

**SISTEMA DE MONITOREO TERMOGRAFICO DE NEONATOS  
A TRAVÉS DE UNA RED LOCAL DE COMPUTADORES**



**Johnny Fernando Burbano Fierro**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2003**

**SISTEMA DE MONITOREO TERMOGRAFICO DE NEONATOS  
A TRAVÉS DE UNA RED LOCAL DE COMPUTADORES**

**Johnny Fernando Burbano Fierro**

Trabajo de Grado  
Presentado como requisito  
Parcial para optar al título de  
Ingeniero Físico

**Director:  
Ing. Mario Andrés Córdoba G.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2003**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Director**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Fecha de sustentación: 29 de Octubre de 2003**

## AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar mis más sentidos agradecimientos por su colaboración en el desarrollo de este trabajo a:

- La Universidad del Cauca por permitirme hacer parte de una institución idónea para la preparación profesional y humana.
- El Departamento de Física por darme los conocimientos necesarios para la formación como Ingeniero Físico.
- El Grupo de Instrumentación y Control – I+D – por el apoyo brindado para la elección y desarrollo del proyecto. Al Ingeniero Mario Andrés Córdoba por su colaboración y sus aportes, al profesor Hermes Sandoval y Edgar Matallana por sus concejos e interés por la evolución del trabajo.
- La Empresa de Análisis Termograficos Predictivos – ANTER LTDA. –, principalmente al Ing. Jaime Millán V., Gerente General, por el interés mostrado por el proyecto y por permitirme trabajar con los equipos de su propiedad y a los Ingenieros de Diagnostico, Néstor Raúl Vidal y William Montealegre por su capacitación y aportes.
- La Clínica Materno Infantil Los Farallones S.A., especialmente al Dr. Jaime Alberto Bastidas, Gerente de Servicios Médicos por tener en cuenta la propuesta y al comité de ética por aprobar el trabajo. Agradezco también a la Enfermera Jefe de la Unidad de Recién Nacidos Edith Vargas por su colaboración a la hora del registro de los termogramas.
- Ing. Giovanny López Perafán, Jefe del Departamento de Transmisión de la Facultad de Ingeniería Electrónica, por brindarme información y ayuda para establecer los parámetros de estudio de la transmisión de las imágenes térmicas.
- Ing. Oscar Cardona, de la Universidad Pontificia Bolivariana, en Medellín, por compartir conmigo las experiencias encontradas en las pruebas piloto de La Red de Telemedicina de Antioquia y la solución de dudas de algunos protocolos de servicios de Telemedicina.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. LA TERMOGRAFÍA.....</b>	<b>6</b>
1.1. DEFINICIÓN.....	6
1.2. LA TERMOGRAFÍA: ¿PORQUÉ Y PARA QUÉ?.....	7
1.3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	9
1.4. PRINCIPIOS FÍSICOS.....	11
1.4.1. <i>El Espectro Infrarrojo</i> .....	11
1.4.2. <i>Radiación Térmica</i> .....	13
1.4.3. <i>Ley de Stefan-Boltzmann</i> .....	13
1.4.4. <i>Ley de Desplazamiento de Wien</i> .....	15
1.5. APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA.....	16
<b>2. LOS RECIÉN NACIDOS Y LA TEMPERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1. LA NEONATOLOGÍA.....	20
2.2. TEMPERATURA NEONATAL.....	21
2.2.1. <i>Lugares donde medir la Temperatura Central</i> .....	22
2.2.2. <i>Receptores Caloríficos</i> .....	24
2.2.3. <i>Valores Apropriados para la Temperatura Central de Recién Nacidos</i> .....	24
2.3. TERMORREGULACIÓN.....	25
2.3.1. <i>Mecanismos de Perdida de Calor</i> .....	25
2.3.2. <i>Perdidas de Calor en el Recién Nacido</i> .....	27
2.3.3. <i>Mecanismos que Regulan las Perdidas de Calor</i> .....	28
2.3.4. <i>Producción de Calor en el Recién Nacido</i> .....	29

2.3.4.1. Termogénesis No Termorreguladora.....	29
2.3.4.2. Termogénesis Termorreguladora.....	30
2.4. AMBIENTE TÉRMICO DEL RECIÉN NACIDO .....	31
<b>3. DESCRIPCIÓN Y DESEMPEÑO DEL SISTEMA.....</b>	<b>33</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	33
3.2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MONITOREO TERMOGRAFICO DE NEONATOS.....	35
3.2.1. <i>Registro de Imágenes Térmicas</i> .....	36
3.2.2. <i>Procesamiento y Análisis de la Imagen</i> .....	37
3.3. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO .....	39
3.3.1. <i>Herramientas Hardware</i> .....	39
3.3.1.1. Cámara.....	39
3.3.1.2. Tarjeta de Digitalización.....	41
3.3.2. <i>Herramientas Software</i> .....	41
3.3.2.1. Descripción de Mikrospec™ y sus Herramientas.....	42
3.4. DESEMPEÑO DEL SISTEMA.....	45
3.4.1. <i>Toma de Imágenes de Prueba</i> .....	45
3.4.2. <i>Análisis Preeliminar de las Imágenes</i> .....	46
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	49
<b>4. TRANSMISIÓN DE IMÁGENES TÉRMICAS.....</b>	<b>61</b>
4.1. LA TELEMEDICINA.....	61
4.2. LA IMAGINERÍA MEDICA.....	65
4.3. LA INTERNET .....	67
4.4. SISTEMA PACS DE COMUNICACIÓN Y ARCHIVADO DE IMÁGENES .....	75
4.4.1. <i>Tecnología de un Sistema PACS</i> .....	78
4.4.1.1. Adquisición de las Imágenes. ....	78
4.4.1.2. Transmisión de las Imágenes.....	78
4.4.1.3. Central de Archivo.....	79

4.4.1.4. Consulta de Imágenes.....	79
4.5. <i>Estándar Medico DICOM 3.0</i> .....	79
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>90</b>
APORTES DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	91
TRABAJO FUTURO.....	92
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ALGUNOS VALORES DE LA EMISIVIDAD TOTAL .....	15
TABLA 2. DATOS TÉCNICOS DE LA CÁMARA INFRARROJA .....	40
TABLA 3. COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PARA CADA MODALIDAD DE IMÁGENES MEDICAS .....	67



## LISTA DE FIGURAS

FIG. 1. MODELO DE UN TERMOGRAMA .....	7
FIG. 2. ESPECTRO INFRARROJO.....	12
FIG. 3. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA CORPORAL DEL RECIÉN NACIDO DESPUÉS DEL ALUMBRAMIENTO .....	30
FIG. 4. COMPARACIÓN DEL AMBIENTE TÉRMICO NEUTRAL DE UN ADULTO CON EL DE UN RECIÉN NACIDO .....	32
FIG. 5. COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE MONITOREO TERMOGRAFICO DE NEONATOS .....	36
FIG. 6. MODELO DE LA INTERFAZ DE MIKROSPEC™ 2.5.....	43
FIG. 7. TERMOGRAMA DE UNA INCUBADORA .....	48
FIG. 8. TERMOGRAMA DE UN RECIÉN NACIDO .....	49
FIG. 9. COMPARACIÓN DE UN TERMOGRAMA EN PALETA DE COLOR Y EN PALETA DE GRISES.....	50
FIG. 10. MODELO DEL HISTOGRAMA DE UNA IMAGEN TÉRMICA .....	51
FIG. 11. RESULTADO OBTENIDO AL UMBRALIZAR .....	52
FIG. 12. VENTANA PARA ANALISIS DE ISOTERMAS .....	53
FIG. 13. VENTANA DE ANALISIS ORIENTADO A REGIONES .....	54
FIG. 14. TERMOGRAMA DE UN BEBE CON HIPERTERMIA .....	58
FIG. 15. EVIDENCIA DE UN PAÑAL MOJADO .....	60
FIG. 16. SISTEMA PACS.....	76

## **Introducción**

La calidad y la eficiencia en los servicios prestados para atención de pacientes con estado crítico de salud son factores de vital importancia en la actualidad, a diferencia de lo que sucedía años atrás, cuando la tecnología no estaba disponible a toda la población y los costos de implementación eran muy altos. Ahora el panorama ha cambiado radicalmente, el objetivo es la atención rápida de pacientes con la ayuda de test diagnósticos más efectivos y la inclusión de sistemas de comunicación que superen las barreras de tiempo y distancia.

El panorama que presenta la medicina hoy en día es que cada vez se requiere más personal médico que se encargue de la supervisión de los pacientes, lo que representa grandes costos para las instituciones hospitalarias. Además de eso, la escasa inversión en equipos de alta tecnología para la prestación de servicios de mejor calidad, hace que se busquen nuevas alternativas para que la atención de pacientes sea más efectiva, vinculando los desarrollos en el campo de la ingeniería como los nuevos avances en equipos de diagnóstico y control.

La Telemedicina ofrece soporte para la prestación de servicios de salud a pacientes de cualquier lugar del mundo a través de redes de telecomunicaciones. Es una herramienta de consulta de historia y detección de señales cardiacas, signos vitales, síntomas médicos, variables físicas corporales, etc. a través de transmisión de datos e imágenes y señales de voz en tiempo real mediante la utilización de equipos periféricos compartidos.

El gran número de variables físicas y síntomas que presenta un sistema tan complejo como lo es el cuerpo humano requiere de muchos sensores que permitan

hacer constantemente un debido seguimiento. Más aún, cuando se trata con recién nacidos prematuros donde los aspectos clínicos, metabólicos, fisiopatológicos y terapéuticos son múltiples y muy variados y que presentan mucha inestabilidad debido a su bajo peso y a la falta de desarrollo de sus sistemas de defensa.

La temperatura es una de las principales variables físicas que se deben monitorear y controlar en un recién nacido prematuro por la incapacidad que tiene para mantenerla dentro de los límites normales, además, el ambiente térmico influye mucho, ya que la temperatura corporal tiende a igualarse a la del entorno, lo que explica el uso habitual de la incubadora para el tratamiento de la premadurez.

La toma de la temperatura de los recién nacidos requiere la implementación de nuevos mecanismos que mejoren las condiciones de higiene y aseguren la confiabilidad de los datos. El desarrollo de nuevos sensores permite en la actualidad vincular métodos de diagnóstico no destructivos y no tóxicos al campo de la medicina y que facilitan la labor de monitoreo de pacientes. También los avances en el diagnóstico por imágenes digitales ha logrado una posición importante en el sector salud ya que mediante computadores y paquetes computacionales especializados se puede hacer un análisis de cambios en diferentes regiones de interés.

Naturalmente, la presentación de los datos de temperatura a través de una imagen digital resulta más atractivo y más beneficioso puesto que se puede localizar zonas de variación específicas y que no se podrían cuantificar en un conjunto de datos. Además, muchas de las enfermedades comienzan por la aparición de fiebre, como resultados de procesos infecciosos, lo que hace que dichas imágenes se conviertan en material de diagnóstico de dolencias y cuadros clínicos. Usar termografía es aprovechar los cambios de temperatura que se producen corporalmente cuando existen problemas.

Desde hace tiempo, la visualización de imágenes por Internet ha sido un aspecto importante en la consulta de médicos especializados, ya que permite interactuar con la información encontrando nuevas opiniones de colegas que entregan su criterio en un tiempo muy corto de tal forma que permiten tomar decisiones más certeras en grupo para procedimientos complicados. La transmisión de imágenes, sean estas de la piel, radiografías, ecografías, tomografías computarizadas, resonancias magnéticas nucleares, etc., son tradicionalmente en telemedicina las que más han desarrollado su actividad, sobre todo con la aparición de la tecnología digital. Es indudable que el mundo de la imagen médica es uno de los que más va a cambiar en los próximos años.

Sin embargo la tecnología existente tenía y tendrá dos grandes defectos: la calidad de la imagen y el tiempo que se tardaba en enviar la imagen. Pero el advenimiento de la imagen digital ha cambiado ambos parámetros de forma radical. Hoy en día imágenes de cualquier tipo se digitalizan y se mandan comprimidas para descomprimirse en el destino. Además, la implementación de nuevas tecnologías en comunicaciones han permitido un mayor ancho de banda para la transmisión de datos, haciendo que estos cada vez sean más completos.

Las aplicaciones telemédicas clásicas irán acercándose a internet como medio de comunicación como hasta ahora, a medida que los avances técnicos faciliten la incorporación a través de este medio de las mismas. Pero es innegable que el empleo de la internet como herramienta de comunicación, unido al gran número de personas a las que llega, sin problemas de movilidad, a domicilio, la convierten en una herramienta útil cada vez más importante en el campo de la salud. Además que para cualquier médico u hospital del mundo conseguir una segunda opinión diagnóstica que asegure o desmienta su decisión es de vital importancia.

La idea de este trabajo de grado es mostrar una técnica novedosa de inspección de la temperatura externa de los cuerpos y que puede ser muy útil para una institución

hospitalaria a la hora de establecer diagnósticos en pacientes, especialmente recién nacidos para quienes la disminución o incremento en la temperatura ocasiona graves complicaciones en los diferentes sistemas que componen el cuerpo.

El sistema propuesto se basa en el análisis de las imágenes tomadas con una cámara que opera en el rango infrarrojo del espectro electromagnético, mostrando la temperatura en la que permanecen los bebés dentro de la incubadora y que puede brindar información más completa que otras pruebas que necesitan de contacto para registrar el valor de dicha variable física.

La información visual es más atractiva y encierra más información que le permite a los médicos evidenciar problemas tanto en la evolución de pacientes como en el funcionamiento de la incubadora, además, el registro de la temperatura no interrumpe la estabilidad de la temperatura dentro de incubadora y no alarga los procedimientos de la enfermera en cuanto a la manipulación del bebé.

La evolución en la tecnología de adquisición de las imágenes digitales es tal que están presentes en cualquier especialidad médica, es por eso que también en este trabajo se realiza un estudio de un protocolo para la transmisión de imágenes médicas digitales a través de internet, teniendo en cuenta que para esto se debe contar con un servicio de calidad que incluya parámetros de seguridad y confidencialidad enmarcadas dentro de los aspectos éticos de la medicina y que preste los servicios de teleconsulta, videoconferencia, historias clínicas, bancos de imágenes y datos, etc.

Este documento está organizado de la siguiente manera: en el primer capítulo se brinda una descripción completa de la técnica de la Termografía, en el capítulo 2 se estudia la importancia de la temperatura en los bebés recién nacidos, las formas convencionales de registrarla, el instrumental para su cuidado y las implicaciones de su incremento o disminución. El capítulo 3 contiene una descripción de los equipos y herramientas utilizadas, además de la presentación de los resultados y el análisis del

desempeño del método. El capítulo 4 presenta dentro de un marco de la telemedicina una descripción de internet y de lo que representa la imagen digital para esta práctica y se analiza un protocolo adecuado y que garantiza la confiabilidad e integridad de las imágenes para las prácticas médicas de diagnóstico. Las conclusiones, aportes y el trabajo futuro hacen parte del capítulo final.

## **1. La Termografía**

Este trabajo propone la utilización de la termografía como una técnica novedosa para la inspección visual de la temperatura de los cuerpos. Para entender el trabajo desarrollado se detallará, los aspectos importantes de esta técnica, comenzando con una definición formal y la descripción de algunas características, los antecedentes históricos y los principios físicos en los cuales se basa la Termografía. Finalmente, se presenta una completa revisión de las aplicaciones en el ámbito industrial como en el campo de la medicina.

### **1.1. Definición**

La Termografía infrarroja es una técnica de diagnóstico basada en la interpretación de las imágenes que determinados dispositivos son capaces de formar, captando la radiación infrarroja (IR) que cualquier objeto emite, siempre que éste tenga una temperatura superior al cero absoluto (-273°C). Generalmente, la Termografía emplea una cámara receptora de radiación infrarroja [1,2] que proporciona una imagen, llamada Termograma, en cual las áreas calientes se diferencian de las áreas frías por diferencias en las tonalidades ya sean en niveles de gris o de una paleta con colores especiales [3-12].

Para fines médicos, la Sociedad Internacional de Termografía (ITS) [7], define la Termografía como la técnica que se basa en la detección y el registro de los patrones térmicos de la superficie cutánea de un paciente, usando instrumentos que puedan proporcionar información cuantitativa y visual de esa medida de temperatura.

Dentro de la práctica clínica existen dos tipos de Termografía: *La Termografía de contacto* [3], que se basa en el empleo de superficies plásticas impregnadas con

cristales de ésteres de colesterol micro encapsulados, que tiene la propiedad de variar su coloración según la temperatura de la zona que entra en contacto y la *Termografía infrarroja* que es la que describió anteriormente y que es aquella a la que se refiere este trabajo.

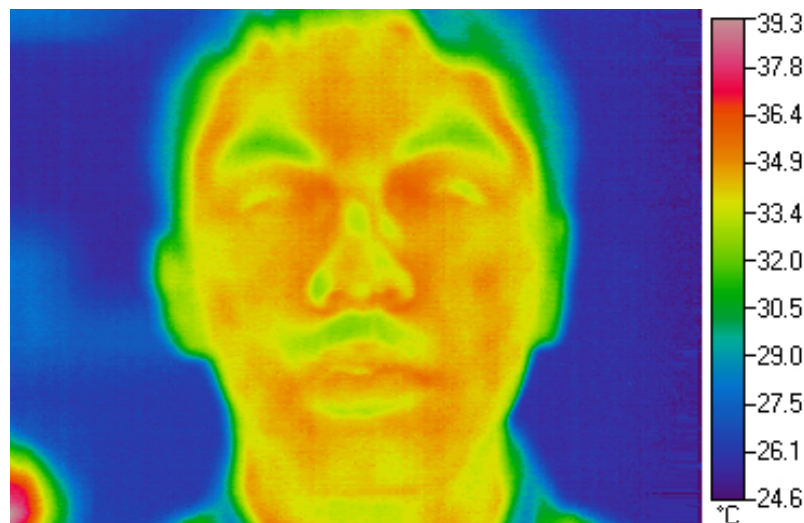


Fig. 1. Modelo de un Termograma

## 1.2. La Termografía : ¿Porqué y Para qué?

La Termografía Infrarroja a lo largo de los últimos años ha pasado a jugar un papel fundamental dentro de los ensayos no destructivos orientados a detectar cualquier anomalía o defecto que se manifieste en un cambio de la temperatura superficial de un objeto. A nivel industrial son muchos los procesos en los cuales la temperatura está presente y que logra evidenciar problemas que necesitan ser atendidos con inmediatez. Problemas en sobrecarga en motores, puntos de fuga de estaciones eléctricas, desviaciones de corrientes de vapor, fallas en la inyección de combustibles [5,9,12] son algunos casos citados y que pueden ser detectados y corregidos a tiempo.



La termografía es también apropiada y pertinente para prácticas en el cuidado de la salud [1,3,4,14-17] siempre que el tratamiento físico requiera de un diagnóstico fisiológico por imágenes. La termografía es una técnica de diagnóstico que proporciona información sobre el funcionamiento de los sistemas nerviosos simpático y sensorial [18], la disfunción vascular, trauma miofacial y procesos inflamatorios locales.

Actualmente la imagen infrarroja de alta resolución es un medio excelente de visualización de variaciones de temperatura de la superficie cutánea que está controlada por el sistema nervioso simpático. La Asociación Médica Americana redactó un artículo en 1988 en donde afirma que “la termografía es un medio de diagnóstico totalmente seguro y que es totalmente útil en el diagnóstico de diversas condiciones neurológicas y músculo-esqueléticas”.

Esta técnica puede contribuir para el diagnóstico y manejo de pacientes por asistencia en determinado sitio y grado de irritación, el tipo de desorden funcional, el pronóstico del tratamiento, así como la asistencia en la determinación del tratamiento más efectivo y la evaluación del caso.

La termografía frente a otros tests diagnósticos como la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la Tomografía Computarizada (TC) no son competitivos ni comparables y son complementarios. La Termografía es un test de diagnóstico fisiológico mientras la RMN es un test de diagnóstico de estructura y morfología[19].

Entre las principales ventajas de la termografía cabe señalar: Los sensores no hacen contacto físico con el objeto, lo cual nos permite medir desde una distancia de seguridad, altas temperaturas o bien registrar la temperatura de procesos complejos. Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeño a la radiación térmica incidente, lo cual permite una medida casi-instantánea (reportes inmediatos).

La termografía utilizada correctamente es un examen muy válido como cualquier otro examen completamente reconocido. Los pacientes pueden someterse a este examen cuando consideren necesario, ya que, a diferencia de los otros tests diagnósticos, no se tiene en cuenta la dosimetría, como en los rayos X.

El sistema de barrido óptico que incorporan los sistemas de termografía, permite obtener una imagen termográfica, en tiempo real, lo cual nos permite inspeccionar grandes extensiones, y grabar en un soporte magnético la imagen de interés. La imagen termográfica registrada puede analizarse a posteriori, para tratarla con un software adecuado. De este modo podemos ver con claridad las zonas anormalmente frías o calientes.

### **1.3. Antecedentes Históricos**

El estudio de la radiación infrarroja empezó con los experimentos ópticos de Della Porta a finales del siglo XVI [20]. Dos siglos más tarde, William Herschel [21,22], utilizando un espectroscopio descubrió que el sol emitía rayos infrarrojos. Este descubrimiento y su relación con la luz no llegó a esclarecerse hasta la mitad del siglo XIX, cuando el hijo de Herschel, Sir John Herschel un pionero en el campo de la fotografía, produjo en papel el primer “Termograma”. Casi al mismo tiempo Langley desarrolló el *bolómetro*, un dispositivo capaz de detectar calor radiante a partir de objetos vivientes hasta una distancia de 400 metros. Sin embargo, el instrumento y su potencial no se investigaron ni desarrollaron, hasta un siglo más tarde.

Aunque se intentaron diferentes abordajes para conseguir imágenes visibles infrarrojas en la mitad del siglo XVIII por Becquerel, Golay y Czeerny [21,22], cada técnica producía termogramas que no proporcionaban una discriminación adecuada de la temperatura. Durante la segunda guerra mundial, la tecnología infrarroja avanzó, pero su uso fue restringido para fines militares solamente. Varios años más tarde, en 1957, el médico canadiense Ray Lawson, observó que la presencia de un

cáncer de mama se traducían en un aumento de la temperatura. Sus investigaciones iniciales se ayudaron con el empleo del termógrafo de R. B. Barnes. Este instrumento consistía de un bolómetro que detectaba el calor emitido y lo transformaba en señales eléctricas.

Se desarrollaron nuevos instrumentos, disminuyendo considerablemente el tiempo de escaneo de 10-15 minutos que necesitaba el termógrafo de Barnes, a 30 segundos, con el Pyroscan. A final de los años 60, la firma sueca AGA, produjo el AGA Thermovision, cuya capacidad para generar una imagen en TV en un tubo de rayos catódicos supuso un gran avance tecnológico. Permitía observaciones instantáneas y registros simultáneos de patrones térmicos y procesos termodinámicos en el cuerpo humano. El avance de la tecnología infrarroja y su facilidad de manejo hicieron que mejorara rápidamente el estado del arte de la termografía médica.

