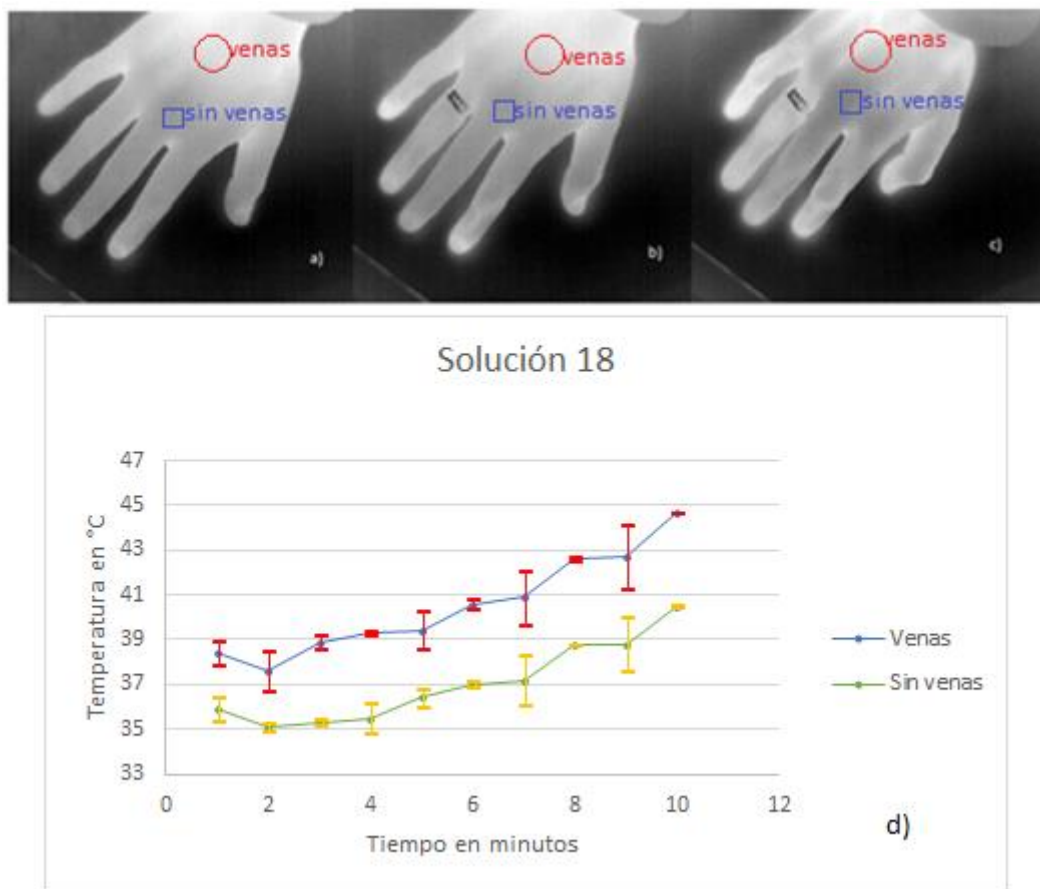


Figura 39. Solución 18 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

### *Solución 19-13*

Figura 40, muestra ejemplos de las imágenes adquiridas de una mujer de 20 años, la sustancia aplicada está compuesta por tintura de hamamelis, tintura de castaña de indias, tinta de belladona, con esta solución no se observan cambios de contraste térmico en la zona de aplicación a los 10 minutos de la aplicación, con aroma poco agradable. 40a) imagen adquirida en estado basal en condiciones normales, 40b) Imagen adquirida inmediatamente después de la aplicación, se presenta la zona más oscura debido a la aplicación de la solución 19-13, y un contraste con la punta de los dedos desde la zona que no fue alcanzada por la solución; 40c) muestra después de 10 minutos la zona donde se aplicó nuestra solución, enseñando la zona aplicada un cambio de emisión de la venas encerradas en un círculo y de la zona sin venas encerradas en un cuadrado, podemos decir que no existe un mejoramiento de contraste, los dedos presentan un menor incremento que la imagen anterior de emisión calórica; 40d) gráfica del comportamiento de la solución en venas y sin venas, en el primer minuto hay un cambio, en los minutos dos, cuatro y ocho muestran que no existe algún cambio alguno en este periodo de tiempo pero se mantiene del minuto cinco al siete un cambio mas duradero, en los minutos nueve y diez empieza nuevamente con este cambio.

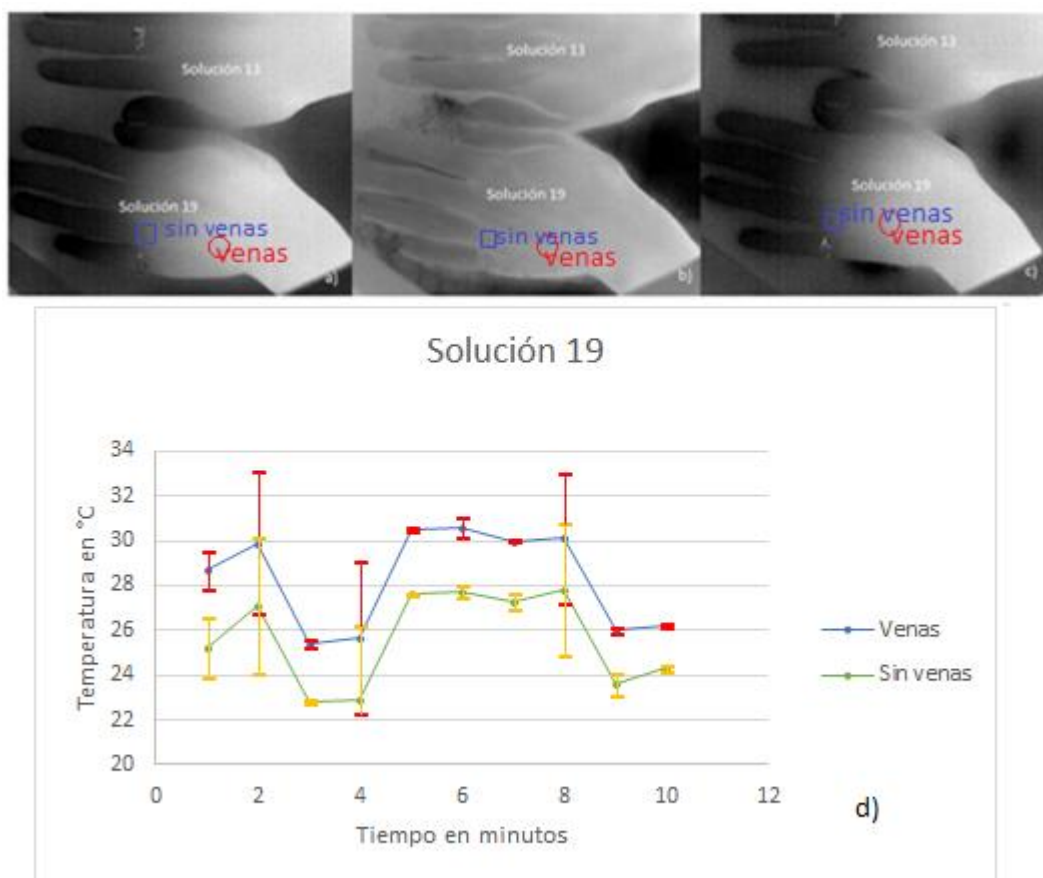


Figura 40. Solución 19-13 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) A los 10 minutos de la aplicación de la solución, d) Gráfica de evaluación del contraste de la solución en venas y no venas durante la fase experimental.

Las soluciones presentadas anteriormente las que presenta mejor cambio de contraste es la solución seis, doce y dieciocho, estas soluciones no se tomaron en cuenta para el estudio de la estabilidad por su composición farmacológica, las soluciones uno, siete, once y trece presentan un mejoramiento de contraste después del primer tiempo, en el caso la solución que se toma para el estudio es la solución trece, la solución uno y once son las soluciones que presenta irritabilidad después de su colocación por lo cual se considera hacer una concentración menor que es la trece para su estudio de estabilidad; las soluciones ocho y nueve no presentan ningún cambio de contraste.

## OTRAS PRUEBAS

Debido a que algunas de las soluciones presentaron efectos adversos al aplicarse, se decidió verificar si estos efectos eran reiterativos en más personas o habían sido casos específicos de la persona, a continuación se presenta este análisis por casos.

