



---

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

***“Desarrollo y Aplicación de una Metodología para el  
Monitoreo de la Temperatura Corporal Humana  
Utilizando Termografía Infrarroja para Evitar Riesgos  
Músculo Esqueléticos: Casos de Estudio”***

## T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA MECÁNICA

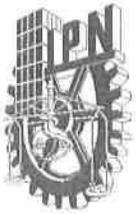
PRESENTA

M. en C. BLANCA DEL CARMEN FLORES OLIVARES

BAJO LA DIRECCIÓN DE

DR. ORLANDO SUSARREY HUERTA  
DRA. AMALIA YOGUEZ SEOANE





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 13:00 horas del día 27 del mes de Junio del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E para examinar la tesis titulada:

**“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA TEMPERATURA CORPORAL HUMANA UTILIZANDO TERMOGRAFIA INFRARROJA PARA EVALUAR RIESGOS MÚSCULO ESQUELÉTICOS: CASOS DE ESTUDIO”**

Presentada por el alumno

**FLORES**

Apellido paterno

**OLIVARES**

Apellido materno

**BLANCA DEL CARMEN**

Nombre(s)

Con registro: B

1 5 1 3 9 8

**DOCTOR EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA Directores de tesis

DR. O

RLANDREVA MUERTA

Presidente

DRA

AMALIA YOGUEZ ESEOAN

ndoccal

DR. JOSÉ ALFREDO JIMÉNEZ BERNAL

DR. EZEQUIEL ALBERTO GALIARDO ERNÁNDEZ

T

Vocapr

Secretario

DRA. LISAURA WALKI

RIA GUEZAL

VARADO

DRA. CLAUDIA DEL CARMEN GU TORRES

PRESIDE

NTE DEL COLEGIO

DR

MIGUEL TOLEDO VELÁZQUEZ

DE DIOS

POSGRADO E INVESTIGACIÓN





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

**CARTA DE CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D.F., el día 27 de junio de 2019 el que suscribe Blanca del Carmen Flores Olivares alumno del Programa de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica con número de registro B151398 adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor Intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del DR ORLANDO SUSARREY HUERTA y DRA AMALIA YOGUEZ SEOANE y cede los derechos del trabajo titulado: *"DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA TEMPERATURA CORPORAL HUMANA UTILIZANDO TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA EVITAR RIESGOS MÚSCULO ESQUELÉTICOS: CASOS DE ESTUDIO"* al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección floresblanca03@hotmail.com.

Si el permiso se otorga el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y editar la fuente del mismo.

---

M. en C. Blanca del Carmen Flores Olivares

## **Resumen**

En este trabajo de investigación se analizaron algunas metodologías propuestas por distintos investigadores para el monitoreo de la temperatura corporal, utilizando termografía infrarroja. Se evaluaron los aspectos más importantes considerados para el desarrollo una metodología, que sea posible aplicar en diversos ámbitos laborales y cotidianos de los seres humanos para evitar riesgos músculo esqueléticos.

La principal aportación de este trabajo de investigación es el desarrollo de una metodología para evitar riesgos músculo esqueléticos, en actividades laborales o cotidianas. En la metodología propuesta plantea el uso de la termografía infrarroja como método no invasivo y sin contacto para el monitoreo de la temperatura corporal, también se enlista una serie de aspectos y sus consideraciones que no pueden ser alterados y una lista de aspectos que pueden ser alterados durante la aplicación de la metodología. En este trabajo se presentan tres diferentes casos de estudio en condiciones reales en los cuales se aplicó la metodología propuesta y se analizaron las imágenes térmicas del comportamiento de la temperatura corporal. La metodología propuesta es útil para aplicarse en diferentes ámbitos laborales, cotidianos o de esparcimiento en condiciones reales para evitar riesgos músculo esqueléticos.

## **Abstract**

In this research work will be analyzed some proposed methodologies for monitoring body temperature, using infrared thermography. The most important aspects of human development that can be applied in various work and everyday areas of human beings are evaluated to avoid musculoskeletal risks. The main contribution of this research work is the development of a methodology to avoid skeletal muscle risks, in work or daily activities. The methodology proposes the use of infrared thermography as a non-invasive and non-contact method for monitoring body temperature, it also lists a number of aspects and their aspects that can't be altered and a list of aspects that can be altered during the application of the methodology. In this paper, the different case studies are presented in real conditions in which the proposed methodology is applied and the thermal images of the body temperature behavior are analyzed. The methodology is useful to avoid skeletal muscle risks.

# Índice

	Página
<b>Capítulo 1. Generalidades</b>	
1.1. Introducción	1
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Justificación	
1.4. Objetivo General	3
1.4.1. Objetivos Específicos	
1.5. Metodología de la investigación	
1.6. Alcances y limitaciones	4
1.7. Estructura de la tesis	5
<b>Capítulo 2. Estado del Arte</b>	
2.1. Estado del Arte	7
2.2. Análisis del estado del Arte	27
<b>Capítulo 3. Principios Básicos</b>	
3.1. Evolución de la Termografía Infrarroja	28
3.2. Termodinámica	31
3.2.1. Leyes de la Termodinámica	32
3.2.2. Temperatura y Ley Cero de la Termodinámica	
3.2.3. Formas de Energía	33
3.3. Procesos del Flujo Energético	36
3.3.1. Mecanismos de Transferencia de Energía	
3.3.2. Mecanismos de transferencia de calor	37
<b>Capítulo 4. Metodología</b>	
4.1. Introducción	48
4.2. Análisis de las Metodologías	
4.3. Propuesta de Metodología	52
<b>Capítulo 5. Casos de Estudio</b>	
5.1. Introducción	54
5.2. Caso 1. Monitoreo de la temperatura corporal de 6 participantes utilizando dos diferentes tipos bicicletas fijas	
5.2.1. Selección de los sujetos de estudio	56
5.2.2. Materiales	
5.2.3. Metodología	
5.3. Caso 2: Monitoreo de la temperatura corporal en recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando dos diferentes coches	57
5.3.1. Selección de los sujetos de estudio	59
5.3.2. Materiales	60
5.3.3. Metodología	
5.4. Caso 2: Monitoreo de la temperatura corporal de dos mujeres en un medio maratón en la CDMX	61
5.4.1. Selección de los sujetos de estudio	62
5.4.2. Materiales	
5.4.3. Metodología	
<b>Capítulo 6. Análisis de Resultados</b>	
6.1. Resultados caso de estudio 1	64
6.2. Resultados caso de estudio 2	69
6.3. Resultados caso de estudio 3	75
<b>Conclusiones</b>	81

# Índice de figuras

	Página
Figura 1.1. Secuencia de metodología de investigación	4
Figura. 5.1. a) Bicicleta estática con altura regulable del asiento y el manubrio y una perilla para controlar la resistencia de pedaleo b) Bicicleta estática con altura de asiento regulable y programas de resistencia de pedaleo preestablecidos	56
Figura 6.1. Imágenes térmicas del género femenino utilizando a) Bicicleta estática con altura regulable del asiento y el manubrio y una perilla para controlar la resistencia de pedaleo	64
Figura 6.2. Imágenes térmicas del género masculino género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo.	65
Figura. 6.3. Imágenes térmicas del género femenino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados.	
Figura 6.4. Imágenes térmicas del género masculino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados	66
Figura 6.5. Gráficas del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo.	67
Figura 6.6. Gráficas del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados	
Fig. 6.7. Gráficas de intervalos del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo	68
Figura 6.8. Gráficas de intervalos del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados	69
Figura. 6.9 Imágenes térmicas del participante de género masculino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil automático	70
Figura 6.10. Imágenes térmicas del participante de género femenino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil automático	71
Figura 6.11. Imágenes térmicas del participante de género masculino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil de transmisión manual	
Figura 6.12. Imágenes térmicas del participante de género femenino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil de transmisión manual	72
Figura 6.13. Gráficas del comportamiento de la temperatura en mano izquierda y mano derecha de los participantes manejando un coche de transmisión manual y un coche de transmisión automática en la CDMX	73
Figura 6.14. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la cara de los participantes manejando un coche de transmisión manual y un coche de transmisión automática en la CDMX.	74
Figura 6.15. Gráficas del comportamiento de la temperatura en la espalda de los participantes manejando un coche de transmisión manual y un coche de transmisión automática en la CDMX.	
Figura 6.16. Fotos térmicas de las participantes antes del periodo de aclimatación	75
Figura 6.17. Fotos térmicas de las participantes después de 15 minutos de aclimatación	76
Figura 6.18. Fotos térmicas de las participantes después de correr 21 Km	
Figura 6.19. Fotos térmicas de las participantes 10 minutos después de correr 21 Km	
Figura 6.20. Gráfica del comportamiento de la temperatura del torax	77
Figura 6.21. Gráfica del comportamiento de la temperatura de extremidades superiores en el plano anterior	78
Figura 6.22. Gráfica del comportamiento de la temperatura de extremidades inferiores en el plano anterior	79
Figura 6.23. Gráfica del comportamiento de la temperatura de la espalda.	
Figura 6.24 Gráfica del comportamiento de la temperatura de las extremidades superiores plano posterior	80
Figura 6.25. Gráfica del comportamiento de la temperatura de las extremidades inferiores plano posterior.	

## Índice de tablas

	Página
Tabla 3.1. Cronología del desarrollo y aplicaciones de la termografía infrarroja	28
Tabla 3.2. Factores de riesgo de lesiones musculo esqueléticas	30
Tabla 3.3. Síntomas de lesiones por esfuerzo repetitivo	
Tabla 3.4. Lesiones asociadas a actividades de uso repetitivo	
Tabla 3.5. Desarrollo de la tecnología de sensores infrarrojos	31
Tabla 3.6. Conductividad térmica de algunos materiales a temperatura ambiente	38
Tabla 4.1. Aspectos considerados en las metodologías analizadas	49
Tabla 4.2. Aspectos considerados en las metodologías analizadas	50
Tabla 4.3. Aspectos técnicos considerados para la recolección de imágenes térmicas.	51
Tabla 4.4. Aspectos de la metodología no alterables.	52
Tabla 4.5. Aspectos de la metodología alterables	53
Tabla 5.1. Distribución de lesiones por sitio anatómico.	61
Tabla 6.1. Intervalos de tiempo para la captura de las imágenes térmicas.	77

# CAPÍTULO

1

*GENERALIDADES*

## Capítulo 1

### 1.1. Introducción

Las actividades cotidianas, deportivas, laborales y de esparcimiento de los seres humanos están llenas de movimientos repetitivos y estresantes. Los trastornos músculo esqueléticos relacionados con el trabajo y actividades de esparcimiento son un problema de salud mundial, se desarrollan como resultado de movimientos repetitivos, posturas incómodas, fuerza sostenida, y otros factores de riesgo. Son pocos los esfuerzos que se han hecho para evitar lesiones musculo esqueléticas en puestos de trabajo para evitar incapacidades y gastos médicos. Este tipo de lesiones afectan una variedad de tejidos incluyendo articulaciones, cartílagos, ligamentos, tendones, músculos y otros tejidos blandos. Las lesiones musculo esqueléticas se detectan principalmente por manifestaciones de dolor, inflamación e incapacidad de hacer actividades laborales o cotidianas. Los tratamientos comúnmente son reposo, analgésicos y en casos más severos esteroides, toxina botulínica e incapacidad permanente.

Los cambios en la temperatura de la piel de los seres humanos se han tomado como referencia de salud desde la época de Sócrates, la medicina ha incorporado el uso de la termografía infrarroja como una herramienta no invasiva para evaluar el estado de salud en los seres humanos. La termografía infrarroja ha tenido aplicaciones militares, médicas (para detectar enfermedades) e industriales para monitorear procesos de manufactura.

El estudio de la aplicación de la termografía como herramienta para evitar lesiones musculo esqueléticas es importante desde el punto de vista técnico, médico y ergonómico. El estudio de los cambios de temperatura de la piel con termografía infrarroja durante diversas actividades puede ser una herramienta eficaz y no invasiva para evitar lesiones musculo esqueléticas.

## **1.2. Descripción del problema**

Los trastornos musculo esqueléticos son resultado de una carga excesiva de trabajo y movimientos altamente repetitivos en actividades laborales, deportivas, de esparcimiento o cotidianas. Son una enorme carga económica para los empleadores y el sistema público de salud, el desarrollo de intervenciones para reducir la prevalencia de factores de riesgo que contribuyen a los trastornos musculo esqueléticos es necesario (Zontak et al., 1998). La termografía infrarroja ha sido ampliamente utilizada para visualización de patrones de temperatura de la superficie de la piel. La termografía infrarroja, que mide la radiación electromagnética que emana de la piel del cuerpo, la termografía se utiliza para detectar alteraciones o variaciones en la temperatura de la piel y, por lo tanto, cualquier enfermedad o lesión que afecte la microcirculación de la piel (Wright, Kroner and Draijer, 2006). En este sentido es importante desarrollar una metodología para evitar lesiones músculo esqueléticas, por ello en el presente trabajo de investigación se analizan los estudios presentados por diversos autores de monitoreo de la temperatura corporal, con el fin de desarrollar una metodología de prevención.

## **1.3. Justificación**

El ser humano no es consciente de la cantidad de movimientos repetitivos que requieren sus actividades laborales, cotidianas o de esparcimiento, lo que puede ocasionar lesiones músculo esqueléticas. Se sabe poco de la prevención de este tipo de lesiones, sin embargo es más común su tratamiento. Este tipo de lesiones son silenciosas, su principal manifestación es el dolor o falta de movilidad en la zona afectada llegando a afectar la calidad de vida de las personas. La termografía infrarroja puede ser una herramienta útil de para la prevención de lesiones músculo esqueléticas.

En este sentido el desarrollo de una metodología que permita prevenir lesiones músculo esqueléticas es indispensable para la vida diaria de los seres humanos, una metodología que se pueda aplicar en cualquier situación o lugar podría evitar este tipo de lesiones.

#### **1.4. Objetivo General**

Desarrollar una metodología científica para evitar lesiones músculo esqueléticas, que sea posible aplicarla en condiciones laborales y cotidianas reales, utilizando la termografía infrarroja como una herramienta de monitoreo de la temperatura corporal sin contacto.

##### **1.4.1. Objetivos Específicos**

- Obtener información acerca de la aplicación de la termografía infrarroja para monitorear la temperatura corporal.
- Realizar un análisis de las diferentes metodologías para identificar los criterios utilizados.
- Desarrollar una metodología para evitar lesiones musculo esqueléticas en actividades laborales o cotidianas.
- Aplicar la metodología propuesta en diferentes casos de estudio.
- Analizar los resultados de la aplicación de la metodología desarrollada.

#### **1.5. Metodología de la investigación**

El presente trabajo de investigación se realizó con un enfoque cuantitativo de investigación, se miden variables en un determinado contexto, se identificó que era indispensable desarrollar una metodología de monitoreo de la temperatura humana, se realizó una búsqueda de las investigaciones relacionadas con la aplicación de la termografía infrarroja y las lesiones músculo esqueléticas, se establecieron los

alcances de la investigación, se identificaron las variables que se deben considerar, se desarrolló la metodología y se seleccionaron los casos de estudio con el número de participantes en cada uno, se capturaron imágenes térmicas para analizar los datos de la temperatura de los participantes. La secuencia de la investigación se observa en la figura 1.1

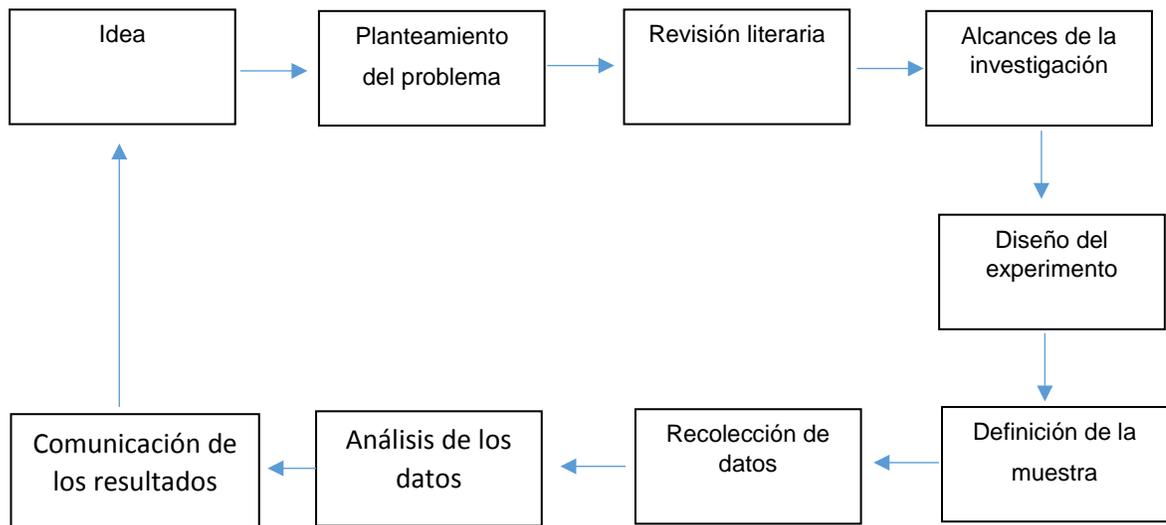


Figura 1.1. Secuencia de metodología de investigación.

La actividad científica se plantea la búsqueda de nuevas respuestas a problemas existentes o pasados, la generación de nuevo conocimiento, la respuesta al problema planteado, genera nuevos conocimientos

## 1.6. Alcances y limitaciones

En este trabajo se desarrollará y aplicará una metodología para el monitoreo de la temperatura corporal humana utilizando termografía infrarroja para evitar riesgos musculo esqueléticos, se estudiarán diferentes actividades laborales o cotidianas capturando imágenes térmicas para la recolección de datos que permitan observar los cambios de temperatura en la piel de los humanos. En base a las observaciones

de los resultados, se podrá establecer los escenarios en los que la metodología propuesta tiene mayores probabilidades de cumplir exitosamente su función.

En este trabajo se realizarán los análisis estadísticos que permitan observar el comportamiento de la temperatura de la piel de los seres humanos para prevenir lesiones musculoesqueléticas. Estos estudios se complementarán con los análisis experimentales correspondientes y se mostrarán los resultados de estos estudios comparando los resultados obtenidos. En este trabajo no se pretende cubrir el diagnóstico médico, solamente se realizarán los estudios correspondientes al desarrollo y aplicación de una metodología que podría ser utilizada para la prevención de lesiones musculoesqueléticas.

### **1.7. Estructura de la tesis**

Para alcanzar el objetivo mencionado anteriormente del desarrollo y aplicación de una metodología para el monitoreo de la temperatura corporal para evitar lesiones musculoesqueléticas, se ha organizado la tesis de la siguiente forma:

El capítulo 1 “Introducción” muestra una visión general del trabajo de investigación y el motivo por el cual es importante desarrollar una metodología que permita evitar lesiones musculoesqueléticas, se incluye el objetivo general y los específicos, así como la justificación y los alcances y las limitaciones del presente trabajo de investigación.

El capítulo dos “Estado del arte” muestra las investigaciones realizadas por diferentes autores en el estudio de lesiones musculoesqueléticas en distintos ámbitos, el confort térmico y el monitoreo de la temperatura corporal utilizando la termografía infrarroja.

En el capítulo 3 “Principios Básicos” se muestra la evolución de la termografía y se describen los conceptos básicos de termodinámica.

En el capítulo 4 “Metodología” se desarrolla una metodología de, monitoreo de la temperatura corporal con aspectos no modificables y aspectos que si es posible modificar.

En el capítulo 5 “Casos de Estudio” se muestra la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo 4, en tres diferentes casos de estudio, se detallan los aspectos considerados como tamaño de la muestra, criterios de exclusión, equipo y materiales.

En el capítulo 6 “Análisis de resultados” se muestran las fotos térmicas de los casos estudiados y el análisis de las gráficas del comportamiento de la temperatura corporal, por último se presentan las conclusiones de la investigación.

# CAPÍTULO

2

*ESTADO DEL ARTE*

## 2.1. Estado del arte

En esta sección se recopilaron los artículos más relevantes sobre lesiones musculoesqueléticas y aplicaciones de la termografía infrarroja en diferentes actividades y escenarios:

El cambio de temperatura corporal ha sido estudiado por diferentes autores, (Nakayama and Ohnuki, 1977) se presenta un estudio sobre la caída de la temperatura de la piel durante el desarrollo de ejercicios físicos. En este estudio se demostró que la caída de la temperatura no se debe al incremento de la evaporación sino al resultado de una vasoconstricción probablemente causada por el reflejo en la médula espinal por eferentes no térmicos de músculos ejercitantes o tejidos en movimiento.

Médicos y científicos realizaron una búsqueda bibliográfica de artículos relevantes en inglés, en (Bejani *et al.*, 1996) se resume la literatura más importante de los últimos 10 años sobre afecciones músculo esqueléticas y neuromusculares de los músicos efectuando una búsqueda bibliográfica de artículos relevantes sobre incidencias, prevalencia, fisiopatología, diagnóstico y estudios biomecánicos en músicos.

El ejercicio tiene un efecto notable en el flujo sanguíneo de la piel y la temperatura, en (Zontak *et al.*, 1998) se caracterizó la respuesta de la temperatura de la piel al ejercicio mediante imágenes termográficas, participaron 10 sujetos activos que fueron expuestos a ejercicios graduados para determinar el máximo consumo de oxígeno y posteriormente a cargas constantes. La respuesta termográfica de la temperatura de la piel se caracterizó por un patrón específico que refleja el equilibrio dinámico entre los procesos hemodinámicos y termorreguladores.

En (Neptune, Kautz and Zajac, 2000) se presenta un estudio para determinar cómo es que los músculos individuales contribuyen a las funciones biomecánicas durante dos tareas motoras de pedaleo hacia adelante y hacia atrás. Emplearon simulaciones para observar la energía mecánica involucrada.

El electromiograma de superficie (EMG) es la señal más utilizada para el control de prótesis con alimentación externa, en (Kuiken, Lowery and Stoykov, 2003) se estudió el efecto de la grasa subcutánea en la amplitud de la señal mioeléctrica empleando un modelo de elemento finito. Para ello evaluaron capas de 3, 9 y 18 mm de grasa. La amplitud de la señal electromiográfica decreció 31.3, 80.2 y 90 % respectivamente

El dolor musculo esquelético regional es una de las quejas más frecuentes en la práctica reumatológica diaria, en (Grassi *et al.*, 2003) el dolor musculo esquelético es uno de los referentes más comunes en personas con enfermedades reumáticas. Se estudió un programa de diagnóstico adecuado para pacientes con dolor musculo esquelético centrado en fortalezas y debilidades de varias técnicas de imagen.

La evolución de los índices de fatiga, incomodidad y rendimiento de los sujetos que pasan mucho tiempo sentados en los asientos de los automóviles ha atraído la atención de los investigadores, en (El Falou *et al.*, 2003) se evaluaron de los índices de fatiga, incomodidad y rendimiento de los sujetos sentados durante un largo periodo de tiempo de 150 minutos en los asientos de los automóviles. Utilizando dos tipos de asientos, uno cómodo y otro incómodo, durante la prueba la incomodidad aumentó independientemente del tipo de asiento, el rendimiento fue significativamente más bajo con el asiento incómodo.

La piel es de fácil acceso y cualquier compromiso con el soporte nutricional y las alteraciones en la viabilidad del tejido conducen a la manifestación de la enfermedad, en (Wright, Kroner and Draijer, 2006) se describen los métodos no invasivos y las pruebas dinámicas que se pueden utilizar para investigar la microcirculación de la piel.

El movimiento muscular aumenta el flujo sanguíneo, Cuanto más fluye la sangre, mayor es la energía emitida. Las imágenes térmicas pueden medir este aumento de energía, en (Ohliger, 2006) se realizaron dos diferentes pruebas: 1) Medir el efecto de los participantes sentados en una posición ergonómica y menos ergonómica recomendada para escribir en un teclado de computadora. 2) Medir la diferencia de temperatura en los pies y las pantorrillas al usar zapatos de tacón y zapatos planos.

La termografía infrarroja detectó si había cambios de temperatura asociados con el estrés ergonómico del cuerpo al mantener posiciones poco ergonómicas.

La evaluación térmica de los pacientes se remonta a la época de Sócrates, en (Roy, Boucher and Comtois, 2006) se evaluó la validez de las medidas térmicas mediante termografía infrarroja, 17 sujetos se sometieron a un periodo de aclimatación de 30 minutos en un ambiente controlado, se realizaron 15 grabaciones del área lumbar. Los resultados mostraron que las cámaras infrarrojas son herramientas válidas.