A final de los años 70 [20], había poca documentación que mostrara que las imágenes termográficas tenían una relación directa con los hallazgos clínicos o diagnósticos a parte del cáncer de mama. La falta de un entrenamiento adecuado y de un entendimiento del equipo y de protocolo de estudios, llevaron a un empleo inadecuado de esta tecnología y por consiguiente a un error en la interpretación de los termogramas. Estos fallos, dieron como resultado un descrédito entre los médicos de la termografía.

A pesar de este pobre pronóstico en su empleo médico, los sofisticados aparatos de termografía electrónica se introdujeron en los años 70 para usos industriales. Un avance importante fue el desarrollo de la modalidad de isotermas en color. Las isotermas, delinean el cuadro de calor como un patrón con su código de color en diferentes bandas que permiten distinguir los gradientes de temperatura hasta con una sensibilidad de 0.12 °C. Diferentes investigadores evaluaron la temperatura de la espalda y de la columna vertebral utilizando esta tecnología, encontrando que pacientes con lesiones espinales presentaban asimetrías térmicas paraespinales. Este

trabajo supuso un resurgir del empleo de la termografía en áreas distintas al cáncer de mama [4,10,13,23].

Los avances de la termografía están ligados desde hace mucho tiempo a los avances en el desarrollo de sensores infrarrojos que proporcionaron mejor calidad en la resolución de las imágenes. La utilización de nuevos materiales con diferentes propiedades han hecho que dichos sensores disminuyan en tamaño y ganen en rendimiento tales como los fabricados sobre las aleaciones de InSb, HgCdTe y InGaAs [24]. La inclusión de microbolómetros y la tecnología de arreglos de plano focal (FPA) han aumentado la calidad de las cámaras infrarrojas y también la diversidad de aplicaciones [5,6,8,9,12,25] de la termografía infrarroja, tal como se describirá más adelante.

#### **1.4. Principios Físicos**

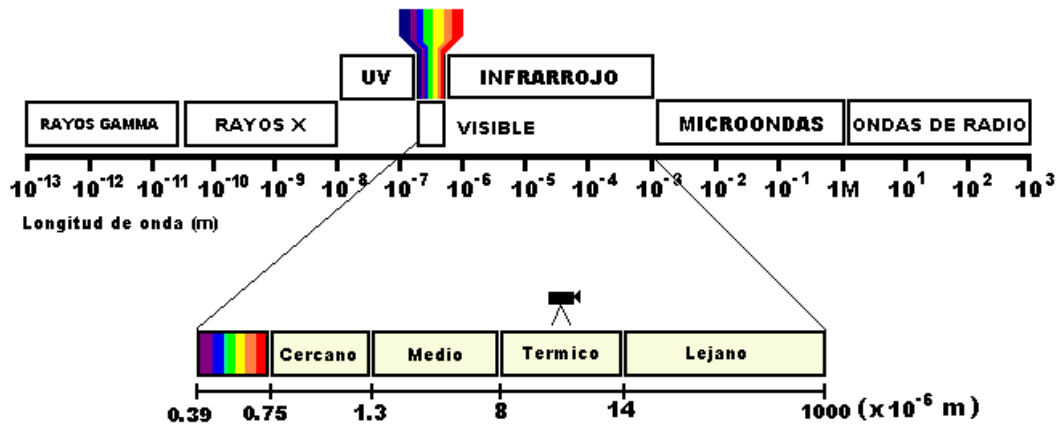
Un cuerpo transmite calor a otro o al medio ambiente que lo rodea por tres mecanismos: conducción, convección y radiación; lo más frecuente es la participación de los tres con predominio de alguno de ellos. Es, precisamente, la radiación la forma que tendrá el máximo interés. La energía radiante que procede del organismo presenta la forma de ondas electromagnéticas, concretamente radiación infrarroja que cuenta con muchas propiedades que se describirán a continuación.

##### **1.4.1. El Espectro Infrarrojo**

La radiación electromagnética se presenta en una amplia gama de frecuencias y longitudes de onda, que en el vacío todas viajan a la misma velocidad. A pesar de que distingamos varias zonas del espectro, existe solo una entidad, una esencia de la onda electromagnética. Las ecuaciones de Maxwell son independientes de la longitud de onda, por lo tanto, no aportan ninguna diferencia considerable en términos de clase. Por lo tanto, es razonable buscar un mecanismo de fuente común para toda la radiación electromagnética. Lo que encontramos es que las distintas clases de energía

radiante parecen tener el mismo origen puesto que están todas asociadas con cargas que se mueven de manera no uniforme [21,26].

La región infrarroja que se extiende aproximadamente desde  $3 \times 10^{11}$  Hz hasta alrededor de  $4 \times 10^{14}$  Hz, fue detectada inicialmente por el renombrado astrónomo Sir William Herschel en 1800. Como su nombre lo dice, esta banda de radiación electromagnética se halla justo debajo de la luz roja. El infrarrojo, a menudo se subdivide en cuatro regiones como se puede observar en la figura 2.



**Fig.2.** Espectro infrarrojo

A pesar de que las radiaciones infrarrojas que tienen relación con las aplicaciones térmicas no ocupan más que una zona relativamente reducida, la radiación infrarroja es calorífica por excelencia. El infrarrojo es la radiación más común, la que se encuentra en abundancia en todas partes, procedente de cualquier objeto que tenga una temperatura superior al cero absoluto. Aproximadamente la mitad de la energía electromagnética del sol es infrarroja, incluso, una bombilla común radia realmente mucha más energía infrarroja que luz visible [9].

### 1.4.2. Radiación Térmica

La radiación térmica es una de las formas en que el cuerpo humano intercambia calor con el entorno, además, es el mecanismo que más interesa para la práctica de la termografía.

La radiación térmica [2,21,22,26] es la radiación emitida por un cuerpo como consecuencia de su temperatura. Todos los cuerpos emiten esta radiación a sus alrededores y la absorben de él. Si, en un principio, el cuerpo está más caliente que su alrededor, se enfriará, ya que la rapidez con que se emite energía excederá la rapidez con que la absorbe. Cuando se alcanza el equilibrio térmico la rapidez de emisión y la de absorción de energía serán iguales. La materia en un estado condensado (es decir, sólido o líquido) emite un rango de frecuencias continuo (espectro de radiación). Los detalles del espectro son casi independientes del material particular del cual se compone el cuerpo, pero dependen fuertemente de la temperatura.

En términos generales, la forma detallada del espectro de radiación térmica emitida por un cuerpo caliente, depende de la composición del mismo. Sin embargo, experimentalmente se encuentra que solo hay una clase de cuerpos que emiten espectros térmicos de características universales. Estos son los llamados *cuerpos negros*, es decir, cuerpos cuyas superficies absorben toda la radiación térmica que incide sobre ellos. El nombre resulta apropiado puesto que dichos cuerpos no reflejan luz y, por lo tanto, se ven negros.

### 1.4.3. Ley de Stefan-Boltzmann

La distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro se especifica por la cantidad  $R_T(\nu)$ , llamada *radiancia espectral*, definida tal que  $R_T(\nu) d\nu$  es igual a la energía emitida en forma de radiación con frecuencias en el intervalo entre  $\nu$  y  $\nu+d\nu$  de una área unitaria de la superficie a temperatura absoluta  $T$  y por unidad de tiempo.

La integral de la radiancia espectral  $R_T(\nu)$  sobre toda  $\nu$ , es la energía total emitida por un cuerpo negro a temperatura  $T$ , por unidad de tiempo y por unidad de área. Se le llama radiancia  $R_T$ , es decir,

$$R_T = \int R_T(\nu) d\nu \quad (1.1)$$

El resultado se conoce como la Ley de Stefan–Boltzmann [20], y fue enunciada por primera vez en 1879, en forma de una ecuación empírica:

$$R_T = \sigma T^4 \quad (1.2)$$

donde

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$$

Los objetos reales no son cuerpos negros perfectos; el negro del humo tiene un poder absorbente de casi total, pero solo a ciertas frecuencias, incluyendo la visible, siendo mucho más bajo en el infrarrojo lejano. Sin embargo, la mayoría de los objetos se asemejan a cuerpos negros, por lo menos a ciertas temperaturas y longitudes de onda. Las personas, por ejemplo, son casi cuerpos negros para el infrarrojo. Por esta razón, resulta útil escribir una expresión parecida para los objetos comunes introduciendo el área de la superficie radiante  $A$  y un factor de multiplicación, llamado poder emisor  $\varepsilon$ , que relaciona la potencia irradiada con la de un cuerpo negro cuyo  $\varepsilon = 1$ , a la misma temperatura. Por consiguiente,

$$R_T = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (1.3)$$

En la tabla 1 se recogen algunos valores de  $\varepsilon$ , a temperatura ambiente (300K), donde  $0 < \varepsilon < 1$ . Nótese que el poder emisor no tiene unidades [21].

Todos los cuerpos que no estén a cero kelvin radían y el hecho de que  $T$  se eleve a la cuarta potencia, hace que la radiación sea muy sensible a las variaciones de temperatura. Cuando se eleva la temperatura de un cuerpo de  $0^{\circ}\text{C}$  (273 K) a  $100^{\circ}\text{C}$  (373 K), su potencia de radiación aumentara en 3.5 veces. Conforme se aumenta la temperatura, la energía radiada aumenta también; y por eso aumentar la temperatura de un objeto se hace más y más difícil.

**Tabla 1.** Algunos valores de la emisividad total

Material	$\epsilon$
Papel de aluminio	0.02
Cobre pulido	0.03
Cobre oxidado	0.50
Carbón	0.80
Pintura blanca, plana	0.87
Ladrillo rojo	0.90
Cemento	0.94
Pintura negra, plana	0.94
Hollín	0.95
Piel Humana	0.98

#### 1.4.4. Ley de Desplazamiento de Wien

Quizás, el último éxito trascendental en la aplicación de la teoría clásica al problema de la radiación de cuerpo negro, se produjo en 1893 por manos del físico alemán y ganador del premio Nóbel, Wilhelm Otto Fritz Franz Wien, quien formuló lo que hoy en día recibe el nombre de Ley de Desplazamiento [3]. Cada curva de un cuerpo negro alcanza su altitud máxima a un valor de longitud de onda que es típico suyo y, por lo tanto, de su temperatura absoluta. A esa longitud de onda, el cuerpo negro radía la máxima energía. Wien logro demostrar que:



$$\lambda_{\max} T = \text{Constante} \quad (1.4)$$

donde la constante fue experimentalmente calculada en 0.002898 m.K. La longitud de onda es inversamente proporcional a la temperatura. Al aumentar la temperatura, el bloque radiación se desplazará hacia longitudes de onda más cortas y frecuencias más elevadas.

A medida que un trozo de carbón incandescente o una estrella ardiente se vuelven más calientes, se pasa del calor moderado de infrarrojo a rojo muy caliente y finalmente al blanco azulado. Una persona o un trozo de madera, ambos cuerpos negros aproximados solamente, radian en la mayoría del infrarrojo, empezando a brillar débilmente en el visible cerca de 600°C o 700°C, mucho después de su descomposición. El rojo cereza vivo, de un trozo de hierro incandescente aparece alrededor de los 1.300°C.

### 1.5. Aplicaciones de la Termografía

La Termografía es un método no destructivo de evaluación y control muy flexible en el sentido de que sus aplicaciones pueden ser muy diversas [4-6,8,9,11,12,25]. El abanico abarca desde campos muy especializados, como las aplicaciones militares, de seguridad, médicas, control de incendios forestales, etc., hasta las más representativas, como son las industrias de procesos y las instalaciones de generación y distribución de energía eléctrica, las siguientes son tan solo algunas:

- **Mantenimiento Predictivo.** Hoy en día quizá la mayor aplicación de la Termografía sea dentro de las tareas de mantenimiento predictivo y sobre todo dentro del sector eléctrico. Mediante Termografía infrarroja se pueden detectar a distancia y sin necesidad de establecer contacto físico, los calentamientos excesivos que se pueden producir en multitud de equipos eléctricos [27] (cables de alta tensión, contactos, bornes, transformadores,

etc.). De esta forma se detectan los tan famosos puntos calientes (hot spots) debido a una disminución de la sección de los cables, desgastes, oxidaciones y, en general, un mal funcionamiento del equipo en cuestión. También se aplica al mantenimiento de equipos mecánicos. Viendo la distribución de temperaturas de un determinado equipo se puede determinar si está funcionando adecuadamente, o si por el contrario existe alguna pieza que se sobrecaliente por desgaste, rozamiento inadecuado y que, en definitiva, pueda constituir un foco de avería inmediata.

- **Ahorro Energético.** Las faltas de aislamiento o la mala distribución de éste conduce a una pérdida de calor (o frío) de diversos equipos, maquinaria, instalaciones industriales, viviendas, almacenes frigoríficos, calderas, tuberías aisladas, etc. Gracias a la termografía se puede tener un mapa superficial de temperaturas de la zona que interesa inspeccionar [27]. De esta manera se pueden determinar no solamente las zonas afectadas, sino que se pueden realizar cálculos cuantitativos de la energía perdida.
  
- **Control de Calidad.** El control de calidad es cada vez más importante en los procesos de fabricación de cualquier producto. La termografía es una importante técnica para comprobar la fiabilidad durante el proceso de fabricación. Así por ejemplo, cabe citar el control de calidad de circuitos integrados, frigoríficos, papel, alabes de turbinas, parachoques y cientos de procesos en los que se vea involucrada la temperatura como variable fundamental de la secuencia de producción. En el caso de los circuitos integrados, las imágenes IR de la placa corresponden a diversos elementos de la misma, y por consiguiente tienen diferentes valores de emisividad. Es necesario, por tanto si se quiere conocer (además de la temperatura relativa de una placa con respecto a otro patrón) la temperatura de funcionamiento de un determinado componente, la emisividad del mismo. Existen determinados programas de tratamiento de imágenes infrarrojas que permiten calcular la

matriz de emisividades de la superficie compleja como puede ser la de una tarjeta electrónica con múltiples componentes.

- **Ensayos No Destructivos.** Los materiales “composites” están teniendo una gran utilización en múltiples aplicaciones debido a su gran resistencia y poco peso. Es la industria aeronáutica una de las mayores beneficiadas del uso de estos materiales. Sin embargo, desde hace ya tiempo se conoce uno de los principales problemas que tienen estos materiales, como es el peligro de penetración de agua a través de las fisuras que se hayan podido producir en las alas de aviones. En condiciones normales de vuelo (10.000 m) el agua penetra y se congela en el ala rompiendo la estructura interna de las celdillas y ocasionando un serio riesgo en el transporte. Gracias a la termografía y durante los veinte minutos siguientes al aterrizaje se pueden visualizar formaciones de hielo que se han producido durante el vuelo, detectando así los lugares con microfisuras.
  
- **Aplicaciones Médicas.** Otra de las aplicaciones muy interesantes de la termografía es la relacionada con los distintos diagnósticos médicos. La temperatura de la piel es un fiel reflejo del comportamiento y actividad celular y, por lo tanto, los mapas térmicos, adecuadamente interpretados, pueden ser de gran ayuda al especialista. Dentro de las especialidades con más éxito en su uso se puede citar el diagnóstico del cáncer de mama [4,10,13,23], evaluación de quemaduras, detección de trombosis, estudio de migraña y distintos dolores del cuerpo, angiografía coronaria térmica, etc. En lo que respecta a la detección del cáncer de mama, si bien existen otras técnicas que pueden detectar mejor el carcinoma, sin embargo, mediante la termografía se puede determinar la actividad del mismo y de esta manera ayudar al cirujano a evaluar el tamaño o zonas donde se debe practicar la mastectomía. Su eficacia es evidente en el número de artículos publicados que llega a 4300 en los últimos 30 años en revistas médicas que sustentan inequívocamente la eficacia

de la termografía como un método de diagnóstico válido en toda la neurofisiología. Casi el 98 % de estos artículos fueron publicados en revistas muy conocidas como son: *Pain Journal, Spine Journal, Journal of the American Medical Association, British Medical Journal, Biomedical Matter Engineering, Anesthesia, Journal of Orofacial Pain, Journal of Muscle and Nerve, Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation e Journal of the American Dental Association* [23].

- **Visión Nocturna.** Actualmente han derivado las aplicaciones de visión nocturna hacia servicios civiles como rescate de personas, detección de intrusos, localización de laboratorios de droga clandestinos, etc. Según sea la aplicación existen diversos tipos de equipos con diferentes resoluciones espaciales, resoluciones térmicas y una serie de complementos que ayudan al manejo de los mismos.

## **2. Los Recién Nacidos y la Temperatura**

La aplicación de la técnica de la termografía para tener un mejor seguimiento de la temperatura y los aspectos secundarios que ocurren por su variación requiere un buen conocimiento del sistema de estudio. El sistema al cual está orientado el presente trabajo son los bebés recién nacidos, quienes se encuentran enmarcados para su estudio por una parte de la pediatría llamada neonatología. Para este conocimiento se necesita conocer conceptos, síntomas y tratamientos que involucran el estado térmico del bebe.

Esta sección empieza con una introducción a la neonatología en general que encierra el ambiente donde este trabajo se desenvuelve. Posteriormente, se describen las diferentes formas y lugares para registrar la temperatura, además de los aspectos fisiológicos del proceso de termorregulación. Finalmente se analiza el ambiente térmico que rodea al recién nacido y las implicaciones que tiene éste en la salubridad de los bebés.

### **2.1. La Neonatología.**

La Neonatología es la rama de la pediatría que se ocupa del ser humano entre el nacimiento y los 28 días de vida [28,29]. Este concepto es realmente limitado y limitativo, ya que sin duda se debe comprender a ese ser humano desde mucho antes (concepto de medicina perinatal) y hasta mucho después, especialmente si fue un recién nacido de alto riesgo (concepto de seguimiento especializado). Aún cuando es muy breve en relación con la duración de la vida de un ser humano, no es necesariamente simple, en él se producen más muertes que en cualquier otro periodo de la vida, y muchos de los trastornos que sobreviven en su transcurso son causa de secuelas, algunas seriamente incapacitantes para el resto de la vida.

La neonatología no es una lista simple de cuatro o cinco alteraciones patológicas, como algunas personas pensarían. Sin duda cerca del 90% de los recién nacidos son normales y requieren medidas de pediatría y de educación familiar que deben ser brindadas por agentes de salud capacitados para ello. Pero más del 10% de los recién nacidos tienen problemas que no son pocos ni tan simples en su tratamiento lo que requiere que quienes tengan la responsabilidad de tomar decisiones, conozcan las complejas necesidades de los recién nacidos y sus familias de tal forma que se brinde un monitoreo constante que garantice su recuperación y bienestar.

Los orígenes de la neonatología se remonta a las preocupaciones de los médicos por la influencia del ambiente térmico en el que se cuida al recién nacido, particularmente las observaciones de Budín [29,30] sobre la temperatura ambiente en la morbimortalidad de los niños prematuros [31], además de posteriores estudios de la termorregulación y su importancia en el cuidado del recién nacido, en especial los de bajo peso [32,33].

El conocimiento de las características y aspectos que tienen que ver con la temperatura corporal permitirá un mejor manejo del ambiente térmico del bebé así como la temperatura a la cual permanece. Por lo tanto el conocimiento del proceso de termorregulación de los recién nacidos es una necesidad para un adecuado seguimiento neonatal.

## **2.2. Temperatura Neonatal**

El registro de la temperatura y su seguimiento en neonatos es la principal intención de este trabajo. Para la primera tarea, se requiere conocer los diferentes aspectos que tienen que ver con la ubicación de puntos críticos dónde medir la temperatura que brinden valores más fidedignos. Para el seguimiento se necesita saber los rangos adecuados de las variaciones en los valores de la temperatura sobre los lugares previamente conocidos y definidos de la toma de este valor [34].

En el cuerpo de un ser humano, en especial en un recién nacido que tiene más influencia del medio ambiente, la temperatura a lo largo del cuerpo no tiene un único valor. La temperatura central es la temperatura a la cual se encuentran los tejidos profundos del cuerpo y permanece casi exactamente constante, excepto cuando hay alguna complicación. Esta temperatura es el mejor referente para estimar los cambios en la temperatura cutánea que pueden ser producto de algún cuadro patológico o una afección del medio ambiente.

La medición de la temperatura central y la temperatura periférica, y la continua deducción de la diferencia entre ellas (gradiente interno), nos darán una indicación preliminar del desarrollo de fatigas térmicas[28,30,34,35]. Un incremento en la diferencia entre la temperatura central y la temperatura periférica ocurre antes de la caída de la temperatura central. Este es el principio del monitoreo térmico [34].

Para medir la temperatura central se han realizado estudios mediante los cuales se han establecido los lugares que entregan valores confiables para dicho registro, pero que tienen algunas limitaciones a la hora de un seguimiento constante.

### **2.2.1. Lugares dónde medir la Temperatura Central**

➤ **Temperatura Rectal:**

Tradicionalmente el recto ha sido usado como un sitio para la medida de la temperatura central. Sin embargo, tomar una temperatura rectal es un procedimiento invasivo y la medida no es del todo fiable. La temperatura rectal depende de la profundidad a la cual la prueba este insertada y puede ser afectada por la temperatura de la sangre que retorna de los miembros inferiores. Si hay vasoconstricción periférica, y el bebé está centralizando esta circulación, el frío sanguíneo retorna desde las piernas bajando significativamente la medida de la temperatura rectal.

➤ **Temperatura Axilar y de Superficie Abdominal**

La axila y el abdomen (sobre el área del hígado) son sitios alternativos comúnmente usados para registrar la temperatura central. En bebés recién nacidos hay sitios, aunque sobre la piel, que no parecen reaccionar a bajas temperaturas con vasoconstricción [26]. Esto quiere decir que, aunque la medición de la temperatura en la axila o sobre el abdomen son ligeramente menores que la verdadera temperatura central ellas cambiaran en la misma forma que la temperatura central. Siguiendo la tendencia de la temperatura en la axila o sobre la superficie del abdomen, daremos sin embargo información sobre la manera en que la temperatura central esta cambiando. La axila es un buen sitio para una prueba y no es afectado fácilmente por los cambios en la temperatura ambiental y la posición de la prueba no interfiere otros tipos de diagnóstico.

➤ **Temperatura en la Región Interescapular**

Con el bebé recostado sobre la espalda en un colchón no conductor, esta temperatura puede ser medida por una prueba ubicada en la región interescapular. Es importante el uso poco frecuente de pruebas planas que no causen daño por presión sobre la piel del bebé.

➤ **Temperatura en el Esófago**

La temperatura en el esófago, con la prueba posicionada cerca al corazón, es posiblemente la toma donde podemos obtener una temperatura central verdadera. Esta prueba da una medición de la temperatura de la sangre en los vasos grandes. Esto sin embargo es un procedimiento invasivo y normalmente hay pruebas que no pueden ser usadas por largos períodos de tiempo en el bebé recién nacido.



➤ **Temperatura Periférica**

La temperatura periférica es usualmente medida desde la planta del pie. En los recién nacidos, el pie ha sido mostrado respondiendo a bajas temperaturas con vasoconstricción.