### *Caso 1 Inflamación*

Hombre de 25 años, presenta inflamación en la mano después de 20 minutos de la aplicación de la solución 11 compuesta por salicilato de metilo, alcanfor, mentol y eucalipto; antes de la prueba camino una distancia de medio kilómetro del coche hacia el laboratorio, día caluroso (27°C), y arriba con las manos sudando, y aunque se esperaron los 15 minutos de ambientación dentro del laboratorio, presento esta reacción. En la Figura 41 se observa; a) inflamación en mano derecha encerrada en un círculo azul zona afectada; b) comparación entre regiones equivalentes de ambas manos, en la mano derecha se observa un incremento en la emisión de la energía tanto en área afectada como en los dedos de la mano, en la mano izquierda de inicio y si aplicar ninguna solución se observa un buen contraste entre las venas y el tejido circundante. En c) se muestra la imagen de la mano izquierda, el participante presenta un buen contraste térmico sin aplicar solución.

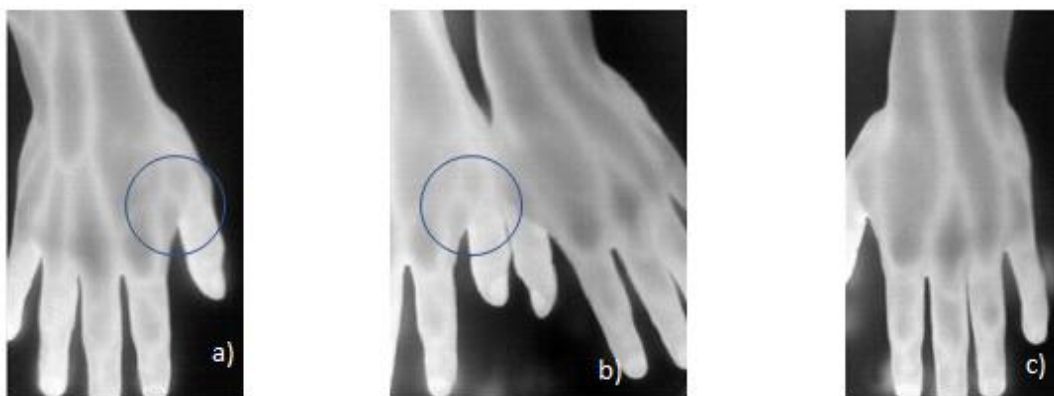


Figura 41. Caso 1, a) Región inflamada rodeada por un círculo azul, b) Comparación entre manos, de lado izquierdo esta la mano lesionada y de lado derecho la mano sin ninguna lesión, c) Mano sin ninguna alteración, se puede observar la región de las venas.

### *Caso 2: Inflamación*

Hombre de 23 años, antes de la toma de las imágenes la persona realizó actividad física (caminata durante 20 minutos) en condiciones ambientales de temperatura alta (27 °C), esto causó, sudor en las manos, y aunque se esperó el tiempo para aclimatarse a las condiciones ambientales del laboratorio se tuvo que al hacer la aplicación de la solución 13 compuesta con salicilato de metilo, alcanfor, mentol y eucalipto; a los 20 minutos se observó inflamación en el dorso de la mano. En la Figura 42 se muestra en a) imagen basal de la mano antes de su aplicación, en b) inmediatamente después de aplicar la solución y por último en c) se muestra la zona afectada por inflamación dentro del círculo azul, aquí podemos ver el cambio de contraste de las venas y puntas de los dedos.

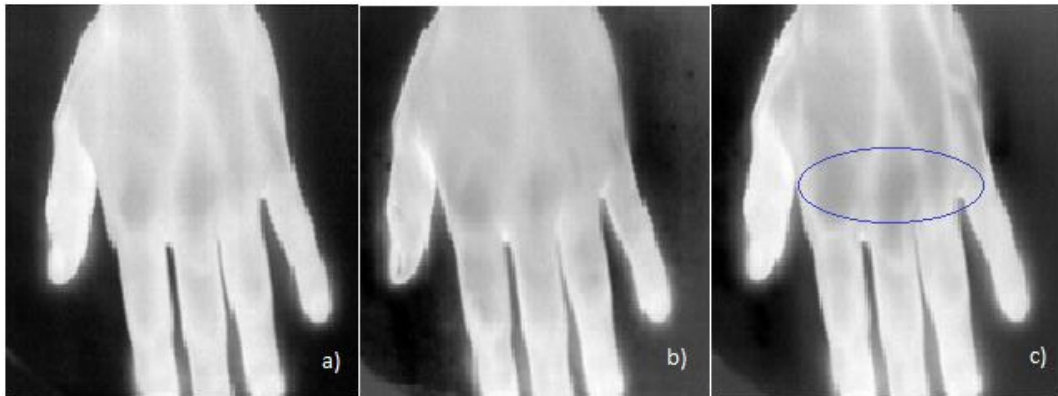


Figura 42. Caso 2 Muestra: a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 20 minutos de la aplicación de la solución y región afectada encerrada por un círculo azul.

En este caso se probó nuevamente la solución al día siguiente, a la misma hora, pero en esta ocasión no existe la actividad física y la solución no presentó este fenómeno de la inflamación.



### *Caso 3: días lluviosos*

Mujer de 29 años, el día que se hizo la prueba, y al momento de aplicar la solución 13, las condiciones ambientales predominantes era temperatura fresca (20 °C) y llovizna, lo que impidió observar algún cambio de contraste de la imagen, lo interesante de esto es el hecho de que esta solución fue la que presentó mayor mejoramiento de contraste y que al final se eligió para ser estudiada en su estabilidad. Además de no ayudar a mejorar el contraste térmico se manifestó una sensación intensa de frescura en la zona de la piel estudiada. En la Figura 43 se muestran las imágenes antes, durante y después de la aplicación de la sustancia observando una prácticamente nula mejora del contraste.

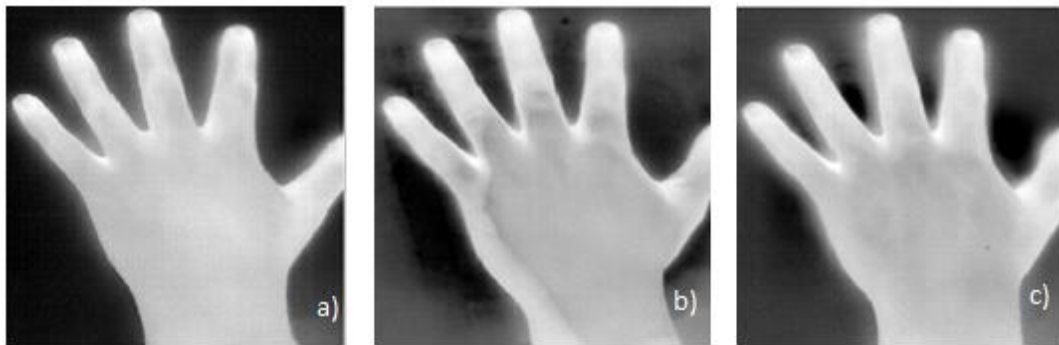


Figura 43. Caso 3, días lluviosos a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 10 minutos de la aplicación de la solución.

### *Caso 4: manos frías*

Mujer de 30 años con la manos frías, La Figura 44 a) parte distal de los dedos fría y el efecto calcetín de esta frialdad se observa en todos los dedos y llega hasta parte del dorso, cuando se aplica la solución en el dorso se observa la formación de una película con el rocío de la solución 13, por 12 minutos no se observa cambio significativo y es hasta d) más de 13 minutos donde se pueden observar tenuemente un contraste negativo sobre las venas subcutáneas, factor que hace suponer que la aplicación de la solución beneficia la vasoconstricción y el calor del tejido se vio favorecido por los capilares de tal manera que la sangre fría va retornando por las venas que se observan negras.