La aplicación clínica de la termografía infrarroja (IRT) tiene una larga historia en trastornos musculo esqueléticos, en (Zaproudina, Ming and Hänninen, 2006) se estudió la temperatura de la piel en pacientes con dolor lumbar (LBP) en comparación con personas sin dolor lumbar para evaluar la relación entre la intensidad del dolor y otros signos clínicos y anomalías de la temperatura. Participaron 65 pacientes con LBP crónico se tomaron imágenes térmicas de la zona lumbar y las piernas, los resultados mostraron que los cambios de la temperatura en la zona plantar se relacionaron con la intensidad de LBP.

Las actividades médicas presentan una alta incidencia de lesiones musculo esqueléticas, en (Siegel, 2007) se estudiaron las lesiones más frecuentes a las cuales son propensos los endoscopistas. Aquellos que se lesionen deben buscar atención médica antes para evitar lesiones permanentes. Las lesiones repetitivas son graves, pero pueden prevenirse.

Los músicos a lo largo de su trayectoria desarrollan algún tipo de lesión, en (Knapik *et al.*, 2007) se documentaron las lesiones en los interpretes musicales profesionales de la banda del ejercito de los EE.UU, utilizando un enfoque multivariado para determinar los factores de riesgo de lesiones. El mayor riesgo de lesiones se asoció con un mayor índice de masa corporal (IMC) asociado a una baja actividad física.

La necesidad de dispositivos portátiles para el control térmico está aumentando, en (Giansanti and Maccioni, 2007) se diseñó y construyó un dispositivo portátil para termografía de contacto con la piel que utiliza sensores de silicio integrados para

pruebas clínicas, este dispositivo se comparó con una cámara de infrarrojo de video digital.

Las actividades deportivas constituyen una serie de movimientos repetitivos, en (Zaïdi *et al.*, 2007) se estudió la utilidad de la termografía infrarroja para detectar la temperatura cutánea de un nadador, las imágenes térmicas se capturaron durante los periodos de recuperación. La termografía infrarroja permitió discutir la influencia del estilo de natación en la distribución de la temperatura cutánea de varias zonas del cuerpo.

El dolor es un indicador de carga excesiva de trabajo, en (Raanaas and Anderson, 2008) se llevó a cabo un cuestionario entre 1500 taxistas en Noruega para determinar la prevalencia de dolor musculoesquelético e identificar los factores de riesgo laboral que puedan aumentar el dolor en cuello, hombros y espalda baja. Los taxistas tienen alto riesgo de padecer problemas musculoesqueléticos debido a la carga de trabajo y estilo de vida, los factores de riesgo identificados fueron las horas de conducción por turno y por semana, experiencia de violencia, hábitos alimenticios poco saludables y poco ejercicio físico.

El sistema de termorregulación del cuerpo humano responde a los cambios del clima, en (Cabrera *et al.*, 2008) se presentó un modelo dinámico del cuerpo humano, que predice las respuestas térmicas humanas en ambientes fríos, neutros, cálidos y calurosos. Se modeló el cuerpo humano, los mecanismos de transporte de calor dentro del cuerpo y su periferia y un procedimiento numérico. Se hizo énfasis en el intercambio de calor con el entorno.

Los atletas y los músicos con frecuencia minimizan o niegan lesiones o dolor con la intención de permanecer activos, en (Akau *et al.*, 2009) se enfoca específicamente en el dolor de hombro, codo y dedo en atletas y dolor de muñecas en músicos con el objetivo de mejorar la comprensión del aprendiz sobre cómo abordar las condiciones comunes de dolor y lesiones en estas poblaciones.

Músicos y atletas se encuentran propensos a padecer trastornos neurológicos que provocan falta de coordinación motora, en (Storm *et al.*, 2009) se hace un enfoque

en la conmoción cerebral inducida por el deporte, la distonia y el entumecimiento de las manos en músicos con el objetivo de facilitar la capacidad de diagnóstico y tratamiento de lesiones en la columna vertebral y neurológicas en atletas y artistas escénicos.

La termografía infrarroja proporciona documentación visual y cualitativa de los cambios de temperatura en los tejidos vasculares, y está comenzando a desempeñar un papel importante en el campo de la oftalmología, en (Tan *et al.*, 2009) trata sobre el principio de trabajo, el uso y ventajas de la termografía infrarroja en el campo de la oftalmología, se discuten diferentes algoritmos para adquirir la temperatura de la superficie ocular (OST), que pueden usarse para el diagnóstico de enfermedades oculares.

La temperatura corporal es un indicador de salud, en (Bouzida, Bendada and Maldague, 2009) se analizaron dos mecanismos que se utilizan en el cuerpo humano para estudiar el sistema termorregulador según la generación y pérdida de calor en las manos. Se presentaron 2 enfoques: 1) Pletismografía, en la cual se colocó una banda en el ante brazo para modular el flujo sanguíneo. 2) Una estimulación fría. La visualización se logró utilizando dispositivos de infrarrojos.

En (Korukçu and Kilic, 2009) se utilizó la termografía infrarroja para determinar la temperatura instantánea transitoria de todas las superficies dentro de una cabina de un automóvil e investigar la incomodidad térmica causada por esas superficies.

Durante la actividad física intensa, las estructuras del núcleo y la masa muscular producen calor, en (Erla *et al.*, 2010) en este documento utilizaron imágenes térmicas de alta resolución para visualizar las variaciones de temperatura cutánea en todo el cuerpo de corredores entrenados durante el ejercicio gradual. 15 voluntarios participaron en una prueba de esfuerzo gradual hasta alcanzar su frecuencia cardiaca máxima individual. Los resultados indican que las imágenes infrarrojas térmicas permiten la evaluación cuantitativa de las adaptaciones térmicas cutáneas específicas de todo el cuerpo que se producen durante y después de la actividad física graduada.

En (Hildebrandt, Raschner and Ammer, 2010) se identificó con claridad el uso de la termografía infrarroja médica o MIT (Medical Infrared Thermography) para analizar funciones fisiológicas relacionadas con la temperatura de la piel haciendo énfasis en las lesiones de rodilla y medicina del deporte. Es un método no invasivo y una herramienta de bajo costo que puede ser utilizada para el monitoreo de la salud de los atletas en medicina del deporte.

En (Schlager *et al.*, 2010) se examinaron 25 pacientes con fenómeno de Raynaud primario y 22 personas sanas, se registraron temperaturas corporales con termografía infrarroja y láser Doppler, las mediciones se obtuvieron a temperatura ambiente y aplicando frío, se encontró correlación significativa entre la termografía infrarroja y el láser Doppler.

Investigaciones previas han encontrado que el acto de tocar el piano implica una actividad neuromuscular compleja, en (Lourenço *et al.*, 2011) se estudió la correlación entre los síntomas musculares del trapecio en pianistas durante su interpretación, se evaluaron imágenes térmicas de pianistas asociadas con la práctica del piano y con la salud de un pianista especialmente en relación con el sistema musculo esquelético.

Tocar la batería requiere mucha energía y activa los sistemas aeróbicos y anaeróbicos del organismo, en (Salvalaio *et al.*, 2011) se analizó el uso del pedal del tambor y se evaluaron imágenes térmicas de los grupos musculares involucrados y su posible relación con lesiones resultantes de la fatiga, a través del análisis se encontró que golpear el pedal del tambor puede causar riesgos a la salud.

Las actividades en la industria manufacturera han atraído la atención de los investigadores para evaluar lesiones musculo esqueléticas, en (Miguel Morales Ríos , Emilsy Medina Chacón , Angel Carnevali Fernández and Orozco Guillén, 2011) con aplicación de la termografía infrarroja se analizaron las actividades en un puesto de trabajo de armado de neumáticos, los resultados demostraron que las actividades evaluadas presentan el riesgo de sufrir lesiones musculo esqueléticas en brazos, cuello y tronco.

Las condiciones térmicas en una cabina de automóvil pueden cambiar rápidamente durante los períodos de calentamiento o enfriamiento transitorios, en (Korukçu and Kiliç, 2012) se realizó un seguimiento de las temperaturas de la piel de manos y cara con termografía infrarroja (IR) en la cabina de un automóvil.

El cuerpo controla su temperatura mediante un proceso fisiológico, llamado termorregulación, en (Lahiri *et al.*, 2012) se realizó una revisión crítica centrada en los avances de la termografía infrarroja (IRT) en el área médica. La termografía infrarroja puede mapear la temperatura de la superficie del cuerpo de manera remota. La IRT se ha utilizado con éxito en el diagnóstico de cáncer de mama, neuropatía por diabetes y trastornos vasculares periféricos. Los esfuerzos actuales se centran en el análisis de la distribución de la temperatura de las áreas de interés y su análisis estadístico para la detección de anomalías.

La fatiga muscular relacionada con la carga muscular excesiva puede convertirse en la fuente de lesiones del sistema musculoesquelético, en (Bartuzi, Roman-Liu and Wiśniewski, 2012) se investigó la posibilidad de utilizar termografía infrarroja (IR) para evaluar la fatiga muscular durante el bajo esfuerzo, se realizaron tres pruebas a niveles constantes de carga 5, 15 y 30 % de la contracción máxima voluntaria (MVC) de 5 minutos cada una en un grupo de 10 hombres. La temperatura y la señal electromiográfica (EMG) se registró en el bíceps braquial (BB). La carga constante sostenida durante las pruebas resultó en un aumento de la temperatura de BB. Los resultados del estudio sugieren que la termografía IR puede ser una alternativa o método de suplementario para evaluar la fatiga muscular a bajos niveles de contracción.

En los últimos años se ha puesto más atención en el confort térmico de los vehículos, en (Alahmer, Abdelhamid and Omar, 2012) se analizaron los parámetros de confort térmico de un vehículo con ayuda de mediciones termográficas. La humedad dentro de la cabina del vehículo se controló mediante un controlador de humedad total. Se investigó la comodidad humana dentro de la cabina del vehículo en escenarios creados de humedad artificialmente. Se investigó la comodidad humana mediante el análisis del efecto de la humedad relativa en la cabina desde

2 perspectivas: la variación de temperatura del cuerpo y la comodidad (sensación local).

El cuerpo humano es un mapa de isotermas con un rango de temperatura muy amplio que está influenciado por cambios endógenos y exógenos, en (Chudecka and Lubkowska, 2012a) Se evaluaron cambios de temperatura en superficie de brazo y antebrazo de 12 jugadores profesionales de voleibol sometidos a un entrenamiento de resistencia que duró 90 minutos, se midieron numerosos factores fisiológicos y morfológicos. Las temperaturas se registraron antes, inmediatamente después y 10 minutos después del esfuerzo físico. Se observó la disminución de la temperatura después del ejercicio y aumento de la sudoración prolongada durante el esfuerzo físico.

La termografía infrarroja se suele utilizar en medicina y para mediciones científicas experimentales, en (Bernard *et al.*, 2013) tuvo como objetivo determinar si los resultados de las mediciones con termografía infrarroja de la superficie de las manos podrían verse influenciados por el tratamiento tópico con diversas sustancias como gel de ultrasonido, pomadas, soluciones antisépticas, etc. Los resultados mostraron que el valor de la temperatura de la superficie de las manos está ligeramente distorsionado por la sustancia de aplicación tópica.

El estudio de las respuestas de termorregulación de diferentes regiones del cuerpo, ha ganado atención en los últimos años, en (Fournet *et al.*, 2013) se investigaron las temperaturas regionales de la piel de 9 hombres y 9 mujeres que corrieron durante 40 minutos en un ambiente frío. Se obtuvieron imágenes termográficas para obtener mapas corporales de 11 regiones del cuerpo, los resultados termo gráficos muestran distribución similar de la temperatura en hombres y mujeres activos durante la carrera.

En (Cravioto *et al.*, 2013) se calcularon seis categorías de estimaciones monetarias de las externalidades del transporte por carretera en México: accidentes, la congestión, los gases de efecto invernadero, la contaminación del aire, la infraestructura y el ruido, los resultados mostraron que de las externalidades del transporte por carretera ascienden por lo menos a 59.42 millones de dólares.

En (Tsekeris and Geroliminis, 2013) se analizó la relación entre el uso de tierra y la congestión del tráfico , utilizando un diagrama fundamental macroscópico, que es una relación de observación empírica entre el flujo de tráfico y la densidad de tráfico en una región urbana, incluida la hipercongestión donde el flujo disminuye a medida que aumenta la densidad. Se sugieren un nuevo conjunto de políticas para la optimización de controles del perímetro y estrategias óptimas de segundo nivel que pueden reducir aún más la congestión.

Un síntoma de dolor es el calor corporal excesivo, que puede ser medido con termografía infrarroja, en (Faust *et al.*, 2014) el objetivo es promover la termografía basada en sistemas de diagnóstico asistido por computadora (CAD), los resultados muestran que en términos de aplicabilidad de los sistemas CAD basados en termografía todavía hay una imagen mixta. Hay aplicaciones donde la termografía se encuentra en competencia directa con modalidades de imagen activa, como el ultrasonido y rayos x.

La termografía infrarroja es una técnica rápida e invasiva, en (Marins *et al.*, 2014) se estableció el perfil termográfico de las extremidades inferiores de 100 futbolistas de las categorías sub-19 de primera división de un equipo brasileño. Se registraron dos termogramas para registrar temperaturas máximas y medias de la piel, en las cuatro regiones de interés vista anterior y posterior de la pierna y el muslo, el análisis estadístico no mostro diferencias significativas. Los jóvenes analizados mostraron simetría térmica colateral.

En el 2004, por primera vez en su historia, la OMS eligió la seguridad vial como el tema principal del Día Mundial de la Salud y declaró que los accidentes de tráfico son una pandemia, en (Sanz, 2014) se realizó un estudio exploratorio desde un enfoque de investigación cuantitativa, consistió en 500 entrevistas supervisadas con conductores de microbús en la Ciudad de México , para explorar condiciones socioeconómicas, laborales y de seguridad incluyendo aspectos de seguridad vial y estilos de conducción. También se analizó la relación exposición-efecto en accidentes de tráfico. En los resultados se identificó una correlación entre los accidentes de tráfico y los conductores que trabajan más de 8 horas al día.

En (Lozano, Granados and Guzmán, 2014) se analizó una nueva autopista de peaje, el cambio de la dirección de flujo de dos vías arteriales y un nuevo conjunto de puentes en una zona dentro de la Ciudad de México: Los resultados indican que las dos primeras opciones tienen un pequeño beneficio a corto plazo que desaparece debido al tráfico inducido, y la última opción tiene un efecto insignificante.

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo son una de las principales preocupaciones de salud pública, en (Bulduk *et al.*, 2014) se examinaron los factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos en los taxistas, se observaron 382 conductores de taxis, utilizando la herramienta de exposición Quick Exposure Check, la cual permite evaluar áreas del cuerpo clave, los resultados fueron muy satisfactorios para hombro, brazo, muñeca, mano, cuello y espalda, los factores de riesgo se asociaron con posturas rígidas, movimientos repetitivos, vibraciones y estrés laboral.

La termografía infrarroja ha tenido aplicaciones en el campo de la medicina animal, en (Alsaad *et al.*, 2014) se utilizó la termografía infrarroja (ITR) para detectar dermatitis en vacas, se recolectaron 1192 imágenes térmicas de 149 vacas, de patas delanteras y patas traseras. Los resultados indican que la ITR puede ser una herramienta útil y no invasiva de diagnóstico para detectar dermatitis en las vacas.

Los bateristas profesionales son considerados deportistas de alto rendimiento, en (Flores-Olivares *et al.*, 2015) se desarrolló un protocolo para monitorear la temperatura de la piel de la espalda baja en un baterista profesional utilizando la termografía infrarroja como método no invasivo para recopilar datos de la superficie del cuerpo humano, con el fin de evaluar los riesgos de lesiones musculoesqueléticas.

En (Fernández-Cuevas, 2015) se realizó una revisión centrada en la falta de información sobre la falta de factores que influyen en el uso de la termografía infrarroja en seres humanos y propone una clasificación integral en tres grupos principales: factores ambientales, individuales y técnicos. Su objetivo fue proponer un marco común para futuras investigaciones para reforzar la precisión de la IRT (termografía infrarroja) humana.

La medición de la temperatura de la piel se utiliza comúnmente para explorar la interacción entre la termo fisiología humana y el medio ambiente externo, en (Maniar *et al.*, 2015) se investigó la temperatura media de la piel en cuatro zonas de interés cuello, escapula, mano y espinilla, utilizando termografía infrarroja, 26 hombres participaron en un ambiente controlado. La temperatura promedio se calculó utilizando la combinación de la temperatura más fría y más cálida de las zonas de interés. Se observaron diferencias mínimas en la temperatura local y media de la piel y no se consideraron fisiológicamente significativas.

El aumento de la temperatura de los tejidos es con frecuencia el primer síntoma de cambios patológicos, en (Chudecka and Lubkowska, 2015) el objetivo fue utilizar imágenes térmicas como una herramienta para establecer un mapa térmico y la distribución de la temperatura en la superficie corporal en hombres y mujeres jóvenes. 100 hombres y 100 mujeres participaron, las temperaturas significativamente más altas se registraron en el tronco (pecho, espalda y abdomen) principalmente en mujeres, la temperatura más baja se encontró en las partes distales del cuerpo principalmente en extremidades inferiores.

La termorregulación tiene como objetivo reducir el calor excesivo de los órganos internos. En (Jose I. Priego Quesada *et al.*, 2015) se evaluó la relación entre la activación neuromuscular y la temperatura de la piel durante el ejercicio, 10 participantes físicamente activos realizaron una prueba de ciclos de carga incremental hasta el agotamiento, las activaciones neuromusculares se registraron a través de electromiografía de superficie del recto femoral, vasto lateral, bíceps femoral y gastrocnemio interno. Las imágenes termográficas se registraron antes, inmediatamente después y 10 minutos después de terminar la prueba de ciclismo. Se observó una relación inversa significativa entre los cambios de la activación neuromuscular general para el vasto lateral. Se observó una relación positiva significativa entre la temperatura de la piel y los componentes de baja frecuencia de la activación neuromuscular del vasto lateral.

En (Khanday and Hussain, 2015) se utilizó una fórmula explícita de método de diferencia finita para con condiciones de contorno apropiadas para estimar los

perfiles de temperatura de las capas dérmicas y subdérmicas cuando se exponen a temperaturas frías severas. Los resultados obtenidos se utilizaron para identificar los escenarios en los que se producen diversos grados de congelación en la superficie de la piel, así como en las áreas dérmicas y subdérmica.

Aproximadamente el 30-70% de la energía producida durante la contracción muscular se disipa como calor, en (Jose Ignacio Priego Quesada *et al.*, 2015) se compararon la termografía infrarroja y los sensores de contacto térmico para medir la temperatura de la piel durante el ciclismo en un ambiente moderado, 14 ciclistas participaron durante una prueba de ciclismo de 45 minutos, al 50% de su potencia. La temperatura de la piel se registró simultáneamente mediante termografía infrarroja y sensores térmicos antes e inmediatamente después de la actividad cíclica, así como 10 minutos después de 10 minutos de enfriamiento. La termografía infrarroja registró valores de temperatura más bajos que los sensores de contacto térmico. Mientras que presentó temperaturas más altas después de la fase de enfriamiento. Los resultados apoyan la aplicación de la termografía infrarroja para medir la temperatura de la piel en escenarios de ejercicio donde la transpiración no forma un filtro de agua.

En (Mortola *et al.*, 2015) se midió con termografía infrarroja la diferencia de calor total irradiado entre huevos de gallina y pato fértiles y estériles, concluyen que la termografía es una herramienta simple para verificar la progresión de la incubación del embrión y también para estimar su tasa metabólica.

El uso de los teléfonos móviles ha tenido un enorme crecimiento en los últimos años, en (Lahiri *et al.*, 2015) se informó sobre el aumento de la temperatura de la piel debido a la absorción de energía de radio frecuencia de tres teléfonos móviles de mano utilizando la técnica de la termografía infrarroja. Los experimentos se realizaron bajo dos condiciones diferentes, cuando los teléfonos móviles se colocan en un tacto suave con la superficie de la piel y lejos de la superficie de la piel, se observó que la temperatura de las mejillas y las orejas aumentó durante el uso de los teléfonos móviles, su estudio sugiere que el uso de los teléfonos móviles sin

contacto puede reducir significativamente el aumento de la temperatura de la piel durante su uso.

En (Keefer *et al.*, 2015) se utilizaron registradores de temperatura de radiotelemedría para reconstruir la experiencia del salmón Chinook adulto de primavera en el río Willamette en Oregón. La población de estudio está amenazada y los esfuerzos de recuperación se han visto obstaculizados por una mortalidad epigenética antes del parto, probablemente esté mediada por la temperatura. La mayoría de los salmones experimentaron un amplio rango de temperaturas, los datos proporcionaron información de referencia temporal y espacial sobre la exposición a temperaturas estresantes de corta duración. La exposición térmica influye en la fisiología, la maduración y los procesos de enfermedad del salmón adulto, afecta la mortalidad y la amplitud física antes del parto.

La comodidad está determinada por una combinación de factores físicos y psicológicos, en (Ayachi, Dorey and Guastavino, 2015) se investigó como los ciclistas conceptualizan la comodidad de la bicicleta utilizando una encuesta en línea con 244 encuestados. El propósito fue determinar qué factores contribuyen a la comodidad al andar en bicicleta, identificar las situaciones en las que el confort es relevante y determinar en qué punto las vibraciones desempeñan un papel importante en las evaluaciones de la comodidad. Se encontró que la comodidad está influenciada por factores relacionados con los componentes de la bicicleta (el cuadro, el sillín y manillar), así como factores ambientales (tipo o camino, condiciones climáticas) y factores relacionados con el ciclista (posición, ajustes y partes del cuerpo), los encuestados creían que la comodidad es compatible con el rendimiento. El análisis muestra que la comodidad del ciclista se basa principalmente en cualidades relacionadas con los componentes de la bicicleta, luego en el camino y las condiciones externas como el clima.

Los procesos de termorregulación se producen durante la alimentación de sangre en mosquitos, en (Lahondère and Lazzari, 2015) se realizó un análisis térmico de insectos hematófagos, durante su alimentación están expuestos a estrés térmico debido a la ingestión de comida cuya temperatura excede su propia temperatura

corporal. El análisis termográfico en tiempo real durante su alimentación reveló que el cuerpo de las moscas se calienta significativamente de manera homogénea.

En (Jazcilevich *et al.*, 2015) se propone un conjunto de indicadores para determinar el efecto de dispositivos para disminuir el tráfico, primero se define una ventana de tiempo en la que se pudo determinar la influencia de un dispositivo para calmar el tráfico, proporcionando un marco de referencia conveniente. En segundo lugar se define un concepto de condiciones de cruce locales para tener una base de comparación entre los casos con y sin dispositivos de control de tráfico. Se estimó el consumo de combustible, la valoración de los topes en una carretera secundaria en la Ciudad de México.

Es importante que se investiguen termogramas específicos en diferentes deportes, en (del Estal *et al.*, 2016) el objetivo de este estudio fue investigar el perfil térmico en los atletas de combate (Muay Thai), quince atletas participaron, se tomaron fotos térmicas de la parte anterior y posterior del cuerpo, los resultados indican simetría entre la parte posterior y anterior del cuerpo, las temperaturas más elevadas se registraron en las espinillas y en los nudillos.

Las lesiones de tobillo se encuentran entre los eventos más comunes que se presentan en centros de atención primaria y urgencias, en (Oliveira *et al.*, 2016) el objetivo de este trabajo fue evaluar la idoneidad de la termografía infrarroja como complemento de diagnóstico de los distintos grados de esguinces de tobillo. Se analizaron imágenes del tobillo afectado y del no afectado, las conclusiones fueron que el análisis termográfico de las lesiones de esguince de tobillo podría tener cierto potencial. Se recomienda utilizar la termografía infrarroja en las áreas de emergencia de hospitales y en la práctica deportiva.