**2.2.2. Receptores Caloríficos**

Los receptores cutáneos son distintos para el frío y el calor [34,35]. Los receptores del frío se encuentran en todo el cuerpo, en especial en la cara y las manos, de tal manera que basta una corriente de aire frío en la cara para que se produzca un aumento del consumo de oxígeno, aunque no se hayan modificado las temperaturas rectal y axilar.

Existen también receptores profundos que se encuentran en la mucosa respiratoria, en el hipotálamo y en la médula espinal. También se ha demostrado que existen en el cuerpo carotídeo y en los músculos esqueléticos y el abdomen. Los receptores de la médula espinal son los responsables de la producción de escalofríos, que en el recién nacido no reciben estimulación por estar cercanos a la grasa parda interescapular, que los mantiene calientes [28].

**2.2.3. Valores apropiados para la Temperatura Central de Recién Nacidos**

Como no hay una única parte donde tomar la temperatura central, se tiene dificultad para dar recomendaciones para éste valor ya que también dependerá del sitio sobre el cual la temperatura es tomada. Diferentes estudios con bebés por parte del personal de atención médica han permitido definir un intervalo de permanencia de la temperatura central medida desde el recto, superficie abdominal o la axila entre 36.6 y 37.4 °C [34].

En estudios con bebés por debajo de 1500 g al nacer, la temperatura superficial del abdomen medio fue encontrada alrededor de 36.9°C en un rango de 36.8°C a

37.2°C. Algunos bebés sin embargo tiene una temperatura de superficie abdominal arriba de 37.5°C. En bebés con menos de 1000 g la diferencia de temperatura incrementa desde 0.5°C para el día 1 y en 1.0°C para el tercer día. Los bebés más pesados tienen una diferencia de temperatura entre 1.0 y 1.3 °C.

### **2.3. Termorregulación**

La termorregulación es el mecanismo por el cual, el recién nacido regula la cantidad de energía calórica de su cuerpo. Para mantener la estabilidad de la temperatura corporal tiene que existir equilibrio entre la producción y la pérdida de calor: con este fin existe un sistema termorregulador, compuesto por sensores de calor que se encuentran situados en diferentes partes de la piel, las mucosas y las regiones profundas del cuerpo. Estos sensores envían información sobre el estado térmico a través de los centros reguladores de la temperatura localizados en el hipotálamo.

Las señales generadas por los sensores de temperatura vigilados por el hipotálamo son extremadamente poderosas en el control de la temperatura, principalmente los receptores de temperatura de la piel y de algunos tejidos profundos del cuerpo. Estos receptores se encuentran afectados por la temperatura cutánea, sin embargo existen sensores ubicados principalmente en la medula espinal, en las viseras abdominales y en los alrededores de las venas grandes que se encuentran afectados por la temperatura central antes que la temperatura superficial.

#### **2.3.1. Mecanismos de Perdida de Calor**

El calor se pierde por cuatro diferentes mecanismos físicos: la conducción, la radiación, la convección y la evaporación [28,34-36]. Durante el cuidado del bebé deben ser minimizadas las cuatro formas de pérdida de calor.

La **conducción** es la transmisión de energía térmica entre dos cuerpos que están en contacto directo. La cantidad de calor conducido depende de la diferencia de

temperatura, del tamaño de las superficies en contacto y del coeficiente de conducción de los materiales; este último define la cantidad conductora de un determinado material. El calor puede ser transferido desde el bebé al colchón con el cual se encuentra en contacto. Si el colchón es un buen conductor de calor, entonces el calor del bebé se perderá.

En el caso de la **radiación**, el calor se transmite entre las superficies de los cuerpos que están a distancia, a través de ondas electromagnéticas. La radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los cuerpos y está condicionada por la emisividad de la superficie, que es la capacidad de absorber o reflejar el calor irradiado. La piel sólo refleja el 3% del calor irradiado, absorbiendo alrededor del 97%. Para reducir las pérdidas de calor por radiación las incubadoras tienen doble pared con una corriente de aire entre las superficies.

La **convección** es un mecanismo para transmisión de calor que únicamente se aplica a los fluidos, sean estos líquidos o gases. La magnitud de este intercambio depende de la diferencia de temperatura entre el fluido y el cuerpo que hace contacto con él, del área de superficie de contacto y de la velocidad del fluido. Por esta razón, las corrientes de aire aumentan sensiblemente las pérdidas por convección en el recién nacido, en especial si está desnudo.

La **evaporación** es un mecanismo por el cual se pierde calor, ya que cada gramo de agua evaporada exige un gasto calórico de 0.58 calorías. La sudoración es una efectiva defensa contra el calor, a través de aquel mecanismo. Las pérdidas por evaporación aumentan en forma directamente proporcional a la temperatura ambiental y a las fuentes de calor radiante (fototerapias y cunas calefactoras) a las que se exponga un prematuro desnudo. La humedad del aire también influye en las pérdidas por evaporación, las que disminuyen cuanto mayor sea la humedad ambiental. La humedad y delgada piel del bebé pretermino puede significar una pérdida de calor si la evaporación no es prevenida. La pérdida de calor por

evaporación esta reducida por el uso de un ambiente altamente húmedo en la incubadora.

La importancia relativa de cada uno de estos cuatro mecanismos de pérdida de calor depende de las condiciones ambientales en las que se encuentre el recién nacido: niños desnudos cuidados en una incubadora a temperatura neutral, pierden calor principalmente, por radiación y convección; bajo un calefactor radiante, la pérdida fundamental se debe a la evaporación. En todos los casos las pérdidas por conducción son las menores. Las pérdidas calóricas a través del aparato respiratorio se producen en lo fundamental, por convección y evaporación; dependen de la temperatura y de la humedad del aire inspirado, y del volumen corriente y de la frecuencia respiratoria.

La facilidad para enfriarse que exhiben el recién nacido y el prematuro ha sido preocupación constante en Neonatología. Ambientes con una temperatura de 22 grados centígrados, que son cómodos y el adulto los prefiere, para el recién nacido caen fuera de su capacidad termorreguladora, provocándole un rápido descenso de la temperatura del cuerpo, como muchas veces ocurre en la sala de parto. La facilidad que tiene el recién nacido para enfriarse, en relación con el adulto, tiene una explicación en la rapidez en que el cuerpo de los bebés tiene mayor facilidad para perder calor y una limitación para aumentar su producción frente a ambientes fríos [37].

### **2.3.2. Pérdidas de Calor en el Recién Nacido**

La mayor parte del calor del organismo lo producen los órganos de mayor actividad metabólica en el interior del cuerpo [28,35,36]. Este calor se disipa hacia la piel por convección a través del torrente circulatorio y después, desde la piel hacia el medio por los cuatro mecanismos descritos anteriormente.

El factor más importante que hace variar las pérdidas de calor en el recién nacido comparado con el adulto, es la relación entre la superficie y el volumen o peso del

cuerpo: mientras mayor sea esta relación, en igual proporción aumentan las pérdidas de calor. Un recién nacido de término, de 3 kilogramos, tiene relación superficie/peso que es cerca de tres veces mayor que la del adulto promedio. La de un prematuro de 1.500 gramos es alrededor de cuatro veces mayor.

El segundo factor que condiciona la pérdida de calor del cuerpo hacia el ambiente es la capacidad de aislamiento de la piel, que depende del grosor cutáneo, los tejidos subcutáneos y especialmente la grasa de los tejidos subcutáneos son un aislante del calor para el cuerpo. La grasa es importante porque conduce el calor con una rapidez que es solo una tercera parte de la de los otros tejidos. Todos estos aspectos están disminuidos en los recién nacidos de término y en especial, en el prematuro. Por lo tanto, en comparación con el adulto, tienen, mayor cantidad de superficie cutánea que pierde calor, y mayor pérdida por unidad de superficie.

### **2.3.3. Mecanismos que Regulan las Pérdidas de Calor**

La modificación de la postura, como primera medida puede ayudar a regular las pérdidas de calor ya que puede aumentar o disminuir la superficie corporal efectiva de intercambio calórico. En ambientes fríos los recién nacidos disminuyen esa superficie acurrucándose, flexionando al máximo sus segmentos corporales [37].

El sistema de control vasomotor cutáneo, que en el recién nacido prematuro está bien desarrollado, por medio de la vasoconstricción y la vasodilatación se puede disminuir o aumentar el flujo sanguíneo cutáneo y, por ende, las pérdidas de calor hacia la piel y el medio ambiente [38].

Como resultado de la vasoconstricción, baja la temperatura cutánea y por lo tanto hay un incremento en la diferencia entre ésta y la temperatura central, además de que reduce la intervención de la temperatura del ambiente externo, aumentando el aislamiento del cuerpo y disminuyen las pérdidas de calor.

En ambientes cálidos, en los que hay dificultad para perder calor hacia el medio, tiene lugar la situación inversa, produciéndose vasodilatación y aumenta la temperatura cutánea y por consiguiente la diferencia entre la temperatura cutánea y la temperatura central se reduce al mínimo. Este fenómeno se observa en niños sobrecalentados por la alta temperatura de la incubadora o por fototerapia.

La sudoración es otro mecanismo importante de defensa contra el calor y está limitado en el recién nacido de término y, en especial, en el prematuro, por la inmadurez funcional de las glándulas sudoríparas. Es casi nula en prematuros de menos de 30 semanas de gestación que, sin embargo, pueden experimentar grandes pérdidas de agua a través de su delgada piel por evaporación transudativa, especialmente bajo calor radiante.

#### **2.3.4. Producción de Calor en el Recién Nacido**

La producción de calor es una consecuencia del metabolismo [35]. Esta producción puede ser de dos tipos diferentes: Un proceso de *termogénesis no termoreguladora* donde la producción de calor es fruto del metabolismo de mantenimiento de las necesidades energéticas propias de las distintas actividades del ser vivo y la *termogénesis termoreguladora* que es una respuesta metabólica destinado a producir calor para equilibrar las pérdidas que se producen en un ambiente frío. La producción de calor se expresa en calorías (Cal / Kg. / 24 horas) o en su equivalente en consumo de oxígeno ( $O_2$  ml / Kg. / min.).

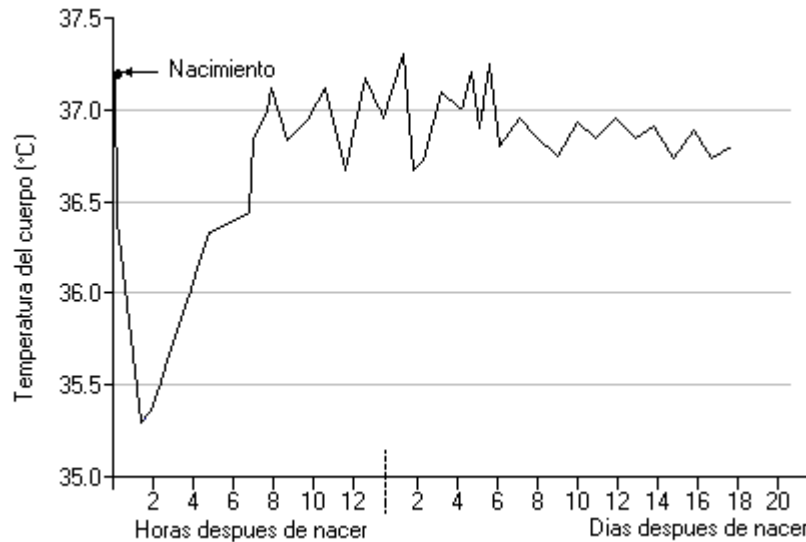
##### **2.3.4.1. Termogénesis No Termoreguladora**

En el recién nacido se prefiere hablar de metabolismo mínimo o de mantenimiento, y no de metabolismo basal, ya que es prácticamente imposible conseguir las condiciones que este último requiere para su medición. Por lo tanto, el metabolismo de mantenimiento comprende la acción dinámica específica de los alimentos y un grado mínimo de actividad muscular. Según estudios sobre el

metabolismo de mantenimiento, tanto en recién nacidos de término como en prematuros, del primer día a días posteriores varía entre 35 a 60 Cal/ Kg. / 24 horas.

### 2.3.4.2. Termogénesis Termoreguladora

El neonato tiene un mecanismo especial para aumentar su producción de calor en ambientes fríos, a través del metabolismo energético producido en la grasa parda. La grasa parda es un tejido que tiene bastante eficiencia para la producción de calor ya que permite la abundante irrigación sanguínea, que es responsable de su color especial. Este tejido se encuentra de modo especial en la región interescapular, axilar y alrededor de los riñones. En menor proporción, también se encuentra alrededor de los vasos sanguíneos del cuello, del esófago y de la tráquea.



**Fig. 3.** Comportamiento de la temperatura corporal del recién nacido después del alumbramiento

Al nacer, el ser humano tiene su primer encuentro en un ambiente frío. La respuesta metabólica es baja en las primeras horas de vida, lo que explica la gran facilidad para enfriarse que tiene el neonato en este período, esto se puede observar

en la figura 3, lo que justifica el cuidado especial que, en el período de transición, se debe tener con la temperatura.

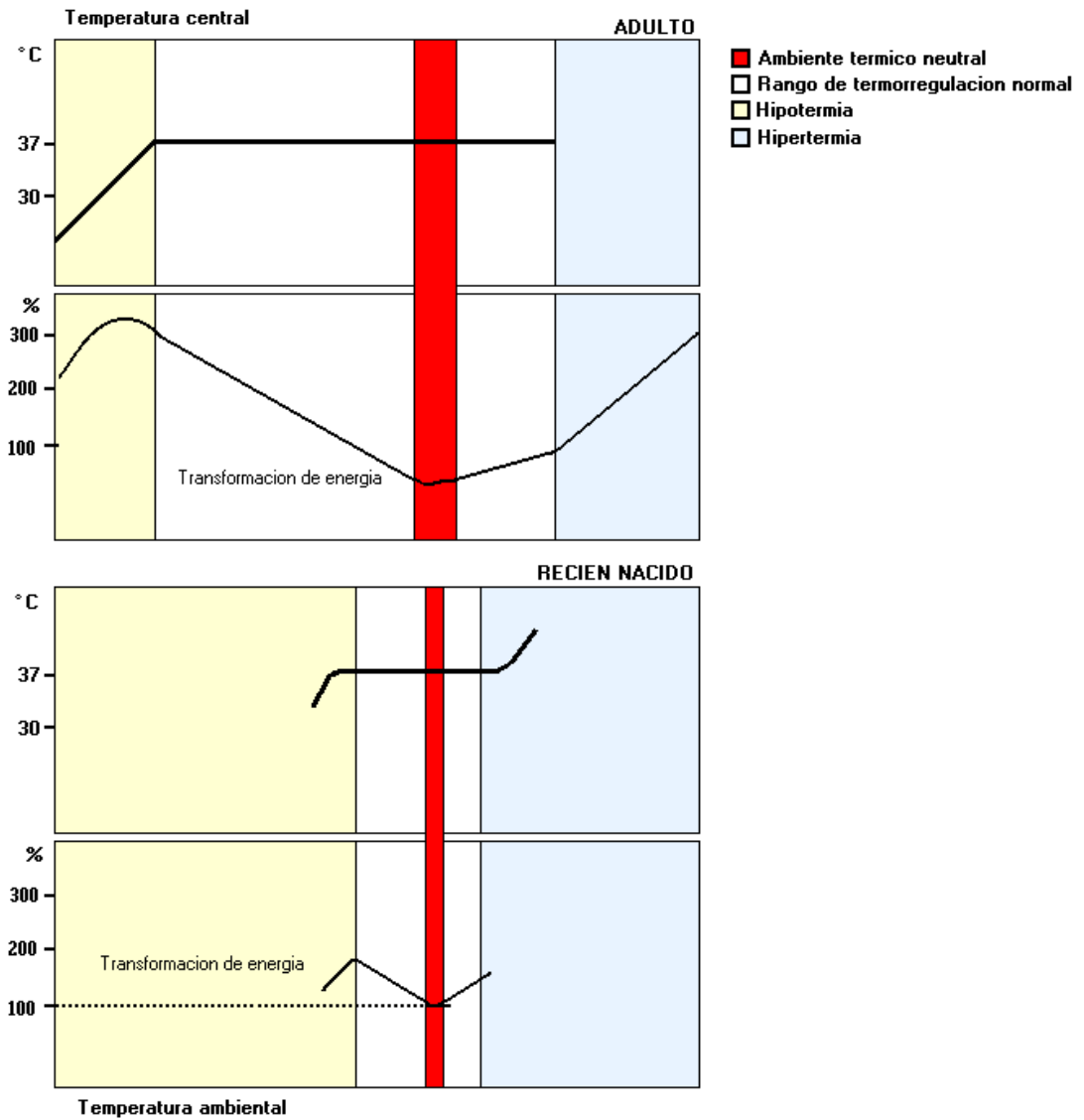
#### **2.4. Ambiente Térmico del Recién Nacido**

Como ya se ha dicho, la influencia del ambiente térmico en el recién nacido es muy grande para su bienestar [34]. La inestabilidad de la temperatura de los bebés es una constante preocupación del personal médico, lo que ha llevado a definir rangos de temperatura adecuados para obtener el máximo bienestar y que en comparación con los adultos, presentan un comportamiento de más cuidado y que necesita ser estudiado para tener un adecuado seguimiento.

El rango de termorregulación normal es aquel intervalo de valores donde la temperatura central no cambia por variación en la temperatura ambiental. Dentro del rango de termorregulación normal esta el rango de ambiente térmico neutral. El concepto de ambiente térmico neutral tiene relación con el metabolismo mínimo o de mantenimiento y es aquel en el que las pérdidas de calor son equivalentes a ese metabolismo. La definición correcta de este concepto la da la Comisión Internacional de Sociedades Fisiológicas: “es el rango de temperatura ambiente en el cual el gasto metabólico se mantiene en lo mínimo, y la regulación de la temperatura se efectúa por mecanismos físicos no evaporativos, manteniéndose la temperatura central profunda en los rangos normales” [28].

El bebé maduro al nacimiento tiene un rango pequeño de termorregulación normal comparado con el adulto, pero este crece rápidamente con la maduración. En el bebé pretérmino, infante con poco peso al nacer, tanto el rango de termorregulación normal como el rango de ambiente térmico neutral son muy estrechos, como se muestra en la figura 4. El bebé prematuro no está provisto de mecanismos parecidos a la sudoración o a los escalofríos y el metabolismo está limitado para el bienestar.





**Fig. 4.** Comparación del ambiente térmico neutral de un adulto con el de un recién nacido

### **3. Descripción y Desempeño del Sistema**

Después de mostrar la técnica con la que se va a trabajar y las características del objetivo al cual apunta este trabajo, se procederá a describir el sistema planteado teniendo en cuenta las disciplinas en las que se encuentra enmarcado, el ambiente en el que se desarrolló, las características de las imágenes y el respectivo análisis.

Esta sección empieza mostrando el contexto de la práctica del monitoreo y su importancia dentro de la medicina. Posteriormente se describe el sistema planteado y sus componentes y el lugar donde se desarrolló. Seguidamente, se presentan los instrumentos y las herramientas de análisis utilizados para evidenciar mejor las perturbaciones de la temperatura. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y la respectiva discusión.

#### **3.1. Descripción del Sistema**

El sistema propuesto en este trabajo se encuentra enmarcado dentro de dos ramas de la ingeniería: Las técnicas de inspección y la telemedicina. La termografía, como ya se mencionó es una técnica de diagnóstico que encaja dentro de las técnicas de inspección, entendiendo por inspección, el proceso para determinar el comportamiento de características inherentes de un objeto. El tipo de inspección depende de los sensores que se utilicen para el seguimiento, para la termografía, la inspección es visual ya que entrega una información pictórica de la temperatura.

La información que se acumula a través de un proceso de inspección visual sirve para dar una indicación de aspectos que salen del rango normal del objeto de estudio y mediante eso establecer e implementar técnicas que garanticen un comportamiento

estable (control) o tan solo utilizar la información con el fin de recolectar estadísticas (monitoreo) que brinden un seguimiento del objeto a través del tiempo.

Por lo tanto un sistema de monitoreo termográfico de neonatos es un sistema de inspección visual de recién nacidos que utiliza la técnica de la termografía infrarroja para discriminar la temperatura corporal de los bebés en imágenes que permitan hacer un seguimiento a través del tiempo, cuantificando los cambios y evidenciando problemas relacionados con el proceso de termorregulación del bebé.

La práctica del monitoreo para la medicina es una labor constante y bastante compleja. No solo la temperatura evidencia problemas en la salubridad de los pacientes, el registro de los valores del ritmo cardiaco, la presión arterial y los niveles de oxígeno en el cuerpo entre otras, son prácticas en las cuales un adecuado monitoreo es de vital importancia y que con ayuda de los nuevos avances de la tecnología en el desarrollo de nuevos sensores han hecho que ésta práctica sea más eficaz. La práctica del monitoreo a nivel médico es más frecuente y más importante que la de control ya que la decisión de los procedimientos frente a un paciente no se la puede confiar a un sistema artificial que no tiene garantizada totalmente la capacidad de inferir, además de que su operabilidad puede verse interrumpida por múltiples motivos. Más bien un adecuado y eficaz monitoreo del paciente brindará al personal médico mejores estimativos de la salubridad y permitirá tener más certeza de los tipos de procedimientos que va a realizar [33].

El monitoreo remoto de aspectos médicos en los cuales se utiliza sistemas de telecomunicaciones y que facilita la interoperabilidad del personal y de los equipos de diagnóstico se encuentra descrito por la telemedicina y tendrá su descripción en un capítulo aparte.

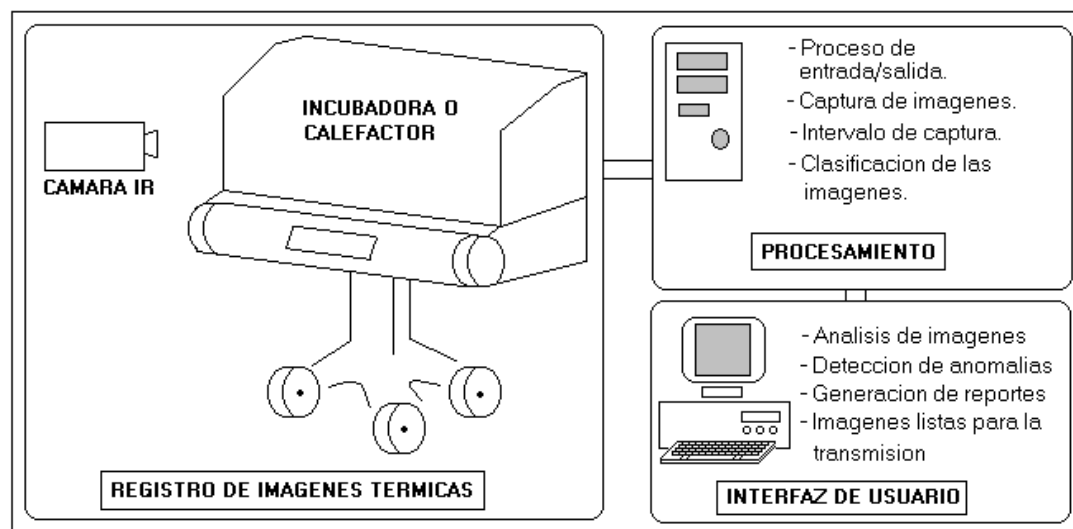
Para un proceso de monitoreo por inspección visual no existen patrones que describan los pasos a seguir y que garanticen un buen trabajo, la mejor base radica en

los sistemas en los que se ha comprobado la efectividad. Sin embargo, para una inspección termográfica aplicada a la medicina no hay muchos puntos de referencia ya que más bien, en Colombia, la termografía está siendo aplicada para la supervisión de sistemas eléctricos y mecánicos [27]. Esto se debe a la escasez de equipos debido a su alto costo de adquisición y a la poca diversidad de fabricantes. La contratación del servicio también se torna escasa ya que tampoco existe abundante personal calificado para la manipulación de las cámaras y con estudios certificados para ésta practica y que pueda dar una interpretación adecuada para las aplicaciones médicas, siendo la mayoría de las veces ingenieros eléctricos quienes realizan las tomas y se encargan de dar los diagnósticos.