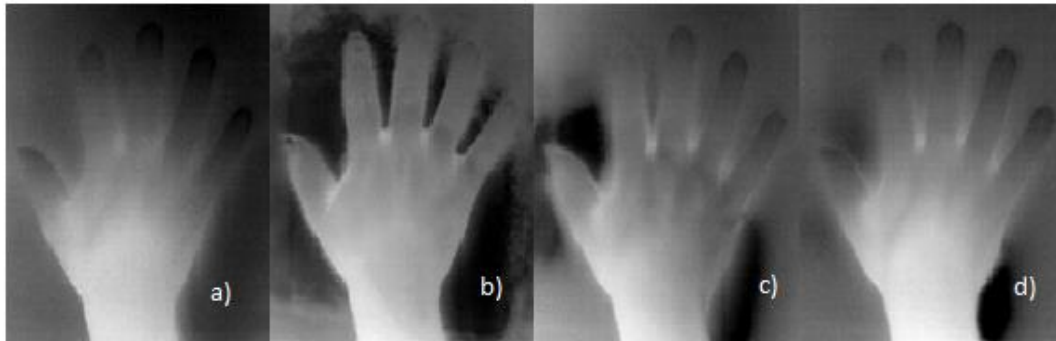


Figura 44. Caso 4, manos frías a). Antes de colocar la solución, b) Durante la aplicación de la solución, c) Después de 5 minutos de la aplicación de la solución y d) después de 13 minutos

Una vez que se analizaron los efectos de todas las soluciones, y su mejora de contraste térmico, se decidió que la solución 13 no presenta ningún efecto secundario por lo que se elige para realizar el análisis de estabilidad usando espectrometría de infrarrojo, estos resultados se muestran más adelante.

## VALIDACIÓN

Para verificar la eficiencia de la mejora de contraste se tomó una muestra estadística usando 156 imágenes, de una misma persona que durante las 3 veces que se analizó presento siempre un comportamiento similar a la aplicación de la solución 13; se fijaron 4 coordenadas dentro de la zona donde se aplica al solución, 2 coordenadas correspondientes a la temperatura en venas SLN-13 (solución 13) y otras dos coordenadas donde no se encuentran venas SLN-13. O (solución 13 sin venas), en la Tabla 7, se presentan los promedios de temperatura leídos a diferentes tiempos en minutos de estas cuatro coordenadas desde el minuto 0 hasta el minuto 10.

Tabla 7. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), sin cuerpo negro en la imagen.

PROMEDIO		
MINUTOS	SLN-13	SLN-13. O
0	27.6	25.9
1	26.8	26.6
2	26.5	25.5
3	25.8	24.4
4	25.2	23.4
5	24.7	23.3
6	24.9	23.4
7	24.6	23.1
8	24.3	22.7
9	24.7	22.9
10	24.6	23.2

En la Figura 45 muestra el grafico de la Tabla 7, indicando la recuperación en venas en la línea azul, mientras que la línea roja corresponde a la zona sin venas donde la temperatura en promedio es un grado centígrado más baja, se observa que al inicio la temperatura se homogeniza debido al pulso térmico que indica el momento cuando se colocó la solución en el dorso de la mano.

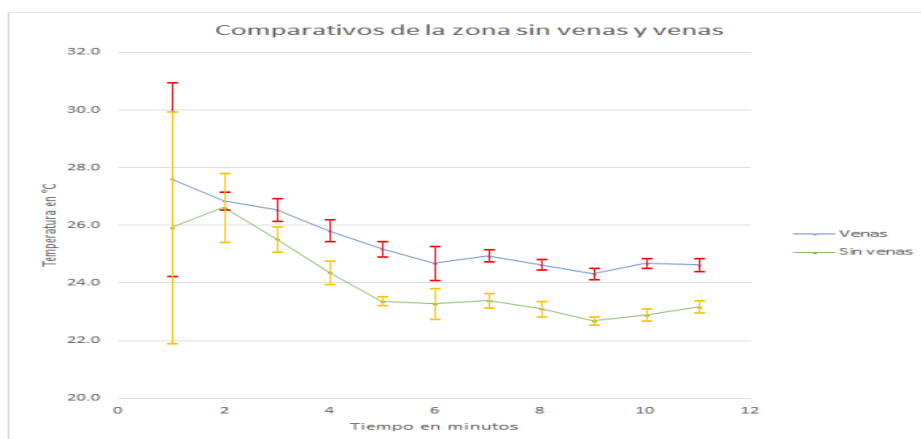


Figura 45. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), sin cuerpo negro en la imagen.

En la Figura 46 se muestran los datos de tiempo y temperatura de las 156 imágenes, de igual manera podemos observar que hay un cambio muy brusco en el primer minuto, esto nos indica cuando se coloca la solución 13.

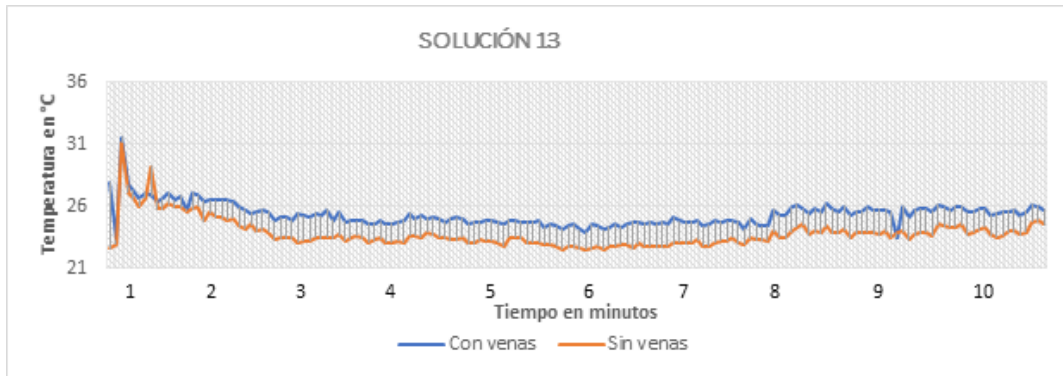


Figura 46. Datos generales del tiempo y temperatura de las imágenes de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), sin cuerpo negro en la imagen.

En la Figura 47 están ejemplos de las imágenes adquiridas en de cero al minuto diez, en la mano se observan en los dedos una intensidad diferente son anillos de la persona; cada imagen cuenta con una escala de temperatura mostrada en la parte derecha y al final de esta escala un número, este valor se refiere al número de imagen capturada por la cámara dada automáticamente. Desde las imágenes se puede apreciar la variación de contraste donde se coloca la solución, en el caso del minuto cero corresponde a la mano en estado basal, al minuto uno es donde se coloca la solución posteriormente las imágenes subsecuentes es la recuperación de la mano después de la colocación de la sustancia, las imágenes corresponden a los datos mencionados en las gráficas anteriores.