Una actividad de termorregulación eficiente es importante en los deportes, en (Ignacio *et al.*, 2016) se determinó la influencia de la carga de trabajo del ciclismo en la variación de la temperatura del núcleo y la piel del cuerpo humano, 14 personas participaron en una prueba de ciclismo de 45 minutos al 35 % y 50% de su potencia en diferentes días. La temperatura central se midió continuamente durante la prueba y la temperatura de la piel se registró antes, inmediatamente

después y 10 minutos después de haber terminado la prueba de ciclismo. Los hallazgos encontrados resaltan la dificultad de vincular la temperatura de la piel con la carga de trabajo y la temperatura central debido a la eficiencia del sistema termorregulador en el aumento del gradiente térmico.

La termografía infrarroja IRT ha sido utilizada para estudiar las condiciones de confort térmico en trabajo de oficina, en (Ghahramani *et al.*, 2016) para definir configuraciones operativas para sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en edificios utilizaron termografía infrarroja para controlar el rendimiento de la termorregulación y los niveles de confort térmico de una persona al medir la temperatura de la piel de la cara , sus resultados demuestran diferentes comportamientos de la temperatura bajo diferentes situaciones estrés por calor y frío.

En (Rossignoli *et al.*, 2016) los objetivos de este estudio fueron: 1. Analizar la temperatura de la piel con termografía infrarroja de usuarios de sillas de ruedas deportivas durante una prueba de propulsión. 2. Evaluar la relación entre el dolor de hombro y la asimetría de la temperatura de la piel antes y después de la prueba de propulsión. Participaron 12 atletas con su propia silla de ruedas, realizaron una prueba máxima de 30 segundos, se registró el número de propulsiones, la velocidad máxima, media y la potencia de cada brazo. El dolor de hombros se evaluó con el índice de dolor de cada participante. La temperatura de la piel de la parte superior anterior y posterior del cuerpo se midió antes y después de la prueba con una cámara de infrarrojos. Los resultados muestran una disminución de temperatura al inicio de la prueba y posteriormente aumenta significativamente 10 minutos después de completar la prueba. No se encontró relación entre la temperatura de la piel y el dolor de hombros.

El confort térmico se ha estudiado durante mucho tiempo, en (Danca, Vartires and Dogeanu, 2016) se revisaron los métodos más populares para evaluar el confort térmico en los vehículos, teniendo varias particularidades, la radiación solar, el aislamiento interior deficiente, la falta de uniformidad de la temperatura radiante

promedio, el confort térmico dentro del automóvil reduce el riesgo de accidentes al reducir el estrés del conductor.

El confort térmico en la cabina de un automóvil, no solo permite reducir la fatiga del conductor, también contribuye a una conducción más segura, en (San-Juan *et al.*, 2016) el objetivo fue evaluar la eficiencia de los sistemas de desempañado de los parabrisas en vehículos eléctricos mediante el uso de la termografía infrarroja (IR) y técnicas de análisis de imagen, el estudio se realizó en tres vehículos diferentes: un vehículo con motor de combustión interna, un vehículo eléctrico completo que utiliza una resistencia eléctrica para calentar la cabina del vehículo y un vehículo eléctrico con una bomba de calor. Los resultados muestra mayor eficiencia en sistemas de desempañado en los autos eléctricos a diferencia del auto de combustión interna.

El estrés puede ser provocado por una gran variedad de estímulos perceptivos y emocionales que comúnmente están involucrados en contextos urbanos, en (Dorantes Argandar, Tortosa Gil and Ferrero Berlanga, 2016) construyeron una escala para ayudar a determinar los factores de estrés de conductores de vehículos motorizados en México. Con estadística descriptiva calcularon las situaciones significativamente más estresantes, las 5 situaciones más estresantes encontradas fueron: personas que conducen violentamente, policías corruptos, carreteras en mal estado, personas que cortan en la fila y policías arrogantes incluyendo la falta de respeto por las reglas sociales.

En (Fernandes *et al.*, 2016) el objetivo fue determinar la validez de la temperatura interna del ojo (TEC) con termografía infrarroja (IR) como una medida alternativa no invasiva de la temperatura central intestinal, mediante el uso de una píldora de telemetría gastrointestinal, durante 30 minutos de reposo, 60 minutos de ejercicio y 60 minutos de recuperación. Participaron 12 hombres físicamente activos, la temperatura se monitoreo cada 5 minutos en todos los casos. Los resultados no muestran concordancia entre los valores, por lo tanto no se recomienda sustituir la píldora de telemetría gastrointestinal en los deportes.

La temperatura de la piel durante el ejercicio ha ganado mucha atención en la comunidad de investigación en los últimos años, en (Priego Quesada *et al.*, 2016) utilizaron un enfoque de análisis factorial para definir las áreas de interés termográficas en el ciclismo, 19 participantes masculinos realizaron una prueba de 45 minutos al 50% de su capacidad de pedaleo, se tomaron imágenes termográficas de 16 zonas de interés del tronco y las extremidades inferiores en tres momentos, antes inmediatamente después y 10 minutos después de la prueba de ciclismo.

Durante el ejercicio físico, la temperatura de la piel puede variar significativamente según las condiciones ambientales y la intensidad y duración del ejercicio, en (Tanda, 2016a) se estudió la respuesta de la temperatura de la piel durante una carrera mediante imágenes térmicas, las mediciones realizados en corredores de larga distancia mostraron una caída de la temperatura de la carrera durante la etapa inicial del ejercicio de carrera, independientemente del tipo de suelo o cinta de correr y las condiciones ambientales exteriores o interiores. Se argumenta que la disminución de la temperatura de la piel está asociada con la respuesta vasoconstrictora cutánea al ejercicio, es probable que el ejercicio de carrera de carga constante promueva una reducción mínima de temperatura de la piel, seguido de un aumento gradual relacionado con la vasodilatación termorreguladora.

En (Moreira *et al.*, 2017) el objetivo de este estudio fue desarrollar una lista de verificación para la recolección de datos utilizando termografía infrarroja (IRT) en la medicina deportiva y ejercicio. Participaron especialistas en fisiología, fisioterapia y medicina de 13 países, se propuso una lista de 16 puntos a evaluar y comentar por los especialistas en tres rondas de encuestas anónimas, los panelistas llegaron a un consenso donde destacan la información demográfica de los participantes, la sala, entorno, el registro y análisis de los datos utilizando IRT.

En (Lyons *et al.*, 2017) se presenta un análisis macroscópico del impacto que tiene una política de restricción de tiempo para camiones de transporte pesados en los principales corredores de la Ciudad de México, mediante una encuesta se realizó una recopilación de datos y análisis estadístico los resultados indican que la

restricción de horarios para vehículos pesados tiene un impacto negativo en la congestión de la ciudad y las emisiones locales.

Cada tejido del sistema musculo esquelético de cada persona tiene su propia tolerancia a la carga. Cuando las cargas físicas en el tejido superan la tolerancia de carga, el tejido puede lesionarse o dañarse, en (Charles *et al.*, 2017) se revisó y resumió la evidencia que vincula las exposiciones ocupacionales a la vibración y la postura incómoda con los trastornos musculo esqueléticos. La exposición ocupacional a la vibración y la postura incómoda están asociados con los trastornos musculo esqueléticos en el cuello y hombros. Según la Oficina de Estadísticas Laborales de EE. UU., Los trastornos musculo esqueléticos (TME) representaron el 32% de todos los casos de lesiones y enfermedades no fatales en 2014 entre los trabajadores a tiempo completo

Existe un conocimiento limitado sobre los posibles efectos perjudiciales de la actividad vigorosa y el calor en el ser humano, en (Mansour *et al.*, 2017) se estudió la función renal mediante la puntuación microscópica en muestras de orina debido a la creciente participación en el maratón de Hartford 2015, 22 corredores participaron con una edad media de 44 años, los resultados muestran que los corredores de maratón desarrollaron algún tipo de lesión renal después del maratón

En (Leo, Morillón and Silva, 2017) se enfocó en la revisión y análisis de estrategias de movilidad urbana en México, las variables identificadas de movilidad urbana son ahorro en dinero y tiempo, seguridad, congestión, accidentes, sistemas inteligentes y contaminación local. Los objetivos alcanzados incluyen la comodidad y conveniencia de los usuarios, la reducción de la congestión, ahorro de dinero y tiempo, reducción de los accidentes de tráfico, mejora de las opciones de movilidad, reducción de la contaminación y beneficios para la salud y bienestar.

En (Soroko and Howell, 2018) se presenta una revisión considerada de la evidencia de la utilidad de la termografía infrarroja en la práctica de la medicina equina y presenta sus ventajas y limitaciones actuales para monitorear el proceso de curación, cuantificando la regresión de la inflamación o controlar la eficacia de los medicamentos antiinflamatorios.

En (Costa *et al.*, 2018) el objetivo de este estudio fue identificar las variaciones de la temperatura de la piel (Tsk) mediante el uso de la termografía infrarroja de diferentes regiones del cuerpo de mujeres durante el día. Participaron 20 mujeres, las regiones de interés fueron el antebrazo, la parte superior del brazo y las piernas posterior y anterior, el torax y la escápula de las extremidades superiores. Los resultados muestran diferencias significativas entre los periodos del día de mujeres activas, mostrando valores absolutos mínimos en la madrugada. Los resultados resaltan la importancia de considerar la hora del día cuando se realizan las mediciones de la temperatura de la piel de las mujeres, así como considerar el ritmo circadiano.

En (Polidori *et al.*, 2018) el objetivo de este estudio fue proporcionar una prueba de concepto para el uso de la termografía médica por infrarrojos para verificar el diagnóstico en el dolor de espalda, en el estudio participó una mujer de 50 años con síndrome de dolor de espalda agudo, los resultados muestran que antes del tratamiento la imagen térmica revela inflamación desde la vértebra D8 a L3 con una inflamación máxima entre las vértebras D10 y L1. Después del tratamiento la imagen térmica sólo mostró una ligera inflamación a lo largo del surco lumbar. La termografía médica por infrarrojos permite apoyar científicamente el diagnóstico y validación de tratamientos efectivos del dolor de espalda

En (Obregón-Biosca *et al.*, 2018) se presentan y analizan los aspectos fundamentales de un cuestionario de seguridad vial, esta prueba fue diseñada para conductores de automóviles, pasajeros, motociclistas, ciclistas y peatones habitantes de Querétaro, México, el nivel de educación en seguridad vial carece de una medida objetiva de desempeño con respecto al nivel de los diferentes participantes.

En (Bravo *et al.*, 2018) se pretende desarrollar el primer mapa de ruido de tráfico de Quito mediante el uso de datos predictivos asistidos por computadora, utilizando tres modelos de predicción de ruido. Utilizando información simplificada sobre el flujo de tráfico, la absorción de la acústica de edificios y la superficie de la carretera. Los resultados muestran que durante el día los habitantes del área urbana están

expuestos a niveles de ruido por encima de los 65 dBA, niveles de ruido considerados peligrosos para la salud pública.

En (Jiang *et al.*, 2018) se investiga cómo el diseño de calles compartidas y la restricción de tráfico, influyen en el entorno sonoro urbano y la experiencia humana del lugar, por medio de una aplicación de realidad virtual en línea, se simularon dos escenarios de diseño de calles y restricción de tráfico, los resultados mostraron mejora en el ambiente sonoro urbano.

En (Domenichini, Branzi and Smorti, 2019) se realizó un experimento de simulación de conducción, la evaluación de la influencia de algunas características psicológicas en la efectividad de diferentes tipos de medidas de control del tráfico, cincuenta y ocho participantes recorrieron una ruta urbana virtual mientras se recopilaban datos sobre su desempeño. Los resultados respaldan que las medidas para calmar el tráfico podrían ser efectivas.

En (Lucchi, 2018) se presenta una revisión crítica del uso de la termografía infrarroja (ITR) en la auditoria de energía de edificios. El objetivo de la investigación es servir como referencia para los auditores y termógrafos de energía para detectar cual es el mejor procedimiento para detectar defectos térmicamente significativos como nivel de aislamiento, detección de fugas de aire y humedad, temperatura interior y evaluación del confort humano.

En (Koupal and Palacios, 2019) se evaluó el impacto de las emisiones de los vehículos en México con un enfoque en las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) por evaporación impulsadas por el aumento de la volatilidad, se analizaron las mediciones de la detección remota en carretera de la Ciudad de México y se encontró que las emisiones de hidrocarburos de los vehículos son mucho más altas que los niveles de los EE. UU. Los resultados sugieren que el aumento en las emisiones de vehículos de las actualizaciones de la Nom-016 tendría un efecto negativo en la mortalidad prematura, la bronquitis crónica, las visitas a los hospitales y los días de actividad restringida.

En (Ferreira *et al.*, 2019) se presenta una discusión sobre el uso de la termografía infrarroja para detectar la degradación de los componentes eléctricos. Se realizaron experimentos de laboratorio de bajo control, con condiciones para demostrar cómo la emisividad afecta la temperatura.

En (Hadžić *et al.*, 2019) el objetivo principal de su estudio fue evaluar la relación entre los cambios de la piel y la fatiga muscular. Un corredor de media distancia de 23 años después de realizar un calentamiento, hizo ejercicio con el dinamómetro durante 7.5 minutos a 120° realizando solo contracciones concéntricas de cuádriceps, se registraron imágenes térmicas de los cuádriceps con y sin ejercicio. No se observó correlación entre el cambio de temperatura de la piel y la potencia muscular. Merece un análisis más exhaustivo y una muestra más grande incluyendo sujetos de diferentes edades, estados de salud y habilidades físicas.

## **2.2. Análisis de estado del arte**

Durante la investigación se identificaron puntos importantes en la aplicación de la termografía infrarroja (IRT) para la detección de diversas enfermedades al detectar diferentes patrones de temperatura en la superficie de la piel.

No se identificó un método en específico para la recolección de imágenes térmicas, los autores de diversas investigaciones de monitoreo de la temperatura de la piel con termografía infrarroja utilizan métodos propios de recolección de imágenes térmicas, muchos de los autores han comparado la termografía infrarroja con otros métodos convencionales de medición de la temperatura humana como termopares y termómetros de mercurio, utilizados para determinar la temperatura interna del cuerpo humano.

# CAPÍTULO

3

*PRINCIPIOS BÁSICOS*

### 3.1. Evolución de la Termografía Infrarroja

La termografía es una imagen generada por rayos infrarrojos que se emiten desde una superficie. Inflamación, infección y otras anomalías pueden aumentar la temperatura localizada en los tejidos, en la imagen termográfica estas anomalías aparecen como puntos calientes o zonas no homogéneas. Se ha demostrado que es confiable y conveniente, ya que se ha utilizado para investigar una variedad de problemas clínicos. Una de las aplicaciones de la termografía es evaluar las enfermedades inflamatorias, tales como la enfermedad reumática de las manos, artrosis en rodillas y manos. Algunos estudios informaron que la actividad de la artritis y los índices de gravedad se pueden indicar mediante mediciones térmicas (Salvalaio *et al.*, 2011). La aplicación clínica de la termografía infrarroja (IRT) tiene una larga historia en trastornos musculo esqueléticos (Zaproudina, Ming and Hänninen, 2006). Las cámaras de IRT producen una secuencia de imágenes bidimensionales y legibles (termografías), donde los colores y tonos específicos identifican diferentes temperaturas. Los dispositivos normalmente operan en las bandas IR de onda corta (3–5  $\mu\text{m}$ ) y en onda larga (7–14  $\mu\text{m}$ ). El uso y aplicación de la termografía infrarroja IRT ha aumentado los últimos cincuenta años (Lucchi, 2018). La Tabla 3.1, muestra cronológicamente el desarrollo y las aplicaciones de la termografía infrarroja desde el descubrimiento del espectro electromagnético hasta los últimos años.

Tabla 3.1. Cronología del desarrollo y aplicaciones de la termografía infrarroja.

Año	Desarrollo de la IRT
1800	Sir William Herschel descubrió una parte del espectro electromagnético (espectro termométrico).
1835	Macedonio Melloni desarrollo el primer detector basado en este tipo de radiación “detector IR de termopila”
1840	John Herschel estableció el primer termógrafo utilizando la evaporación diferencial de una película delgada de un aceite expuesto a los patrones de calor.
1880	Samuel Pierpont Langley descubrió el “bolómetro de Langley”, un material que cambia su resistencia eléctrica con rangos de temperatura, se considera sobre la base de las modernas cámaras.
1870-1920	Se desarrolló el primer detector cuántico basado en la interacción entre estas radiaciones, transformando definitivamente la naturaleza de la detección para la reducción considerable del tiempo de respuesta y el aumento de la precisión de medición. Las cámaras de imagen térmica se establecieron en el sector militar sobre la base de este detector cuántico.
1929	Kálmán Tihanyi inventó la primera cámara sensible al IR para la defensa antiaérea
1930-1960	Se introdujeron varios detectores de infrarrojos, como el sulfuro de plomo (PbS), antimonio de indio (InSb), mercurio, cadmio y telurio

1950	Texas Instruments, Honeywell y US Military establecieron un detector de un solo elemento para producir imágenes IR.
1950-1960	Paralelamente, algunos estudios demostraron su utilidad para visualizar las primeras etapas del cáncer de mama, porque las células tumorales extraerían más sangre y crearían un punto caliente en la imagen IR.
1950-1965	El alto costo de esta tecnología forzó su aplicación principalmente para propósitos militares también en las siguientes décadas.
1966	Barnes-Agema vendió la primera cámara IR comercial en tiempo real, que requería enfriamiento con materiales como nitrógeno líquido y gas comprimido.
1970	La empresa sueca AGA-Boforos desarrolló las primeras imágenes térmicas radiométricas con un solo detector de tipo fotográfico.
1970	Se documentó el uso de IRT para inspecciones periódicas rápidas y mantenimiento preventivo de edificios, sistemas HVAC y eléctricos.
1980	se insertaron nuevas funciones en la cámara IR, tales como: detector de fotones enfriados individuales con escaneo optomecánico, sensores con velocidades de cuadro de 30/60 Hz, (iii) nuevas paletas cromáticas y (iv) software para la elaboración de datos basados en la "computadora Husky
1987	Se vendió un producto comercial basado en una sola cámara IR
1990	Los programas federales "Low-Cost Uncooled Sensor Program" (LO-CUSP) proporcionaron fondos para el desarrollo de las tecnologías de imagen térmica.
1977	La introducción de microbolómetros no refrigerados llevó a la reducción de la dimensión de las cámaras IR.
2000	Se extendió el uso de IRT en el sector de la construcción debido a la reducción en el tamaño de la unidad, la reducción de costos y mejoras en la resolución, la sensibilidad, exactitud, operatividad y portabilidad.
2005	Las legislaciones europeas restrictivas sobre la eficiencia energética de los edificios favorecieron su difusión también para la auditoría energética.

La termografía médica por infrarrojos se basa en una información detallada investigación de la temperatura de la piel y del tejido superficial mediante el registro de la radiación infrarroja emitida por el cuerpo. Los cambios de temperatura de la piel pueden resaltar la presencia de patologías inflamatorias o musculo esqueléticas. Esta herramienta no invasiva y fácil de manejar tiene un amplio espectro de aplicación y se puede usar en medicina ocupacional para diagnosticar síntomas (Polidori *et al.*, 2018). Las actividades ocupacionales requieren una gran cantidad de movimientos repetitivos que ejercen tensión en el sistema musculo esquelético que pueden provocar una inflamación crónica con una progresión resultante a un daño permanente (Siegel, 2007). La Tabla 3.2, enlista los factores de riesgo más comunes de las lesiones musculo esqueléticas:

Tabla 3.2 Factores de riesgo de lesiones musculo esqueléticas (Siegel, 2007)

Demandas físicas de las actividades laborales	
1	Duración de la actividad
2	Fuerza requerida
3	Estrés de contacto local
4	Repeticiones
5	Postura del trabajo
Diseño y condición del lugar de trabajo o estación de trabajo	
1	Superficies del piso
2	Asientos
3	Alturas de trabajo
4	Alcances de trabajo
Condiciones ambientales que contribuyen a la lesión	
1	Ciclos de recuperación del trabajo
2	Variabilidad de la tarea
3	Ritmo de trabajo

La Tabla 3.3, enlista los síntomas más comunes de las lesiones musculo esqueléticas:

Tabla 3.3. Síntomas de lesiones por esfuerzo repetitivo (Siegel, 2007)

Dolores y molestias en articulaciones
Dolor lancinante de la espalda a las piernas
Entumecimiento de los brazos, las manos o las piernas
Hormigueo o ardor en los brazos, manos, piernas y pies
Dolor de hombros y espalda
Hinchazón de las manos o muñecas
Desgaste de los músculos de los brazos, manos y piernas

Las lesiones musculo esqueléticas pueden comprometer la capacidad física de una persona, afectando la motricidad fina, en la Tabla 3.4, se observan algunas de las lesiones causadas por actividades de uso repetitivo:

Tabla 3.4. Lesiones asociadas a actividades de uso repetitivo (Siegel, 2007).

Lesiones de la columna cervical
Síndrome de cuello de tensión
Mielopatía
Enfermedad del disco
Lesiones del hombro
Bursitis (hombro congelado)
Manguito rotador
Síndrome de la caja torácica
Lesiones del brazo superior
Codo de tenista
Codo de golf
Tenosinovitis
Tendinitis
Atrapamiento del nervio cubital
Atrapamiento del nervio radial
Lesiones en la muñeca
Síndrome del túnel carpiano
Lesiones en la mano
Síndrome de Quervain
Contractura de Dupuytren

Lesiones de la espalda baja
Distensión lumbosacra
Enfermedad del disco lumbosacro
Artralgias de la cadera
Bursitis de la cadera
Lesiones en las extremidades inferiores
Dolor de rodilla
Dolor en la pierna y el tobillo.
Dolor en el pie fascitis plantar

En los últimos años se ha desarrollado una nueva generación de cámaras de alta resolución, estas mejoras técnicas, han convertido a la termografía infrarroja en una herramienta de medición confiable. En la tabla 3.5, se comparan las antiguas técnicas con los avances tecnológicos en IRT:

Tabla 3.5 Desarrollo de la tecnología de sensores infrarrojos (Hildebrandt, Raschner and Ammer, 2010)

Antigua técnica	Nueva técnica
Detector de líquido de enfriamiento	Tecnología de cámara no refrigerada.
Detector de un solo elemento	Detector de matriz de plano focal
Mecanismo de escaneo mecánico lento	Imágenes en tiempo real y de alta velocidad con matrices de elementos múltiples
Cámara de baja resolución	Cámara de alta resolución
Conversión analógica y computación.	Conversión digital y computación, transferencia electrónica de imágenes de cámara a PC en tiempo real
No hay suficiente conocimiento sobre los métodos de estandarización.	Protocolos de estandarización y recomendaciones para uso médico.
Imágenes en gris	Colorear imágenes visibles
Caro, grande en tamaño, no móvil	Asequible, más pequeño y totalmente móvil.
Sensibilidad predominantemente baja	Sensibilidad mejorada (0.02 grados centígrados)
Software y herramientas insuficientes	Software de procesamiento de imágenes fácil de usar

### 3.2. Termodinámica

La definición precisa de los principios básicos constituye una base sólida para el desarrollo de la ciencia y evita malas interpretaciones. La termodinámica se define como la ciencia de la energía. La energía se define como la capacidad para causar cambios. *“El término termodinámica proviene de las palabras griegas therme (calor) y dynamis (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía”.*

El principio de conservación de la energía, expresa que durante una interacción, la energía puede cambiar de una forma a otra pero su cantidad total permanece constante. Es decir la energía no se crea ni se destruye.

El cambio en el contenido energético de un cuerpo o de cualquier otro sistema es igual a la diferencia entre la entrada y la salida de energía, y el balance de esta se expresa como:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E \quad (1)$$

En donde:

$E_{entrada}$ =Entrada de energía

$E_{salida}$ =Salida de energía

### 3.2.1. Leyes de la Termodinámica

Es importante identificar los conceptos básicos de las tres leyes de la termodinámica:

- Primera ley de la termodinámica es una expresión del principio de conservación de la *energía*, y sostiene que la energía es una propiedad termodinámica.
- Segunda ley de la termodinámica afirma que la energía tiene *calidad* así como *cantidad*.
- Tercera ley de la termodinámica proporciona un punto de referencia absoluto para la determinación de entropía.

### 3.2.2. Temperatura y ley cero de la termodinámica

Con base a las sensaciones fisiológicas, se expresa el nivel de temperatura de modo cualitativo. Cuando un cuerpo se pone en contacto con otro que está a una temperatura diferente, el calor se transfiere, del que está caliente al frío hasta que

ambos alcanzan la misma temperatura. En este punto se detiene la transferencia de calor y se dice que los dos cuerpos han alcanzado el equilibrio térmico. Para el cual el único requerimiento es la igualdad de temperatura. La ley cero de la termodinámica establece que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí, esta ley sirve como base para la validez de la medición de la temperatura. Si el tercer cuerpo se sustituye por un termómetro, la ley cero se puede volver a expresar como dos cuerpos están en equilibrio si ambos tienen la misma lectura de temperatura incluso si no están en contacto.