El propósito principal de este trabajo es mostrar cómo la técnica de la termografía puede ser una herramienta de diagnóstico de cuadros clínicos en la medicina de una manera *on line* aprovechando los avances en la digitalización de imágenes. Debido a la escasez de información y a las condiciones en las cuales se desarrolló éste estudio, y que se describirán a continuación, se inició abordando un sistema en el cual la temperatura juega un papel demasiado importante para el bienestar de los pacientes y que los conocimientos fisiopatológicos no son tan complicados de entender para el campo de la ingeniería.

### **3.2. Componentes de un Sistema de Monitoreo Termografico de Neonatos**

En la figura 5 se muestran los componentes necesarios para hacer una inspección termografica convencional, aunque para este caso la supervisión es para recién nacidos prematuros y que se mantienen en incubadoras o calefactores radiantes, realmente el objeto al que se le hace el análisis puede ser cualquiera siempre y cuando se conozcan las propiedades de reflexión y absorción y el índice de emisividad del material que está hecho para su respectivo análisis.



**Fig. 5.** Componentes principales de un sistema de monitoreo termográfico de neonatos

El registro de las imágenes térmicas, el procesamiento y la interfaz de usuario utilizada para el sistema se describirán con más detalle a continuación.

### 3.2.1. Registro de las Imágenes Térmicas

La adquisición de las imágenes térmicas es la parte esencial para iniciar un proceso de monitoreo termográfico ya que ellas son la base para el estudio. A pesar de que son la parte más importante, no dejan de ser datos que sin una buena interpretación no consiguen evidenciar aspectos involucrados con la temperatura. La adquisición de las imágenes resulta sencillo, basta exponer la cámara infrarroja frente al objetivo, que en este caso son los recién nacidos que se encuentran en incubadoras o calefactores radiantes y congelar en un cuadro la región de interés. Es pertinente analizar la distancia entre el sensor y el objetivo ya que la mayor cercanía no es lo más recomendable, porque la imagen adquirida no ofrecería el contraste de colores producto de la diferencia de temperatura.

Para realizar las tomas de los prematuros que se encuentran en las incubadoras es necesario tener en cuenta la orientación y el ángulo de donde se registra porque el cuerpo de los bebés es muy pequeño y se encuentra cubierto ya sea por ropa o por mantas, además de los instrumentos para el registro del ritmo cardiaco y el suero en algunos casos. Para el caso de los calefactores radiantes, la situación es menos complicada, puesto que los bebés se encuentran con mayor estabilidad térmica y tan solo el registro de las imágenes está afectado por las mantas y por el parche para cubrir los ojos del bebé.

### **3.2.2. Procesamiento y Análisis de la Imagen**

Después de adquirir la imagen es necesario someterla al procesamiento y análisis respectivo, para estos asuntos se necesita la asistencia de un computador donde se almacenan las imágenes y se tiene las herramientas software que ayuden a estas tareas. La conexión entre la cámara infrarroja y el computador se debe realizar mediante dispositivos que garanticen la no alteración de las imágenes en cuanto a la intensidad del color, el tamaño y el formato [39].

El color es una de las características más importantes de las imágenes térmicas porque cada matiz representa un rango de temperaturas y cualquier variación de tonalidades significa una alteración de la lectura de la temperatura, a diferencia de las imágenes convencionales, las imágenes térmicas traen inherentemente información que da evidencia de problemas. La calidad de los dispositivos con que se cuente garantiza la naturaleza de las imágenes y una lectura más fiel de la temperatura, pero para esto se requiere una inversión alta de dinero. Con técnicas de procesamiento de imágenes propias e implementadas en paquetes computacionales se puede mejorar la calidad de las imágenes térmicas [19,40-42].

El almacenamiento de las imágenes es importante para un sistema de monitoreo porque analiza la evolución en el tiempo de muchos aspectos, es por esto que deben ser almacenadas en secuencias que permitan saber el orden de las tomas para su

posterior análisis. Otro aspecto importante es el formato en el que se almacenan las imágenes, dependiendo del fabricante de la cámara, las imágenes se almacenan en un formato propio o en un mapa de bits (BMP) con el que se obtiene óptima calidad, sin embargo, estas pueden ser de gran tamaño, lo que hace que se necesite recurrir al almacenamiento en formatos comprimidos mediante algoritmos que pueden hacer perder alguna información [43].

Después de la adquisición de la imagen, esta es sometida al procesamiento y análisis respectivos. El propósito es encontrar en las imágenes desviaciones de la temperatura en la región registrada mediante paquetes computacionales especializados para el análisis termografico y los cuales contienen herramientas para el estudio orientado a píxeles y a colores. A pesar de que los paquetes computacionales son bastante completos, no dejan de ser un instrumento de exploración para el especialista en termografía para dar los diagnósticos.

Los paquetes computacionales orientados a imágenes de color convencionales son también útiles para el procesamiento, ya que tienen herramientas de detección basadas en umbrales y análisis mediante la aplicación de filtros predefinidos, tablas de referencia (LUTs, *Lookup Tables*) y herramientas para el trabajo con morfología binaria y transformada de Fourier que permiten el desarrollo de aplicaciones avanzadas en reconocimiento de patrones.

El análisis de las imágenes, la detección de anomalías y el diagnóstico de la situación del sistema examinado lo realiza el personal experto con ayuda de la interfaz de usuario. La presentación de los resultados se puede hacer mediante la generación de reportes gráficos con la inclusión de las imágenes térmicas y su concepto de la situación del paciente. Las imágenes y los reportes pueden ser enviados a través de una red local de computadores de tal forma que informen la situación del paciente a otro personal médico que lo requiera o simplemente para obtener ayuda en el diagnóstico o lo que se llama segunda opinión medica.

### **3.3. Herramientas de Desarrollo**

Para el sistema de monitoreo planteado se utilizaron tanto herramientas de hardware como de software para las labores de adquisición y análisis de las imágenes termográficas, las cuales se describirán a continuación.

#### **3.3.1. Herramientas Hardware**

##### **3.3.1.1. Cámara**

La cámara utilizada es una cámara infrarroja portátil de marca **Mikron**<sup>®</sup>, modelo MikroScan 7515 [2], es un radiómetro altamente sensible al infrarrojo térmico que captura la radiación emitida por una superficie y la convierte en una imagen bidimensional con la distribución de la temperatura en dicha superficie. Posee un sensor UFPA (Uncooled focal plane array) que consiste en una matriz de 320 x 240 elementos detectores (microbolómetros) que no requieren refrigeración, lo que reduce los costos de mantenimiento [24]. Su rango de temperatura de inspección es de -40°C a 500°C. La cámara funciona conectándola a la red eléctrica mediante un adaptador que genera 7.2V DC o mediante baterías que tienen un tiempo de duración aproximado de 110 minutos. Las interfaces con que cuenta es una de comunicaciones RS-232C, una salida de video con formatos NTSC (formato americano) y PAL (formato europeo), además de video compuesto y súper video. El almacenamiento de las imágenes se realiza mediante tarjetas de memoria flash de 128 Megabytes de capacidad (aproximadamente 750 imágenes). La tabla 2 muestra las especificaciones completas de la cámara descrita.

La cámara es de propiedad de la empresa de análisis termograficos **Anter Ltda.** que tiene su sede en la ciudad de Cali y que permitió la utilización de éste dispositivo para realizar las tomas en la clínica, además de proporcionar el software con el cual funciona la cámara, material bibliográfico e instrucciones para mejorar el desarrollo de este trabajo.



**Tabla 2.** Datos técnicos de la cámara infrarroja

<b>MikronScan 7515</b>		
<b>Desempeño</b>	Rango de Temperatura	-40°C a 500°C
	Precisión en la medida	± 2% ó 2°C por lectura
	Campo de visión	29° (H) x 22° (V)
	Distancia focal	50 cm a infinito
	Instantáneo F.V.O.	1.58 mrad
	Detector	Uncooled focal plane array (microbolómetros)
	Numero de píxeles	320 (H) x 240 (V)
	Rango espectral	8.0 a 1.4 μm
	Rata de captura de cuadros	30 o 60 cuadros / seg.
	Nivel de temperatura del sistema	-40°C a 120°C
	Sensitividad	0.07°C
	Compensación para ambiente	Entradas por distancia, temperatura atmosférica y humedad relativa
	Compensación de fondo	Proporcionado
	Zoom digital	2:1, 4:1 (filtrado espacial)
	<b>Presentación</b>	Resolución A/D
Display		Color / monocromático, positivo - negativo etc.
Niveles de gris		16, 32, 64, 128, 256
Selección de color		256 colores
Control de auto ganancia (AGC)		Proporcionado
Muestra de zonas isotermas		1 a 4 líneas
Visor		LCD de color
Software		MikroSpec™ 2.5
<b>Interfaz</b>	Comunicación	RS-232C
	Salida de video	NTSC/PAL, video compuesto, S-video
	Memoria de datos	Tarjeta de memoria flash de 128Mb
<b>Ambiental</b>	Temperatura de operación	-15°C a 50°C
	Temperatura de almacenamiento	-40°C a 70°C
<b>Eléctrico</b>	Alimentación	7.2 V DC
	Consumo	6W
	Tiempo de operación	110 min. aprox.
<b>Características físicas</b>	Dimensiones	97x110x169 (WxHxD)
	Peso	3.3 lb. incluida batería

### **3.3.1.2. Tarjeta de Digitalización**

Se utilizó una tarjeta de digitalización en color, de la casa ATI, serie Radeon 9000PRO, que consiste en una tarjeta para capturar señales de video análogas a color, externa y que se conecta al puerto USB del computador. Funciona como un *frame grabber* sincronizado con el reloj del computador para establecer la cantidad de imágenes que almacena y en qué intervalo de tiempo. La utilización de la cámara junto con la tarjeta se hace mediante conectores BNC y en formato de video NTSC.

Esta tarjeta garantiza la no alteración del color en las imágenes térmicas y alcanza a capturar más de 60 cuadros por minuto, máximo número de imágenes térmicas que proporciona la cámara por segundo. Aunque la utilización de la tarjeta no es del todo necesaria, ésta hace parte del sistema, puesto que para sistemas que no cuentan con un computador cercano, la captura de las imágenes se hace manualmente por el operario de la cámara y el almacenamiento en tarjetas de memoria, cuyas imágenes se descargan con un lector de tarjetas que funciona también por el puerto USB.

### **3.3.2. Herramientas Software**

Existen muchos paquetes computacionales para el procesamiento y análisis de imágenes, algunos de libre distribución, otros que vienen ligados con un hardware específico y los programas que se diseñan para fines educativos. Ciertos de ellos permiten la programación de rutinas desde en entorno gráfico o mediante instrucciones previamente establecidas o tan solo son visores de imágenes que incluyen funciones básicas para el análisis.

Entre las aplicaciones conocidas para el procesamiento de imágenes en el ámbito educativo se tiene el IMAQ Vision para Labview y el *toolbox* de procesamiento de imágenes de Matlab que incluyen la elaboración de rutinas y el análisis de imágenes de cualquier tipo incluso de imágenes médicas. Las aplicaciones que vienen con

ciertos dispositivos permiten mejorar su desempeño y de acuerdo a los objetivos para los cuales se los utiliza incluyen rutinas y formatos propios tanto para las imágenes producidas como para la presentación de las mismas.

Con la cámara infrarroja viene asociado el software **MikroSpec™** desarrollado por la empresa fabricante. Esta aplicación proporciona herramientas especialmente desarrolladas para el análisis de las imágenes térmicas y que se describirán a continuación. Cabe destacar que el software no es de libre distribución y se lo obtiene con la adquisición de la cámara.

### ***3.3.2.1. Descripción de MikroSpec™ y sus Herramientas***

MikroSpec™ es una aplicación muy completa desarrollada por Mikron Infrared Inc. [2] para el análisis de imágenes térmicas, funciona bajo el ambiente de los sistemas operativos Microsoft® Windows™. Ofrece una interfaz de fácil manejo para de las imágenes y aunque no permite implementar rutinas para un análisis automático, proporciona bastantes herramientas para la exploración de los termogramas. La versión utilizada para este trabajo es la MikroSpec™ 2.5.

La figura 6 muestra la interfaz desplegada cuando se carga una imagen en MikroSpec™ 2.5. Como se observa en la barra del título se puede identificar el nombre con el que está guardada la imagen y su localización. Debajo de esta barra se encuentran los menús que permiten acceder a las funciones para cargar, analizar y generar reportes de imágenes térmicas. De una forma más vistosa se presenta a la derecha botones para escoger la escala de temperatura y una ventana en donde se elige una paleta predefinida, que es una combinación de colores que aprovechan mejor los contrastes en la escala de temperatura y que, algunas veces, una puede evidenciar mejor que otras, zonas críticas de temperatura. Más abajo se presenta en una ventana la imagen térmica. En la barra superior de esta ventana posicionando el

cursor del ratón, se puede observar las coordenadas y la temperatura del punto ya sea en grados Centígrados como Fahrenheit.

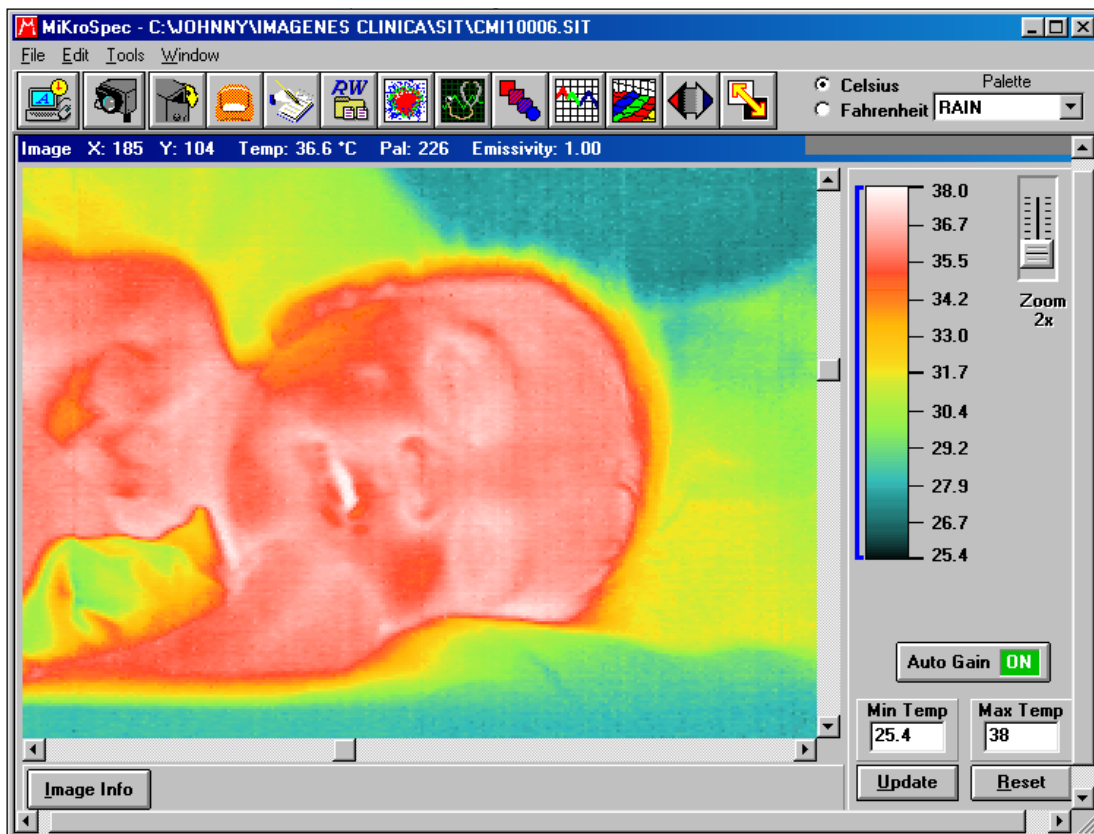


Fig.6. Modelo de la interfaz de MikroSpec™ 2.5

La cámara proporciona dos formatos para el almacenamiento de los termogramas, uno de ellos es el formato propio de la marca del fabricante **Mikron**® y cuya imagen posee una extensión SIT y que solo es ejecutable con MikroSpec™, aunque con algunos visores de imágenes médicas del formato DICOM [44-47] se las puede observar más no manipular. El otro tipo de almacenamiento es en formato de mapa de bits (BMP) y que está popularizado en todos los paquetes de procesamiento de imágenes. Aunque el tamaño del archivo aumenta porque además se necesita incluir

la escala de temperatura, la calidad no se altera, sin embargo, al manejar estos archivos con MikroSpec™ se ven reducidas las posibilidades de análisis.

Las herramientas que MikroSpec™2.5 ofrece para el análisis de las imágenes térmicas están orientadas al manejo del color para mejorar el aspecto de las imágenes. Dentro de éstas se encuentran la identificación de las regiones de interés (ROI, por sus siglas en inglés), donde se puede dibujar por encima del termograma regiones para el análisis del promedio de la temperatura y los valores máximos y mínimos. Estas regiones se pueden guardar en un archivo para análisis posteriores de otras imágenes, incluso permiten el cambio del valor de la emisividad con el cual se hizo la toma del termograma.

También es posible examinar la variación de temperatura a lo largo de una línea recta mediante la generación de un perfil gráfico y que puede evidenciar incrementos anormales de temperatura en la región que se elija. Es posible también generar un perfil 3D de toda la imagen térmica donde los tres ejes de la gráfica representan la posición horizontal, vertical y la temperatura.

Sin duda, la herramienta de análisis más importante es la creación de paletas personalizadas. Con estas paletas se busca obtener un mejor contraste de colores en la superficie de análisis, o también se puede reducir la intensidad de los colores del entorno de dicha superficie. Para esto se cuenta con 16 colores de 16 gamas cada uno que a criterio del ejecutor y del sistema examinado, se combinan para comprobar mejor las anomalías térmicas. La implementación de filtros, el análisis de isothermas y la oposición de los colores de la paleta (polaridad inversa) permiten ver solamente porciones de una imagen que caen dentro de un rango de temperatura discreto y previamente definido por el usuario y que pueden ser útiles dado el caso.

La generación de reportes es también posible con MikroSpec™2.5, de una forma amigable selecciona las imágenes con las cuales se realizó el análisis y

automáticamente las organiza en un documento que contiene los valores de la temperatura en regiones de interés, los datos de la empresa que realiza el análisis y se puede incluir un diagnóstico preliminar del sistema. Este documento se guarda en un archivo de texto compatible con Microsoft Word® de Windows™.

### **3.4. Desempeño del Sistema**

El primer paso para analizar el desempeño de los sistemas de inspección visual, generalmente es adquirir imágenes de prueba con los instrumentos apropiados y en el ambiente en donde se va a aplicar, de tal forma que se identifiquen aspectos reales del sistema al cual esta orientado el análisis y se tomen decisiones para mejorar la efectividad del monitoreo.

Las imágenes térmicas de prueba que se tomen son prácticamente una análisis termográfico como tal, solo que estas permiten identificar preliminarmente en el sistema, que en este caso se trata de un neonato, los rangos críticos de variación de la temperatura y la paleta de colores más apropiada que arrojen un mejor contraste para que en el momento en que se dé un aumento o disminución de los parámetros térmicos se evidencie de una manera más fácil y rápida. Otro indicativo que brindan las imágenes de prueba es la orientación a la cual se deben realizar las tomas para que no se vean tan afectadas por superficies brillantes y la distancia adecuada que encuadre todo el cuerpo del bebé.

#### **3.4.1. Toma de Imágenes de Prueba**

El registro de los termogramas de prueba de bebés prematuros se realizó en la Unidad de Recién Nacidos de la **Clínica Materno Infantil Los Farallones** de la ciudad de Cali. Esta unidad cuenta con tres salas para albergar a los bebés; en la sala principal están los prematuros más críticos, que permanecen en incubadoras para su recuperación. Estas incubadoras funcionan con un mecanismo para autorregular la temperatura mediante sensores que se adhieren al cuerpo del bebé, que garantizan un

ambiente térmico adecuado. En las otras dos salas se encuentran tanto incubadoras como camas calefactoras para el reposo de los bebés un poco más estables tanto térmicamente como de salubridad.

Para la toma de imágenes de prueba se utilizaron 11 bebés de diferentes condiciones térmicas y que permanecían en las incubadoras y en camas con influencia de calefactores o tan solo de la temperatura del ambiente de la sala. Se registraron 52 termogramas que logran mostrar el estado térmico de los bebés y las limitaciones que puede presentar el sistema planteado en este trabajo.

Los parámetros bajo los cuales se configuró la cámara de acuerdo a las condiciones de la sala para la toma de las imágenes térmicas son: La unidad de temperatura en grados centígrados, en el rango 1 de escala, que corresponde a  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $120^{\circ}\text{C}$  con la opción de autoescala activada, para que los colores de la paleta se repartan en los rangos de variación de la temperatura del sistema inspeccionado; la humedad relativa del ambiente del 25%, el factor de emisividad de 0.98 para el cuerpo humano y la distancia entre cámara y objetivo de 3 metros. Las imágenes se guardaron en una paleta para imágenes médicas de entre cuatro opciones posibles y con una sensibilidad en el color de  $0.5^{\circ}\text{C}$ . Los demás parámetros corresponden a opciones avanzadas y que están ya definidos y no se modificaron. Las imágenes obtenidas bajo esta configuración son archivos con extensión SIT de tamaño estándar de 152 Kilobytes cada una independientemente de los colores usados para discriminar la temperatura.