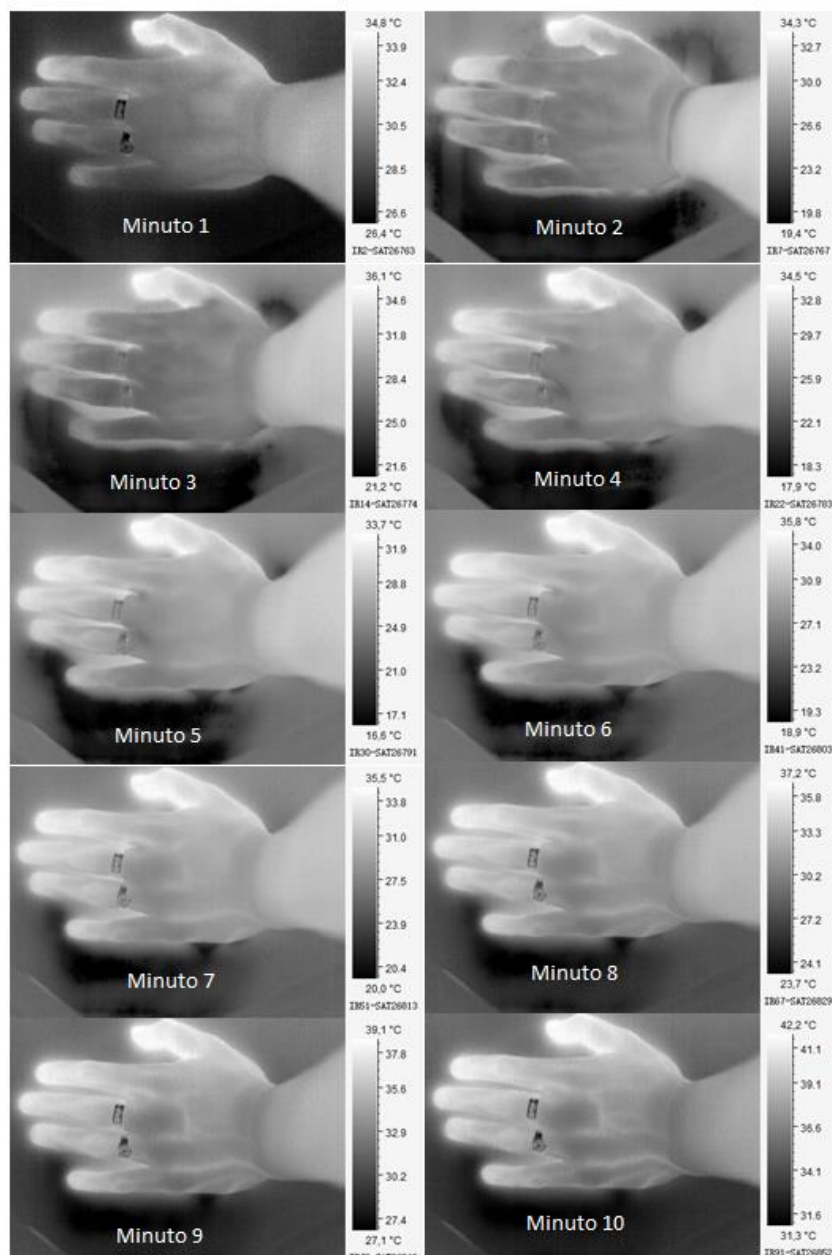


Figura 47. Captura de imágenes del minuto cero al minuto 10

En la Tabla 8 se enlistan los tiempos y promedios de temperatura de la misma solución 13 descrita anteriormente en una prueba realizada un día después, y usando una normalización con cuerpo negro, ya que se evaluó el efecto de la compensación por deriva térmica de la cámara de infrarrojo, lo que puede causar una mala interpretación de los resultados, una vez normalizadas las imágenes, se obtuvieron las temperaturas

mostradas en la Tabla 8, que como se podrá observar son más altas que el día anterior, probablemente debido a que la cámara se estabilizó de mejor manera teniendo como referencia continua un cuerpo a energía constante, en este caso la columna SLN-13. O la diferencia es que el valor de la temperatura sin venas es con cuerpo negro, tenemos de 0 a 13 minutos con una diferencia de temperaturas entre la vena y el cuerpo negro de uno a dos grados centígrados.

Tabla 8. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), con cuerpo negro (CN) en la imagen.

MINUTOS	SLN-13	SLN-13.O	CN
0	33.5	32.9	25.7
1	30.5	29.7	25.7
2	32.7	30.2	25.7
3	32.8	31.2	25.7
4	34.5	32.8	25.7
5	34.6	32.9	25.7
6	35.1	33.5	25.7
7	35.0	33.5	25.7
8	33.8	33.2	25.7
9	34.7	33.6	25.7
10	34.9	33.7	25.7

En la figura 48 nos muestra el grafico de la tabla 8, los valores promedios de la solución 13 con venas y sin venas, en este caso la solución 13.O nos indica el cuerpo negro a diferencia del anterior, en este caso tienen el mismo comportamiento, existe una variación de temperatura al minuto uno, pero después se fue recuperando, en línea azul hay una diferencia aproximadamente de un grado a dos grados.

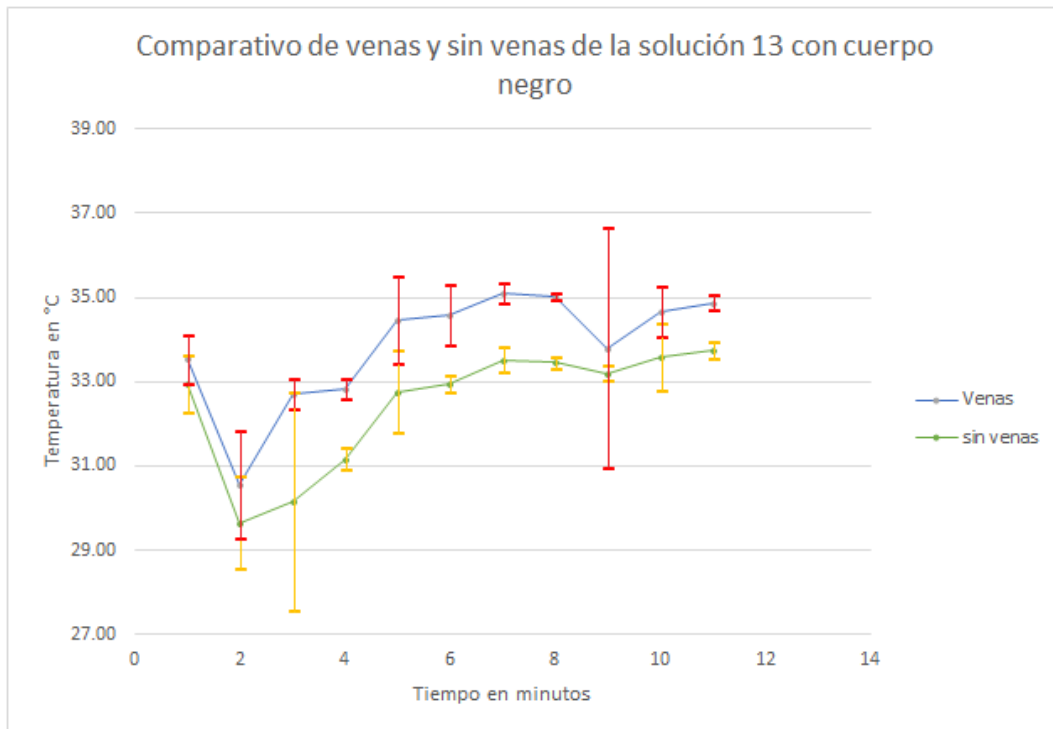


Figura 48. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), con cuerpo negro en la imagen.

En la figura 49 nos muestra los datos generales de las imágenes en la cual existe un cambio de temperatura, en el primero a los dos minutos que corresponde a valor sin venas y en el segundo cambio en el minuto 8 que corresponde al de las venas, pero cuentan con el mismo comportamiento.

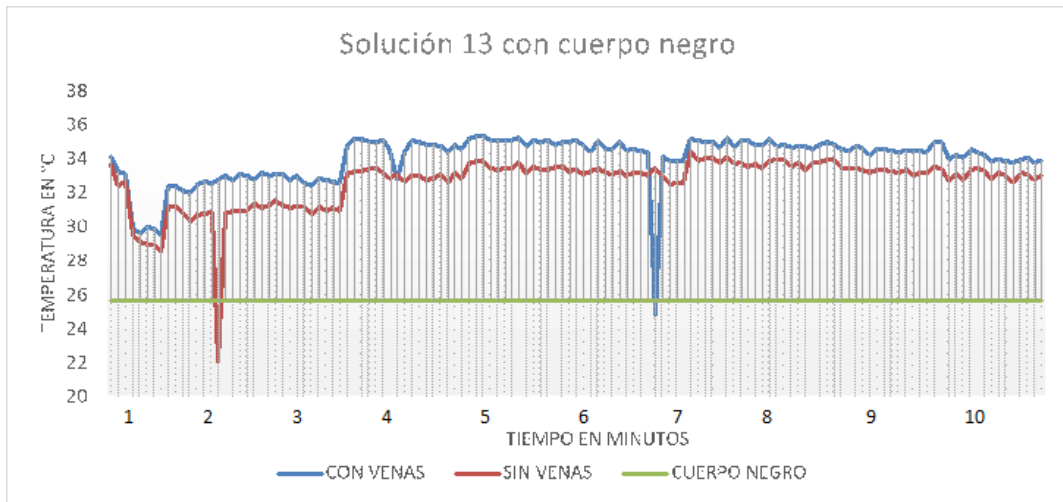


Figura 49. Datos generales del tiempo y temperatura de las imágenes de la solución 13 en venas (SLN-13) y sin venas (SLN-13. O), con cuerpo negro en la imagen.

Figura 50 se observa las imágenes de la captura desde el minuto cero hasta el minuto diez, en el minuto uno se encuentra en estado normal la mano, es decir, no existe alguna modificación en la piel, tenemos el cuerpo negro en la parte superior de la mano observar de mejor manera la recuperación de la mano.