### 3.2.3. Formas de Energía

La energía puede existir de varias formas: térmica, mecánica, cinética, potencial, eléctrica, magnética, química y nuclear, cuya suma conforma la energía total  $E$  de un sistema, la cual se denota por unidad de masa mediante  $e$  y se expresa como:

$$e = \frac{E}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2)$$

En donde:

$e$  = energía de un sistema

$E$  =energía total

$m$  = masa

La termodinámica no proporciona información acerca del valor absoluto de la energía total, solo trata con el cambio de esta. Así, a la energía total de un sistema se le puede asignar un valor de cero ( $E=0$ ) en algún punto de referencia que resulte.

En el análisis termodinámico, con frecuencia es útil considerar dos grupos para las diversas formas de energía que conforman la energía total de un sistema:

- 1) Las formas macroscópicas de energía son las que poseen un sistema como un todo en relación con cierto marco de referencia exterior, como las energías cinética y potencial.
- 2) Las formas microscópicas de energía son las que se relacionan con la estructura molecular de un sistema y el grado de la actividad molecular, y son independientes de los marcos de referencia externos. La suma de todas las formas microscópicas de energía se denomina energía interna de un sistema y se denota como  $U$ .

La energía macroscópica de un sistema se relaciona con el movimiento y la influencia de algunos factores externos como la gravedad, el magnetismo, la electricidad y la tensión superficial. La energía que posee un sistema como resultado de su movimiento en relación con cierto marco de referencia se llama energía cinética (EC). Cuando todas las partes de un sistema se mueven con la misma velocidad, la energía cinética se expresa como:

$$EC = m \frac{V^2}{2} \quad (kJ) \quad (3)$$

$$ec = \frac{V^2}{2} \quad (kJ/kg) \quad (4)$$

Donde  $V$  denota la velocidad del sistema con respecto a algún marco de referencia fijo. La energía cinética de un cuerpo sólido que gira se determina mediante  $\frac{1}{2} I \omega^2$ , donde  $I$  es el momento de inercia del cuerpo y  $\omega$  es la velocidad angular.

La energía que posee un sistema como resultado de su incremento de altura en un campo gravitacional se llama energía potencial (EP) y se expresa como:

$$EP = mgz \quad (\text{kJ}) \quad (5)$$

O por unidad de masa

$$ep = gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad (6)$$

Donde  $g$  es la aceleración gravitacional y  $z$  es la altura del centro de gravedad de un sistema con respecto a algún nivel de referencia elegido arbitrariamente. La energía total de un sistema consta solo de las energías cinética, potencial e interna, y se expresa como:

$$E = U + EC + EP = U + m \frac{V^2}{2} + mgz \quad (\text{kJ}) \quad (7)$$

$$e = u + ec + ep = u + m \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad (8)$$

La energía mecánica se puede definir como *la forma de energía que se puede convertir completamente en trabajo mecánico de modo directo mediante un dispositivo mecánico como una turbina ideal*. Las formas más familiares de energía mecánica son la cinética y la potencial. Sin embargo la energía térmica no es energía mecánica puesto que no se puede convertir en trabajo de forma directa (segunda ley de la termodinámica).

### 3.3. PROCESOS DEL FLUJO ENERGÉTICO

#### 3.3.1. Mecanismos de transferencia de energía

La energía se puede transferir hacia o desde un sistema en tres formas: *calor, trabajo o flujo másico*.

1. **Transferencia de calor,  $Q$**  La transferencia de calor hacia un sistema (ganancia de calor) incrementa la energía de las moléculas y por lo tanto la del sistema; la transferencia de calor desde un sistema (pérdida de calor) la disminuye, ya que la energía transferida como calor viene de la energía de las moléculas del sistema.
2. **Transferencia de trabajo,  $W$**  Una interacción de energía que no es causada por una diferencia de temperatura entre un sistema y el exterior es trabajo.
3. **Flujo másico,  $m$**  El flujo másico que entra y sale del sistema funciona como un mecanismo adicional de transferencia de energía.

El balance de energía se expresa más explícitamente como:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} \\
 &= (Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{salida}}) + (W_{\text{entrada}} - W_{\text{salida}}) \quad (13) \\
 &+ (E_{\text{masa,entrada}} - E_{\text{masa,salida}}) = \Delta E_{\text{sistema}}
 \end{aligned}$$

Donde los subíndices “entrada” y “salida” denotan cantidades que entran y salen del sistema respectivamente.

La transferencia de calor  $Q$  es cero para sistemas adiabáticos, la transferencia de trabajo  $W$  es cero para los sistemas en los que no intervienen interacciones de trabajo, y el transporte de energía con  $E_{\text{masa}}$  es cero para sistemas sin flujo másico a través de su frontera.

### 3.3.2. Mecanismos de transferencia de calor

Todos los modos de transferencia de calor requieren que exista una diferencia de temperatura y todos pasan de una alta temperatura a uno de menor temperatura. El calor se puede transferir de tres formas distintas:

1. Conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones. La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases. Se observa que la tasa de conducción de calor  $\dot{Q}_{\text{cond}}$  por una capa de espesor constante  $\Delta x$  es proporcional a la diferencia de temperatura  $\Delta T$  en la capa y el área  $A$  normal a la diferencia de transferencia de calor, mientras que es inversamente proporcional al espesor de la capa, por lo tanto:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k_t A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad (14)$$

Donde la constante de proporcionalidad  $k_t$  es la **conductividad térmica** del material, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor. En la tabla 3.6, se muestran algunas conductividades térmicas de algunos materiales a temperatura ambiente.

Tabla 3.6 Conductividad térmica de algunos materiales a temperatura ambiente

Material	Conductividad térmica $W/m \cdot K$
Diamante	2300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio	8.54
Vidrio	1.4
Ladrillo	0.72
Agua	0.613
Piel humana	0.37
Madera	0.17
Helio	0.152
Aire	0.026

En el caso límite de  $\Delta x \rightarrow 0$ , la ecuación anterior se reduce a la diferencial:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k_t A \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (15)$$

Que se conoce como ley de Fourier de conducción de calor, e indica que la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al *gradiente de temperatura* en esa misma dirección. La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas.

2. Convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento, y tiene que ver con los efectos combinados de *conducción y movimiento del fluido*: mientras más rápido sea este mayor es la transferencia de calor por convección.

La tasa de transferencia de calor por convección  $\dot{Q}_{\text{conv}}$  se determina a partir de la ley de enfriamiento de Newton, expresada como:

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_f) \quad (W) \quad (16)$$

Donde  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección,  $A$  es la superficie en la cual tiene lugar la transferencia de calor,  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_f$  es la temperatura del fluido lejos de la superficie. (En la superficie, la temperatura del fluido es igual a la temperatura superficial del sólido).

3. Radiación es la energía que emite la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos moléculas. A diferencia de la conducción y la convección la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio. Este tipo de transferencia es la más rápida, se lleva a cabo a velocidad de la luz y no experimenta ninguna atenuación en el vacío.

En los estudios de transferencia de calor, el interés se halla en la radiación térmica, que es la forma de radiación que emiten los cuerpos debido a su temperatura, y difiere de las otras formas de radiación electromagnética como los rayos X, gamma, microondas, ondas de radio y televisión que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación térmica.

La radiación es un fenómeno volumétrico, y los sólidos, líquidos y gases, emiten, absorben o transmiten radiación de distintos grados.

La tasa máxima de radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura absoluta  $T_s$  se determina mediante la ley de *Stefan-Boltzmann* como:

$$\dot{Q}_{emitida,max} = \sigma AT_s^4 \quad (W) \quad (17)$$

Donde  $A$  es el área superficial y  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta tasa máxima se llama cuerpo negro, y la radiación emitida por un cuerpo negro se denomina radiación de cuerpo negro. La radiación que emiten todas las

superficies reales es menor que la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon \sigma A T_s^4 \quad (W) \quad (18)$$

Donde  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie. Esta propiedad, cuyo valor está en el intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , es una medida de qué tan cerca se aproxima una superficie a un cuerpo negro, para el cual  $\varepsilon = 1$ .

Otra propiedad de la radiación importante de una superficie es su absorbancia,  $\alpha$ , que es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie absorbida por esta, y al igual que la emisividad, su valor está en el intervalo  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Un cuerpo negro absorbe toda la radiación que incide sobre él. Esto es, un cuerpo es tanto un absorbedor perfecto ( $\alpha=1$ ) como un emisor perfecto.

En general  $\varepsilon$  y  $\alpha$  de una superficie depende de la temperatura y la longitud de onda de la radiación. La ley de Kirchhoff de la radiación establece que la emisividad y la absorbancia de una superficie son iguales con la misma temperatura y longitud de onda. La tasa a la que una superficie absorbe radiación se determina a partir de:

$$\dot{Q}_{abs} = \alpha \dot{Q}_{incidente} \quad (W) \quad (19)$$

Donde  $\dot{Q}_{incidente}$  es la tasa a la que la radiación incide sobre la superficie y  $\alpha$  es la absorbancia de la superficie.

La diferencia entre las tasas de radiación emitida por la superficie y de radiación absorbida es la transferencia *net*a de calor por radiación. Si la tasa de radiación absorbida es mayor que la emisión de radiación, se dice que la superficie está *ganando* energía por radiación. De otro modo, se afirma que la superficie está *perdiendo* energía por radiación, la tasa neta de

transferencia de calor por radiación entre dos superficies se determina a partir de:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{exterior}^4) \quad (W) \quad (19)$$

La emisividad y el área de la superficie circundante no tienen ningún efecto en la transferencia neta de calor por radiación.

El control de la transferencia de calor con el medio ambiente desempeña un papel fundamental en la regulación de la temperatura corporal. La ecuación general de balance de energía, determina el estado térmico del cuerpo (Erla *et al.*, 2010):

$$S = H - (\pm W) - E \pm R \pm C \quad (20)$$

Donde:

$S$  es la tasa de nivel de energía del cuerpo

$H$  es la tasa de producción de energía interna

$W$  es la tasa de trabajo mecánico producido durante el ejercicio

$E$  es la tasa de pérdida de energía por evaporación

$R$  es la tasa de energía intercambiada por la radiación

$C$  es la tasa de energía intercambiada por conducción y convección

Cualquier objeto, cuando su temperatura está por encima del cero absoluto, emite radiación electromagnética, llamada radiación térmica. En física, la cantidad de ondas electromagnéticas irradiadas por un objeto se cuantifica mediante el término radiación espectral. De acuerdo con la ley de Planck, la radiación espectral, de radiación electromagnética en todas las longitudes de onda,  $k$ , a la temperatura  $T$

de un cuerpo negro como función de la longitud de onda viene dada por (Tan *et al.*, 2009):

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \text{ W } mc^{-2} \mu m^{-1} \quad (21)$$

Donde:

$k$  = la constante de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K)

$h$  = la constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34}$  Js)

$c$  = la velocidad de la luz ( $2.998 \times 10^8$  m/s)

$T$  = la temperatura absoluta

Al diferenciar la ley de Planck con respecto a  $k$  para buscar la intensidad máxima de radiación, se obtiene la ley de desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898 \mu K}{T} \quad (22)$$

Lo que ilustra matemáticamente una observación común: a medida que aumenta la temperatura de un objeto, el color de la luz emitida varía de infrarrojo a naranja. Con una temperatura corporal de 37°C, la luz emitida alcanza un máximo de 9.35  $\mu m$  que cae en la región infrarroja. Se puede deducir la ley de Stefan Boltzmann a partir de la ecuación (23):

$$j = \sigma T^4 \quad (23)$$

Que establece que para un cuerpo negro, la energía total irradiada por unidad de área de superficie en una unidad de tiempo es directamente proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo negro. La cantidad de radiación emitida por un objeto real como  $E_\lambda$  y  $E_{b\lambda}$  para la cantidad de radiación emitida por el cuerpo negro, la emisividad se define como:

$$\varepsilon = \frac{E_\lambda}{E_{b\lambda}} \quad (24)$$

La emisividad de la piel humana es de  $0.98 \pm 0.01$  para un rango de longitud de onda de  $2-14 \mu\text{m}$ . La emisividad de una superficie en una longitud de onda  $k$  y ángulo de visión está dada por la siguiente ecuación (Lahiri *et al.*, 2012):

$$\varepsilon_{\phi\lambda} = 1 - \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\beta - \cos\phi}{\beta + \cos\phi} \right)^2 \right] \left[ 1 + \left( \frac{\beta \cos\phi - \sin^2}{\beta \cos\phi + \sin^2} \right)^2 \right] \quad (25)$$

Donde:

$$\beta = (n_\lambda^2 \sin^2 \phi)^{0.5}$$

$n_\lambda$  = el índice de refracción del material

La circulación sanguínea es el principal mecanismo de transferencia de calor del cuerpo humano. El calor que emana sobre la superficie de la piel y el flujo sanguíneo circundante se puede describir mediante la siguiente ecuación de bio-calor de Pennes:

$$k\Delta^2 T - c_b w_b (T - T_a) + q_m = 0 \quad (26)$$

Donde:

$k$  = la conductividad térmica del material tisular (tejido tisular)

$q_m$  = la tasa metabólica volumétrica del tejido

$c_b w_b$  = el producto de la capacidad calorífica específica y la tasa de flujo másico de sangre por unidad de volumen de tejido

$T$  = la temperatura del tejido desconocida

$T_a$  = la temperatura arterial

Tales modelos numéricos, tienen dos propósitos, predecir la temperatura de la piel sobre la base de la generación interna de calor y resolver la ecuación inversa del bio-calor para estimar la temperatura de los órganos internos mediante la observación de la temperatura de la piel.

La termografía infrarroja (IRT) es una medida de temperatura sin contacto metodología de control, donde los rayos infrarrojos emitidos por un objeto bajo investigación se detectan usando una cámara infrarroja adecuada y la temperatura del objeto bajo investigación se mide a partir de la intensidad de la radiación infrarroja emitida mediante la siguiente ecuación radiométrica (Lahiri *et al.*, 2015).

$$M_{\text{cam}} = \tau \varepsilon M_{\text{obj}} + \tau(1 - \varepsilon)M_{\text{env}} + (1 - \tau)M_{\text{atm}} \quad (27)$$

Donde,  $M_{\text{cam}}$  es la radiación recibida por la cámara infrarroja,  $M_{\text{obj}}$ ,  $M_{\text{env}}$  y  $M_{\text{atm}}$  son la luminosidad emitida desde la superficie del objeto de investigación, el entorno (objetos circundantes) y la atmósfera respectivamente,  $\tau$  y  $\varepsilon$  son la transmitancia atmosférica y la emisividad de la superficie del objeto, respectivamente. Para un cuerpo negro ideal  $\varepsilon = 1$  y para superficies reales,  $\varepsilon$  siempre es menor que la

unidad. Si la transmitancia atmosférica se considera casi igual a la unidad la ecuación (27) se reduce a la siguiente forma simple:

$$M_{cam} = \varepsilon M_{obj} + \tau(1 - \varepsilon)M_{env} \quad (28)$$

El sistema de regulación térmica del cuerpo humano en reposo se regula mediante el siguiente balance de energía (Tanda, 2016b):

$$M - q_{sk} - q_{res} = 0 \quad (29)$$

Donde,  $M$  es la tasa de producción de calor metabólico (W),  $q_{sk}$  (W) y  $q_{res}$  (w) son la tasa total de pérdida de calor de la piel a través de la respiración. La ecuación (29) descuida la potencia mecánica gastada por el sujeto (supuestamente en reposo), así como el almacenamiento de calor (se consideran condiciones de estado estable). Durante el ejercicio, la tasa de trabajo mecánico realizado por el atleta es significativa; además, la situación de estado estable descrita por la ecuación (29) normalmente no existe. Se debe tener en cuenta el trabajo mecánico y el almacenamiento de calor conduce a la siguiente ecuación:

$$M - W - q_{sk} - q_{res} = S \quad (30)$$

Donde  $W$  es la tasa de trabajo mecánico (W) y  $S$  es la tasa de almacenamiento de calor en el cuerpo (W). La tasa de almacenamiento de calor se puede escribir como:

$$S = c_{body}d(mT_{body})/dt \quad (31)$$

Donde  $m$  es la masa corporal (kg),  $c_{body}$  es el calor específico del cuerpo (J/kg K),  $T_{body}$  es la temperatura corporal (°C) y  $t$  es el tiempo. Las temperaturas del compartimiento del núcleo ( $T_{core}$  (° C)) y la piel ( $T_{sk}$  (° C)) son uniformes, de modo que los únicos gradientes de temperatura en el cuerpo se encuentran entre los compartimentos. Las tasas de calor separadas almacenadas en los compartimentos del núcleo y la piel se pueden deducir expresando la temperatura corporal como una combinación del núcleo y las temperaturas de la piel:

$$T_{body} = (1 - \alpha_{sk})T_{core} + \alpha_{sk}T_{sk} \quad (32)$$

Donde  $\alpha_{sk}$  es típicamente constante ( $\approx 0.15-0.2$ ) durante el equilibrio térmico y estado sedentario, pero es afectado por la regulación vasomotora durante el ejercicio. Esto significa que las variaciones dinámicas en el flujo sanguíneo de la piel (controladas por los sistemas vaso constrictor y vaso dilatador cutáneo) afectan la masa fraccionaria atribuida al compartimento de la piel y deben tomarse en cuenta.

La tasa total de transferencia de calor del cuerpo al medio ambiente es dada por la suma de la tasa total transferida desde la piel  $q_{sk}$  y a través de la respiración  $q_{res}$ . La tasa total de transferencia de calor de la piel al ambiente puede ser escrito como:

$$q_{sk} = C_{sk} + R_{sk} + E_{sk} \quad (33)$$

Donde  $C_{sk}$ ,  $R_{sk}$  y  $E_{sk}$  denotan las tasas de transferencia de calor por convección, radiación y evaporación (W) respectivamente. Las tasas de transferencia de calor por radiación y convección están controladas por la diferencia de temperatura de la

superficie del material al ambiente y la diferencia de temperatura de la superficie a la superficie de la temperatura radiante respectivamente:

$$C_{sk} = f_{cl} h_c A (T_{cl} - T_a) \quad (34)$$

$$R_{sk} = f_{cl} h_r A (T_{cl} - T_{mr}) \quad (35)$$

Donde  $A$  es el área de superficie del cuerpo desnudo ( $m^2$ ),  $f_{cl}$  es la relación entre el área de la superficie vestida y el área del cuerpo desnudo (normalmente cerca de 1 para prendas de correr, que normalmente tienden a adherirse a la piel), mientras que  $T_{cl}$  ( $^{\circ}C$ ),  $T_a$  ( $^{\circ}C$ ) y  $T_{mr}$  ( $^{\circ}C$ ) representan la temperatura media de la superficie corporal vestida, la temperatura ambiental y la temperatura radiante media, respectivamente. El coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$  ( $W/m^2 K$ ) puede tomarse como el valor medio alrededor de la superficie (con ropa o sin ropa) del cuerpo,  $h_c$  está relacionada con la velocidad de carrera  $V$  por una relación de ley de potencia:

$$h_c = a + bV^N \quad (36)$$

Donde  $a$  y  $b$  son constantes y el exponente  $N$  es cercano a 0.5.

# CAPÍTULO



*METODOLOGÍA*

## 4.1. Introducción

En este capítulo, se presentan las metodologías de la aplicación de la termografía infrarroja IRT aplicada en diferentes investigaciones, con el propósito de conocer las condiciones de cada estudio, tipo de cámara de IRT empleada, frecuencia de la captura de imágenes, tamaño de la muestra, condiciones ambientales, periodo de aclimatación, equipo de IRT utilizado, criterios de exclusión y software para análisis de datos.

## 4.2. Análisis de las Metodologías

Science Direct, ESpringerlink, y Google Scholar se utilizaron como buscadores para identificar estudios relacionados con la termografía infrarroja (IRT) y sus aplicaciones en el monitoreo de la temperatura humana, se seleccionaron 26 investigaciones de las cuales se analizaron las metodologías de IRT aplicadas en el ámbito médico, deportivo, artístico e industrial. La termografía es una técnica de captura de imágenes que permite, mediante el calor registrado, interpretar y comprender diferentes estados fisiológicos y / o patológicos, muchas de las alteraciones musculares o articulares se relacionan con los cambios de la densidad, el volumen y la temperatura de las áreas anatómicas afectadas (Cabizosu *et al.*, 2018). En la tabla 4.1, se enlistan los aspectos considerados (marcados con OK) o no por los investigadores, se detectó que el menor número de participantes fue 1 y el máximo 100 participantes, en algunos estudios fueron grupos mixtos o para fines más específicos grupos de hombres o mujeres. Antes de cada prueba se informó a los participantes sobre los fines específicos de los experimentos, así como los criterios de exclusión, los requerimientos necesarios para las pruebas y el tipo de vestimenta, los participantes informaron su consentimiento y cumplieron con los requerimientos solicitados. En los estudios con enfoque médico como las referencias 19, 20, 22, 23, se siguieron los principios descritos en la Declaración de Helsinki de la Asamblea Médica Mundial. En algunos experimentos se especifican las características físicas de los participantes como edad, peso y altura, pocos incluyen el porcentaje de grasa corporal o índice de masa corporal

Los criterios de exclusión fueron no consumir cafeína, diuréticos, bebidas alcohólicas, drogas, tabaco o suplementos alimenticios que afecten el sistema termorregulador del cuerpo 4, 12 o 24 horas antes del experimento. Pocos autores consideraron criterios de exclusión problemas renales, síntomas de dolor en cualquier parte del cuerpo, trastornos del cuerpo, fiebre en los últimos 7 días, lesiones óseas, musculares o articulares, no padecer ninguna enfermedad crónica, resfriados, patologías arteriales o venosas, quemaduras o afecciones en la piel, el día de la prueba no usar ningún tipo de loción corporal, tratamientos tópicos, desodorantes o cosméticos y en casos más específicos afeitar las zonas de interés del estudio.

Tabla 4.1 Aspectos considerados en las metodologías analizadas.

Núm.	Ref.	Número de participantes	Consentimiento informado	Características físicas	Criterios de exclusión
1	(Zontak et al., 1998)	10	No se especifica	OK	No se especifica
2	(Zaproudina, Ming and Hänninen, 2006)	85	OK	OK	OK
3	(Zaïdi et al., 2007)	1	No se especifica	OK	No se especifica
4	(Bouzida, Bendada and Maldague, 2009)	12	No se especifica	No se especifica	No se especifica
5	(Korukçu and Kilic, 2009)	3	No se especifica	OK	No se especifica
6	(Salvalaio et al., 2011)	38	No se especifica	OK	No se especifica
7	(Miguel Morales Ríos , Emilsy Medina Chacón , Angel Carnevali Fernández and Orozco Guillén, 2011)	1	No se especifica	No se especifica	No se especifica
8	(Korukçu and Kiliç, 2012)	3	No se especifica	OK	No se especifica
9	(Chudecka and Lubkowska, 2012a)	12	No se especifica	No se especifica	OK
10	(Bernard et al., 2013)	1	No se especifica	No se especifica	No se especifica
11	(Fournet et al., 2013)	18	OK	OK	No se especifica
12	(Ludwig et al., 2014)	33	OK	No se especifica	OK
13	(Alsaad et al., 2014)	149	OK	OK	No se especifica
14	(Marins et al., 2014)	100	OK	OK	OK
15	(Lahiri et al., 2015)	5	No se especifica	OK	
16	(Maniar et al., 2015)	26	OK	OK	OK
17	(Jose Ignacio Priego Quesada et al., 2015)	14	OK	OK	OK
18	(Flores-Olivares et al., 2015)	4	OK	No se especifica	OK
19	(Jose I. Priego Quesada et al., 2015)	10	OK	OK	OK
20	(Fernandes et al., 2016)	12	OK	OK	OK
21	(Tanda, 2016b)	4	No se especifica		No se especifica
22	(del Estal et al., 2017)	15	OK	OK	No se especifica
23	(Rossignoli et al., 2016)	12	OK	OK	OK
24	(Oliveira et al., 2016)	19	OK	No se especifica	OK
25	(Costa et al., 2018)	20	OK	OK	OK
26	(Hadžić et al., 2019)	1	OK	OK	No se especifica

La mayoría de los experimentos se realizaron en laboratorios, en la tabla 4.2, se describen aspectos ambientales, vestimenta y periodo de aclimatación aplicados en cada estudio, se especifica en qué casos el ambiente fue controlado. Algunos

autores requirieron a los participantes usar ropa ligera, en el caso de los hombres pantalón corto, en el caso de las mujeres top y pantalón corto, o dependiendo de las regiones de interés del cuerpo usaron traje de baño. Sólo en un caso se requirió a los participantes desnudarse. Otros investigadores realizaron los estudios con vestimenta habitual. Los periodos de aclimatación considerados fueron 10, 15, 20 o 30 minutos como máximo antes de iniciar los experimentos.