#### **3.4.2. Análisis Preliminar de las Imágenes**

La observación de los termogramas registrados permitió dar una estimación de los alcances de este proyecto y la clase de inspección que se podía hacer a los recién nacidos. La disposición de los bebés dentro de la incubadora con los respectivos elementos que permanecen a su lado para garantizarle su bienestar hacen que no se tenga un adecuado campo de visión de su cuerpo para obtener un termograma bien

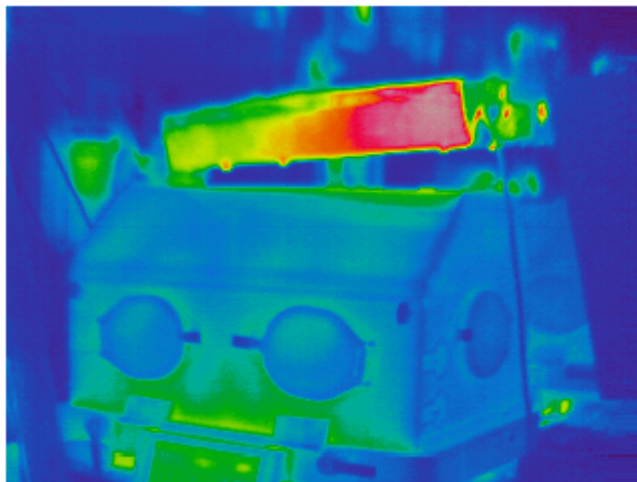
definido que acceda a “observar” toda la temperatura corporal, sin embargo, esta es una limitación que puede ser remediada.

Cuando se piensa en una práctica de monitoreo visual asistido por computador, se supone que el rastreo de la variable en cuestión va a evidenciar su evolución en el tiempo en intervalos definidos. Este progreso que generalmente se presenta mediante la utilización de gráficas es automático y tan solo requiere la programación de los dispositivos necesarios para que operen indefinidamente realizando las tareas estipuladas en un algoritmo.

La primera evidencia que mostraron las imágenes es que con este tipo de monitoreo es muy difícil de que consigan buenos resultados. El posicionamiento de la cámara frente a una incubadora de tal forma que enfoque constantemente al bebé y que genere imágenes térmicas durante espacios de tiempo previamente establecidos no logrará arrojar buenos resultados. El primer obstáculo con el que se cuenta es que por más estratégicamente que se ubique la cámara, el cuerpo del bebé siempre va a estar oculto ya sea por su propio movimiento o por la ropa; además que es difícil mirar las imágenes e identificar que instrumentos interfieren por su clase y por la limitación de color y definición. El segundo impedimento se debe a la interferencia del proceso cuando se estén haciendo los procedimientos de cuidado por parte de las enfermeras encargadas de la sala, tales como cambio de pañales, alimentación o suministro de drogas entre otros, procedimientos que son críticos ya que algunos se realizan con la incubadora abierta alterando la temperatura del bebé [34]. Tal vez el aspecto más relevante para hacer que se busquen mejores alternativas para la inspección de la temperatura por esta técnica y que represente mejores beneficios se debe a la incubadora. El material con que se fabrican las paredes transparentes de la incubadora, que en este caso es acrílico, resulta una superficie brillante y que al tomarle un termograma no permite analizar el cuerpo del bebé, que está adentro, por sus características de reflexión como se observa en la figura 7. Incluso, las



incubadoras tienen doble pared para garantizar que no se presenten pérdidas del calor de los bebés lo que complica aun más la adquisición de las imágenes térmicas.



**Fig.7.** Termograma de una incubadora.

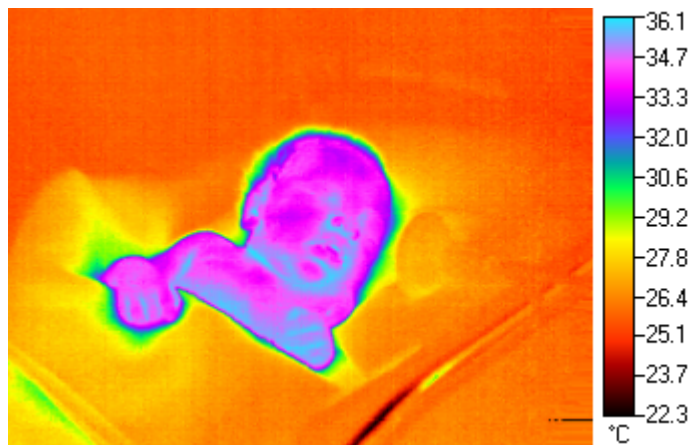
En cuanto al registro de imágenes térmicas de bebés que se encuentran en camas con calefacción no tienen ningún problema para el examen, aunque son muy propensos a manifestar dolencias que involucran una variación de temperatura. Sin embargo, los bebés que más tienen complicaciones y que necesitan estar diagnosticados más continuamente son los recién nacidos que permanecen en las incubadoras [48].

Teniendo en cuenta estos aspectos, la concepción del sistema varía un poco. El monitoreo planteado para este trabajo, no es una tarea constante ejecutada automáticamente y más bien se brinda la técnica de la termografía como una herramienta para que el personal médico disponga cuando considere necesario de una inspección de la temperatura que permita evidenciar posibles alteraciones de los sistemas que componen el cuerpo y que estén asociados con la disminución o aumento de la temperatura corporal. Aunque el seguimiento no sea realizado constantemente, se pueden establecer tiempos para la toma de termogramas de tal

forma que estos se vayan almacenando para llevar un registro de la evolución del paciente.

### **3.5. Análisis de Resultados**

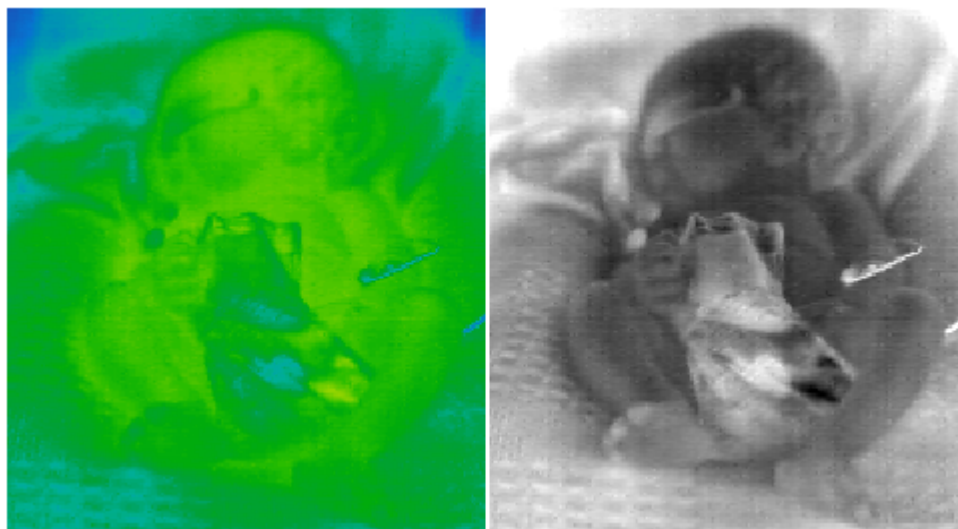
En la figura 8 se puede observar un termograma convencional de un recién nacido que permanece en una cama sin influencia de calor radiante de un calefactor. La combinación de los colores de la paleta de temperatura corresponde con fines médicos, aunque con la aplicación de las demás paletas también se obtiene un buen contraste de los colores incluso con la paleta en escala de grises.



**Fig. 8.** Termograma de un recién nacido

Se observa una imagen térmica de muy buena calidad en la que se logra discriminar muy exactamente la temperatura sobre la cara del bebé, incluso también evidencia la transferencia de calor del cuerpo a las cobijas que lo cubren, lo que da una indicación aproximada del valor de la temperatura de los alrededores. Aunque si bien, para identificar el valor de la temperatura hay que hacer una confrontación con la escala de la derecha y esto no resulta un ejercicio muy exacto por la variedad de las gamas de color.

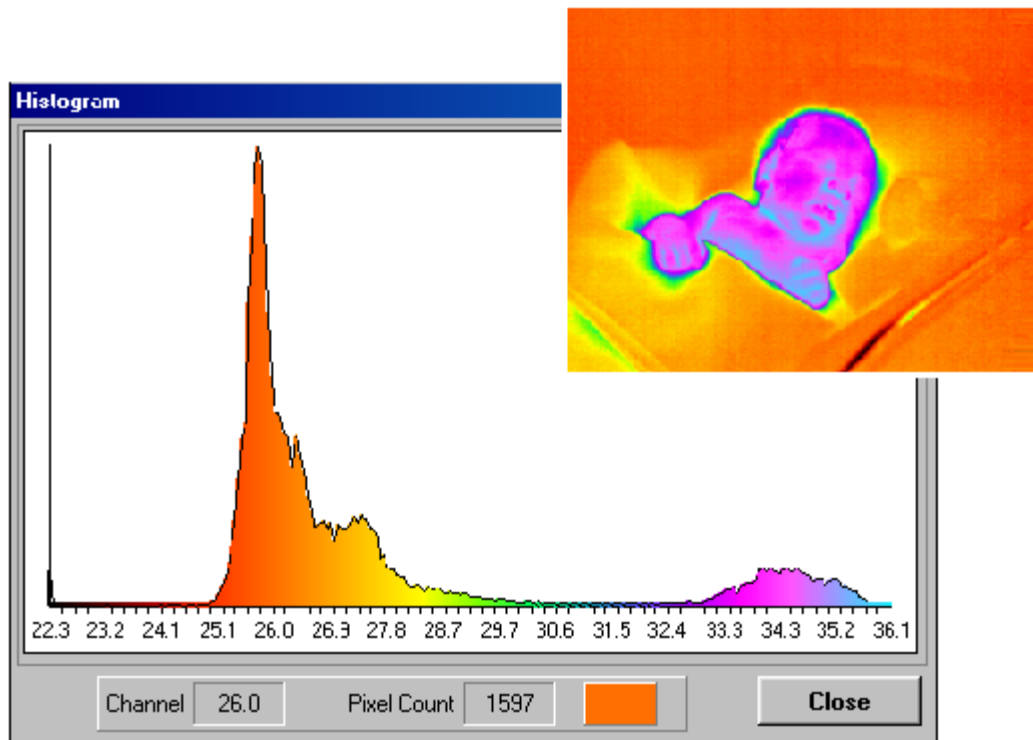
Mediante la utilización adecuada del software y sus herramientas, la temperatura se puede monitorear muy exactamente con valores numéricos y siempre orientado al trabajo con los colores de las imágenes y de las paletas. Aunque las imágenes son de muy buena calidad algunas veces los colores no permiten identificar la disposición del cuerpo del bebé y se pueden prestar para equivocaciones en el registro de la temperatura en sitios del cuerpo o en objetos dispuestos cerca de él. La paleta que hace que las imágenes térmicas se vean como una aproximación de una imagen de luz visible es en la cual la temperatura se discrimina en tonos de gris. En la figura 9 se puede observar que en el termograma en color no se logra alcanzar a identificar el parche que tiene el bebé para proteger los ojos de la luz, el área del pañal, las mangueras y la posición de los pies.



**Fig.9.** Comparación de un termograma en paleta de color y en paleta de grises.

Otro aspecto importante y que tiene que tenerse en cuenta antes de analizar las regiones corporales del bebe es tratar de limitar la escala de temperatura quitando o modificando la influencia visual del fondo mediante la utilización de otras paletas predefinidas o la implantación de paletas personalizadas. La utilización de la herramienta del histograma ayuda a observar que zonas se pueden desechar sin afectar las regiones que interesan del termograma. En la figura 10 se muestra la

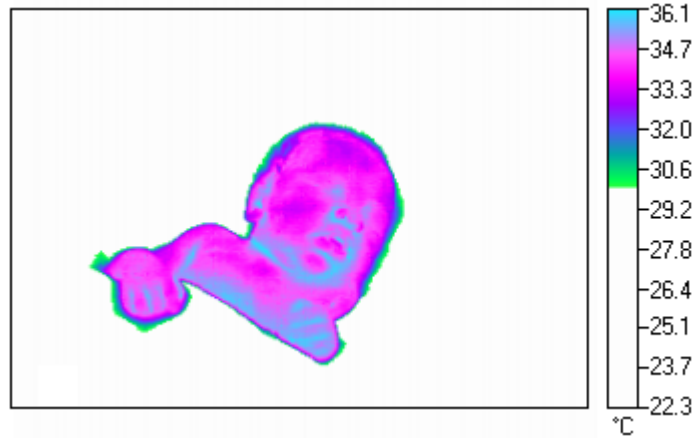
imagen térmica y su respectivo histograma en donde perfectamente se puede identificar que existe un área muy grande de fondo que se puede quitar. A medida que el cursor del ratón se desplaza por el histograma se muestra en la barra inferior, un color y la temperatura que representa de tal forma que se puedan establecer límites para una paleta personalizada.



**Fig. 10.** Modelo del histograma de una imagen térmica

Las escala de temperatura de un termograma contiene 256 colores y cada uno representa un valor de temperatura específico dentro de un rango que está determinado mediante el sistema que se inspeccione y la escala predefinida con que se trabajó la cámara. Para crear una paleta que umbralice la región de variación de temperatura que más interesa tan solo se debe remplazar los colores del fondo por un color estándar y que deje la región del cuerpo de bebe que va a ser analizada o en un rango de temperatura específico. La figura 11 muestra el resultado de umbralizar el

termograma de la figura 8 en un rango de temperatura de 30 a 36.1 °C, así, la siguiente operación esta orientada al análisis de la superficie corporal del bebé.



**Fig. 11.** Resultado obtenido al umbralizar

Para examinar la distribución de los diferentes valores de la temperatura sobre la superficie corporal del bebé, MikroSpec™ proporciona tres herramientas con las cuales se puede hacer un seguimiento muy completo.

Las primeras dos herramientas están orientadas a definir la variación de la temperatura en el termograma en rangos térmicos establecidos por el usuario. Con la utilización de ellas se puede hacer un análisis general del ambiente térmico de la incubadora, la cuna radiante y la temperatura ambiental de la sala para tratar de aproximarlos al nivel ideal y así minimizar la influencia de la temperatura externa hasta conseguir la termo-neutralidad del bebé.

El análisis mediante isotermas proporciona la facilidad de examinar la transición de tres rangos de temperatura preestablecidos y en colores que sobresalen en la superficie corporal del bebé, de tal forma que se puedan definir puntos de anomalías y su extensión. La figura 12 muestra la ventana de análisis de isotermas.

En la figura se puede observar que la ventana contiene seis cuadros para incluir los valores numéricos de los rangos a examinar y los colores en que se va a visualizar estos intervalos. También se puede establecer una exploración automática de la temperatura desde el mínimo al máximo valor de la escala mediante incrementos por

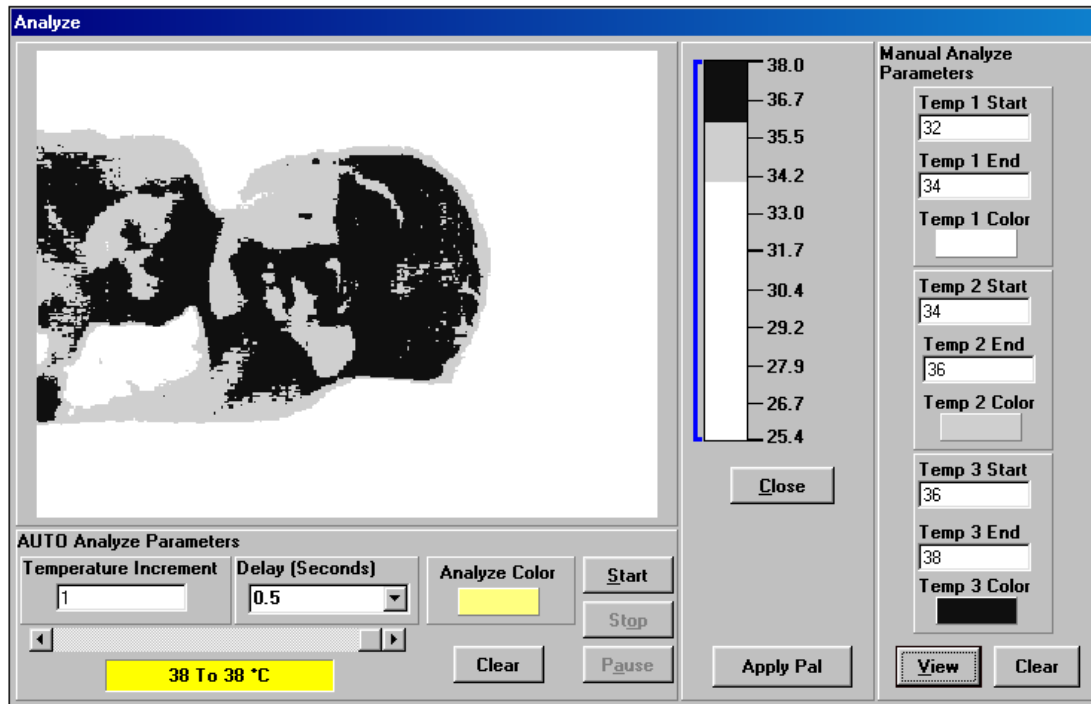


Fig. 12. Ventana para análisis de isotermas

unidad de tiempo y así establecer la variación del gradiente externo y su influencia en la temperatura corporal del bebé. La aplicación de filtros también es importante para el monitoreo ya que establece un intervalo en el cual se garantiza un equilibrio térmico y muestra gráficamente que regiones a lo largo del tiempo sobrepasaron los límites de temperatura señalados y obliga al personal de atención a implantar correctivos para garantizar la salud del bebé.

La última herramienta consiste en definir regiones en las cuales se quiere saber el valor puntual o un promedio de la temperatura en diez diferentes regiones dibujadas

encima de la imagen térmica. La figura 13 muestra la ventana para el análisis orientado a regiones.

La ventana muestra que se pueden seleccionar regiones tales como círculos, rectángulos y líneas de diversos tamaños en los cuales se identifica la temperatura máxima, mínima y el valor promedio. Si se obtiene un termograma de un bebe

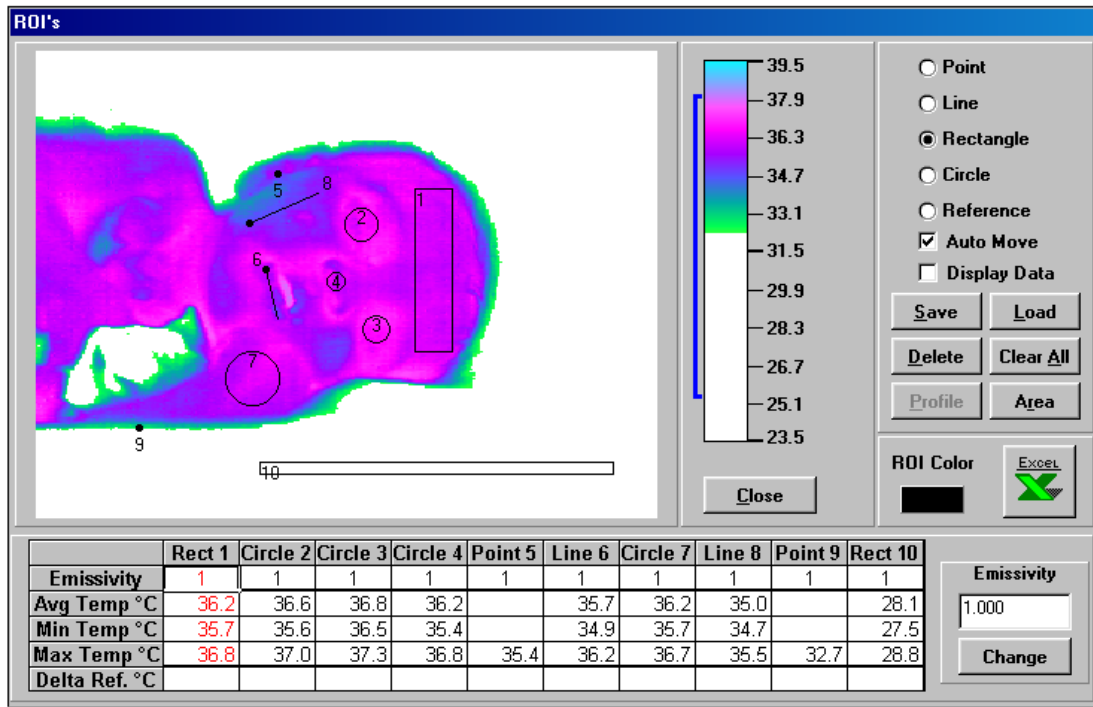


Fig. 13. Ventana de análisis orientado a regiones

desnudo completamente se puede monitorear sitios estratégicos donde se presentan las primeras evidencias de variación de la temperatura central y donde puede haber reflejo de algún cuadro patológico. La frente, los ojos, los labios, las mejillas, la región del corazón y el hígado, los genitales, las manos y los pies pueden ser monitoreados mediante rectángulos y círculos, mientras el oído, otro sitio para tomar la temperatura, con un punto y zonas delgadas como los dedos con una línea pueden ser un ejemplo de algunos lugares.

Aunque el software tiene la posibilidad de guardar en un archivo las regiones estipuladas para el análisis de otras imágenes térmicas, esto es muy complicado ya que el movimiento de los bebés hace variar su colocación y obtener termogramas para diferentes bebés en la misma posición es casi imposible, por lo tanto es mejor definir regiones propias para cada imagen térmica.

La aplicación adecuada de estas herramientas garantizarán un adecuado monitoreo de los recién nacidos, para quienes el bienestar depende en gran parte de este proceso. Como se explicó anteriormente, la llamada temperatura central no es constante en todos los tejidos y órganos del cuerpo, el cerebro es probablemente el que tiene el valor de temperatura más alto; por lo que la medida de una única temperatura podría decirnos cómo efectivamente el bebe esta manteniendo esa temperatura particular, pero no nos da información de la energía usada para la termorregulación. Así, con el monitoreo termográfico se realiza la medida y se despliega continuamente la temperatura de las diferentes zonas del cuerpo del bebé, así como la temperatura del aire circundante de tal forma que se le puede prevenir al bebé de fatigas térmicas por frío (hipotermia) o por calor (hipertermia) [28,29,33,34,36,49].

Un buen registro de un termograma, en el cual se identifique todo el cuerpo del bebé, incluyendo la cabeza, hará que con la ayuda de la herramienta de registro de la temperatura por regiones se pueda rastrear tanto la temperatura central como la periférica. Después de haber umbralizado el fondo, se podrán confrontar los diferentes valores registrados en sitios como la zona abdominal del hígado, la axila, la región interescapular y el oído para medir la temperatura central, la planta del pie para la temperatura periférica y así establecer la diferencia entre ellas de tal forma que se pueda cuantificar la influencia de la temperatura del ambiente circundante.

La piel es la primera que se enfría cuando el ambiente baja del rango neutral; por eso es el mejor parámetro clínico para evaluar la neutralidad térmica [34]. De



diversas maneras se puede mantener la temperatura cutánea: usando un sensor térmico, adherido a la piel del abdomen del bebé, que sensa la temperatura y autorregula la temperatura del aire circundante de la incubadora prefijado a una temperatura de 36.2°C, para niños de mas de 2 kilogramos, y de 36.5°C para niños más pequeños. De esta manera, el consumo de oxígeno se mantiene en el mínimo [28].