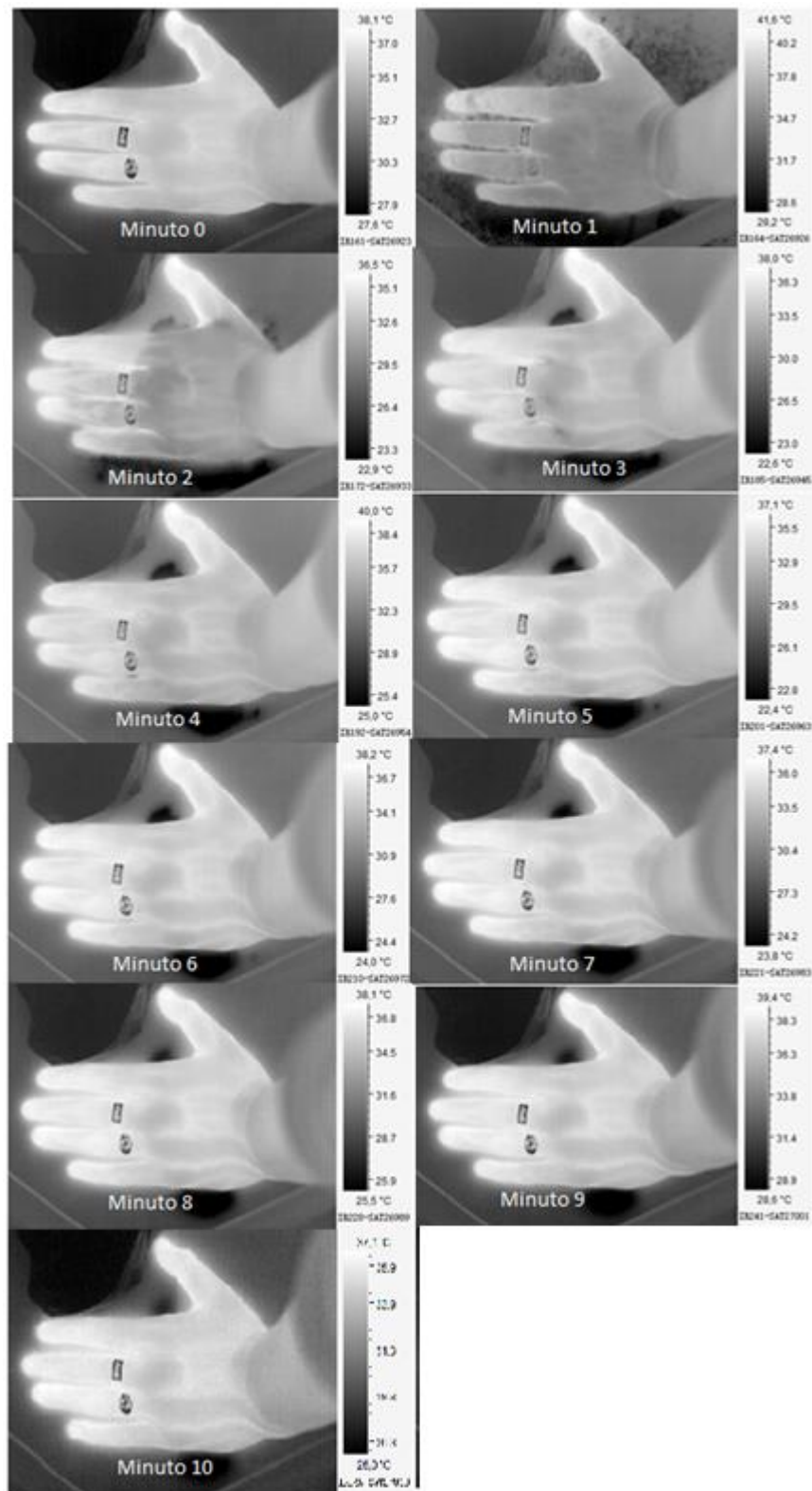


Figura 50. Imágenes que describen la recuperación desde el minuto cero al minuto diez.

Se hace una comparativa con otra solución para encontrar el mejoramiento de contraste en este caso con la solución 16 por consiguiente tenemos la tabla 9 donde nos indica la solución 16 con venas y el indicativo con SLN-16. O (solución 16 sin venas) y CN es el cuerpo negro, indicando la diferencia de 1 grado

Tabla 9. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 16 en venas (SLN-16) y sin venas (SLN-16. O) y CN (cuerpo negro en la imagen).

MINUTOS	SLN-16	SLN-16.O	CN
0	29.2	28.9	24.0
1	25.1	24.9	24.0
2	24.8	24.1	24.0
3	26.5	25.5	24.0
4	28.4	27.2	24.0
5	27.3	26.4	24.0
6	26.7	25.8	24.0
7	28.4	27.3	24.0
8	27.9	27.0	24.0
9	29.2	28.3	24.0
10	28.5	27.7	24.0

La figura 51 nos muestra la gráfica de la tabla 9 donde podemos observar una repentina baja de temperatura al minuto 1 posteriormente se fue recuperando teniendo un comportamiento similar.

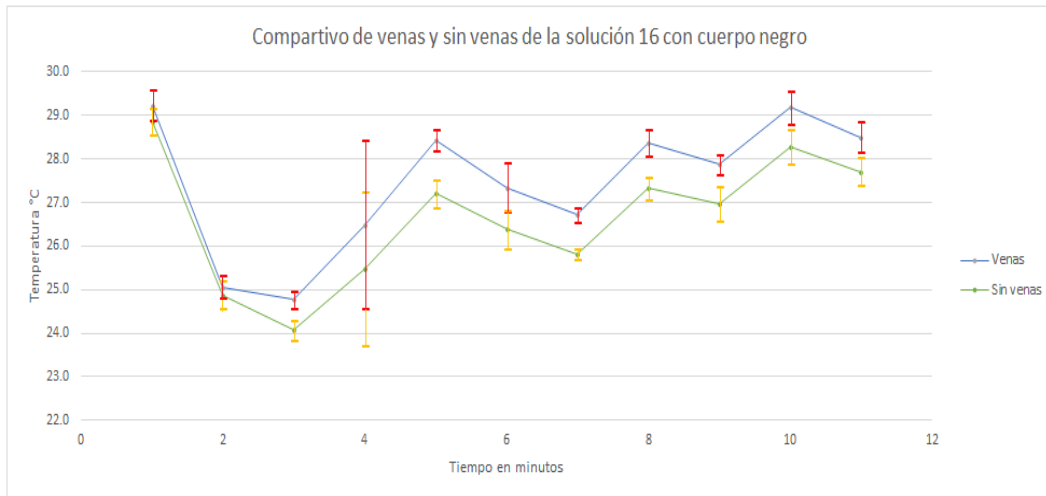


Figura 51. Promedio de tiempo y temperatura de la solución 16 en venas (SLN-16) y sin venas (SLN-16. O), con cuerpo negro en la imagen.

La figura 52 nos muestra los datos generales de los minutos de las imágenes y su recuperación durante los 13 minutos, mostrando un comportamiento similar en todo el proceso de adquisición de las imágenes, lo que se observa más pronunciadamente al minuto uno es cuando se coloca la solución y posteriormente se recupera de igual manera en vena y donde no hay venas.

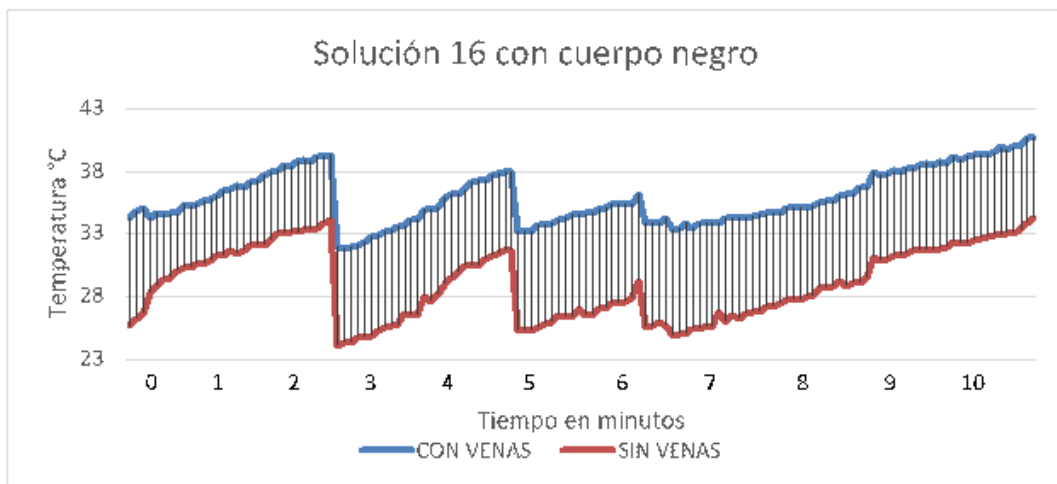


Figura 52. Datos generales del tiempo y temperatura de las imágenes de la solución 16 en venas (SLN-16) y sin venas (SLN-16. O), con cuerpo negro en la imagen.