Tabla 4.2 Aspectos considerados en las metodologías analizadas.

Núm.	Ref.	Temperatura Ambiente	Ambiente Controlado	Vestimenta	Periodo de Aclimatación
1	(Zontak et al., 1998)	23°C		No se especifica	15 min
2	(Zaproudina, Ming and Hänninen, 2006)		23-25° C	OK	15 min
3	(Zaïdi et al., 2007)	24°C			10 min
4	(Bouzida, Bendada and Maldague, 2009)		24° C		10 min
5	(Korukçu and Kilic, 2009)	6°C		OK	No se especifica
6	(Salvalaio et al., 2011)	--	--		30 min
7	(Miguel Morales Ríos , Emilyy Medina Chacón , Angel Carnevali Fernández and Orozco Guillén, 2011)	23°C		No se especifica	No se especifica
8	(Korukçu and Kiliç, 2012)	10°C			15 min
9	(Chudecka and Lubkowska, 2012a)		25°C	OK	20 min
10	(Bernard et al., 2013)	23°C			No se especifica
11	(Fournet et al., 2013)		22°C 10°	OK	10 min 5 min
12	(Ludwig et al., 2014)		22-23° C	OK	15 min
13	(Alsaad et al., 2014)				
14	(Marins et al., 2014)	--	--	OK	15 min
15	(Lahiri et al., 2015)		28°C		20 min
16	(Maniar et al., 2015)				20 min
17	(Jose Ignacio Priego Quesada et al., 2015)		22°C	OK	15 min
18	(Flores-Olivares et al., 2015)	--	--	OK	15 min
19	(Jose I. Priego Quesada et al., 2015)		19.5-1.3°C	OK	10 min
20	(Fernandes et al., 2016)		24.9 ± 0.6°C	OK	30 min
21	(Tanda, 2016b)		22°C	OK	
22	(del Estal et al., 2017)		18.3 ± 1.1°C	OK	15 min
23	(Rossignoli et al., 2016)		23 ° C ±1.9°C	OK	10 min
24	(Oliveira et al., 2016)		21.4 ± 1.3° C	OK	10 min
25	(Costa et al., 2018)		23.0 ± 1°C		15 min
26	(Hadžić et al., 2019)		23.5°C		15 min

En la tabla 4.3, se puntualizan algunos aspectos técnicos considerados para la recolección de imágenes térmicas. La distancia mínima de la cámara al sujeto fue de 1 m de distancia, y la máxima encontrada 4 m, pocos consideraron montar la cámara en un tripie. Se observó que la cámara más utilizada para la recolección de imágenes térmicas fue FLIR, la segunda más utilizada fue FLUKE, y otras cámaras con menos frecuencia fueron IRTIS, AVIO y AGEMA. Todos los autores

consideraron la emisividad de la piel de 0.98, a excepción de los autores de las referencias 3 y 11 que consideraron una emisividad de 0.97.

En todos los estudios se observa que cada investigador aplicó su propio criterio para establecer el periodo de recolección de imágenes térmicas. En algunos estudios las primeras imágenes térmicas se tomaron al inicio del estudio, después del periodo de aclimatación. De acuerdo al experimento y a su duración cada autor estableció la frecuencia de recolección de imágenes térmicas, en algunos escenarios se capturaron cada 20 segundos, 5, 10 o 15 minutos, al final la prueba y 10 minutos después de haber concluido el experimento.

Tabla 4.3. Aspectos técnicos considerados para la recolección de imágenes térmicas.

Núm.	Ref.	Distancia de la Cámara	Cámara Térmica	Emisividad	Software
1	(Zontak et al., 1998)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	No se especifica
2	(Zaproudina, Ming and Hänninen, 2006)	No se especifica	IRTIS	No se especifica	IRTIS
3	(Zaïdi et al., 2007)	4 m	FLIR	0.97	No se especifica
4	(Bouzida, Bendada and Maldague, 2009)	No se especifica	FLIR	No se especifica	IR_View
5	(Korukçu and Kilic, 2009)	No se especifica	FLIR	No se especifica	No se especifica
6	(Salvalaio et al., 2011)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	No se especifica
7	(Miguel Morales Ríos , Emilsy Medina Chacón , Angel Carnevali Fernández and Orozco Guillén, 2011)	No se especifica	FLIR	No se especifica	FlirReporter
8	(Korukçu and Kiliç, 2012)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	No se especifica
9	(Chudecka and Lubkowska, 2012a)	3 m	FLIR	0.98	AGEMA
10	(Bernard et al., 2013)	1.5 m	FLIR	0.98	FLIR Quick-Report 1.2
11	(Fournet et al., 2013)	1.9 m	FLIR	0.98	MATLAB
12	(Ludwig et al., 2014)	3 m	AVIO	0.97	GRAY-ESSÒ,
13	(Alsaad et al., 2014)		FLUKE	No se especifica	SmartView
14	(Marins et al., 2014)	4 m	FLUKE	0.98	SmartView
15	(Lahiri et al., 2015)	0.4 m	AGEMA	0.98	IR-WIN
16	(Maniar et al., 2015)	1 m	FLIR	0.98	
17	(Jose Ignacio Priego Quesada et al., 2015)	1 m	FLIR	0.98	Thermacam Researcher
18	(Flores-Olivares et al., 2015)	No se especifica	FLIR	No se especifica	No se especifica
19	(Jose I. Priego Quesada et al., 2015)	1 m	FLIR	0.98	Thermacam Researcher
20	(Fernandes et al., 2016)	1 m	FLIR	0.98	FLIR Tools
21	(Tanda, 2016b)	No se especifica	FLIR	0.98	
22	(del Estal et al., 2017)	No se especifica	FLIR	No se especifica	ThermaCAM
23	(Rossignoli et al., 2016)	No se especifica	FLIR	0.98	ThermaCAM
24	(Oliveira et al., 2016)	No se especifica	FLIR	No se especifica	--
25	(Costa et al., 2018)	4 m	FLUKE	0.98	SmartView
26	(Hadžić et al., 2019)	No se especifica	FLIR	0.98	ThermaCAM

### 4.3. Propuesta de Metodología

El presente trabajo de investigación tiene como propósito desarrollar una metodología para monitorear la temperatura corporal humana en actividades cotidianas o laborales para evitar riesgos musculo esqueléticos. La captura de imágenes térmicas en condiciones reales requiere de adaptar la metodología de acuerdo a la actividad, condiciones ambientales, laborales, físicas y psicológicas de los sujetos de estudio.

Después de comparar 26 diferentes metodologías, se observó que la mayoría de los autores realiza los estudios de monitoreo de la temperatura corporal en la laboratorios con ambientes controlados, donde fue posible que los participantes usaran ropa ligera o se descubrieron la región del cuerpo de interés. Las actividades humanas laborales, cotidianas o recreativas requieren gran cantidad de movimientos repetitivos, posturas forzadas y generan gran cantidad de estrés físico y mental, ocasionando lesiones musculo esqueléticas. Las lesiones musculo esqueléticas son producto de actividades repetitivas en ambientes y escenarios reales con condiciones ambientales reales y elementos estresantes físicos y mentales.

En el presente trabajo de investigación se estudian diferentes actividades laborales y cotidianas en su ambiente natural con el propósito de utilizar la termografía infrarroja como una herramienta para monitorear la temperatura corporal para prevenir lesiones musculo esqueléticas. Se propone una metodología de prevención dividida en dos grupos: a) aspectos no alterables, tabla 4.4 y b) aspectos alterables, tabla 4.5.

Tabla 4.4 Aspectos de la metodología no alterables.

Número	Aspectos no alterables	Descripción
1	Consentimiento informado	Todos los participantes deben ser informados de los propósitos y el procedimiento del estudio, así como los requerimientos y criterios que deben cumplir. Una vez informados deben dar su consentimiento para participar en el experimento y la aplicación de la metodología propuesta por el investigador.
2	Características físicas	Se recomienda registrar las características físicas de los participantes como edad, peso, estatura y en caso de ser posible el % de grasa corporal.

3	Criterios de Exclusión	Evitar el consumo de cafeína, diuréticos o suplementos alimenticios que puedan afectar el sistema de termorregulación del cuerpo 12 horas antes del experimento
4	Temperatura	Se recomienda realizar el experimento con la temperatura ambiente, o ambiente controlado del lugar de la actividad de estudio.
5	Periodo de aclimatación	15 minutos de aclimatación como sugieren la mayoría de las referencias, el período óptimo es variable en hombres y mujeres jóvenes
6	Emisividad de la piel	0.98

Tabla 4.5. Aspectos de la metodología alterables.

Número	Aspecto alterables	Descripción
1	Número de participantes	La metodología es aplicable a una persona o más, dependiendo del caso de estudio
2	Vestimenta	De acuerdo a la actividad o puesto de trabajo estudiada, se debe considerar si es posible descubrir las regiones del cuerpo de interés, de no ser posible se debe realizar el estudio con la vestimenta del participante
4	Distancia de la cámara	La distancia mínima de la posición de la cámara respecto al participante debe ser 1m.
5	Cámara térmica	Calibrada y operada por una persona capacitada para su uso.

# CAPÍTULO

5

*CASOS DE ESTUDIO*

## **5.1. Introducción**

En este capítulo, se aplica la metodología propuesta en el capítulo 4 en tres diferentes actividades, en el primer caso de estudio se monitorea la temperatura corporal de 6 participantes utilizando dos diferentes tipos de bicicletas fijas, en el caso de estudio dos se monitorea a dos participantes, un hombre y una mujer, realizando un recorrido de 60 Km en la CDMX, Ciudad de México, utilizando un coche de transmisión automática y uno de transmisión manual, y por último en el caso de estudio tres se monitorean a dos mujeres corredoras en una carrera de 21 Km en la CDMX.

## **5.2. Caso 1. Monitoreo de la temperatura corporal de 6 participantes utilizando dos diferentes tipos de bicicletas fijas**

Gracias al desarrollo tecnológico, nuevos métodos se han utilizado para la evaluación de la fatiga muscular, lo que puede ser utilizado en la mejora de la salud y la seguridad laboral. En los últimos años la termografía infrarroja (IR) se ha utilizado ampliamente en diversos campos de la salud. Algunos estudios han informado que la termografía infrarroja tiene capacidades para detectar trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo. La fatiga muscular relacionada con la carga excesiva del músculo puede convertirse en el origen de los malestares asociados con el sistema musculoesquelético (Bartuzi, Roman-Liu and Wiśniewski, 2012). Una ventaja de la termografía infrarroja es la posibilidad de medir la temperatura de la superficie del cuerpo humano sin contacto.

El ejercicio es recomendado universalmente para mantener una buena salud, la falta de actividad física es un importante factor de riesgo para desarrollar enfermedades crónicas, el ciclismo en cualquiera de sus formas con frecuencia se recomienda como ejercicio, a medida que cada vez más personas participan en cualquiera de las formas de ciclismo, los médicos deben ser más conscientes de las lesiones comunes de esta actividad. Las actividades deportivas aumentan la frecuencia cardíaca, lo cual induce al cuerpo humano al complejo proceso de termorregulación

donde parte del calor se disipa de la piel (Zaïdi *et al.*, 2007). Al realizar ejercicio la tasa metabólica aumenta hasta satisfacer las necesidades del cuerpo humano, aproximadamente el 30-70% de la energía producida durante la contracción de los músculos se disipa en forma de calor. La temperatura de la piel durante el ejercicio podría estar relacionada con el trabajo muscular lo que refleja la eficiencia del cuerpo en disipar el calor producido y a su vez depende del sistema circulatorio y la tasa de sudoración (Jose I. Priego Quesada *et al.*, 2015). Recientemente la termografía infrarroja se ha hecho popular en la fisiología del ejercicio para inferir sobre la producción y la disipación de calor (Jose Ignacio Priego Quesada *et al.*, 2015).

La actividad física aumenta naturalmente el metabolismo muscular, lo que puede conducir a aumentar la temperatura en los músculos y el cuerpo por la generación de calor. En estas circunstancias la temperatura superficial del cuerpo cambia como consecuencia del mecanismo de termorregulación del cuerpo (Chudecka and Lubkowska, 2012b). Las bicicletas han evolucionado significativamente en las últimas décadas como resultado de la tecnología y la comodidad de los ciclistas se ha convertido en un tema crítico de diseño. La percepción de comodidad de los ciclistas ha recibido una escasa atención en el ámbito de la literatura científica (Ayachi, Dorey and Guastavino, 2015).

Durante el ciclismo las extremidades inferiores se mantienen en constante movimiento, los usuarios de bicicletas estáticas están expuestos a sufrir lesiones musculoesqueléticas al forzarse a mantener el ritmo de pedaleo, en ocasiones debido a las condiciones de fatiga los usuarios tensan la espalda provocando dolores o molestias musculares en la espalda. Algunos autores mencionan que una incorrecta configuración de la bicicleta puede predisponer a los usuarios a lesionarse y reducir su rendimiento sobre la bicicleta, no hay un acuerdo entre la comunidad científica y la de entrenamiento con respecto a la configuración óptima de la bicicleta.

### 5.2.1. Selección de los sujetos de estudio

Tres hombres y tres mujeres fueron invitados a participar en el estudio, entre ellos una instructora profesional de static- cycling con más de 20 años de experiencia en clases de acondicionamiento físico y static-cycling participo en el estudio.

### 5.2.2. Materiales

El desarrollo experimental se llevó acabo en un salón de práctica de static cycling. Se empleó una cámara térmica FLIR E40 con certificado de calibración de origen, Rango de temperatura de  $-20^{\circ}$  a  $650^{\circ}\text{C}$ , Sensibilidad Térmica  $<0.07^{\circ}\text{C}$  @  $30^{\circ}\text{C}$ ., Resolución IR 160 x 120, Frecuencia de imagen 60Hz, Rango espectral 7.5 a 13  $\mu\text{m}$ . Y dos diferentes tipos de bicicletas estáticas, figura 5.1.

El desarrollo experimental se dividió en 2:

- a) Bicicleta estática con altura regulable del asiento y el manubrio y una perilla para controlar la resistencia de pedaleo
- b) Bicicleta estática con altura de asiento regulable y programas de resistencia de pedaleo preestablecidos.



a)



b)

Figura. 5.1. a) Bicicleta estática con altura regulable del asiento y el manubrio y una perilla para controlar la resistencia de pedaleo b) Bicicleta estática con altura de asiento regulable y programas de resistencia de pedaleo preestablecidos.

### 5.2.3. Metodología

Los participantes fueron informados sobre los criterios de exclusión como estar libre de cualquier enfermedad aguda o crónica, sin resfriados o cualquier enfermedad

que afecte su temperatura corporal y no estar bajo algún tratamiento médico (Roy, Boucher and Comtois, 2006). Se les solicitó tener la disponibilidad de descubrirse la espalda para la captura de imágenes térmicas y vestir ropa de algodón. Los participantes informaron de su consentimiento para realizar el estudio, así como su disponibilidad e interés para participar en estudios futuros.

Los participantes de ambos géneros fueron reunidos en un grupo con el fin de aplicar las mismas condiciones de pedaleo en una sesión de static-cycling de alto rendimiento, la sesión fue impartida por la instructora de cycling con más experiencia utilizando a) bicicletas estáticas con altura regulable del asiento y el manubrio y perilla manual para el control de resistencia del pedaleo. La primer captura de imágenes térmicas se realizó con cada participante en reposo, posteriormente se inició la sesión de pedaleo durante 60 minutos sin periodos de descanso, cada 15 minutos se realizó la captura de imágenes térmicas por participante.

Se realizó una segunda sesión de cycling utilizando b) bicicletas estáticas con altura del asiento regulable y programas de resistencia de pedaleo preestablecidos, debido a las condiciones de fatiga presentadas en la primer sesión de static-cycling, se acortó el periodo de prueba en la cual la captura de imágenes térmicas se efectuó cada cinco minutos durante un periodo de práctica de 20 minutos, en esta prueba los participantes también recibieron instrucciones de la instructora con más de 20 años de experiencia en static-cycling para establecer las condiciones de pedaleo. Todas las imágenes fueron tomadas por el mismo investigador que era un usuario entrenado en termografía. Todas las imágenes se procesaron utilizando un factor de emisividad de 0,98 para obtener la temperatura de la piel de los participantes.

### **5.3. Caso 2: Monitoreo de la temperatura corporal en recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando dos diferentes coches**

La Ciudad de México (CDMX) se caracteriza por su gran número de habitantes y su gran parque vehicular, tiene una población de 8,918,653 habitantes

(‘www.beta.inegi.org.mx’), y un parque vehicular motorizado registrado de 5,725,574 de los cuales 5,200,336 son automóviles particulares y 139,326 vehículos motorizados de transporte público (‘www.beta.inegi.org.mx’). La necesidad de transporte de los habitantes de la CDMX rebasa la capacidad del transporte público disponible. La CDMX es conocida por su gran cantidad de tráfico, el parque vehicular parece crecer sin ninguna preocupación. En 1985 El Colegio de México señaló que los costos anuales por tráfico en la CDMX eran equivalentes a 1400 millones de dólares por año, actualmente no hay datos precisos disponibles sobre los costos de congestión vial en la CDMX (Cravioto *et al.*, 2013). La creciente necesidad de movilidad obliga a los conductores de autos particulares a manejar entre 2 y 3 horas por día para llegar a sus diferentes destinos, sujetos a condiciones estresantes y propensos a accidentes y lesiones musculoesqueléticas.

Los conductores están expuestos constantemente a vibraciones durante varias horas, en las últimas décadas varios autores han llevado a cabo varios experimentos con el fin de investigar los efectos de la postura de los conductores en diferentes músculos (Li *et al.*, 2015). Estas vibraciones se transmiten a la espalda, los pedales y el volante también transmiten vibraciones adicionales a los pies y manos del conductor, la exposición prolongada a las vibraciones puede dar lugar a problemas fisiológicos tales como inestabilidad postural, calambres y entumecimiento (El Falou *et al.*, 2003).

Los conductores pasan largos periodos de tiempo sentados en un espacio confinado, la comodidad térmica es la suma de factores externos e internos que producen sensaciones de bienestar físico y mental de una persona (Danca, Vartires and Dogeanu, 2016). Múltiples factores como el ángulo de incidencia solar, las propiedades del vidrio, la velocidad del aire, la ropa, el número de pasajeros, la tasa metabólica afectan el confort térmico dentro de las cabinas de los automóviles, la termografía infrarroja permite medir la temperatura en superficies sólidas, ropa y partes visibles de los conductores (Alahmer, Abdelhamid and Omar, 2012). El

conducir un automóvil requiere un esfuerzo físico moderado, implica una pesada carga mental y exposición constante al ruido, las vibraciones, el calor y los elementos tóxicos en el ambiente, todo lo anterior genera enfermedades principalmente trastornos musculoesqueléticos(Sanz, 2014).

La termografía infrarroja se ha utilizado principalmente en la seguridad militar, la silvicultura, medicina, mantenimiento de sistemas mecánicos y eléctricos y búsqueda y rescate(Korukçu and Kilic, 2009). La termografía infrarroja es una herramienta de medición de la temperatura sin contacto(Lahiri *et al.*, 2015). El propósito del presente trabajo es estudiar la comodidad térmica de los conductores de automóviles en la CDMX utilizando termografía infrarroja como un método no invasivo para medir la temperatura de la superficie del cuerpo(Flores-Olivares *et al.*, 2015). Efectos en la salud están asociados con factores estresantes como enojo, ansiedad y presión del tiempo(Raanaas and Anderson, 2008).

La CDMX presenta una alta tasa de vehículos motorizados, por lo cual se enfrenta grandes desafíos de movilidad, en los últimos años se ha incrementado el uso de los automóviles particulares como resultado de la expansión urbana descontrolada y el deficiente servicio de transporte público(Jaller *et al.*, 2016).

### **5.3.1. Selección de los sujetos de estudio**

Con el objetivo de comparar los resultados de las imágenes térmicas, una mujer de 28 años de edad y un hombre de 47 años de edad fueron invitados a participar en el estudio, previo al estudio se llevó a cabo una entrevista con los participantes preguntándoles si tenían alguna lesión musculoesquelética previa, ninguno de ellos informó lesiones anteriores. Ambos participantes estaban libres de cualquier enfermedad crónica o aguda, sin resfriados o cualquier enfermedad que pudiera afectar su temperatura corporal.

### **5.3.2. Materiales**

El desarrollo experimental se llevó a cabo dentro de la cabina de dos diferentes automóviles, un automóvil de transmisión manual y un automóvil de transmisión automática. Para la realización del estudio se utilizó una cámara FLIR E40 con certificado de calibración de origen, con rango de temperatura de temperatura de -20°C a 650°C Sensibilidad Térmica <0.07°C @ 30°C, Resolución IR 160 x 120, Frecuencia de imagen 60Hz, Rango espectral 7.5 a 13 μm

### **5.3.3. Protocolo (metodología)**

Los participantes informaron de su consentimiento para realizar el estudio, así como su disponibilidad e interés para participar en estudios futuros. Antes de iniciar el estudio los participantes recibieron instrucciones de no ingerir bebidas que contengan cafeína y no fumar.

El estudio se llevó a cabo mediante el monitoreo de la temperatura de la piel de la espalda, la cara y las manos de los participantes conduciendo una ruta de 60km en la CDMX.

Cada participante manejo la ruta de 60 kilómetros en dos diferentes días, el primer día con el automóvil de transmisión automática y el segundo día con el automóvil de transmisión manual.

La primer captura de imágenes térmicas se realizó con cada participante en reposo, posteriormente se capturaron imágenes térmicas de la espalda, la cara y las manos cada 15 minutos durante la duración del recorrido. Los recorridos se realizaron en un día laboral normal en la CDMX para que los participantes se enfrentaran a las condiciones de tráfico.

#### 5.4. Monitoreo de la temperatura corporal de dos mujeres en un medio maratón en la CDMX

Correr y andar en bicicleta son algunas de las actividades más comunes deportivas y de esparcimiento, las actividades de resistencia pueden disminuir las enfermedades cardiovasculares, sin embargo pueden ocasionar lesiones musculoesqueléticas lo que resulta en una disminución prolongada de la función física y en la incapacidad para volver al deporte (Stone, Beck and Nho, 2019). En los últimos años han aumentado los participantes en carreras de distancias de medio maratón (21 km). Este tipo de actividad física tiene impactos positivos en muchos factores relacionados con la salud, como el peso corporal, el estado de ánimo y la aptitud física. Desafortunadamente, se ha encontrado que las lesiones relacionadas con la carrera son el principal motivo de una ausencia temporal o incluso permanente de la carrera. La investigación en etiología de la lesión es necesaria para prevenir con éxito las lesiones (Damsted et al., 2019). Las lesiones por correr a menudo conducen a una reducción en la actividad de correr y generalmente requieren mucho tiempo para la recuperación (Kluitenberg et al., 2015). Las rodillas es el sitio anatómico más comúnmente lesionado, el síndrome de estrés tibial es una de las lesiones más comúnmente diagnosticadas, en la tabla 5.1, se informa el orden de frecuencia de las lesiones en corredores (Taunton et al., 2003).

Tabla 5.1. Distribución de lesiones por sitio anatómico.

Ubicación
Rodilla
Espinilla
Pie
Pantorrilla
Tobillo
Pelvis/ cadera
Espalda baja
Tendón de la corva
Muslo

Muchos estudios han examinado la incidencia de lesiones entre los corredores; sin embargo, hasta ahora no se dispone de información sobre poblaciones de alto riesgo. Las lesiones musculoesqueléticas se manifiestan principalmente por dolor

en la zona afectada, el método más común de diagnóstico es mediante un cuestionario, el propósito de este estudio es utilizar la termografía infrarroja como una herramienta no invasiva para monitorear la temperatura del cuerpo para evitar lesiones musculo esqueléticas.