En caso de estar en un calefactor radiante, es recomendable prefijar la temperatura a un valor de 36.6°C que por experiencia en termomonitorio señala que, a esa temperatura, los niños de menos de 1200 gramos son incapaces de mantener una temperatura rectal dentro del rango normal por lo que se necesita preestablecerla en 37°C [34].

El uso del servocontrol puede incurrir en diversos problemas. Así, por ejemplo, elimina la apreciación de un cambio brusco en la temperatura del niño, cambio que es un signo útil y precoz de infección [34]. Por experiencia de algunos autores que demostraron que la medición de la temperatura cutánea en niños muy pequeños puede ser muy imprecisa, ocasionado por pérdidas calóricas bajas debidas a evaporación en la zona del termistor, al estar esa zona cubierta por una tela. También está en peligro de que se pueda desprender el termistor, la incubadora siga aumentando su temperatura y el niño se sobrecaliente.

La constante toma de la temperatura central es un aspecto de suma importancia en un cuidado neonatal diario y la utilización de la termografía como técnica de monitoreo hace que se puedan obtener cuadros de fatiga térmica en un bebé porque mide más de una temperatura corporal. La hipotermia ocurre cuando hay pérdida de calor en el bebé, ya que este tiene mecanismos de termorregulación para incrementar la producción de calor o prevenir las pérdidas. Estos mecanismos permitirán al bebé mantener la temperatura central, pero solo a un gran costo metabólico. Si el personal médico no actúa mientras sucede un descenso en la temperatura central, puede

exponer al bebé a un período crítico de fatiga metabólica el cual podría tener efectos de detrimento.

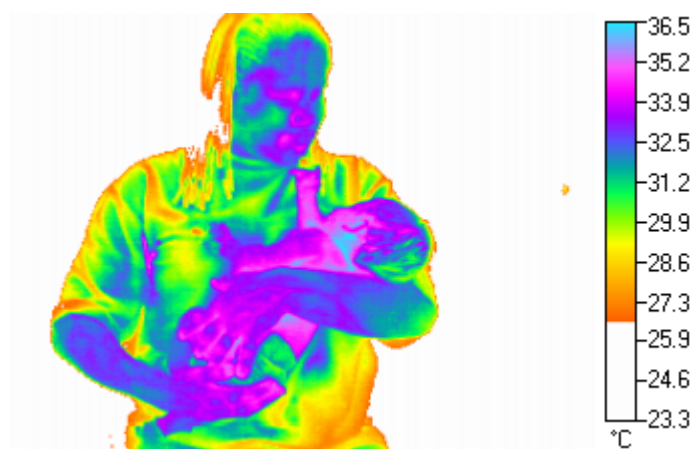
Si un bebé es expuesto a una hipotermia, las partes periféricas del cuerpo se enfriarán antes de que la temperatura central baje. Por la medida de la temperatura central y la temperatura periférica, los cambios en la diferencia de la temperatura periférica-central dan una pequeña indicación de la fatiga térmica, antes de que cualquier alteración sea detectada en la temperatura central del cuerpo. El análisis del comportamiento de la temperatura periférica se puede hacer mediante el uso de isotermas con las cuales se puede observar que zonas corporales se ven afectadas primero por variación en la temperatura del ambiente.

Durante los procedimientos de las enfermeras, el bebé responde con una caída en la temperatura periférica, efecto preliminar de la hipotermia. La duración de los procedimientos de la enfermera hace que la caída de la temperatura periférica sea más significativa. Usualmente, para el tratamiento de la hipotermia la temperatura de la incubadora se la incrementa durante la manipulación para compensar cualquier pérdida de calor. Esto no es bueno, por mucho que el bebé reduzca la temperatura después del procedimiento resulta en demasiado calentamiento para el bebé, con un aumento en ambas temperaturas, y un estrechamiento del intervalo de temperaturas central – periférica [18,34,50,51].

Un bebé también puede sufrir de hipertermia si esta expuesto a altas temperaturas ambientales. Con un calentamiento tanto, la temperatura central como la temperatura periférica se elevan y la diferencia entre ellas decrece. Como con la hipotermia, la temperatura periférica responde antes con un cambio en la temperatura central. En la hipertermia hay muchas veces asociado un incremento en el ritmo cardiaco. Aunque la hipertermia trae consigo las mismas complicaciones para el bebé que la hipotermia, sus causas tienen que ver a menudo con el sistema calefactor de las incubadoras y camas radiantes con lo que el tratamiento recomendado es la ventilación manual hasta

que el recién nacido llegue a su temperatura neutral, por lo tanto, el registro de las imágenes térmicas no involucra su temperatura como ocurre con la hipotermia en donde el bebé debe permanecer con la incubadora cerrada. La figura 14 es un termograma que muestra la elevada temperatura de un bebé con hipertermia que se encuentra en ventilación a temperatura ambiente de 24 °C.

Tanto la hipotermia como la hipertermia son la principal preocupación en el monitoreo de neonatos y la termografía ofrece excelentes resultados por los motivos descritos anteriormente, sin embargo existen cuadros patológicos que



**Fig. 14.** Termograma de un bebé con hipertermia

involucran a la temperatura y que pueden diagnosticarse y examinarse mediante el análisis de imágenes térmicas.

Como ya se mostró, el análisis de la superficie corporal de un bebé se puede adelantar mediante la inspección de regiones que demanden un interés especial. En lo que respecta a la cara, el monitoreo de la frente puede llevar a evidenciar la presencia de fiebre causada por una infección y que se manifiesta con una vasoconstricción periférica, lo que hace que aumente la temperatura central.

Los procesos infecciosos que afectan al recién nacido se pueden clasificar en infecciones congénitas, infecciones víricas de transmisión vertical, infecciones bacterianas o por hongos de transmisión vertical e infecciones de transmisión horizontal [29,34,48,50]. Las infecciones más comunes involucradas con la temperatura son las infecciones bacterianas o por hongos de transmisión vertical como la sepsis, meningitis, neumonía, infecciones cutáneas, etc. y se producen por contacto directo cuando el feto pasa por el canal del parto y se contamina con secreciones infectadas y las infecciones de transmisión horizontal, más frecuentes y más importantes para la morbilidad y mortalidad neonatal. Las infecciones nosocomiales, que son causadas por microorganismos en los servicios de neonatología que son transportados hasta el recién nacido por el personal médico sanitario o por el material de diagnóstico. Tanto la sepsis como la meningitis evidencian un aumento de temperatura, y sudoración que pueden ser detectados por la toma de imágenes térmicas de la frente del bebé junto con la monitorización de cuadros de hipertermia.

El registro de la temperatura mediante el uso compartido de termómetros de contacto puede aumentar la probabilidad de contaminar al recién nacido con bacterias que le ocasionen una infección nosocomial. La termografía por ser una técnica de inspección sin contacto que mejora las condiciones de higiene y evita tener que compartir las pruebas y su esterilización.

La apnea es otro cuadro patológico que se puede detectar aproximadamente con el análisis de los termogramas [48,50,52]. Se considera apnea patológica todo episodio de ausencia de flujo respiratorio de duración de 20 segundos, su monitorización se realiza mediante la medida de la saturación de oxígeno de la hemoglobina y la frecuencia del pulso mediante pulsoximetría y/o frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria. Sin embargo, mediante la termografía se puede analizar de cerca la región de la nariz del bebé y encontrar la temperatura nasal y las corrientes de aire

que emanan de ella. Su tratamiento consiste en mantener al bebé en el rango de termo neutralidad, evitando la hipotermia y la hipertermia.

Otro aspecto que puede ser monitoreados es la asfixia [48]. La asfixia es el término que se usa cuando una recién nacido se sofoca porque no puede respirar y por lo tanto oxigenar su sangre. Como consecuencia de ellas disminuye el aporte de oxígeno a los tejidos (hipoxia) y se altera el metabolismo y funcionamiento celular. Su tratamiento específico se hace mediante terapias experimentales de hipotermia general y selectiva del cráneo y la corrección de la acidosis metabólica (aumento de la acidez de la sangre o disminución de la alcalinidad).

Dos aspectos que están fuera de los cuadros patológicos que se pueden detectar, pero que involucran la temperatura central y periférica es que mediante el registro de un termograma se puede evidenciar cuándo un bebé ha mojado su pañal, como se puede observar en la figura 15. No con todas las paletas de colores se puede evidenciar este aspecto que es muy importante puesto que eleva la diferencia entre la temperatura central y la periférica. El otro detalle va orientado a detectar la localización de las venas para una transfusión, procedimiento que es complicado por la pequeñez de las extremidades y que se puede dar por la delgadez de la piel del bebé.



**Fig. 15.** Evidencia de un pañal mojado

#### **4. Transmisión de las Imágenes Térmicas**

La integración de las ciencias médicas con el desarrollo de las telecomunicaciones y la informática y su aplicación en las diferentes actividades del sector salud han hecho de la imagen médica digital una herramienta cotidiana para el diagnóstico de pacientes superando las barreras de tiempo y distancia y proporcionando exámenes más sofisticados y que permiten un mejor nivel en la prestación de los servicios. Las redes de comunicaciones aunque tienen muchos propósitos, son implantadas para satisfacer las necesidades particulares de un grupo de personas y obligan a establecer reglas exclusivas que enmarquen la clase de servicios que van a prestar, los datos que va a manejar y los límites de servicio que brindarán.

El desarrollo de este capítulo pretende mostrar cómo en una red de telemedicina, la imagen médica digital es un objeto de diagnóstico que debe recibir un tratamiento especial de tal forma que garantice confiabilidad como todo procedimiento médico. El capítulo inicia con una introducción a la telemedicina y a la imagen médica digital, posteriormente se describen las características del protocolo de transmisión TCP/IP y su importancia en la telemedicina. Teniendo en cuenta la clase, el tamaño y el formato de las imágenes térmicas obtenidas para el monitoreo de neonatos, se analizan las características del protocolo de intercambio de imágenes médicas DICOM 3.0 como una plataforma confiable, reconocida e implantada por muchos hospitales en el mundo y que es parte importante de un sistema PACS.

##### **4.1. La Telemedicina**

La Organización Mundial de la Salud define la Telemedicina como la distribución de servicios de salud, en el que la distancia es un factor crítico, donde los

profesionales de la salud usan información y tecnología de comunicaciones para el intercambio de información válida para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades o daños, investigación y evaluación; y para la educación continuada de los proveedores de salud pública, todo ello en interés del desarrollo de la salud del individuo y su comunidad [45].

La idea de la telemedicina nació pensando en el creciente incremento de enfermedades, el envejecimiento progresivo de la población y los problemas de saturación de los servicios sanitarios que aquejan a la población hoy en día. Por esta razón, aparece la telemedicina como una posibilidad de resolver la congestión creciente de los servicios de salud mediante el movimiento electrónico de la información sin el traslado físico de los pacientes.

La telemedicina es una nueva modalidad de suministro de servicio de salud que permite realizar evaluaciones clínicas y realización de exámenes diagnósticos y el seguimiento de pacientes a distancia mediante la comunicación remota entre personal médico. Esta nueva posibilidad de asistencia médica no habría alcanzado un desarrollo importante si las tecnologías de las comunicaciones digitales no hubieran mostrado un constante avance y mejora.

Con la telemedicina no se pretende perder el contacto físico entre el paciente y el médico, por el contrario se pretende llegar a más pacientes. La telemedicina constituye un método o procedimiento muy útil para dispensar atención médica o por lo menos colaborar en ella en los países en desarrollo donde la infraestructura es muy escasa, como es el caso de nuestro país. En Colombia existen problemas como la escasez de recursos, su centralización, el aislamiento de las zonas rurales, principalmente, y las dificultades para la comunicación interna, planteándose la telemedicina como una solución para los problemas que enfrenta el sector salud [45,46].

Entre los beneficios mas relevantes que proporciona un servicio de telemedicina, se encuentran:

- Mejorar los servicios de atención, ya que puede evitar el desplazamiento o garantizar un mejor seguimiento de muchos pacientes a la vez.
- Hacer accesibles los servicios médicos de mayor calidad a un mayor número de ciudadanos, incluso de zonas rurales y aisladas.
- Mejorar el aprovechamiento y despliegue de recursos técnicos y profesionales en los hospitales de todos niveles de atención al permitir una adecuada clasificación de la gravedad de la patología de un paciente dado.
- Reducción en los costos sanitarios, evitando desplazamientos de pacientes hacia sitios de consulta para la realización de exámenes con equipos de alta tecnología.
- Para las instituciones de salud, la telemedicina representa mejora en el servicio ya que permite establecer bancos de imágenes diagnósticas de los pacientes con su respectiva historia clínica y que proporcionan mayor rapidez y precisión en los tratamientos y mejor comunicación en los servicios.
- La telemedicina permite el acceso a las distintas especialidades de centros de cualquier lugar, gracias a esto los profesionales sanitarios pueden mantenerse al día, intercambiar experiencias y efectuar consultas con otros médicos.

Las desventajas que puede presentar de una red de telemedicina aparentemente son muy escasas comparados con los beneficios que presenta. Sin embargo, los problemas y las desventajas se encuentran en el diseño y la implementación de la red ya que estos aspectos deben ajustarse a las condiciones propias de cada país o región, teniendo aspectos legales, disponibilidad de tecnologías y recursos financieros y aspectos culturales y geográficos particulares lo que ocasiona que no se puede implantar modelos de redes sin hacer estudios de factibilidad, aceptación y costos para cada caso y es ahí donde se encuentran las desventajas particulares que muy a menudo tienen que ver con los costos de implementación y de compra de equipos.



Los diferentes tipos de utilidades que ofrece la telemedicina como la transmisión de imágenes diagnósticas, exámenes de laboratorio, telemetría e interconsultas entre médicos mediante sistemas de videoconferencia que permiten la transmisión de datos, voz y video deben concebirse como actos médicos convencionales sujetos a las normas éticas y técnicas de confiabilidad y privacidad y, por lo tanto, una red de telemedicina debe permitir que este intercambio de información se realice por medio de canales privados a los cuales sólo tendrán acceso el médico solicitante, el médico regulador, el médico que apoya y el personal paramédico directamente relacionado con la atención del paciente [53].

Un servicio de telemedicina requiere la transmisión de diversos tipos de información dependiendo de la naturaleza de la aplicación médica. De esta manera existen tres técnicas de transmisión que pueden ser utilizadas cuando se desea prestar un servicio determinado [44-46,54]. Estas técnicas son:

- *Transmisión de Datos:* Permite el movimiento de información médica, ya sea en forma de información estática, por ejemplo, historias clínicas o material didáctico, o en forma dinámica, como por ejemplo los signos vitales, ritmo cardiaco, tensión arterial, etc. En el primer caso, este tipo de información puede proporcionar facilidades al especialista para llevar un registro actualizado de las historias de sus pacientes y para acceder mas rápido a la información y obtener cifras estadísticas acerca de la población de pacientes. En el segundo caso, es posible realizar el monitoreo del estado del paciente a distancia gracias al envío de información que requiere ser transmitido en tiempo real.
- *Transmisión de Audio:* Permite la realización de consultas entre médicos y pacientes con el fin de comunicar la sintomatología y el correspondiente diagnóstico, además de la transmisión de señales de audio como los signos vitales.

- *Transmisión de Imágenes:* Puede comprender imágenes inmóviles, como los rayos X o imágenes móviles, como el video. La transmisión de imágenes es uno de los procesos más refinados y complejos que se utilizan en la telemedicina puesto que el diagnóstico por imágenes ha pasado a tener un lugar muy importante en las prácticas médicas, lo que requiere un tratamiento especial dependiendo de la clase de sistema de comunicación y de las características de las imágenes con que se cuente.

Para el sistema de monitoreo termográfico, las imágenes térmicas son la parte fundamental para el diagnóstico de la temperatura de los recién nacidos y son el objeto a transmitir sobre una red de computadores que constituya un proceso para monitorear a los bebés de una sala de neonatos de un hospital. Por lo tanto el estudio se centrará en mostrar cómo las imágenes pueden viajar a través de las dependencias de un hospital conectadas a la red, permitiendo la interacción con el personal médico que lo requiera para efectos de diagnóstico o de inspección continua. El adecuado almacenamiento de las imágenes térmicas como registros de evolución de pacientes y las técnicas de compresión adecuadas para mejorar la transferencia de los archivos son los aspectos a tener en cuenta y que se aplicarán a las imágenes térmicas reales.

#### **4.2. La Imaginería Médica**

La imagería médica considera un conjunto de modalidades de adquisición de imágenes medicas, las cuales se diferencian en cuanto a la naturaleza de los principios físicos involucrados en el proceso de adquisición. Adicionalmente existen también diferencias en cuanto a la aplicación médica. Las modalidades más comunes de imagería médica son: Los Rayos X, La Tomografía Computada (TC), La Resonancia Magnética Nuclear (RMN), la imagería nuclear y por ultrasonidos y las imágenes térmicas por Termografía Infrarroja [44,46,47].

Los Rayos X son una clase de radiación electromagnética similar a la luz para la cual la longitud de onda es más pequeña. Sus propiedades físicas más importantes son

su capacidad de atravesar la materia, producir fosforescencia e imprimir películas con emulsiones fotográficas. En la actualidad, las modalidades de imaginería médicas basadas en la utilización de rayos X incluyen la radiografía convencional, la videoangiografía o fluoroscopia y la tomografía. La Tomografía Computada o por rayos X es una importante modalidad de la imaginería médica asistida por computadora en donde las imágenes del interior del cuerpo se reconstruyen a partir de un conjunto de medidas de proyección. Tales proyecciones son obtenidas mediante la exposición de un objeto a un tipo de radiación, según diversos ángulos y midiendo, para cada posición angular, la intensidad del haz de radiación, que para este caso son rayos X, que atraviesa el objeto. La medición de la intensidad de los rayos X que atraviesa un plano del cuerpo humano según un ángulo dado da lugar a un perfil de proyección. La reconstrucción tomográfica de un plano del cuerpo humano se obtiene a partir de los diferentes perfiles de proyección obtenidos utilizando técnicas de reconstrucción de tipo analíticas o algebraicas. La calidad de las imágenes depende del número de perfiles considerados y para obtener imágenes útiles, desde el punto de vista del diagnóstico médico, es necesario considerar un número importante de perfiles de proyecciones.

La imaginería por Resonancia Magnética Nuclear (RMN) consiste en medir la concentración y el tiempo de relajación de ciertos núcleos atómicos, generalmente núcleos de hidrógeno excitados bajo la acción de un campo magnético fijo y de un pulso de radiofrecuencia. El interés de la imagenología por la Resonancia Magnética se debe a que el equipo utiliza una radiación no ionizante, además de no ser tan nociva, que permite una buena discriminación de los tejidos y la adquisición tridimensional de una zona del cuerpo.

La ecografía es una técnica de exploración por ultrasonidos. El dispositivo transductor, una barra piezoeléctrica que funciona como emisor y receptor, emite una onda ultrasónica de una frecuencia de varios MHz, en una orientación dada. La imagen 2D se obtiene por barrido de un haz según un barrido cualquiera. Una de las

dimensiones está dada por el barrido del haz, la otra dimensión corresponde al tiempo de retorno del eco. Si bien la resolución geométrica es inferior en relación con las otras modalidades de inspección por imagen, sus ventajas se fundamentan en el hecho de que la velocidad de adquisición es elevada (15 a 30 imágenes por segundo) lo cual permite la exploración de órganos en movimiento.

La tabla 3 muestra una comparación de las características de las imágenes producidas por las diferentes modalidades de imaginería médica.

**Tabla 3.** Comparación de las características para cada modalidad de imágenes médicas

<b>Modalidad</b>	<b>Formato</b>	<b>No. de bits</b>	<b>No. de píxeles</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Estudio</b>
<b>Rayos X</b>	Análogo (película)	8	2500 x 2000	10 Mbytes	10 Mbytes
<b>Tomografía Computada</b>	Digital	16	512 x 512	512 Kbytes	20 Mbytes
<b>Resonancia Magnética</b>	Digital	16	256 x 256	128 Kbytes	12 Mbytes
<b>Ecografía</b>	Análogo (video)	8	640 x 480	300 Kbytes	2 Mbytes
<b>Termograma</b>	Digital	8	320 x 240	160 Kbytes	1 Mbytes

Se puede observar en la tabla que el formato de las imágenes puede ser análogo o digital y que el tamaño varía en todas las modalidades. Los termogramas y las ecografías poseen un tamaño pequeño lo que significa que permiten niveles de compresión sin pérdidas. Teniendo en cuenta la variación de la temperatura de los recién nacidos y el desgaste de la cámara infrarroja se considera que cada media hora se puede registrar un termograma y esto hace que el almacenamiento de las imágenes térmicas no ocupe mucho espacio en el computador y así mismo la transmisión de las mismas se hace más rápido y sin congestión en la red.

### **4.3. La Internet**

Una red de computadores permite conectar a los computadores que la forman con la finalidad de compartir información, como documentos o bases de datos, o recursos físicos, como impresoras o unidades de disco. Las redes suelen clasificarse según su

extensión en: Redes de Área Local o LAN (Local Area Network) y cuya extensión suele estar restringida a una sala o edificio, aunque también podría utilizarse para conectar dos o más edificios próximos y Redes de Área Extensa o WAN (Wide Area Network) y son redes que cubren un espacio muy amplio, conectando a computadores de una ciudad o un país completo. Para ello se utilizan las líneas de teléfono y otros medios de transmisión más sofisticados, como pueden ser las microondas. La velocidad de transmisión suele ser inferior que en las redes locales [45,54,55].

La internet es uno de los adelantos tecnológicos de mayor impacto en nuestros días por la gran rapidez con que se ha expandido y popularizado. Es un conjunto de redes independientes, de área local y de área extensa, comunicadas entre sí, permitiendo el intercambio de datos y por lo tanto constituyendo una red mundial que resulta el medio competente para el intercambio de información, distribución de datos de todo tipo e interacción personal con otras personas. La red internet es de interés especial dentro de las redes de telemedicina ya que son muchas las clases de datos que se pueden intercambiar para procesos de consulta, conferencia, educación, control y cirugía. El presente estudio se centrará en la red internet como red principal para la transmisión de las imágenes térmicas.

Para que el proceso de transmisión de los datos por todas estas redes sea posible se emplean los *routers*, que son los sistemas que, conectando físicamente varias redes se encargan de dirigir la información por el camino adecuado. Los protocolos de comunicaciones definen las normas que posibilitan que se establezca una comunicación entre varios equipos o dispositivos, ya que estos equipos pueden ser diferentes entre sí. Cuando las redes que se conectan son de diferente tipo y con protocolos distintos se hace necesario el uso de los *gateways*, los cuales, además de encaminar la información, también son capaces de convertir los datos de un protocolo a otro. Exceptuando a los *routers* cualquier computador conectado a internet y, por tanto, capaz de compartir información con otro, se conoce con el nombre de *host* (anfitrión).

El protocolo que proporciona la compatibilidad necesaria para la comunicación en Internet es el protocolo IP (Internet Protocol) aunque sobre el mismo existe otro protocolo denominado TCP (Transmission Control Protocol) constituyendo entre ambos el protocolo TCP/IP. El TCP proporciona un mejor control de grandes cantidades de información. Así, añade al IP información acerca de cuantos bytes componen el paquete, cuántos paquetes forman la información completa, y donde encaja el paquete dentro de la información original. De este modo si la información llega incompleta o con errores, el TCP detecta el error y pide al computador que ha enviado la información la repetición del paquete que falta [55].