Imagen 53 nos indica la secuencia de imágenes captadas en la fase experimental de la solución 16, esta nos indica la recuperación en el transcurso de once minutos, desde el minuto cero el cual no se coloca nada de solución hasta la recuperación de once minutos

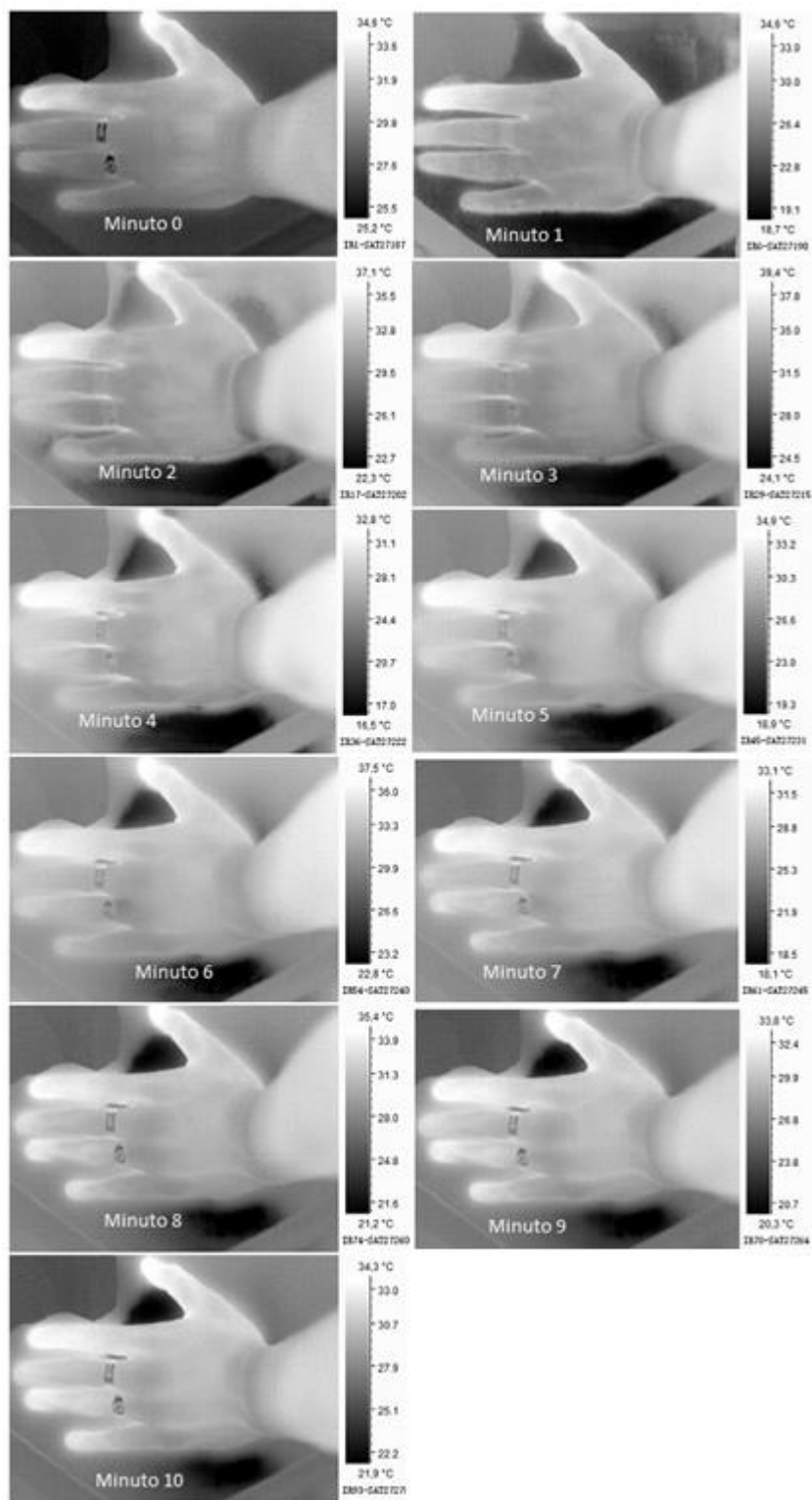


Figura 53. Captura de imágenes en la fase experimental de la aplicación de la solución 16.

# *Capítulo V*

## *Conclusiones y Trabajo a Futuro.*

*“Nada en la vida debe ser temido, solamente comprendido. Ahora es el momento de comprender más, para temer menos”.*

*Marie Curie.*

En la termografía infrarroja como en otros tipos de imagen, el contraste de la escena es uno de los elementos más importantes para el posterior análisis e interpretación de la información obtenida desde la imagen, hay un cambio de falso color o cambio en escala de grises observando en la imagen un cambio de equilibrio térmico, donde la intensidad de escala de grises nos indica un parámetro de distribución de la perfusión sanguínea, así mismo, dando el cambio térmico de la superficie más frío o más caliente dependiendo lo que se esté buscando. El resplandor de la piel humana es una función de temperatura de superficie que a su vez es influenciado por el nivel de perfusión sanguínea de la piel, dicha imagen térmica es adecuada para detectar alguna perfusión sanguínea alguna inflamación, derrame o tumor. Un claro ejemplo de su aplicaciones es en cáncer de mama, ya que la termografía es considerada la más efectiva como método de diagnóstico para detección de cáncer de mama, en un termo grama o imagen captada por la cámara infrarroja da la visualización específica del área afectada mostrando anomalías como la densidad del tejido así como la evaluación térmica emitida de un tumor o el tamaño del mismo, cabe mencionar que uno de los factores a cuidar es la sudoración emitida del cuerpo porque el sistema de infrarrojo detecta el vapor del sudor (agua es un reflector) evitando la captura de la imagen, también los cuerpos reflectores (como: metales, vidrio, acabados brillantes) por otro lado pueden crear confusión al permitirnos ver demasiado al duplicar y, a veces, triplicar los objetos en el plano focal. Una de las ventajas de la utilización de la termografía es su bajo costo y tiempo, prevención a temprana edad, procedimiento no invasivo. En este trabajo se hace una serie de experimentos para encontrar una solución de mejoramiento de contraste, dicha sustancia modifica los vasos sanguíneos y activa los receptores específicos de temperatura (TRPV1, TRPM8 y TRPA1) del sistema nervioso, el fenómeno causado por esta sustancia da la sensación fresca y a su vez vasodilata la zona donde se aplica de acuerdo a la literatura de los principios activos utilizados, el tiempo de duración de este fenómeno es de 1 a 3 horas después de su aplicación.

En la fase experimental de utilizar diversas soluciones y concentraciones nos damos cuenta de que el tiempo en reaccionar en la zona aplicada es tardado. En el caso de las soluciones tenemos que: La solución uno de la composición fresca y aroma agradable es favorable para el cambio de contraste pero su concentración de principio activo es

agresiva para la piel, dejando irritada y con la sensación de fría todo el día. Por consiguiente se realizó a ser menor la concentración de la solución uno dando la solución once, en esta solución se puede observar de mejor manera el contraste pero de igual manera que la anterior, irrita la piel después de la aplicación y deja la sensación fresca durante el día; al seguir viendo estos fenómenos se propuso la solución trece que es la concentración baja permisible de acuerdo a los principios activos que componen esta solución obteniendo como resultados que en la piel no irrita después de la aplicación y la sensación de frescura es durable tres horas.

Para trabajo a futuro es proponer una solución que mejore el contraste en menor tiempo, ya que la solución propuesta para el estudio de estabilidad empieza a observarse a partir del minuto dos. Para el análisis de dichas solución es proponer que se tome una región de interés mas amplia y se haga una repetición a diferentes horas del día con dicha solución.

Realizar un procesamiento de imágenes mas formal con el formato que la cámara nos mande, es decir, con la imagen convertida a X.bmp y trabajar una región específica.

Hacer un análisis estadístico mas profundo y específico de la soluciones junto con las condiciones ambientales donde se realiza el experimento.