#### **5.4.1. Selección de los participantes**

Con el objetivo de comparar los resultados de las imágenes térmicas, dos mujeres físicamente activas de 34 y 35 años respectivamente fueron invitadas a participar en el estudio, previo al estudio se llevó a cabo una entrevista con las participantes preguntándoles si tenían alguna lesión musculo esquelética previa o enfermedad crónica, ninguna de ellas informo lesiones anteriores. Ambos participantes estaban libres de cualquier enfermedad crónica o aguda, sin resfriados o cualquier enfermedad que pudiera afectar su temperatura corporal.

#### **5.4.2. Materiales**

Para la realización del estudio se utilizó una cámara FLIR E40 con certificado de calibración de origen, con rango de temperatura de temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $650^{\circ}\text{C}$  Sensibilidad Térmica  $<0.07^{\circ}\text{C}$  @  $30^{\circ}\text{C}$ , Resolución IR 160 x 120, Frecuencia de imagen 60Hz, Rango espectral 7.5 a  $13\ \mu\text{m}$ .

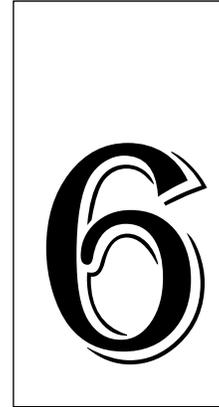
#### **5.4.3. Metodología**

Los participantes informaron de su consentimiento para realizar el estudio, así como su disponibilidad e interés para participar en estudios futuros. Antes de iniciar el estudio los participantes recibieron instrucciones de no ingerir bebidas que contengan cafeína y no fumar.

El estudio se llevó a cabo mediante el monitoreo de la temperatura de la piel de la espalda, tórax, extremidades superiores e inferiores, anterior y posterior de las participantes antes, después de un calentamiento, después de correr 21 Km y 10 minutos después de la haber concluido la carrera en la CDMX.

La primer captura de imágenes térmicas se realizó con cada participante en reposo después de un periodo de aclimatación de 10 minutos, posteriormente las participantes realizaron un calentamiento de 5 minutos previo a la carrera inmediatamente después se capturaron nuevamente imágenes térmicas.

# CAPÍTULO



*Análisis de resultados*

## 6.1. Resultados caso de estudio 1

Después de la evaluación de las imágenes termográficas, en la figura 6.1, se observa la variación de la temperatura en la espalda de las tres participantes del género femenino. En la figura 6.2, se observa la variación de temperatura en la espalda de los tres participantes del género masculino en ambos casos utilizando a) bicicleta estática con altura regulable del asiento y el manubrio y perilla manual para el control de resistencia del pedaleo. Al inicio de la prueba los participantes ajustaron la altura del asiento y la altura del manubrio de la bicicleta estática de acuerdo a sus características físicas.

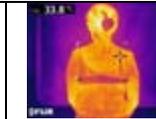
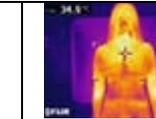
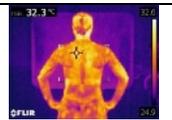
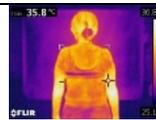
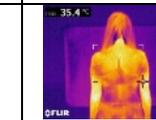
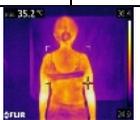
Participante 1		Participante 2		Participante 3	
					
t = 0 min	t = 15 min	t = 0 min	t = 15 min	t = 0 min	t = 15 min
					
t = 30 min	t = 45 min	t = 30 min	t = 45 min	t = 30 min	t = 45 min
					
t = 60 min		t = 60 min		t = 60 min	

Figura 6.1. Imágenes térmicas del género femenino utilizando a) Bicicleta estática con altura regulable del asiento y el manubrio y una perilla para controlar la resistencia de pedaleo

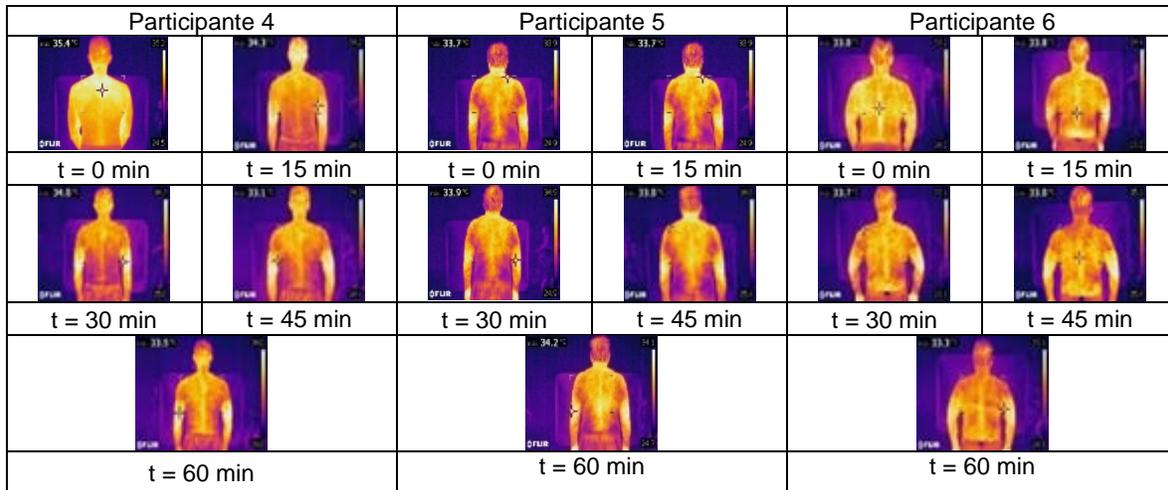


Figura 6.2. Imágenes térmicas del género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo.

En la figura 6.3, se muestran las imágenes de la espalda del género femenino. En la figura 6.4, se muestran las imágenes de la la espalda del género masculino, en ambos casos utilizando b) bicicleta estática con programas de resistencia de pedaleo predeterminados, al inicio de la sesión los participantes de ambos generos ajustaron la altura del asiento.

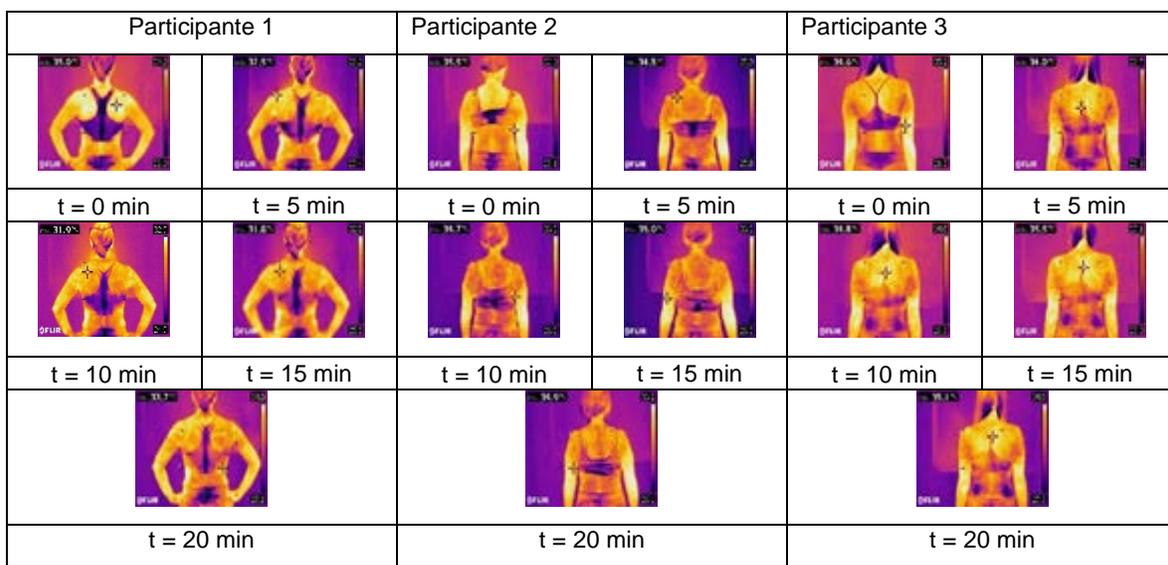


Figura. 6.3. Imágenes térmicas del género femenino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados.

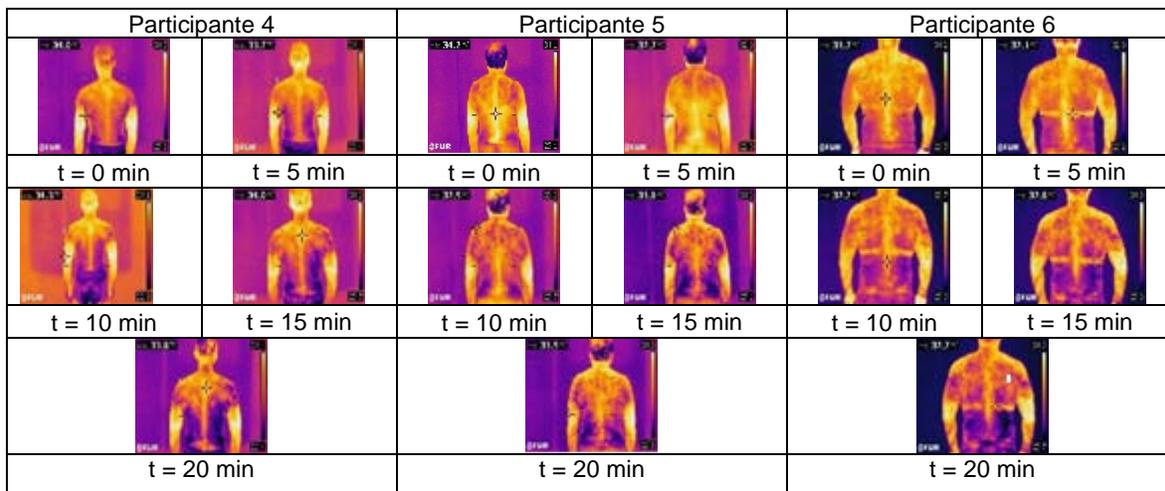
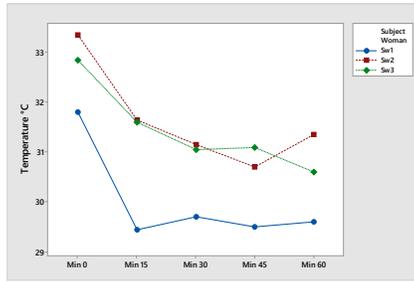
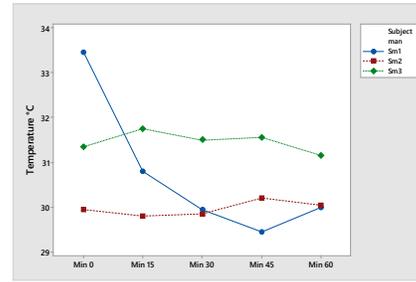


Figura 6.4. Imágenes térmicas del género masculino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados.

En la figura 6.5, se observa la gráfica de comportamiento de la temperatura del género femenino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo se observa que la instructora de static-cycling con más experiencia (participante 1) registró valores de temperatura menores a diferencia de las otras participantes iniciando el estudio con una temperatura máxima de 35.3 °C y registrando la menor temperatura a lo largo del estudio de 26.2 °C. La participante con menos experiencia en acondicionamiento físico (participante 2) registro la temperatura más alta al inicio del estudio con una temperatura máxima de 36.2 °C y una temperatura mínima que registro durante el estudio fue de 28.8 °C. En la gráfica del comportamiento de la temperatura del género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo que el participante más joven (participante 4) registro al inicio del estudio el valor de temperatura más alto de 35.4 °C.



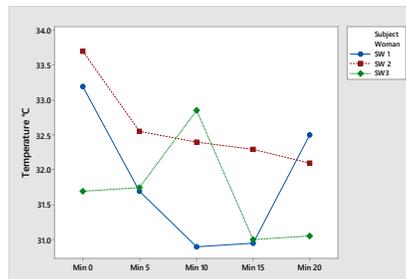
Genéro femenino



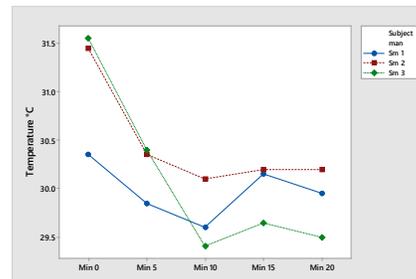
Genéro masculino

Figura 6.5. Gráficas del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo.

En la figura 6.6, se observa el comportamiento de la temperatura utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados, la participante 2 registró nuevamente el valor más alto de temperatura de 35.7 °C, el participante 5 registro el valor más bajo durante el estudio de 25.7 °C.



Género femenino



Género masculino

Figura 6.6. Gráficas del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados.

En la figura 6.7, se observa la gráfica de intervalos de temperatura de la espalda de ambos géneros, se observan intervalos de temperatura de poco más de 2 °C similares en el género femenino, mientras que el género masculino uno de los participantes (participante 4) registro el mayor intervalo de temperatura de aproximadamente 4°C, lo cual podría deberse a que el participante refirió cuidar su alimentación así como hacer ejercicios de fuerza para incrementar su porcentaje de masa muscular. En el participante 5 y el participante 6 podría presumirse el porcentaje de grasa puede actuar como un aislante de calor.

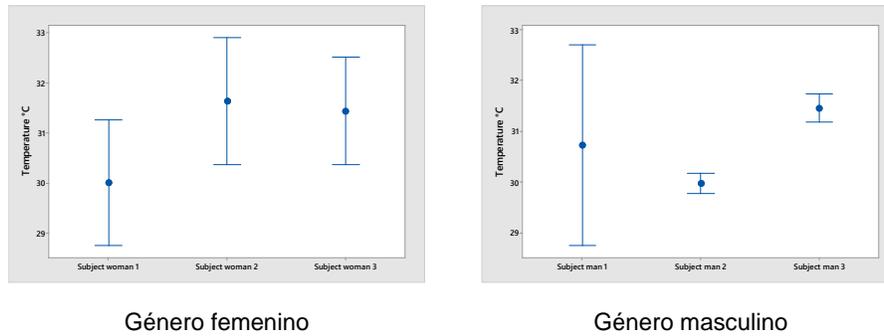


Fig. 6.7. Gráficas de intervalos del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo.

En la figura 6.8, se observan las gráficas de intervalos de temperatura de la espalda de ambos géneros, utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados, muestra intervalos de temperatura mayores en todos los casos en comparación con los resultados de las gráficas de intervalos utilizando a) bicicleta con perilla manual para ajuste de resistencia del pedaleo. Registrándose el intervalo más grande del género femenino de la participante 1 la cual refiere más de 20 años de experiencia en el acondicionamiento físico, en el caso del género masculino el participante 6 registro el mayor intervalo de temperatura el cual comento practicar por más de 20 años foot ball americano.

La disminución de la temperatura de la piel después del ejercicio físico se debe al acto prolongado de sudoración durante el ejercicio dinámico. Se sabe que después del ejercicio físico una de las respuestas del sistema vascular es la redistribución del flujo sanguíneo y la reducción del flujo sanguíneo a la piel, durante el ejercicio aumenta la temperatura corporal central debido a la producción de calor metabólico, que depende de la intensidad y esfuerzo.

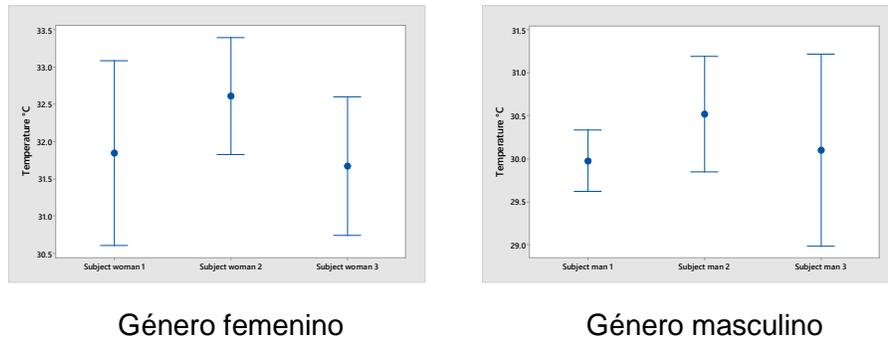


Figura 6.8. Gráfica de intervalos del comportamiento de la temperatura de imágenes térmicas del género femenino y género masculino utilizando b) bicicleta con programas de resistencia de pedaleo predeterminados

Los participantes de esta investigación refirieron molestias en la espalda baja, así como incomodidad del asiento en ambas bicicletas, la postura y la técnica son factores de riesgo potenciales. Los participantes comentaron que con frecuencia las molestias por incomodidad del asiento perduran por varios días.

Los resultados obtenidos muestran las variaciones de temperatura en la espalda utilizando dos bicicletas estaticas diferentes. La mayoría de los instructores de static-cycling no tienen una estación de trabajo definida, constantemente se desplazan de un lugar a otro adecuándose a las condiciones de las bicicletas estáticas del lugar de trabajo donde imparten las sesiones de static-cycling. Las molestias de los participantes sus molestias podrían deberse a las condiciones ergonómicas deficientes del área de trabajo en especifico de los asientos de las bicicletas estaticas.

Las similitudes entre los deportistas y los músicos han sido previamente reconocidas, los músicos son conocidos como atletas musicales, ambos tienen en común que comenzaron la práctica a muy temprana edad, ambos requieren un alto nivel de habilidad y capacidad física de practicar durante varias horas, por ello están expuestos a desarrollar trastornos musculo esqueléticos [13]. Las actividades deportivas y recreativas actualmente se están convirtiendo en actividades ocupacionales, para las cuales es necesario desarrollar estaciones de trabajo adecuadas para evitar las lesiones musculo esqueléticas.

## 6.2. Resultados caso de estudio 2

Las imágenes térmicas obtenidas muestran las variaciones de temperatura en espalda, cara y manos de los conductores participantes durante el recorrido de 60 kilómetros en la CDMX. Cada participante realizó 2 recorridos de 60 kilómetros, el primer recorrido se realizó utilizando el coche de transmisión manual, y el segundo recorrido lo realizaron utilizando el coche de transmisión manual. El tiempo total del recorrido fue diferente en los dos participantes, el participante de género masculino realizó cada recorrido en 165 minutos, mientras que la participante de género femenino realizó cada recorrido en 180 minutos. En la figura 6.9 y la figura 6.10, se muestran las fotos obtenidas de ambos participantes de espalda, cara y manos durante el experimento manejando un coche automático.

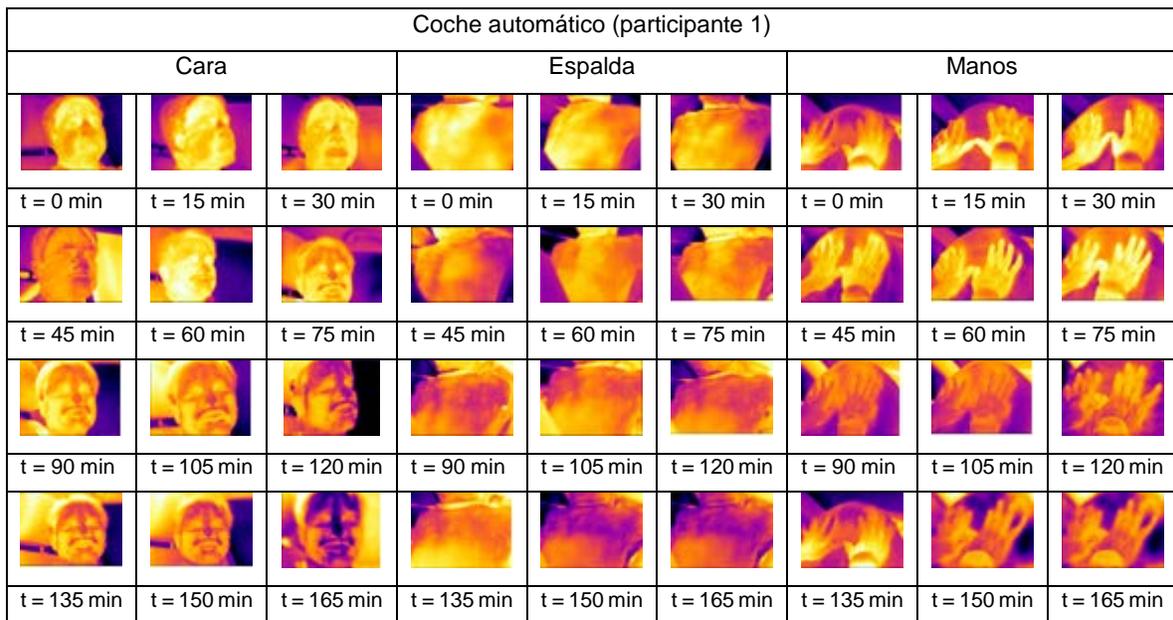


Figura. 6.9 Imágenes térmicas del participante de género masculino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil automático.

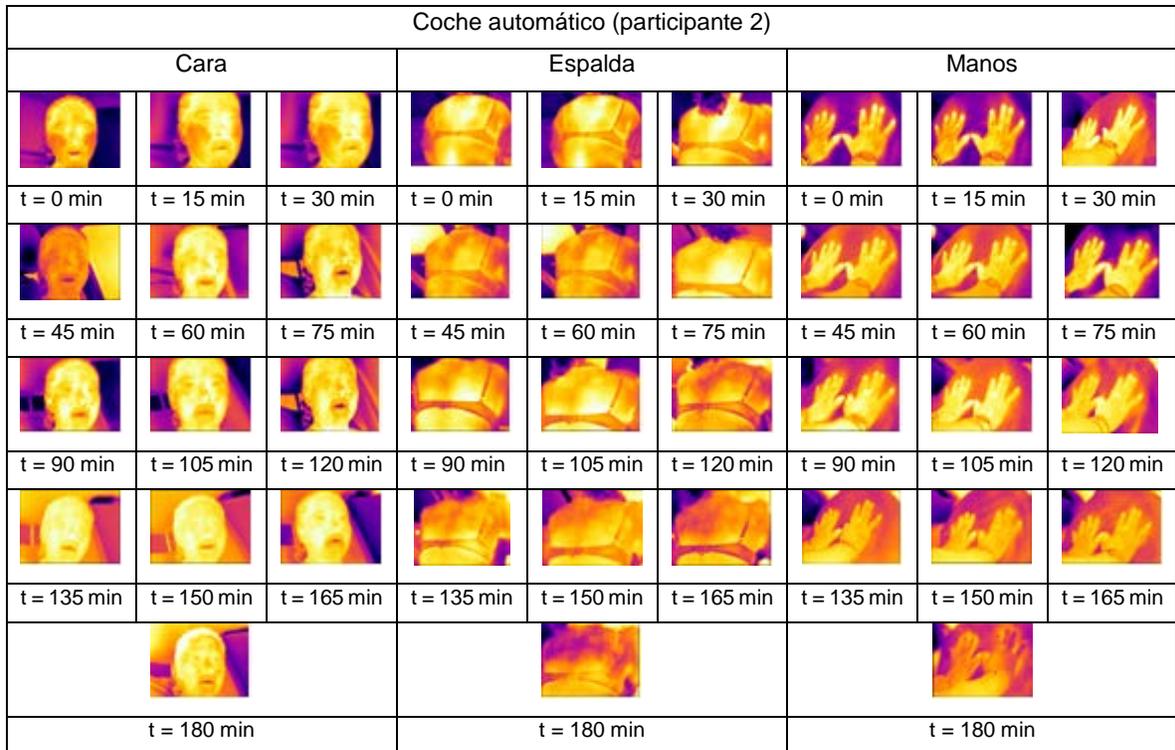


Figura 6.10. Imágenes térmicas del participante de género femenino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil automático

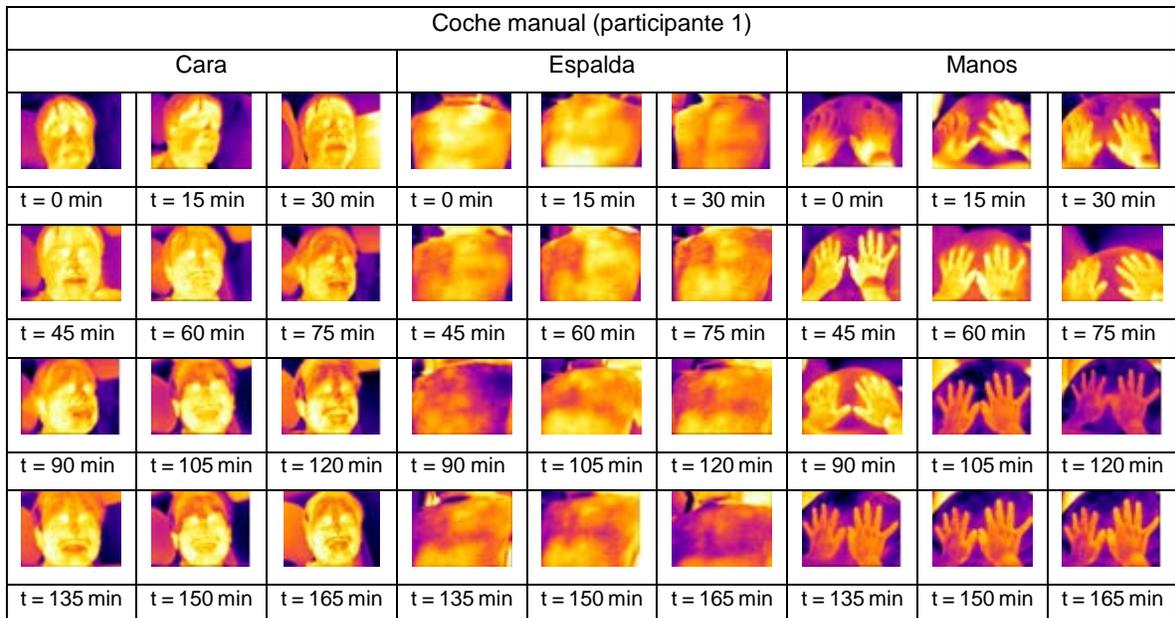


Figura 6.11. Imágenes térmicas del participante de género masculino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil de transmisión manual.