Los diferentes servicios que presta Internet son:

- Correo Electrónico (E-mail): El E-mail es popular porque ofrece un método rápido y conveniente de transferencia de información. E-mail puede adaptarse al envío de pequeñas notas y voluminosos documentos mediante un mecanismo sencillo. Mediante este servicio un médico puede, por ejemplo, supervisar y evaluar el progreso de un paciente, enviar informes, concretar citas para revisiones e intercambiar información con otros médicos.
  
- Listas de Correo: esta utilidad sirve para encaminar el correo desde un remitente espontáneo a unos destinatarios desconocidos, sobre un tema en concreto. Cuando el grupo de destinatarios interesados en un tema no se conoce de antemano se crea una lista de correo. Muchas veces estas listas están moderadas por alguien que decide los mensajes que deben ser redireccionados. De esta forma se cuida la calidad de la información transmitida. Una lista de correo puede proporcionar a los diversos profesionales de la salud una fuente de información muy valiosa para la investigación, estudio de temas variados, aprendizaje y como medio de actualización constante ya que desde el momento que se entra a formar parte

de ella, recibirán de forma periódica todos los mensajes que envíen los usuarios a la misma.

➤ Telnet: es una herramienta que permite acceder a un ordenador remoto para ver y ejecutar los programas allí existentes. El entorno de telnet esta basado en texto y el acceso no siempre es libre; en cualquier caso, se trata de una herramienta que tiene muy escasa utilidad. Sin embargo aun es posible acceder a algunas bibliotecas por medio de este servicio lo cual permitiría obtener información de interés

➤ FTP o Transferencia de ficheros: es otra de las aplicaciones más utilizadas en internet. Dado que los datos se almacenan y organizan en ficheros, este servicio abre las puertas de cualquier información disponible en la red. Resulta especialmente útil para transferir archivos de gran tamaño, para que el correo electrónico es inadecuado o insuficiente.

En internet se dispone de dos tipos de servidores que permiten el empleo del protocolo FTP: FTP anónimos en los cuales no existe ningún tipo de restricción a la hora de importar archivos desde ese servidor y FTP restringidos que son la gran minoría y requieren de un código de acceso. Resulta necesario registrarse.

➤ WWW (World Wide Web): corresponde a toda la información que se tiene a través de internet. Permite la transmisión de documentos multimedia, con texto, imágenes, sonido y video. También permite acceder a otras fuentes de información de forma interactiva, ya que cuenta con enlaces de hipertexto que constituyen la base de su funcionamiento.

Su funcionamiento se basa en dos conceptos de gran importancia: El primero es que el computador no recibe directamente los documentos, sino la información mínima necesaria para reconstruirlos y presentarlos adecuadamente en pantalla. La información llega en forma de archivo de

texto, redactado mediante las especificaciones del lenguaje HTML (Hypertext Markup Language), de modo que el programa cliente WWW interpreta esa información y construye la página que se visualiza. Es necesario, por tanto, el uso de algún programa cliente que interprete esa información y pueda representarla en el computador.

El segundo concepto es que la comunicación no es permanente: el interprete recoge el archivo de texto HTML y cierra la conexión momentáneamente mientras analiza sus datos y lo representa en pantalla. Al interactuar con la información del documento, se abre de nuevo la comunicación. De ese modo no se sobrecarga el sistema de transmisión de datos por la red.

Los protocolos de red están especificados mediante capas superpuestas de funcionalidad. El objetivo de esta segmentación es que sea posible sustituir una capa por otra equivalente, sin necesidad de sustituir la totalidad del hardware y el software que maneja las comunicaciones. Cada una de las capas que define un protocolo tiene que ver con un determinado nivel de funcionalidad y los niveles más bajos tienen que ver con el hardware, los superiores son responsabilidad únicamente de los programas que intercambian información, y los niveles centrales constituyen el núcleo del protocolo y están implementados, normalmente, en el sistema operativo o alguna librería estándar. El modelo OSI (Interconexión para sistemas abiertos, por sus siglas en inglés) es utilizado por prácticamente la totalidad de las redes del mundo. Este modelo fue creado por el ISO (Organización Internacional de Normalización), y consiste en siete capas donde cada una de ellas define las funciones que deben proporcionar los protocolos con el propósito de intercambiar información entre varios sistemas. Esta clasificación permite que cada protocolo se desarrolle con una finalidad determinada, lo cual simplifica el proceso de desarrollo e implementación.

En internet se diferencian cuatro niveles o capas en las que se agrupan los protocolos, y que se relacionan con los niveles OSI:



- **Aplicación:** Aquí se incluyen protocolos destinados a proporcionar servicios, tales como correo electrónico, transferencia de ficheros (FTP), conexión remota (TELNET) y otros más recientes como el protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).
- **Transporte:** Los protocolos de este nivel, tales como TCP y UDP (Protocolo de datagrama de usuario), se encargan de manejar los datos y proporcionar la fiabilidad necesaria en el transporte de los mismos.
- **Red:** Incluye al protocolo IP, que se encarga de enviar los paquetes de información a sus destinos correspondientes. Es utilizado con esta finalidad por los protocolos del nivel de transporte.
- **Enlace:** Los protocolos que pertenecen a este nivel son los encargados de la transmisión a través del medio físico al que se encuentra conectado cada *host*, como puede ser una línea punto a punto o una red *Ethernet*.

El TCP/IP necesita funcionar sobre algún tipo de red o de medio físico que proporcione sus propios protocolos para el nivel de enlace de internet. Por este motivo hay que tener en cuenta que los protocolos utilizados en este nivel pueden ser muy diversos y no forman parte del conjunto TCP/IP. Sin embargo, esto no causa inconvenientes puesto que una de las funciones y ventajas principales del TCP/IP es proporcionar una abstracción del medio de forma que sea posible el intercambio de información entre medios diferentes y tecnologías que inicialmente son incompatibles.

Para transmitir información a través de TCP/IP, ésta debe ser dividida en unidades de menor tamaño. Esto proporciona grandes ventajas en el manejo de los datos que se transfieren y, por otro lado, esto es algo común en cualquier protocolo de comunicaciones. En TCP/IP cada una de estas unidades de información recibe el nombre de datagrama, y son conjuntos de datos que se envían como mensajes independientes.

La capa de red marca cada paquete de datos con la identificación del computador originador y la del destinatario. En el caso de TCP/IP, la identificación consiste en una "dirección IP", que es una especie de número de teléfono único para cada computador conectado a la red. La identificación de los paquetes de datos hace posible que cada ordenador de la red procese únicamente aquellos en los que es el destinatario, descartando todos los demás, y además permite saber quién es el remitente de cada uno de los paquetes.

Otras funciones del nivel de red es asegurar la consistencia de los paquetes mediante el empleo de técnicas de verificación en donde el originador construye una especie de firma con base al contenido del mensaje, y agrega la firma al propio mensaje. El ordenador que recibe el paquete repite exactamente el mismo proceso con los datos, y genera su propia firma. Si la firma generada coincide con la que viene en el mensaje, la probabilidad de que el mensaje sea erróneo es despreciable, mientras que si las firmas no coinciden, es seguro que el mensaje ha llegado mal. Este mecanismo de verificación es extremadamente importante, puesto que es la base para asegurar la fiabilidad de las comunicaciones.

El protocolo de control de transmisión (TCP) pertenece al nivel de transporte, siendo el encargado de dividir el mensaje original en datagramas de menor tamaño, y por lo tanto, mucho más manejables. Los datagramas serán dirigidos a través del protocolo IP de forma individual. El protocolo TCP se encarga además de añadir cierta información necesaria a cada uno de los datagramas. Esta información se añade al inicio de los datos que componen el datagrama en forma de cabecera.

La cabecera de un datagrama contiene al menos 160 bits que se encuentran repartidos en varios campos con diferente significado. Cuando la información se divide en datagramas para ser enviados, el orden en que éstos lleguen a su destino no tiene que ser el correcto. Cada uno de ellos puede llegar en cualquier momento y con cualquier orden, e incluso puede que algunos no lleguen a su destino o lleguen con

información errónea. Para evitar todos estos problemas el TCP numera los datagramas antes de ser enviados, de manera que sea posible volver a unirlos en el orden adecuado. Esto permite también solicitar de nuevo el envío de los datagramas individuales que no hayan llegado o que contengan errores, sin que sea necesario volver a enviar el mensaje completo.

La capa de transporte permite establecer múltiples conversaciones o sesiones entre múltiples computadores, sin que ninguna interfiera con las demás. Esto se realiza asignando un identificador único a cada conversación, y marcar cada datagrama con los identificadores de la sesión originadora y destinataria. El identificador de sesión es único en cada ordenador, y combinado con la dirección IP constituye una identificación única en toda la red, por extensa que ésta sea.

En TCP/IP, el nivel de transporte incorpora un nuevo concepto, el servicio. La arquitectura cliente-servidor es una forma específica de diseño de aplicaciones, aunque también se conoce con este nombre a los computadores en los que estas aplicaciones son ejecutadas. Por un lado, el cliente es el computador que se encarga de efectuar una petición o solicitar un servicio. El cliente no posee control sobre los recursos, sino que es el servidor el encargado de manejarlos. Por otro lado, el ordenador remoto que actúa como servidor evalúa la petición del cliente y decide aceptarla o rechazarla consecuentemente. Una vez que el servidor acepta el pedido la información requerida es suministrada al cliente que efectuó la petición, siendo este último el responsable de proporcionar los datos al usuario con el formato adecuado.

TCP/IP soporta dos protocolos de capa de transporte: TCP (Transmission Control Protocol) y UDP (User Datagram Protocol). La diferencia radica en que TCP es un protocolo confirmado, es decir, emplea mensajes de respuesta para asegurar que cada datagrama llega a su destino, y reenvía el datagrama si es necesario, mientras que UDP se limita a enviar el datagrama, sin esperar ninguna respuesta del destinatario.

Cada uno de los protocolos tiene ventajas para determinadas funcionalidades, e incluso a veces se usa una combinación de ambos.

TCP/IP provee de una plataforma excelente de comunicaciones, pero no específica, ni le importa, cual es el contenido y significado de los mensajes que puedan intercambiar los programas involucrados en una conversación. Las reglas de contenido y significado se especifican en el nivel de aplicación y son, por supuesto, específicas para cada servicio. Puesto que el nivel de aplicación es responsabilidad de los programas, cualquier persona puede inventar su propio protocolo, y adaptarlo a las necesidades específicas del servicio que se quiera proveer. Existen probablemente varios cientos de miles de protocolos de este tipo, que se emplean en aplicaciones concretas en todo el mundo.

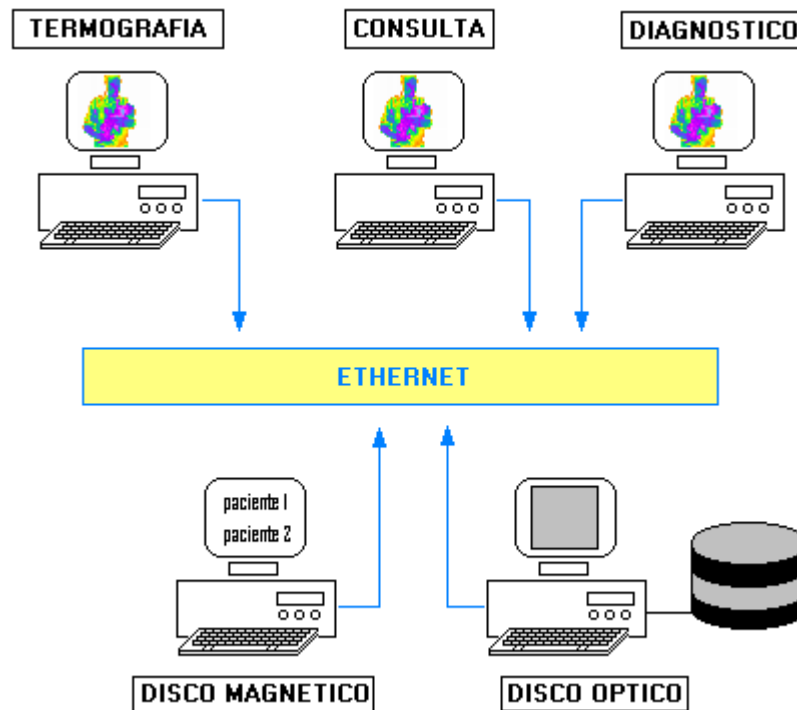
Actualmente existen muchos estándares que se pueden utilizar para aplicaciones de telemedicina ya que hay que tener en cuenta tanto el aspecto de redes y comunicaciones como los aspectos médicos y sus servicios. Para fines de intercambio, tratamiento, almacenamiento e impresión de imágenes medicas, existen sistemas denominados PACS (Picture Archiving and Communications System) que poseen sus propias reglas y proporcionan el mejor ambiente para el trabajo con las imágenes.

#### **4.4. Sistema PACS de Comunicación y Archivado de Imágenes.**

Este sistema representa un concepto de intercambio de información a base de imágenes, sonido y datos entre médicos, servicios y hospitales. Es un concepto de integración de la información hospitalaria abierto al mundo de la comunicación mundial, un concepto multimedia aplicado al ambiente hospitalario [44,45,47].

Los sistemas PACS utilizan varios componentes, hardware y software, con funciones específicas. Estos componentes son: digitalizadores láser para placas de Rayos X, digitalizadores de video, estaciones de trabajo con diferentes características,

estaciones de consulta, medios de almacenamiento ópticos y magnéticos, servicios de impresión, infraestructura para servicios de red, servidores de imágenes, servidores de bases de datos, dispositivos que generan imágenes médicas digitales y servicios de comunicación a sistemas remotos externos, entre otros. Como se observa en la figura 16, estos componentes se integran en un esquema cliente/servidor de una red de cómputo, para ofrecer los diferentes servicios demandados por las distintas áreas de un hospital.



**Fig.16.** Sistema PACS

Un sistema PACS de almacenamiento digital tiene las siguientes ventajas:

- **Accesibilidad:** La información está disponible al personal médico que la requiera. No es necesario contar con procesos intermedios de solicitud ni tiempos de espera largos.
- **Seguridad:** El acceso a la información está predefinido y controlado por medios electrónicos, clave de acceso, tarjetas de control, etc.

- **Facilidad de Almacenamiento:** los procesos de almacenamiento de información están automatizados. La intervención del personal administrativo se minimiza.
- **Economía:** Los costos de la implantación y operación de este tipo de sistemas no son superiores a los costos de manejo de la radiografía convencional, mientras que los beneficios al paciente debidos a incrementos en eficiencia son importantes.
- **Empleo de Bases de Datos:** La calidad de la atención al paciente se incrementa significativamente al permitirse búsquedas y comparaciones entre imágenes y padecimientos, seguimientos a largo plazo de los pacientes y el despliegue rápido de la información complementaria.
- **Visualización Múltiple:** Una imagen puede desplegarse en distintos lugares simultáneamente, de tal manera que el especialista puede hacer su diagnóstico en el servicio de imagenología, mientras que al mismo tiempo se puede desplegar en los quirófanos, los consultorios de los médicos o los servicios de urgencias.

Algunas de las desventajas del empleo de este método son:

- Calidad de las imágenes desplegadas en pantalla con respecto a la calidad de la imagen en placa radiográfica.
- Impresión de lentitud en el despliegue en el monitor del computador.
- Falta de costumbre de ver imágenes en pantalla.

Algunas de estas desventajas están relacionadas principalmente a la falta de familiaridad de los médicos al empleo y visualización de formatos e información digitales, aunque es cierto que en el caso de radiografías convencionales, las placas ofrecen mayor resolución que los monitores de video.

#### **4.4.1 Tecnología de un Sistema PACS**

##### ***4.4.1.1 Adquisición de las Imágenes***

Como sistema de alta tecnología, PACS usa la tecnología más reciente, La adquisición de datos se puede efectuar de diferentes maneras: La digitalización de placas fotográficas es el medio más común y se obtiene imágenes de 256x256 en 8 bits hasta 4096x4096 píxeles en 12 o 16 bits. También la digitalización directa en donde los aparatos ya vienen con la interfaz digital lo que permite conectarlo directamente al computador o mediante tarjetas digitalizadoras. Este es el caso de la cámara termográfica como se describió anteriormente.

##### ***4.4.1.2. Transmisión de Imágenes***

En general, las imágenes son comprimidas a la salida de los dispositivos y viajan a través de la red comprimidas, sin embargo, los termogramas tienen un tamaño relativamente pequeño comparado con las otras modalidades de imaginería médica.

Actualmente, el intercambio de imágenes de diferentes tipos se ha convertido en una actividad cotidiana con la utilización de programas aptos para esto, incluso también como plataforma para videoconferencia como lo es el software Microsoft NetMeeting™ y que arroja buenos resultados a la hora de analizar la calidad con la que llegan las imágenes térmicas en una red con un ancho de banda de 128 Kbps. Sin embargo, la transmisión de imágenes médicas debe tener un servicio de calidad en donde se garantice la seguridad de los datos, la llegada rápida de las imágenes de la especialidad médica que la requiera y el no acceso a personal no autorizado.

Las anteriores características se consiguen implementando un protocolo adecuado diseñado especialmente para el intercambio de imágenes médicas. Existen muchos estándares para estos propósitos, pero el más reconocido y que ha demostrado su efectividad es el DICOM 3.0 y el cual se describirá más adelante [45].

#### **4.4.1.3. Central de Archivo**

También debido al número de imágenes y a su tamaño, se requiere una central de archivo muy poderosa. Se usa en general una arquitectura tipo Cliente/Servidor con un servidor acoplado a una rack de discos compactos que permiten tener de dos a tres meses las imágenes en línea y también fuera de línea bajo pedido.

#### **4.4.1.4. Consulta de Imágenes**

Sobre requerimiento se pueden consultar imágenes por medio de una estación de trabajo, dotada de un paquete de despliegue y procesamiento de imágenes. Hay estaciones de trabajo que permiten procesar las imágenes en tiempo real, con muchas herramientas de software para rotaciones, zoom, contraste, brillo, incrustaciones de imágenes y reconstrucciones en 3D.

### **4.5. Estándar Médico DICOM 3.0**

El Colegio Americano de Radiología y La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (ACR-NEMA) han desarrollado el estándar para Imágenes Digitales y Comunicaciones (DICOM) con el objetivo de satisfacer las necesidades de los usuarios de imágenes médicas permitiendo la interconexión de dispositivos para imágenes en red; de esta manera toda imagen médica puede ser exportada entre instrumentos, computadores y hospitales. DICOM es aplicable al terreno de la transmisión, tratamiento e impresión de todo tipo de imágenes médicas independientemente de la especialidad médica que las exporte, estableciendo de esta manera un lenguaje común, que garantiza que una imagen producida por un dispositivo de un vendedor determinado pueda ser desplegada en una estación de trabajo de otro vendedor [44-47].

Inicialmente se publicaron dos versiones del estándar que fueron denominadas ACR/NEMA V.1 y V.2 las cuales especifican una interfaz de hardware punto a punto, un conjunto mínimo de comandos software y un conjunto de datos consistente.



Sin embargo faltaba considerar otras características y realizar algunas mejoras y por ello se creó la tercera versión a la que se denominó DICOM. Esta nueva versión involucra mejoras sustanciales sobre las anteriores entre las que se puede mencionar:

- Es aplicable a un ambiente en red utilizando protocolos estándar tales como TCP/IP y OSI/ISO.
- Especifica una técnica para identificar unívocamente cualquier Objeto de Información.
- Especifica cómo dos dispositivos, que dicen ser compatibles con el estándar, reaccionan al intercambio de comandos y datos. Las versiones previas estaban circunscriptas a la transferencia de datos.
- Especifica diferentes niveles de conformidad al estándar. Explícitamente describe como un implementador debe estructurar una declaración de conformidad para seleccionar opciones específicas.
- Introduce Objetos de Información explícitamente no solo para imágenes y gráficos sino también para estudios, reportes, etc.
- Esta basado en un modelo explícito del mundo real.
- Contempla la posibilidad de intercambiar datos con otros sistemas de información, tales como HIS (Sistema de Información Hospitalaria) o RIS (Sistema de Información Radiológica).
- Incluye servicios para la manipulación de información administrativa correspondiente a los pacientes, estudio e imágenes.

DICOM puede definirse como un protocolo de comunicaciones estructurado como un documento multiparte lo cual facilita la evolución del estándar mediante la adición de nuevas características y facilita la interoperabilidad de equipos de imágenes médicas especificando: un conjunto de protocolos que deben ser seguidos por los dispositivos que deseen ajustarse al estándar, la sintaxis y la semántica de los comandos y la información asociada que puede ser intercambiada utilizando estos protocolos, información que debe ser suministrada con una implementación. La

norma tiene el potencial de facilitar la realización de trabajos con PACS, pero no garantiza, por sí misma, que se cumplan todos los objetivos que se intentan lograr en un sistema de gestión de imágenes.

De una manera general, se mencionan algunos tópicos que el estándar abarca:

- Diferentes equipos de imagen digitales
- Define el formato que tendrá el mensaje y las normas de comunicación para imágenes.
- Comprende inclusive el soporte necesario para crear archivos en medios como CD-ROMs.
- Especifica las conexiones hardware.
- Incorpora un diccionario con elementos de datos necesarios para interpretar correctamente la imagen
- Define la utilización de un conjunto de protocolos OSI para asegurar una comunicación eficiente que soporte una amplia variedad de tecnologías de red basadas en normas internacionales como la ISO 802.3, ATM, X.25 y como protocolo de transmisión se puede utilizar TCP/IP.
- Especifica los servicios de comunicaciones y protocolos necesarios para, en un entorno de red, intercambiar imágenes.

DICOM 3.0 sigue un modelo de procesamiento distribuido conformado por lo menos por dos componentes que comparten información, donde cada uno de ellos manipula la información de manera independiente pero depende para su operación de la funcionalidad ofrecida por el otro. Una de las características más distintiva de estos esquemas de operación es que los procesos propios del nivel de aplicación están desacoplados de los procesos de comunicación que coordinan la transmisión de datos entre distintas plataformas.

Ya que el estándar posee una estructura en capas similar a la del modelo OSI, en donde las capas se presentan en forma jerárquica, las inferiores son las encargadas de establecer y administrar la comunicación y las superiores o de aplicación de acuerdo al esquema de jerarquía que deben ser capaces de emitir pedidos de comunicación a las inferiores. Los participantes (cliente/servidor) deben determinar en que manera se presentarán los datos en el nivel de bits o de bytes y convertir dicho formato a la representación apropiada para que pueda ser procesada por el nivel de aplicación. Es factible entonces seleccionar entre distintas tecnologías de redes sin necesidad de modificar los procesos correspondientes a la capa de aplicación.