## BLIOGRAFÍA

- Abdel-Nasser, M., Saleh, A., Moreno, A., & Puig, D. (2016). Automatic nipple detection in breast thermograms. *Expert Systems with Applications*, *64*, 365-374. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.026>
- Acofarma. (2010, noviembre). Ficha de datos de seguridad del Mentol.
- Alberto A. Sánchez García. (2017, octubre). Anatomía de la glandula mamaria [Informativa]. Recuperado a partir de <https://kaizentherapeuticcenter.com/2017/10/27/entender-la-mastitis-en-la-lactancia/>
- American Cancer Society. (2017, noviembre). Imágenes por resonancia magnética (MRI) de los senos. Recuperado a partir de <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-seno/pruebas-de-deteccion-y-deteccion-temprana-del-cancer-de-seno/imagenes-por-resonancia-magnetica-de-los-senos.html>
- Arif, S., Qudsia, S., Urooj, S., Chaudry, N., Arshad, A., & Andleeb, S. (2015). Blueprint of quartz crystal microbalance biosensor for early detection of breast cancer through salivary autoantibodies against ATP6AP1. *Biosensors and Bioelectronics*, *65*, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.09.088>
- Besure.testo Academia online. (2018). Radiación infrarroja en el espectro de ondas (2) [Educativa]. Recuperado a partir de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/radiacion-infrarroja-en-el-espectro-de-ondas-2>
- Boreman, G. D. (1999). *Fundamentos de electro-óptica para ingenieros* (Versión en español). Bellingham, WA: SPIE.
- breastcancer.org. (noviembre2017). Diagnóstico del CDIS [breastcancer.org]. Recuperado a partir de <http://www.breastcancer.org/es/sintomas/tipos/cdis/diagnostico>
- Carlomagno, G. M., & Cardone, G. (2010). Infrared thermography for convective heat transfer measurements. *Experiments in Fluids*, *49*(6), 1187-1218. <https://doi.org/10.1007/s00348-010-0912-2>
- cofepris. (2003). GUÍA TRIPARTITA ARMONIZADA DE LA ICH EVALUACIÓN DE DATOS DE ESTABILIDAD Q1E. Recuperado a partir de [http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/Guias/Q1E\\_Guideline.pdf\\_ES-MX.PDF](http://www.cofepris.gob.mx/AS/Documents/RegistroSanitarioMedicamentos/Guias/Q1E_Guideline.pdf_ES-MX.PDF)
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (2018). NORMA Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2005, Estabilidad de fármacos y medicamentos (modifica a la NOM-073-SSA1-1993, Estabilidad de medicamentos, publicada el 3 de agosto de 1996). NOM. Recuperado a partir de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/073ssa105.html>
- Compendio de Patología Mamaria*. (2002) (primera). México, D.F.: Salud. Recuperado a partir de

- <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/15141/CompendioPatologiaMamariaCNEGSR.pdf>
- Cotran, R. S., Kumar, V., & Robbins, S. L. (1990a). *Robbins, patología estructural y funcional, cuarta edición*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill.
- Cotran, R. S., Kumar, V., & Robbins, S. L. (1990b). *Robbins, patología estructural y funcional, cuarta edición*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill.
- Emory Winship Cancer Institute. (2018). La imagen del ultrasonido [Medicá]. Recuperado a partir de <https://www.cancerquest.org/es/para-los-pacientes/deteccion-y-diagnosisis/ultrasonido>
- Fernando Cerveró. (1998). Definiendo el papel de la sustancia P en el dolor. *R e v. Soc. Esp. Dolor*, 5, 269-270.
- Fisiología Humana*. (1987) (6a ed.). México, D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Fokaides, P. A., & Kalogirou, S. A. (2011). Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. *Applied Energy*, 88(12), 4358-4365. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.014>
- Giansanti, D., Maccioni, G., & Gigante, G. E. (2006). A comparative study for the development of a thermal odoscope for the wearable dynamic thermography monitoring. *Medical Engineering & Physics*, 28(4), 363-371. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2005.07.003>
- Gokul Raj, K., Chidambaram, R., Varunkumar, K., Ravikumar, V., & Pandi, M. (2015). Chemopreventive potential of fungal taxol against 7, 12-dimethylbenz[a]anthracene induced mammary gland carcinogenesis in Sprague Dawley rats. *European Journal of Pharmacology*, 767, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.10.015>
- GTM. (2016, marzo). Hoja de seguridad del mentol.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer* (4. ed). New York: Wiley.
- INEGI. (2018). *Defunciones de mujeres por tumor maligno de la mama por entidad federativa de residencia habitual de la persona fallecida y grupo quinquenal de edad, 2010 a 2016*. Guanajuato. Recuperado a partir de [http://www.beta.inegi.org.mx/app/tabulados/pxweb/inicio.html?rxid=75ada3fe-1e52-41b3-bf27-4cda26e957a7&db=Mortalidad&px=Mortalidad\\_5](http://www.beta.inegi.org.mx/app/tabulados/pxweb/inicio.html?rxid=75ada3fe-1e52-41b3-bf27-4cda26e957a7&db=Mortalidad&px=Mortalidad_5)
- Instituto Nacional de Cancer. (2017, noviembre). Cáncer. *Diccionario de Cáncer*. EE.UU. Recuperado a partir de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/cancer>
- Joseph A Sparano. (2017). Breast cancer staging [Medicá]. Recuperado a partir de <https://emedicine.medscape.com/article/2007112-overview>
- Katrašnik, J., Bürmen, M., Pernuš, F., & Likar, B. (2009). Contrast enhancement of subcutaneous blood vessel images by means of visible and near-infrared hyper-spectral imaging. En J. P. W. Pluim & B. M. Dawant (Eds.) (p. 725927). <https://doi.org/10.1117/12.812438>
- Kelly Zambrano Zambrano. (2017). Anatomía de la mama [Informativa]. Recuperado a partir de <https://www.monografias.com/trabajos102/el-aparato-reproductor-femenino/el-aparato-reproductor-femenino2.shtml>

- Kennedy, D. A., Lee, T., & Seely, D. (2009). A Comparative Review of Thermography as a Breast Cancer Screening Technique. *Integrative Cancer Therapies*, 8(1), 9-16. <https://doi.org/10.1177/1534735408326171>
- Kermani, S., Samadzadehaghdam, N., & EtehadTavakol, M. (2015). Automatic color segmentation of breast infrared images using a Gaussian mixture model. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 126(21), 3288-3294. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.08.007>
- Korkmaz, S. A., & Korkmaz, M. F. (2015). A new method based cancer detection in mammogram textures by finding feature weights and using Kullback–Leibler measure with kernel estimation. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 126(20), 2576-2583. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.06.034>
- Krawczyk, B., & Schaefer, G. (2014). A hybrid classifier committee for analysing asymmetry features in breast thermograms. *Applied Soft Computing*, 20, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.11.011>
- Mainiero, M. B., Lourenco, A., Mahoney, M. C., Newell, M. S., Bailey, L., Barke, L. D., ... Haffty, B. G. (2013). ACR Appropriateness Criteria Breast Cancer Screening. *Journal of the American College of Radiology*, 10(1), 11-14. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2012.09.036>
- MedlinePlus. (2017). Resonancia magnética de las mamas [Enciclopedia]. Recuperado a partir de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007360.htm>
- Mescher, A. L., & Junqueira, L. C. U. (2013). *Junqueira's basic histology: text and atlas* (13. ed). New York, NY: McGraw-Hill Medical.
- Mittal, S., Kaur, H., Gautam, N., & Mantha, A. K. (2017). Biosensors for breast cancer diagnosis: A review of bioreceptors, biotransducers and signal amplification strategies. *Biosensors and Bioelectronics*, 88, 217-231. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.08.028>
- Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2010). *Clinically oriented anatomy: includes online access to the fully searchable text, review questions, case studies, images, and more!* (6. ed., internat. ed). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Natalben. (2018, mayo). Glandula mamaria [Informativa]. Recuperado a partir de <https://www.natalben.com/como-es-pecho-mujer>
- National Center for Biotechnology Information. (2017a, noviembre). Camphor [Educativa]. Recuperado a partir de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2537>
- National Center for Biotechnology Information. (2017b, noviembre). Menthol [Educativa]. Recuperado a partir de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11228933>
- National Center for Biotechnology Information. (2017c, noviembre). Metyl Salicylate [Educativa]. Recuperado a partir de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4133>
- O'Connell, A. M., Conover, D. L., & Linda Lin, C.-F. (2009). Cone-Beam Computed Tomography for Breast Imaging. *Journal of Radiology Nursing*, 28(1), 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.jradnu.2008.12.003>
- Oxford living Dictionaries. (2018). Definiciones. *Oxford living Dictionaries* (Oxford). Oxford University Press. Recuperado a partir de <https://es.oxforddictionaries.com/>