La figura 6.11, muestra las fotos obtenidas de espalda, cara y manos durante el recorrido del participante 2 de género masculino, utilizando el coche de transmisión

manual. La figura 6.12, muestra las fotos obtenidas de espalda, cara y manos durante el recorrido del participante de género femenino, utilizando el coche de transmisión manual. Ambos participantes recorrieron la misma distancia 60 kilómetros, con cada uno de los vehículos, se observaron diferencias en el tiempo total del recorrido debido a las condiciones del tráfico, la cantidad de semáforos y obras viales que provocaron aumento de la duración del recorrido.

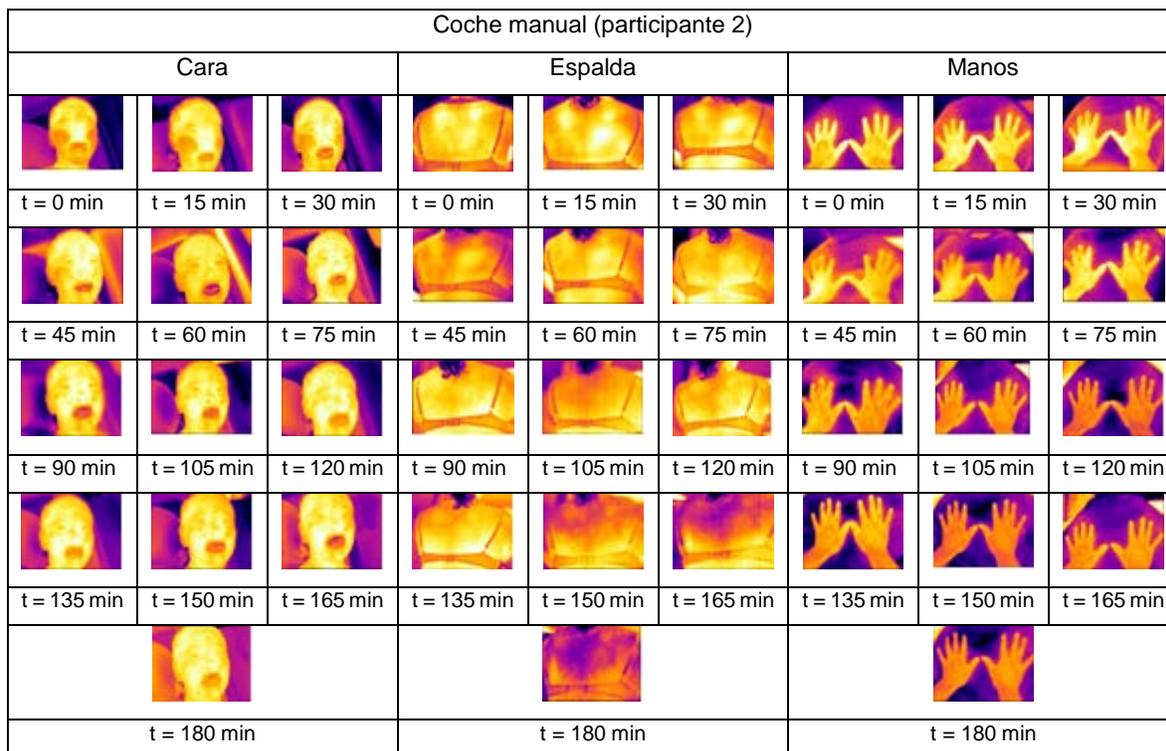


Figura 6.12. Imágenes térmicas del participante de género femenino realizando el recorrido de 60 Km en la CDMX utilizando el automóvil de transmisión manual.

Ambos participantes estuvieron sometidos a situaciones de tráfico intenso durante el experimento, el participante de género masculino presento sudoración, las fotos térmicas fueron tomadas sin interrumpir la marcha de los vehículos.

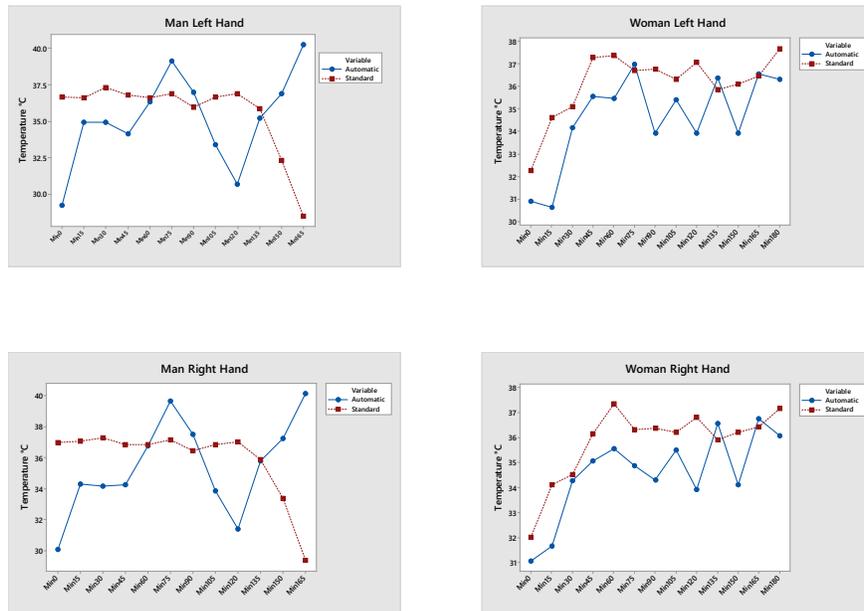


Figura 6.13. Gráficas del comportamiento de la temperatura en mano izquierda y mano derecha de los participantes manejando un coche de transmisión manual y un coche de transmisión automática en la CDMX.

En las gráficas de la figura 6.13, se observa el comportamiento de la temperatura de la mano izquierda y mano derecha de ambos participantes durante el recorrido de 60 Kilómetros en la CDMX, se observan puntos de temperatura más altos alcanzados para el género masculino en ambas manos utilizando el coche de transmisión automática. Las imágenes térmicas permitieron localizar la máxima temperatura en cada zona del cuerpo estudiada, la temperatura máxima alcanzada para el género masculino en la mano derecha utilizando el coche de transmisión automática fue de 40.2°C, y en la mano izquierda fue de 41.2°C. En el caso del género femenino la máxima temperatura en mano derecha, utilizando el mismo coche, fue de 37.3°C, y la máxima temperatura alcanzada en mano izquierda fue de 37.6°C.

Utilizando el coche de transmisión manual la temperatura máxima registrada en las imágenes térmicas del género masculino en la mano derecha fue de 38.2°C, y en la mano izquierda fue de 38.1°C. En el caso del género femenino la máxima temperatura en mano derecha fue de 37.7°C, y la máxima temperatura alcanzada en mano izquierda fue de 38.3°C.

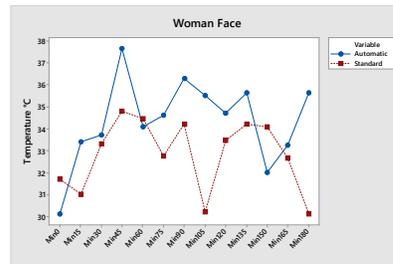
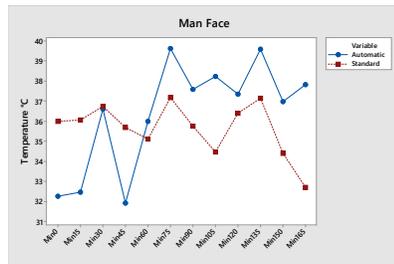


Figura 6.14. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la cara de los participantes manejando un coche de transmisión manual y un coche de transmisión automática en la CDMX.

En la figura 6.14, se observa el comportamiento de la temperatura de la cara de ambos participantes durante el recorrido, la temperatura máxima alcanzada en la cara para el género masculino fue de 40°C y para el género femenino fue de 38°C en ambos casos utilizando el coche de transmisión automática.

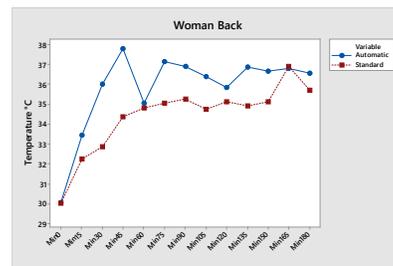
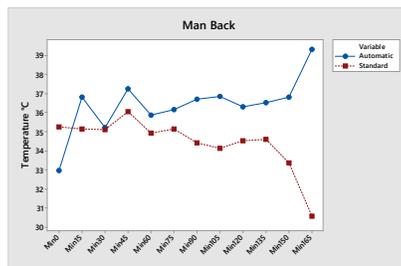


Figura 6.15. Gráficas del comportamiento de la temperatura en la espalda de los participantes manejando un coche de transmisión manual y un coche de transmisión automática en la CDMX.

La Figura 6.15, se observa el comportamiento de la temperatura en la espalda de los participantes, la temperatura máxima alcanzada para el género masculino en la espalda utilizando el coche de transmisión automática fue de 40°C, en el caso del género femenino la máxima temperatura en la espalda, fue de 39.5°C.

Utilizando el coche de transmisión manual la temperatura máxima registrada en las imágenes térmicas del género masculino en la espalda fue de 38.8°C, para el género femenino la máxima temperatura en la espalda fue de 38.5°C. Se observa en las gráficas poca diferencia de las temperaturas máximas alcanzadas utilizando las dos diferentes transmisiones de coches.

### 6.3 Resultados caso de estudio 3

Se capturaron imágenes térmicas en posición anatómica anterior y posterior de las participantes en cuatro diferentes intervalos de tiempo, A) minuto 0 cuando llegaron las participantes al lugar del banderazo de salida, figura 5.17, B) 15 minutos después como periodo de aclimatación, Figura 5.18, C) después de terminar de correr la distancia de 21 Km, figura 5.19 y D) 10 minutos después de haber concluido la carrera, figura 5.20. Las participantes realizaron un calentamiento antes de iniciar el medio maratón, el cual consistió en una caminata corta y estiramientos de extremidades superiores e inferiores.

Tabla 6.1. Intervalos de tiempo para la captura de las imágenes térmicas.

Símbolo	Significado
A	0 minutos
B	15 minutos
C	155 minutos Participante 1 138 minutos Participante 2
D	165 minutos Participante 1 148 minutos Participante 2

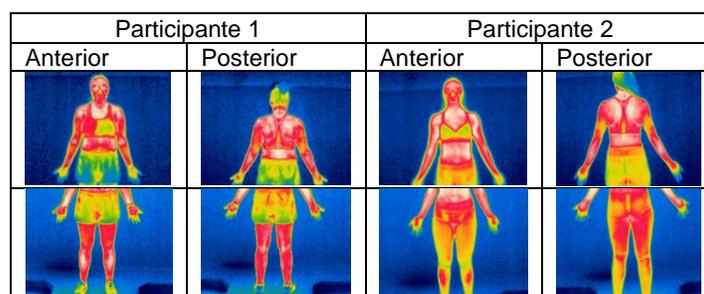


Figura 6.16. Fotos térmicas de las participantes antes del periodo de aclimatación

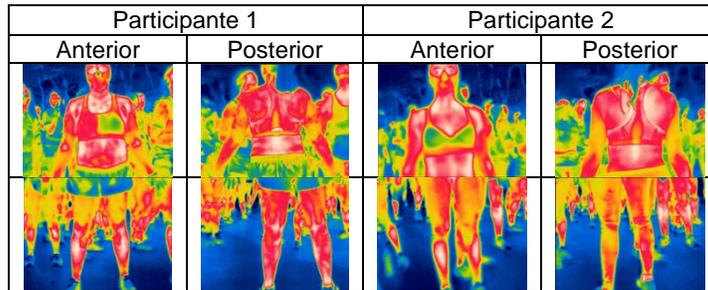


Figura 6.17. Fotos térmicas de las participantes después de 15 minutos de aclimatación

Las participantes concluyeron la carrera con diferentes tiempos, la participante 1 termino en un tiempo de 140 minutos, mientras que la participante 2 en un tiempo de 123 minutos, inmediatamente se capturaron imágenes térmicas de cada una a su llegada a la meta.

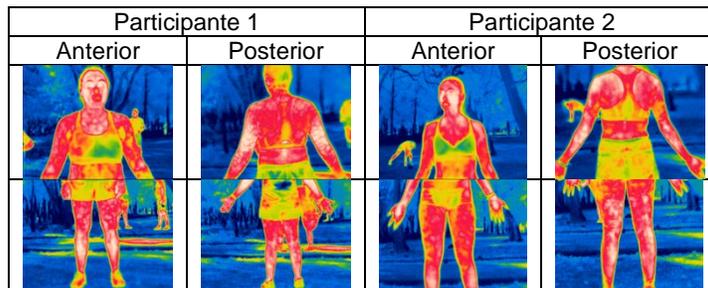


Figura 6.18. Fotos térmicas de las participantes después de correr 21 Km

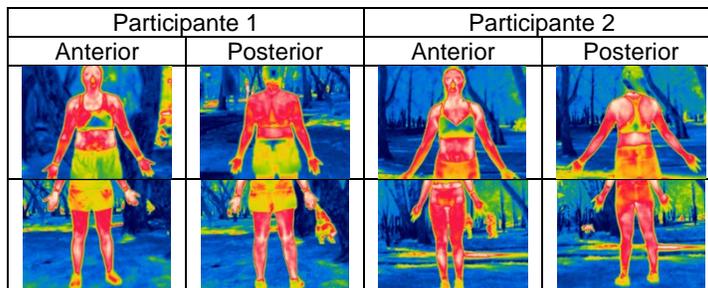


Figura 6.19. Fotos térmicas de las participantes 10 minutos después de correr 21 Km

Se analizaron las imágenes térmicas de las regiones de interés, tórax, extremidades superiores (anterior y posterior), espalda y extremidades inferiores (anterior y

posterior), se realizaron graficas donde se observa el comportamiento de la temperatura corporal en °C respecto al tiempo expresado en minutos. En la tabla 5.1, se especifica el valor de cada intervalo de tiempo para la captura de las imágenes térmicas.

Tabla 6.1. Intervalos de tiempo

Símbolo	Significado
A	0 minutos
B	15 minutos
C	155 minutos Participante 1 138 minutos Participante 2
D	165 minutos Participante 1 148 minutos Participante 2

El tórax alberga los órganos vitales siendo la región de estudio que registro el más alto valor de temperatura, 35.5 °C por parte de la participante 1 en el intervalo de tiempo A, mientras que la temperatura mínima fue de 32.4 °C registrada en la participante 2 en el intervalo de tiempo B. En la figura 6.20, se observa el comportamiento de la temperatura del tórax durante los intervalos de tiempo.

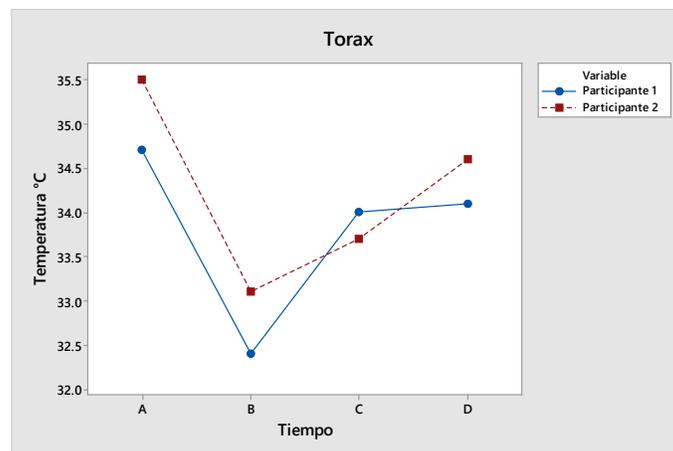


Figura 6.20. Gráfica del comportamiento de la temperatura del torax

En las extremidades superiores en posición anterior, los valores más altos de temperatura se localizaron en el área antecubital (parte delantera del codo), de ambos brazos, los valores más bajos se registraron en el área antebraquial (antebrazo). En la figura 6.21, se observa el comportamiento de la temperatura en las extremidades superiores de las participantes, brazo izquierdo (BI) y brazo derecho (BD).

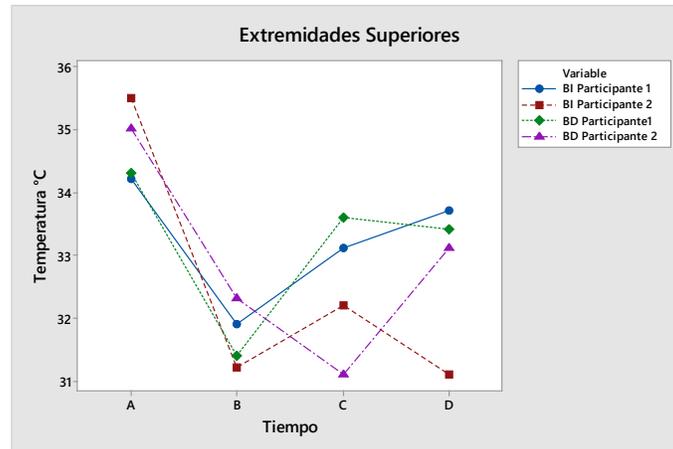


Figura 6.21. Gráfica del comportamiento de la temperatura de extremidades superiores en el plano anterior.

El comportamiento de las extremidades inferiores se observa en la figura 6.22, la participante 2 presentó el menor intervalo de cambios de temperatura en ambas piernas en el plano anterior del cuerpo, la participante 2 registró el valor más alto de temperatura de 34.3 °C en ambas piernas inmediatamente después de correr 21 Km. Se observa que la temperatura más alta se registra en el área crural (tibia) de ambas participantes. Tanto pierna izquierda (PI) como pierna derecha (PD) de ambas participantes presentaron un comportamiento muy parecido en todos los intervalos de tiempo. La participante 1 utilizó pantalón corto, mientras que la participante 2 utilizó pantalón deportivo largo.

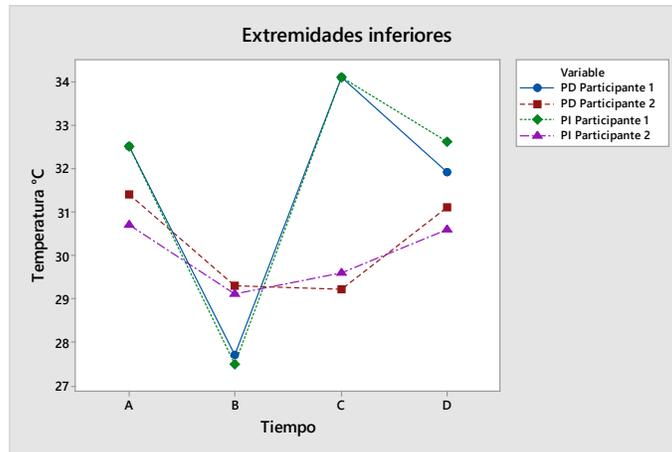


Figura 6.22. Gráfica del comportamiento de la temperatura de extremidades inferiores en el plano anterior.

La participante 2 registró en valor mas alto de 34.9 °C, en la espalda, también presentó el valor más bajo de 31.2 °C inmediatamente después de correr 21 Km, figura 6.23. En la figura 6.24, se observa el comportamiento de las extremidades superiores en el plano posterior, la temperatura más alta se localizó en la zona braquial, 33.9 °C en la participante 1 al terminar la carrera.

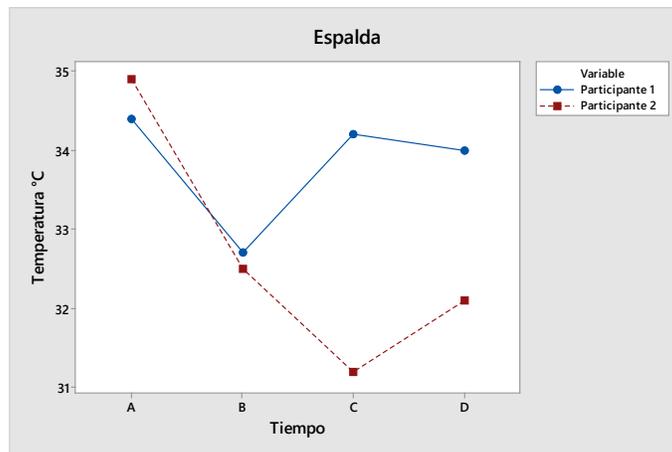


Figura 6.23. Gráfica del comportamiento de la temperatura de la espalda.

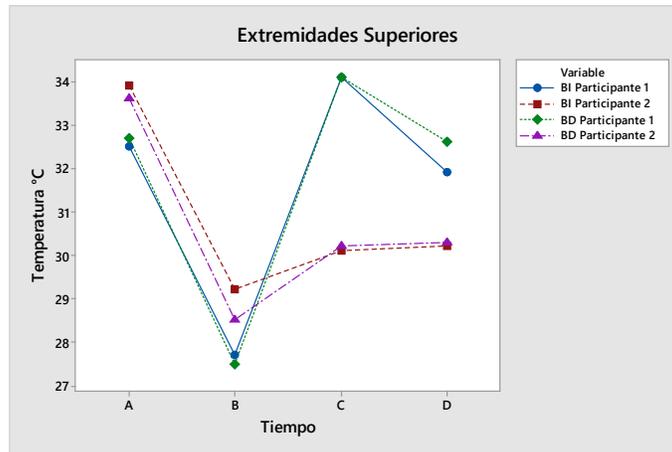


Figura 6.24 Gráfica del comportamiento de la temperatura de las extremidades superiores plano posterior.

En las extremidades inferiores como se muestra en la figura 6.25, en el plano posterior se observó que la zona que registra la más alta temperatura en ambas participantes es en el área poplíteo (parte posterior de la rodilla), la participante 2 registró un mayor intervalo de temperatura, la temperatura mínima fue 26.6°C en la región del tarsiano.

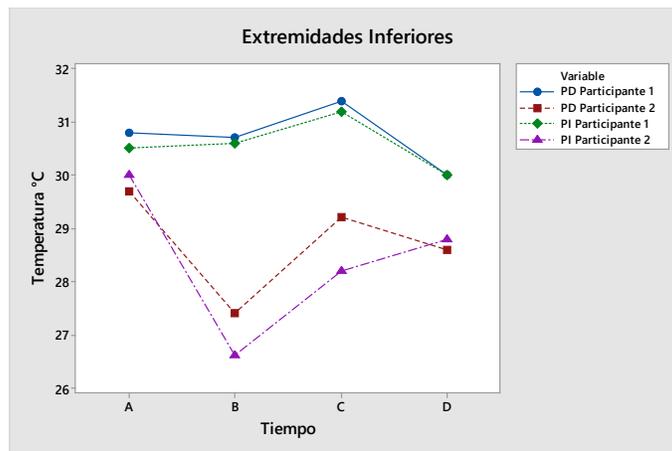


Figura 6.25 .Gráfica del comportamiento de la temperatura de las extremidades inferiores plano posterior.