Para un proceso de intercambio de imágenes, quedan por delimitar elementos importantes de información asociada a la propia imagen, por lo que se prevén numerosas extensiones que den soporte a futuras aplicaciones. Las “clases de servicio” deberán tener una descripción estructurada del tipo concreto de servicio, almacenamiento, gestión de impresión, gestión de investigación, consulta/recuperación, etc. y que utilicen comandos específicos e iguales para todos los fabricantes de los dispositivos compartidos. La posibilidad de ofrecer advierte que esta norma sea aplicable a un ambiente de red y en el cual se debe identificar cualquier “objeto de información” para su transmisión.

El estándar es basado en un modelo del mundo real en el que los objetos que los conforman pretenden representar de una manera explícita procesos clínicos y administrativos involucrados con el área de la imagen médica. Dichos objetos pueden ser los pacientes, los estudios, las imágenes, los informes, los diagnósticos, entre otros; el modelo detalla cómo estos objetos se relacionan entre sí por medio de los modelos Entidad – Relación (E-R model).

Ya que el modelo que sigue el estándar es un esquema orientado a objetos, cada uno de los objetos que lo conforman posee atributos que lo definen y los describen. Por ejemplo, el objeto paciente puede ser determinado por su nombre, edad, sexo,

peso, estatura, historia clínica, etc. Todos los objetos del modelo E-R como lo son los pacientes, las imágenes, los estudios y los otros se denominan *Objetos de Información*. Una definición del objeto de información (IOD Information Object Definition) es como un formulario estructurado que contiene espacios en blanco que debe llenarse con datos concretos cada uno de los cuales constituye un atributo del objeto. El proceso de llenado del formulario crea lo que se conoce como una *instancia del objeto de información*.

Los atributos son las unidades de datos presentes en los objetos de información. Ejemplos de ellos son: nombre del paciente, sexo, edad, fecha de nacimiento, fecha del estudio, etc. Todo los atributos en DICOM tienen las siguientes propiedades:

- Nombre único
- Identificación única
- Descripción (semántica)
- Representación de valor (sintaxis)
- Multiplicidad de valor
- Clasificación de tipo (requerido, condiciona u opcional)

El estándar contiene tablas en las que se especifican nombres, identificadores, clasificación de tipo y descripción. Las respectivas representaciones de valor de cada elemento son obtenidas de otras tablas. La representación de cada valor a la cual se hace referencia describe cómo se codifica un atributo determinado en un elemento de datos, es decir, la “forma como se escribe”. El conocimiento de la representación de valor que corresponde a cada elemento puede hacerse por medio de un diccionario de datos en común o incluyéndola como parte de los elementos de datos. Esta última metodología incrementa la cantidad de información a transmitir pero es mucho más flexible y facilita el proceso de actualización del estándar y la operación de aplicaciones heterogéneas.

Así, un dispositivo DICOM puede ser cualquier cosa, desde una estación lectora, una estación de revisión preliminar, un Tomógrafo Computado, un lector de láser de Radiografía Computada o un Gateway DICOM. Tales dispositivos pueden clasificarse como “proveedores de Almacenamiento” (Service Class Provider o SCP) o como “Usuarios de Almacenamiento” (Service Class User o SCU). En el primer caso, el dispositivo cumple las funciones de servidor y puede brindar imágenes en formato de archivo DICOM a través de una red que utiliza protocolos DICOM estandarizados como por ejemplo TCP/IP y las enruta hacia un usuario de almacenamiento o cliente (Por ejemplo una impresora láser) compatible con DICOM.

Un proveedor DICOM de Consulta/Recuperación, se define como aquel que puede consultar a otros dispositivos de su misma naturaleza en la red con el fin de encontrar casos e imágenes, o con el fin de recuperarlas y compartirlas con otros de estos dispositivos en el caso de que los resultados de una consulta DICOM originada en alguno de ellos sean requeridos a través de la red. Este tipo de ingeniería de Consulta/Recuperación fue introducida en los dispositivos con el fin de brindar un servicio de almacenamiento y recuperación de imágenes confiable en el caso de que se agreguen nuevos dispositivos o estaciones de trabajo (*Workstations*) en la red. Las *Workstations* DICOM necesitan:

- Mostrar las imágenes recibidas a través de dispositivos de adquisición (proveedor).
- Almacenar las imágenes recibidas para luego mostrarlas (almacenamiento).
- Ser capaces de encontrar y recuperar en la red imágenes de los dispositivos de almacenamiento y adquisición.

Por lo tanto, para la práctica de la termografía en red, el dispositivo DICOM es la cámara infrarroja y para efectos de transmisión de imágenes térmicas, el objeto de información va a ser el termograma como tal y los atributos que se le pueden incluir para efectos de tener un mejor conocimiento serían:

- Nombre del recién nacido y el nombre de la mamá
- Fecha y hora de nacimiento
- Sexo
- Peso
- Hora de registro del termograma
- Intervalos de tiempo de registro de termogramas
- Número del termograma.

Uno de los aspectos a tener en cuenta a la hora de contar con las imágenes es su tamaño, ya que si son muy grandes hay que recurrir a técnicas de compresión para multiplicar el espacio en el disco, y posibilitar la transmisión de imágenes complejas en periodos más cortos a tasas de transmisión compatibles con un servicio de teleconsulta eficiente. En la actualidad el problema del tipo de compresión adecuado para un determinado tipo de imágenes no está resuelto y sigue siendo un tema de investigación actual [19].

La compresión de imágenes puede ser sin pérdidas (reversible) y con pérdidas (irreversible). La ventaja de la compresión sin pérdidas es que la imagen original puede ser recuperada sin cambios, asegurando de esta manera que no hay pérdida de información importante para realizar el diagnóstico del paciente. Los métodos de compresión sin pérdidas, explotan el hecho de que una imagen digital contiene información redundante, esto es hecho a través de técnicas matemáticas, las cuales no causan ninguna pérdida de información, entre estas técnicas matemáticas se tienen: Modulación por Código de Pulso Diferencial (DPCM), Pirámide Diferencia (DP) y Autoregresión Multiplicativa (MAR). Las técnicas de compresión sin pérdidas alcanzan razones de compresión máximas en el rango entre 1.5:1 y 3:1

Por otro lado, la compresión de imágenes con pérdidas, es el logro de la reducción de los tiempos de transmisión, logrando razones de compresión mucho más elevadas que la compresión sin pérdidas. Existen evidencias de que la compresión de imágenes

con pérdidas no comprometen la cantidad de información suficiente para realizar el diagnóstico [19,40,43].

Los algoritmos de compresión para imágenes médicas no son muy recomendables pero se ha observado que con ciertos estándares de compresión de imágenes fijas con pérdidas, como JPEG (Join Photographic Experts Group), se permite un diagnóstico correcto. Por ejemplo las radiografías pueden comprimirse hasta con una razón de 30:1 sin que haya pérdida de información significativa. En algunos casos el uso de JPEG genera errores ya que la compresión JPEG se basa en detectar coeficientes de baja significancia de una Transformada Discreta Coseno (DCT). Generalmente dichos coeficientes descartados se asocian a altas frecuencias en la imagen las cuales corresponden a detalles y bordes bien definidos.

En cuanto a los estándares que soporta DICOM para la compresión de las imágenes tiene que ver con el formato JPEG en sus versiones JPEG 2000, JPEG LS, y JPEG Loss-Less. Sin embargo, como se había mencionado anteriormente, las imágenes térmicas en comparación con las imágenes médicas proporcionadas por otras modalidades de examen son pequeñas en el formato propio con el que la cámara infrarroja las graba y en un valor estándar sin importar que colores aparecen en el termograma (160 KB), lo que no ocurre en formato JPEG, ya que las imágenes comprimidas se reducen de tamaño pero no en gran cantidad (hasta 107 KB) y el tamaño no es constante para cualquier imagen. La calidad de las imágenes al comprimirse no se ve afectada demasiado y se logran identificar adecuadamente los patrones térmicos, sin embargo, las capacidades de análisis se ven reducidas cuando las imágenes comprimidas se ejecutan con el programa MikroSpec™.

La seguridad de las imágenes es otro aspecto importante y que tiene que ver con la transmisión y el protocolo de intercambio utilizado. Los criterios a los cuales los perfiles de seguridad deben estar orientados son:

- La confiabilidad de los datos: Busca que la información no esté habilitada para el uso y tratamiento a individuos, procesos y entidades no autorizados.
- La autenticidad de los datos de origen, mediante la confirmación de una efectiva llegada de la información a través de mensajes.
- La integridad de los datos: Permite que los datos no sean destruidos o alterados de una manera no autorizada.
- El manejo de claves: La generación, almacenamiento, distribución, eliminación, archivo y aplicación de claves para permitir el acceso al personal permitido a las imágenes.
- La firma digital: Es un apéndice de datos o una transformación criptográfica de una unidad de datos que permite a un cliente de la unidad de datos proveer la fuente y la integridad a la unidad y protegerlo contra falsificaciones.

DICOM proporciona un perfil de conexiones de transporte seguro para establecer el protocolo de los mecanismos de negociación de intercambio de paquetes, autenticación de entidades y los mecanismos de encriptación que una implementación puede soportar, un perfil para la firma digital, que incluye qué y quiénes van a manejar una firma digital, una descripción de la firma digital, una lista de atributos y los mecanismos generados para verificar la autenticidad de la firma digital.

Para asegurar la confiabilidad de las imágenes que atraviesan la red de tránsito pública o compartida, estos son cifrados por el emisor y descifrados por el receptor. En DICOM esta tarea se realiza mediante la implementación de un algoritmo de cifrado conocido como RSA [54] (Rivest, Shamir y Adelman, sus inventores) un método de clave pública, es decir, que los datos cifrados se descifran con una clave distinta de la utilizada para cifrarlos. El algoritmo RSA está basado en una teoría de números para inventar un método mediante el cual se generan un par de números, las claves, tales que un mensaje cifrado con base en el primer número de par solo puede ser descifrado con el segundo número. Es más, el segundo número no puede derivarse del primero. Esta segunda propiedad implica que el primer número



del par se puede comunicar a cualquier persona que desee enviar un mensaje cifrado al poseedor del segundo número, ya que solo esa persona podrá descifrar el mensaje del dato cifrado resultante. El primer número del par es la clave pública, y el segundo, la clave secreta o privada.

Dado que la información puede accederse y transmitirse a altas velocidades, puede ser difícil diferenciar entre un proceso legítimo e ilegítimo cuando se desarrolla una transferencia. Algo muy importante, mientras que la seguridad física clasifica a la gente y los recursos dentro de categorías amplias, la seguridad para la información por lo general necesita ser más restrictiva, por ejemplo, a las imágenes térmicas no pueden tener acceso personal administrativo que este conectado a la red.

Los aspectos de seguridad no son tan fáciles de tratar ni de implementar y se necesita desarrollar algoritmos complicados y adquirir bastante infraestructura que permita tener un sistema muy confiable. Antes de que un hospital implante un proyecto de seguridad de red, el hospital debe asumir riesgos y desarrollar una política clara, considerando los accesos de información y protección. Las políticas necesitan especificar quiénes tendrán garantizado el acceso a cada parte de la información, deben establecer las reglas individuales a seguir, se debe difundir la información hacia todo el conjunto y establecer las formas en que el hospital reaccionará ante las transgresiones.

Aún cuando la necesidad de una política parece obvia, muchas organizaciones intentan hacer sus redes seguras sin decidir primero lo que significa seguridad. En organizaciones que han adoptado una política de información general, los empleados pueden ignorar la política, las motivaciones para adoptar dicha política o las consecuencias de violar dicha política. Establecer una política de información y educación a los empleados es crucial ya que las personas son por lo general el punto más susceptible de cualquier esquema de seguridad. Un trabajador malicioso,

descuidado o ignorante de las políticas de información de la organización puede comprometer la seguridad.

## 5. Conclusiones

- El presente trabajo ha estudiado una técnica novedosa de diagnóstico, como es la termografía, para la evaluación de la temperatura de los bebés de una Unidad de Recién Nacidos mediante imágenes y que no representa ningún riesgo para el paciente ya que aprovecha la radiación emitida por los cuerpos.
- La aplicación de la termografía al campo de salud no tiene antecedentes en Colombia, ya que la escasez de equipos para ejercer esta práctica no permite la consecución de estudios que adelanten la difusión de esta técnica. Sin embargo, la efectividad de ésta se la puede apreciar simplemente mirando las imágenes térmicas que ofrecen empresas internacionales de diagnóstico y que garantizan una evolución constante de esta técnica.
- La inspección visual es muy importante en la práctica de la medicina ya que permite al personal médico evidenciar problemas en pacientes mediante el análisis de imágenes digitales que se almacenan y que posibilitan establecer registros de evolución de cada persona. Para el caso de las imágenes térmicas, la información suministrada es más importante ya que la temperatura es un parámetro que no se puede observar a simple vista y su alteración es un indicativo de la presencia de problemas en pacientes de cualquier condición de salubridad.
- El análisis de las imágenes térmicas del cuerpo de un recién nacido permite registrar la temperatura de muchas regiones simultáneamente de tal forma que se puede identificar mejor la diferencia entre la temperatura central y periférica, clave en el monitoreo térmico de neonatos.
- Se ha definido la Termografía como una herramienta para el diagnóstico de cuadros patológicos asociados a la temperatura. Aunque la posición de los bebés, su tamaño y la incubadora hacen que no se pueda implantar un monitoreo constante, esta práctica resulta más eficaz para la evidencia de algunos problemas

que comprometen la salud de los recién nacidos asociados a la temperatura y que son los más frecuentes en neonatos.

- El uso de paletas predeterminadas o la creación de una de ellas permite adaptar una gama de colores apropiada que identifique mejor pequeñas variaciones de la temperatura en el cuerpo del bebé o simplemente eliminar la influencia de color de objetos cercanos que se encuentren en otro valor de temperatura.
- El tamaño de las imágenes frente a los otros géneros de imaginería médica es pequeño lo que representa una ventaja para la inclusión de exámenes termográficos dentro de prácticas telemédicas.
- La interoperabilidad de los datos médicos representa muchos beneficios para una institución hospitalaria permitiendo una atención de pacientes más efectiva y con más cobertura de pacientes.
- Las técnicas de confiabilidad y privacidad de los datos son los que más se deben tener en cuenta cuando se transmite información médica a través de una red de telemedicina porque con estos aspectos se garantiza las normas éticas en que la medicina se encuentra enmarcada.
- La implementación y el establecimiento de protocolos adecuados para ejercicio de prácticas de telemedicina garantizará la efectividad de los sistemas y la evolución de éstos.

### **Aportes de este Trabajo de Investigación**

- El principal aporte de este trabajo es demostrar como se puede vincular los nuevos avances tecnológicos ligados a la ingeniería al campo de la medicina de tal forma que se logren resolver problemas o mejorar las condiciones de las prácticas sanitarias.
- Dar a conocer una técnica nueva de inspección térmica muy utilizada a nivel internacional y concientizar a la comunidad que ese tipo de tecnología esta al alcance de nuestras manos y que puede hacer parte de una institución hospitalaria.

- Con el desarrollo de este proyecto se estableció contactos para posteriores trabajos tanto para la utilización de la cámara termográfica con la empresa Anter Ltda, como con el área de la instrumentación médica en La Clínica Materno Infantil Los Farallones.
- La Universidad del Cauca quedó muy bien representada con este trabajo de investigación presentado en La Primera Semana Técnica de Ingeniería Física, obteniendo el primer puesto en la presentación de posters por sus características novedosas y de impacto social.

## **Trabajo Futuro**

El trabajo futuro se encuentra enmarcado dentro de las tres disciplinas que se estudiaron en el desarrollo de este proyecto: La Termografía, la Imagenaría Médica y la Telemedicina en los aspectos de:

- Estudio para la detección del cáncer de mama mediante la utilización de la Termografía Infrarroja.
- Establecimiento de un sistema de detección mediante Termografía Dinámica para sistemas sin movimiento y que genere reportes automáticamente mediante la identificación de patrones en las imágenes térmicas.
- Implementar una interfaz mediante la utilización de dispositivos procesadores de señal (DSP) los cuales proporcionan una alta velocidad de procesamiento de las imágenes mediante la utilización de algoritmos implementados para esta actividad.
- Conocer y aprender a operar los dispositivos de adquisición de imágenes médicas de diferente género como los ecógrafos, los resonadores magnéticos y los tomógrafos de tal forma que se puedan automatizar la adquisición de las imágenes.

- Estudiar los parámetros para la interpretación de las imágenes médicas cerebrales y los programas computacionales que permiten estos estudios.
- Adelantar con el Departamento de Transmisión de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Cauca y los proyectos que se están desarrollando en Telemedicina, pruebas piloto para la transmisión de las imágenes y sistemas de videoconferencia.

## 6. Referencias

1. Benko, I, Koteles, G.J., Nemeth, G. (2001). Computerized visualization of radiation induced thermal alterations of human tissues. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria
2. Mikron infrared inc. Web: [www.mikroninst.com](http://www.mikroninst.com)
3. Martínez, M. (1996). Manual de Medicina Física. Harcourt. Madrid, España.
4. Evans, K. (1973). Mammography, Thermography and Ultrasonography in breast disease. Adison Wesley. Florida, USA.
5. Jiménez, J.A. (1994). Termografía Infrarroja, Conceptos básicos y aplicaciones. Revista Mundo Electrónico.
6. Orlove, G. (1996). Las preguntas más comunes acerca de la termografía infrarroja. Revista Mundo Eléctrico Colombiano. No. 41.
7. International Thermography Society. Web: [www.thermography.org](http://www.thermography.org)
8. SI termografía Inc. Web: [www.termografia.com](http://www.termografia.com)
9. Stockton Infrared Thermographic Services, Inc.  
Web: [www.stocktoninfrared.com](http://www.stocktoninfrared.com)
10. Medical Monitoring Systems Pty Ltd. Web: [www.meditherm.com](http://www.meditherm.com)
11. Pagina de Termografía. Web: [www.infratherm.com](http://www.infratherm.com)
12. Sierra Pacific Infrared Inc. Web: <http://x26.com/>
13. International Academy of Clinical Thermology. Web: [www.iact-org.org](http://www.iact-org.org)
14. Brioschi, M.L., Cimbalista, M., Saito, R.T. (2001). Dynamic infrared computerized thermography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
15. Schartelmuller, T., Ammer, K. (2001). Thermographic diagnosis of thoracic outlet syndrome a re-evaluation. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.

16. Koprowski, R., Konik, H., Wróbel, Z. (2001). Computer analysis of thermograms from spinal deformities in children. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
17. Lee, Y. (2001). Thermographic findings of acute appendicitis. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
18. Katsuya, K-Kunihiko, M, Tsuneo,C. (2001). Images of the spectrum analysis of the changes in skin temperature and its application for the evaluation of autonomic nervous function. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
19. Medina, R., Bellera, J. (2001). Bases del procesamiento de imágenes médicas. Grupo de Ingeniería biomédica, Universidad de los Andes. Venezuela.
20. Madrid, J. (1999). Historia de la Termografía. Revista Mundo Eléctrico Colombiano. No. 26.
21. Hetch, E. (1998). Óptica. Adison Wesley. Madrid, España.
22. Eisberg, R. (1997). Física cuántica. Limusa. Puebla, México
23. <http://www.breastthermography.org>
24. Tezcan, D., Kocer, F., Akin, T. (1999). An uncooled microbolometer infrared detector in any standard CMOS technology. Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
25. Pro-line infrared, Inc. Web: [www.snellinfrared.com](http://www.snellinfrared.com)
26. La Toison, M. (1965). Infrarrojos y sus aplicaciones térmicas. Paraninfo. Madrid, España.
27. <http://www.codensa.com.co>
28. Sola, A. (1982). Cuidados intensivos neonatales, fisiología y terapéutica. Limusa. Buenos Aires, Argentina.
29. <http://www.neonatology.org>
30. <http://www.prematuros.com>
31. Ministerio de Protección Social Web: [www.minsalud.gov](http://www.minsalud.gov)
32. Peguero, M.G., Fina, A. (2002). Alimentación del recién nacido pretérmino. Protocolos de Neonatología de la Sociedad Española de Pediatría.



33. Jiménez, R. (2002). Cuidados del recién nacido normal. Protocolos de Neonatología de la Sociedad Española de Pediatría.
34. Lyon, A. (1998). ThermoMonitoring. Drägerwerk .Munich, Germany.
35. Guyton, A.C. (1997). Tratado de fisiología médica. Mc Graw Hill Editores. México, México.
36. Cerda, M. (1996). Cuidados intensivos en pediatría. Mediterráneo. Santiago de Chile, Chile.
37. Rasmussen, L.K., Mercer, J.B. (2001). A Comparison of skin temperature changes in the hands and feet of young and elderly subjects following local cooling. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
38. Jung, A., Zuber, J., Kalicki, B. (2001). Monitoring of vasodilating treatment by thermal imaging. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
39. White, P., Howell, K.J. (2001). Control factors affecting the quality and reproducibility of medical thermal imaging. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
40. Castleman, K. (1996). Digital image processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey.
41. De la Escalera, A. (2001). Visión por Computador: Fundamentos y métodos. Prentice Hall. Madrid, España.
42. Gonzales, R., Woods, R. (1996). Tratamiento digital de imágenes. Addison-Wesley/Dias de santos. Delaware.
43. Margulis, D. (1997). Photoshop profesional: Corrección de color, retoque y manipulación de imágenes. Alfaomega S.A..Santafé de Bogota, Colombia.
44. Passadore, D. (2000). Conferencias del estándar DICOM. Informática médica, Fundación de medicina nuclear. Buenos Aires, Argentina.
45. Martínez, I.C., Benavides, D.M. (1999). Planeación y diseño de una red de telemedicina para el departamento de Nariño. Tesis de La Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad el Cauca.
46. Red de Telemedicina de Antioquia Web: [www.upb.edu.co](http://www.upb.edu.co)

47. Azpiroz, J., Martínez, A. (2000). Instalación y operación de sistemas PACS (Almacenamiento y comunicación de imágenes) en México: Características fundamentales. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de México.
48. Morcillo, F. (2002). Recién nacido pretérmino con dificultad respiratoria: enfoque diagnóstico y terapéutico. Protocolos de Neonatología de la Sociedad Española de Pediatría.
49. Singer, D., Aumann, C., Benninghoff, U. (2001). Prevention of hypothermia in preterm neonates: benefits of water-filtered IR radiation. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
50. Asociación Española de Pediatría Web: [www.aep.es](http://www.aep.es)
51. Berz, R (2001). Comparative measurements of skin temperatures in vitro and in vivo with contact and infrared systems. 50<sup>th</sup> international congress of medical thermology, Vienna, Austria.
52. Pérez, J. (2002). Apnea en el periodo neonatal. Protocolos de Neonatología de la Sociedad Española de Pediatría.
53. Agenda de Conectividad del Ministerio de Comunicaciones  
Web: [www.agenda.gov.co](http://www.agenda.gov.co)
54. Harsall, F. (2000). Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas abiertos. Pearson Educación. México.
55. Comer, D. (1995). Redes globales de información con Internet y TCP/IP: Principios básicos, protocolos y arquitectura. Prentice Hall. México.