- Rajmanova, P., Nudzikova, P., & Vala, D. (2015). Application and Technology of Thermal Imagine Camera in Medicine. *IFAC-PapersOnLine*, 48(4), 492-497. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.083>
- Rastghalam, R., & Pourghassem, H. (2016). Breast cancer detection using MRF-based probable texture feature and decision-level fusion-based classification using HMM on thermography images. *Pattern Recognition*, 51, 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2015.09.009>
- Rose, S. L. (2007). Breast Imaging in the New Millennium: Separating the Hype from Reality. *Journal of Hand Therapy*, 20(2), 180-185. <https://doi.org/10.1197/j.jht.2007.05.001>
- Ross, M. H., & Pawlina, W. (2016). *Histology: a text and atlas ; with correlated cell and molecular biology* (Seventh edition). Philadelphia: Wolters Kluwer Health.
- Roth. (2015, julio). Ficha de datos de seguridad de L-mentol.
- Ruy Pérez Tamayo. (s. f.). Evolución histórica de la patología. En *Principios de Patología* (4.ª ed., pp. 3-9). Panamericana-UNAM.
- SATIR. (2017). User´s manual YRH Series. SATIR. Recuperado a partir de <https://satir.com>
- Schnitt, S. J. (2010). Classification and prognosis of invasive breast cancer: from morphology to molecular taxonomy. *Modern Pathology*, 23(S2), S60-S64. <https://doi.org/10.1038/modpathol.2010.33>
- Subsecretaría de Salud Pública. (2006). RESOLUCIÓN EXENTA 1773, D.O. del 13/03/2006. APRUEBA 3ª GUIA PARA LA REALIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS EN CHILE. Diario Oficial.
- Suganthi, S. S., & Ramakrishnan, S. (2014). Anisotropic diffusion filter based edge enhancement for segmentation of breast thermogram using level sets. *Biomedical Signal Processing and Control*, 10, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2014.01.008>
- Tan, T., Quek, C., Ng, G., & Ng, E. (2007). A novel cognitive interpretation of breast cancer thermography with complementary learning fuzzy neural memory structure. *Expert Systems with Applications*, 33(3), 652-666. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.06.012>
- Taringa. (2018). Espectro electromagnético: lo que vemos y lo que no vemos [Educativa]. Recuperado a partir de <https://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/16149237/Espectro-electromagnetico-lo-que-vemos-y-lo-que-no-vemos.html>
- Tisserand, R., & Young, R. (2014). Essential oil profiles. En *Essential Oil Safety* (pp. 187-482). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-06241-4.00013-8>
- Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., & Bulnes, F. (2014). Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. *Sensors*, 14(12), 12305-12348. <https://doi.org/10.3390/s140712305>
- Villaseñor-Mora, C. (2013). Procedure to diagnose onychomycosis through changes in emissivity on infrared images. *Journal of Biomedical Optics*, 18(11), 116005. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.18.11.116005>
- Villaseñor-Mora, C., Sanchez-Marin, F. J., & Garay-Sevilla, M. E. (2008). Contrast enhancement of mid and far infrared images of subcutaneous veins. *Infrared Physics & Technology*, 51(3), 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2007.07.006>

wzar. (2017). Histología de la mama [Informativa]. Recuperado a partir de [http://wzar.unizar.es/acad/histologia/paginas\\_he/08\\_ApGenFem/GIMamaria/GIMamariaR1\\_04etq.htm](http://wzar.unizar.es/acad/histologia/paginas_he/08_ApGenFem/GIMamaria/GIMamariaR1_04etq.htm),





Asunto: aprobación de trabajo de tesis  
León, Gto., a 18 de junio de 2018

**DR. DAVID DELEPINE**  
**DIRECTOR DE LA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**  
**CAMPUS LEÓN**  
**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO**

Respetable Dr. Delepine:

En mi carácter de revisor del trabajo de tesis de licenciatura presentado por la alumna **Ana Rosa Rangel Argueta**, para optar por el grado de maestra en Ciencias Aplicadas y cuyo título es:

***Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones Médicas***

me permito comunicarle que considero que dicha tesis reúne los requisitos y méritos suficientes para poder continuar con sus trámites de solicitud de examen de grado.

Agradezco mucho su atención y aprovecho para enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE  
"LA VERDAD OS HARÁ LIBRES"

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del Dr. Víctor Hugo Hernández González.

**DR. VÍCTOR HUGO HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**  
**PROFESOR INVESTIGADOR**



León, Guanajuato, a 18 de junio de 2018

**Dr. David Yves Ghislain Delepine**  
**Director División de Ciencias e Ingenierías**  
**Campus León**  
**PRESENTE:**

Como revisora del trabajo de Tesis titulado: *“Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones Médicas”* que presenta la **QFB. Ana Rosa Rangel Argueta** para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Aplicadas**, manifiesto que cumple con los requisitos que exige nuestra institución, por lo que avalo se realice la defensa pública de esta tesis, para obtener el grado mencionado.

Atentamente

“La verdad os hará libres”

Una firma manuscrita en tinta que parece ser 'SAL' con un símbolo adicional.

**Dra. Silvia Alejandra López Juárez**

Profesora – Investigadora





León, Guanajuato, a 18 de junio de 2018

**Dr. David Yves Ghislain Delepine**  
**Director División de Ciencias e Ingenierías**  
**Campus León**  
**PRESENTE:**

Como revisor del trabajo de Tesis titulado: *“Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones Médicas”* que presenta la **QFB. Ana Rosa Rangel Argueta** para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Aplicadas**, manifiesto que cumple con los requisitos que exige nuestra institución, por lo que avalo se realice la defensa pública de esta tesis, para obtener el grado mencionado.

Atentamente

“La verdad os hará libres”

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser la de Miguel Ángel Vallejo Hernández.

**Dr. Miguel Ángel Vallejo Hernández.**

Profesor – Investigador



León, Guanajuato, a 18 de junio de 2018

**Dr. David Yves Ghislain Delepine**  
**Director División de Ciencias e Ingenierías**  
**Campus León**

**PRESENTE:**

Por medio de este documento hago constar que una vez revisado el trabajo de Tesis titulado: *“Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones Médicas”* que presenta la **QFB. Ana Rosa Rangel Argueta** para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Aplicadas**, lo encuentro satisfactorio y considero que cumple con los criterios de originalidad y calidad que exige nuestra institución, por lo que avalo se realice la defensa pública de esta tesis, para obtener el grado mencionado.

Atentamente

“La verdad os hará libres”

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del Dr. Carlos Villaseñor Mora.

**Dr. Carlos Villaseñor Mora**

Profesor – Investigador Titular A



UNIVERSIDAD  
DE GUANAJUATO

Campus León  
División de Ciencias e Ingenierías

**Oficio número: AGV-06-002**

**Asunto: Carta conformidad**

Tesis de Maestría en Ciencias Aplicadas de la estudiante Ana Rosa Rangel Argueta.

León Gto., junio 19, 2018.

**DR. DAVID YVES GHISLAIN DELEPINE  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍAS  
CAMPUS LEÓN  
PRESENTE**

Estimado Dr. Delepine:

Sirva la presente para hacer de su conocimiento que he revisado el trabajo titulado **“Mejoramiento de Contraste en Imágenes Térmicas para Aplicaciones Médicas”** que para obtener el grado de Maestro en Ciencias pone a consideración la **QFB. Ana Rosa Rangel Argueta.**

Le comunico que en mi opinión el trabajo reúne las características de nivel y calidad necesarias para una tesis de maestría. Asimismo, he discutido con la **QFB. Rangel** algunos aspectos de su trabajo y le he indicado las correcciones que considero pertinentes, las cuales ha incluido en la versión final del trabajo. De esta manera no tengo objeciones para la presentación del mismo de acuerdo a la reglamentación respectiva.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me despido

A T E N T A M E N T E.  
“LA VERDAD OS HARÁ LIBRES”

Dr. Arturo González Vega  
Profesor del DIQEB

C.c.p Ana Rosa Rangel Argueta  
C.c.p. Archivo AGV.

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS QUÍMICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA**

Lomas del Bosque #103,

Lomas de Campestre, León Gto.

C.P. 37150

(477) 788 5100 Ext. 8435, Fax. Ext. 8410

www.diqeb.ugto.mx