## Conclusiones

Los trastornos musculo esqueléticos son resultado de actividades de uso repetitivo y se presentan por actividades laborales, cotidianas e incluso recreativas y de esparcimiento. La termografía infrarroja mide la radiación electromagnética que emana de la piel del cuerpo, la inflamación de los tejidos puede aumentar la temperatura y las imágenes térmicas pueden detectarlas como puntos calientes o zonas no homogéneas. La tasa metabólica, los objetos circundantes e incluso el medio ambiente pueden alterar la radiación emitida por el cuerpo, el monitoreo de la temperatura corporal y un correcto análisis de las imágenes térmicas podría ayudar a prevenir lesiones musculo esqueléticas en cualquier escenario o actividad humana.

En la mayoría de los casos los estudios se realizaron en laboratorios con temperatura y humedad controladas, simulando los escenarios de las actividades estudiadas. Pocas fueron las excepciones donde la metodología fue aplicada en los experimentos a temperatura ambiente y escenarios, actividades cotidianas o labores, como en la referencia 7 donde se estudió un puesto de trabajo. Las regiones más estudiadas por los autores son las extremidades inferiores, las manos y la espalda.

Las imágenes termográficas y muestran variaciones de temperatura de en la espalda durante una práctica común de static-cycling, se utilizó la termografía infrarroja como una herramienta de diagnóstico de lesiones músculo esqueléticas, debido a su falta de contacto y carácter no invasivo. Las imágenes obtenidas en el estudio permiten ver cómo se comporta la temperatura en la espalda entre ambos géneros.

Los resultados obtenidos muestran que las variaciones de temperatura entre en los participantes pueden verse afectadas por la capa de tejido graso de cada uno, los experimentos realizados demostraron que la eficiencia de la disipación de calor y la distribución de temperatura de la piel pueden estar influenciados por la aptitud física,

la edad y el medio ambiente. Se observó que los sujetos con mayor entrenamiento físico presentaron sudoración profusa en ambas pruebas.

Los experimentos realizados permitieron observar que los usuarios de bicicletas estáticas ajustan la altura del asiento de la bicicleta y de ser posible la altura del manubrio, de acuerdo al largo de sus extremidades, sin embargo aun con estos ajustes no disminuyen las molestias en la espalda, tampoco las molestias del uso del asiento.

La CDMX presenta gran saturación de la infraestructura vial disponible, los conductores presentan notables riesgos de padecer lesiones musculo esqueléticas debido a la gran cantidad de tiempo que pasan sentados dentro de un espacio reducido, sometidos a vibraciones constantes de los vehículos.

La necesidad de movilidad de los habitantes de la CDMX no ha sido cubierta por el sistema de transporte público, las condiciones de inseguridad y las malas condiciones del transporte público han obligado a sus habitantes a adquirir automóviles particulares, incrementando sin control el parque vehicular. Los largos periodos de tráfico en la CDMX ocasionan un mayor consumo de combustibles, lo cual incrementa las emisiones contaminantes que afectan la salud de sus habitantes.

La termografía infrarroja permitió capturar imágenes térmicas durante el experimento, sin necesidad de detener los automóviles, permitiendo obtener mapas térmicos de las zonas del cuerpo estudiadas, cara, manos y espalda de los participantes. Durante el recorrido se observaron múltiples factores que contribuyen al aumento del tráfico, estos factores incluyen el poco cuidado que tienen los peatones para cruzar la calle, imperfecciones en el piso asfáltico y las condiciones de las personas que manejan violentamente ocasionando aumentar el estrés en los participantes. La exposición constante a las vibraciones y las posturas incómodas están relacionados con el riesgo de padecer lesiones musculo esqueléticas

Este estudio tuvo como objetivo estudiar los factores de riesgo de padecer lesiones musculoesqueléticas en conductores de autos particulares en la CDMX, que realizan un recorrido aproximado de 60 km al día, se compararon dos automóviles con diferentes transmisiones, uno con transmisión automática y uno de transmisión manual. La realización de estudios puede ayudar a mejorar las condiciones musculoesqueléticas de los conductores de la CDMX.

Los factores de riesgo para las lesiones por correr no se consideran relacionados con las distancias de carrera. La lesión previa es un factor de riesgo genérico para las lesiones al correr, al igual que la distancia de entrenamiento semanal. Es importante una adecuada preparación antes de correr cualquier distancia. La prevención de las lesiones por correr se puede lograr con un adecuado entrenamiento físico y de resistencia. Son muchos los beneficios para la salud que se atribuyen a las actividades de carrera, pero las lesiones también se presentan con frecuencia. La mayoría de las lesiones al correr ocurren en las extremidades inferiores y no diferencian entre corredores de corta y larga distancia. Los corredores más experimentados tienen una menor tasa de lesiones. Un corredor novato debe usar un programa de entrenamiento estructurado reconocido. Estos resultados sugieren que la carga graduada es importante para los corredores principiantes, y que la modificación de la carga puede ser importante mientras se recupera de una lesión, sin embargo la recuperación completa de una lesión anterior puede prevenir lesiones futuras

## Referencias

'2e897acc4f0b30ae1b4c4710599ac418291832c0 @ www.beta.inegi.org.mx' (no date). Available at: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>.

'4b3[1] "4b3ae95b2dff3bcf99784712829f799a3cc16e67 @ www.beta.inegi.org.mx." .ae95b2dff3bcf99784712829f799a3cc16e67 @ www.beta.inegi.org.mx' (no date). Available at: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=09>.

Akau, C. K. *et al.* (2009) 'Sports and Performing Arts Medicine Sports and Performing Arts Medicine : 1 . Upper Extremity Injuries', *PMRJ*. Elsevier Inc., 1(3), pp. S51–S59. doi: 10.1016/j.pmrj.2009.01.019.

Alahmer, A., Abdelhamid, M. and Omar, M. (2012) 'Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins', *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 36(1), pp. 126–140. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.056.

Alsaad, M. *et al.* (2014) 'A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows', *Veterinary Journal*. Elsevier Ltd, 199(2), pp. 281–285. doi: 10.1016/j.tvjl.2013.11.028.

Ayachi, F. S., Dorey, J. and Guastavino, C. (2015) 'Identifying factors of bicycle comfort: An online survey with enthusiast cyclists', *Applied Ergonomics*. Elsevier Ltd, 46(Part A), pp. 124–136. doi: 10.1016/j.apergo.2014.07.010.

Bartuzi, P., Roman-Liu, D. and Wiśniewski, T. (2012) 'The influence of fatigue on muscle temperature', *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2), pp. 233–243. doi: 10.1080/10803548.2012.11076931.

Bejjani, F. J. *et al.* (1996) 'Musculoskeletal and Neuromuscular Conditions of Instrumental Musicians', 77(April), pp. 406–413.

Bernard, V. *et al.* (2013) 'Physica Medica Infrared camera assessment of skin surface temperature e Effect of emissivity', *Physica Medica*. Elsevier Ltd, 29(6), pp. 583–591. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.09.003.

Bouzida, N., Bendada, A. and Maldague, X. P. (2009) 'Visualization of body thermoregulation by infrared imaging', *Journal of Thermal Biology*, 34(3), pp. 120–126. doi: 10.1016/j.jtherbio.2008.11.008.

Bravo, L. *et al.* (2018) 'A cost-effective approach to the evaluation of noise affection in the city of Quito, Ecuador', *Case Studies on Transport Policy*, (Under revision). doi: 10.1016/j.cstp.2018.12.006.

Bulduk, E. Ö. *et al.* (2014) 'Assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders using Quick Exposure Check (QEC) in taxi drivers', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(6), pp. 817–820. doi: 10.1016/j.ergon.2014.10.002.

Cabizosu, A. *et al.* (2018) 'Theoretical basis for a new approach of studying Emery-Dreifuss muscular dystrophy by means of thermography', *Medical Hypotheses*. Elsevier, 118(May), pp. 103–106. doi: 10.1016/j.mehy.2018.06.027.

Cabrera, M. E. *et al.* (2008) 'A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system DUSAN', *Society*, 82(5), pp. 1522–1536. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9134920>.

Charles, L. E. *et al.* (2017) 'Vibration and Ergonomic Exposures Associated With Musculoskeletal Disorders of the Shoulder and Neck', *Safety and Health at Work*, XXX, pp. 1–8. doi: 10.1016/j.shaw.2017.10.003.

Chudecka, M. and Lubkowska, A. (2012a) 'THE USE OF THERMAL IMAGING TO EVALUATE BODY TEMPERATURE CHANGES OF ATHLETES DURING TRAINING AND A STUDY ON THE IMPACT', *Human Movement*, 13(1), pp. 33–39. doi: 10.2478/v10038-012-0002-9.

Chudecka, M. and Lubkowska, A. (2012b) 'The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature', *Human Movement*, 13(1), pp. 33–39. doi: 10.2478/v10038-012-0002-9.

Chudecka, M. and Lubkowska, A. (2015) 'Thermal maps of young women and men', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 69, pp. 81–87. doi: 10.1016/j.infrared.2015.01.012.

Costa, C. M. A. *et al.* (2018) 'Daily rhythm of skin temperature of women evaluated by infrared thermal imaging', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier Ltd, 72(December 2017), pp. 1–9. doi: 10.1016/j.jtherbio.2017.12.002.

Cravioto, J. *et al.* (2013) 'Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons', *Transport Policy*. Elsevier, 30, pp. 63–76. doi: 10.1016/j.tranpol.2013.08.004.

Damsted, C. *et al.* (2019) 'ProjectRun21: Do running experience and running pace influence the risk of running injury—A 14-week prospective cohort study', *Journal of Science and Medicine in Sport*. Sports Medicine Australia, 22(3), pp. 281–287. doi: 10.1016/j.jsams.2018.08.014.

Danca, P., Vartires, A. and Dogeanu, A. (2016) 'An Overview of Current Methods for Thermal Comfort Assessment in Vehicle Cabin', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 85(November 2015), pp. 162–169. doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.322.

Domenichini, L., Branzi, V. and Smorti, M. (2019) 'Influence of drivers' psychological risk profiles on the effectiveness of traffic calming measures', *Accident Analysis & Prevention*, 123(April 2018), pp. 243–255. doi: 10.1016/J.AAP.2018.11.025.

Dorantes Argandar, G., Tortosa Gil, F. and Ferrero Berlanga, J. (2016) 'Measuring situations that stress Mexicans while driving', *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Elsevier Ltd, 37, pp. 154–161. doi: 10.1016/j.trf.2015.12.014.

Erla, A. R. M. *et al.* (2010) 'Thermal Imaging of Cutaneous Temperature Modifications in Runners During Graded Exercise', 38(1), pp. 158–163. doi: 10.1007/s10439-009-9809-8.

del Estal, A. *et al.* (2016) 'Thermal asymmetries in striking combat sports athletes measured by infrared thermography', *Science & Sports*. Elsevier Masson SAS, 32(2), pp. e61–e67. doi: 10.1016/j.scispo.2016.09.005.

del Estal, A. *et al.* (2017) 'Asymétries thermiques en sport de combat, mesurées par thermographie infrarouge', *Science and Sports*. Elsevier Masson SAS, 32(2), pp. e61–e67. doi: 10.1016/j.scispo.2016.09.005.

El Falou, W. *et al.* (2003) 'Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving', *Applied Ergonomics*, 34(3), pp. 249–255. doi: 10.1016/S0003-6870(03)00011-5.

Faust, O. *et al.* (2014) 'Infrared Physics & Technology Application of infrared thermography in computer aided diagnosis', 66, pp. 160–175. doi: 10.1016/j.infrared.2014.06.001.

Fernandes, A. A. *et al.* (2016) 'Validity of inner canthus temperature recorded by infrared thermography as a non-invasive surrogate measure for core temperature at rest, during exercise and recovery', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 62(July), pp. 50–55. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.09.010.

Fernández-Cuevas, I. (2015) 'Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review', *Infrared Physics and Technology*, 71, pp. 28–55. doi: 10.1016/j.infrared.2015.02.007.

Ferreira, R. A. M. *et al.* (2019) 'Uncertainty analysis applied to electrical components diagnosis by infrared thermography', *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. Elsevier Ltd, 132, pp. 263–271. doi: 10.1016/j.measurement.2018.09.036.

Flores-Olivares, B. del C. *et al.* (2015) 'Preliminary Study on the Evaluation of Musculoskeletal Risks through Infrared Thermography for Drummers', *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 3(Ahfe), pp. 4415–4420. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.442.

Fournet, D. *et al.* (2013) 'Body mapping of thermoregulatory and perceptual responses of males and females running in the cold', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 38(6), pp. 339–344. doi: 10.1016/j.jtherbio.2013.04.005.

Ghahramani, A. *et al.* (2016) 'Infrared thermography of human face for monitoring thermoregulation performance and estimating personal thermal comfort', *Building and Environment*. Elsevier Ltd, 109, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.09.005.

Giansanti, D. and Maccioni, G. (2007) 'Development and testing of a wearable Integrated Thermometer sensor for skin contact thermography', *Medical Engineering and Physics*, 29(5), pp. 556–565. doi: 10.1016/j.medengphy.2006.07.006.

Grassi, W. *et al.* (2003) 'Imaging modalities for identifying the origin of regional musculoskeletal pain', *Best Practice and Research: Clinical Rheumatology*, 17(1), pp. 17–32. doi: 10.1016/S1521-6942(02)00099-2.

Hadžić, V. *et al.* (2019) 'Can infrared thermography be used to monitor fatigue during

exercise? A case study', *Journal of Sport and Health Science*, 8(1), pp. 89–92. doi: 10.1016/j.jshs.2015.08.002.

Hildebrandt, C., Raschner, C. and Ammer, K. (2010) 'An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria', *Sensors*, 10(5), pp. 4700–4715. doi: 10.3390/s100504700.

Ignacio, J. *et al.* (2016) 'Effects of the cycling workload on core and local skin temperatures', *Experimental Thermal and Fluid Science*. Elsevier Inc., 77, pp. 91–99. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2016.04.008.

Jaller, M. *et al.* (2016) 'Quantifying the Impacts of Sustainable City Logistics Measures in the Mexico City Metropolitan Area', *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 12(June 2015), pp. 613–626. doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.015.

Jazcilevich, A. *et al.* (2015) 'Economic-environmental analysis of traffic-calming devices', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 36, pp. 86–95. doi: 10.1016/j.trd.2015.02.010.

Jiang, L. *et al.* (2018) 'How do shared-street design and traffic restriction improve urban soundscape and human experience? —An online survey with virtual reality', *Building and Environment*, 143(May), pp. 318–328. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.07.005.

Keefer, M. L. *et al.* (2015) 'Thermal exposure of adult Chinook salmon in the Willamette river basin', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 48, pp. 11–20. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.12.002.

Khanday, M. A. and Hussain, F. (2015) 'Explicit formula of finite difference method to estimate human peripheral tissue temperatures during exposure to severe cold stress', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 48, pp. 51–55. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.12.010.

Kluitenberg, B. *et al.* (2015) 'What are the Differences in Injury Proportions Between Different Populations of Runners? A Systematic Review and Meta-Analysis', *Sports Medicine*. Springer International Publishing, 45(8), pp. 1143–1161. doi: 10.1007/s40279-015-0331-x.

Knapik, J. J. *et al.* (2007) 'Injuries and Injury Risk Factors Among Members of the United States Army Band', 961, pp. 951–961. doi: 10.1002/ajim.20532.

Korukçu, M. Ö. and Kilic, M. (2009) 'The usage of IR thermography for the temperature measurements inside an automobile cabin', *International Communications in Heat and Mass Transfer*. Elsevier Ltd, 36(8), pp. 872–877. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.04.010.

Korukçu, M. Ö. and Kiliç, M. (2012) 'Tracking Hand And Facial Skin Temperatures In An Automobile By Using Ir-Thermography During Heating Period', 25(1), pp. 207–217.

Koupal, J. and Palacios, C. (2019) 'Impact of new fuel specifications on vehicle emissions in Mexico', *Atmospheric Environment*. Elsevier, 201(August 2018), pp.

41–49. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.12.028.

Kuiken, T. A., Lowery, M. M. and Stoykov, N. S. (2003) 'The effect of subcutaneous fat on myoelectric signal amplitude and cross-talk', *Prosthetics and Orthotics International*, 27(1), pp. 48–54. doi: 10.3109/03093640309167976.

Lahiri, B. B. *et al.* (2012) 'Medical applications of infrared thermography: A review', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 55(4), pp. 221–235. doi: 10.1016/j.infrared.2012.03.007.

Lahiri, B. B. *et al.* (2015) 'Infrared thermography based studies on mobile phone induced heating', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 71, pp. 242–251. doi: 10.1016/j.infrared.2015.04.010.

Lahondère, C. and Lazzari, C. R. (2015) 'Thermal effect of blood feeding in the telmophagous fly *Glossina morsitans morsitans*', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 48, pp. 45–50. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.12.009.

Leo, A., Morillón, D. and Silva, R. (2017) 'Review and analysis of urban mobility strategies in Mexico', *Case Studies on Transport Policy*. World Conference on Transport Research Society, 5(2), pp. 299–305. doi: 10.1016/j.cstp.2016.11.008.

Li, W. *et al.* (2015) 'Biomechanical response of the musculoskeletal system to whole body vibration using a seated driver model', *International Journal of Industrial Ergonomics*. Elsevier Ltd, 45, pp. 91–97. doi: 10.1016/j.ergon.2014.12.006.

Lourenço, S. *et al.* (2011) 'The assessment of trapezius muscle symptoms of piano players by the use of infrared thermography', pp. 1–6.

Lozano, A., Granados, F. and Guzmán, A. (2014) 'Impacts of Modifications on Urban Road Infrastructure and Traffic Management: A Case Study', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 162(Panam), pp. 368–377. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.12.218.

Lucchi, E. (2018) 'Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 82(May 2017), pp. 3077–3090. doi: 10.1016/j.rser.2017.10.031.

Ludwig, N. *et al.* (2014) 'Infrared Physics & Technology Skin temperature evaluation by infrared thermography : Comparison of image analysis methods', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 62, pp. 1–6. doi: 10.1016/j.infrared.2013.09.011.

Lyons, L. *et al.* (2017) 'Impacts of time restriction on heavy truck corridors: The case study of Mexico City', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 102(x), pp. 119–129. doi: 10.1016/j.tra.2017.03.012.

Maniar, N. *et al.* (2015) 'The effect of using different regions of interest on local and mean skin temperature', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 49–50, pp. 33–38. doi: 10.1016/j.jtherbio.2015.01.008.

Mansour, S. G. *et al.* (2017) 'Kidney Injury and Repair Biomarkers in Marathon Runners', *American Journal of Kidney Diseases*. Elsevier Inc, 70(2), pp. 252–261.

doi: 10.1053/j.ajkd.2017.01.045.

Marins, J. C. B. *et al.* (2014) 'Thermographic profile of soccer players' lower limbs', *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. Elsevier, 7(1), pp. 1–6. doi: 10.1016/S1888-7546(14)70053-X.

Miguel Morales Ríos , Emilsy Medina Chacón , Angel Carnevali Fernández, E. and Orozco Guillén (2011) 'TERMOGRAFÍA INFRARROJA Y EL ESTUDIO DE RIESGOS DE LESIONES MÚSCULO ESQUELÉTICAS INFRARED THERMOGRAPHY AND THE STUDY OF RISKS OF', pp. 55–67.

Moreira, D. G. *et al.* (2017) 'Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier Ltd, 69(5189), pp. 155–162. doi: 10.1016/j.jtherbio.2017.07.006.

Mortola, J. P. *et al.* (2015) 'Thermographic analysis of the radiant heat of chicken and duck eggs in relation to the embryo's oxygen consumption', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 48, pp. 77–84. doi: 10.1016/j.jtherbio.2015.01.001.

Nakayama, N. and Ohnuki, Y. (1977) 'FALL IN SKIN TEMPERATURE EXERCISE The subjects were three male students of physical fitness and two of the authors . Their physical characteristics are as follows . K . F .( Age 21 yr , Height', pp. 423–437.

Neptune, R. R., Kautz, S. A. and Zajac, F. E. (2000) 'Muscle contributions to specific biomechanical functions do not change in forward versus backward pedaling', *Journal of Biomechanics*, 33(2), pp. 155–164. doi: 10.1016/S0021-9290(99)00150-5.

Obregón-Biosca, S. A. *et al.* (2018) 'Rating road traffic education', *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 56, pp. 33–45. doi: 10.1016/J.TRF.2018.03.033.

Ohliger, A. (2006) 'Can Ergonomic Stress Be Measured Using Thermography ?'

Oliveira, J. *et al.* (2016) 'Use of infrared thermography for the diagnosis and grading of sprained ankle injuries', *Infrared Physics and Technology*, 76, pp. 530–541. doi: 10.1016/j.infrared.2016.04.014.

Polidori, G. *et al.* (2018) 'Medical Infrared Thermography in back pain osteopathic management', *Complementary Therapies in Medicine*. Elsevier, 39(April), pp. 19–23. doi: 10.1016/j.ctim.2018.05.010.

Priego Quesada, Jose Ignacio *et al.* (2015) 'Effect of perspiration on skin temperature measurements by infrared thermography and contact thermometry during aerobic cycling', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 72, pp. 68–76. doi: 10.1016/j.infrared.2015.07.008.

Priego Quesada, Jose I. *et al.* (2015) 'Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise', *Journal of Thermal Biology*. Elsevier, 48, pp. 28–35. doi: 10.1016/j.jtherbio.2014.12.005.

Priego Quesada, J. I. *et al.* (2016) 'Definition of the thermographic regions of interest in cycling by using a factor analysis', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 75, pp. 180–186. doi: 10.1016/j.infrared.2016.01.014.

Raanaas, R. K. and Anderson, D. (2008) 'A questionnaire survey of Norwegian taxi drivers' musculoskeletal health, and work-related risk factors', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(3–4), pp. 280–290. doi: 10.1016/j.ergon.2007.10.017.

Rossignoli, I. *et al.* (2016) 'Relationship between shoulder pain and skin temperature measured by infrared thermography in a wheelchair propulsion test', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 76, pp. 251–258. doi: 10.1016/j.infrared.2016.02.007.

Roy, R., Boucher, J. P. and Comtois, A. S. (2006) 'Validity of infrared thermal measurements of segmental paraspinal skin surface temperature', *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 29(2), pp. 150–155. doi: 10.1016/j.jmpt.2005.12.004.

Salvalaio, C. L. *et al.* (2011) 'Qualitative Evaluation of Physical Effort in Bass Drum Pedal Drive by Thermography', 1(1), pp. 1–6.

San-Juan, M. *et al.* (2016) 'Assessment of efficiency of windscreen demisting systems in electrical vehicles by using IR thermography', *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 104, pp. 479–485. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.05.093.

Sanz, L. D. B. (2014) 'Working Conditions of Microbus Drivers in Mexico City as a Risk Factor in Road Safety', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 160(Cit), pp. 188–194. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.12.130.

Schlager, O. *et al.* (2010) 'Correlation of infrared thermography and skin perfusion in Raynaud patients and in healthy controls', *Microvascular Research*. Elsevier Inc., 80(1), pp. 54–57. doi: 10.1016/j.mvr.2010.01.010.

Siegel, J. H. (2007) 'Risk of Repetitive-Use', (1), pp. 200–204. doi: 10.1016/j.tgie.2007.08.010.

Soroko, M. and Howell, K. (2018) 'Infrared Thermography: Current Applications in Equine Medicine', *Journal of Equine Veterinary Science*. Elsevier Ltd, 60, pp. 90–96.e2. doi: 10.1016/j.jevs.2016.11.002.

Stone, A. V., Beck, E. and Nho, S. J. (2019) 'Hip Injuries in Endurance Athletes: The Runner and Cyclist', *Operative Techniques in Sports Medicine*. Elsevier Inc., pp. 4–7. doi: 10.1053/j.otism.2019.04.003.

Storm, S. A. *et al.* (2009) 'Sports and Performing Arts Medicine Sports and Performing Arts Medicine : 3 . Spine and Neurologic Injuries', *PMRJ*. Elsevier Inc., 1(3), pp. S67–S72. doi: 10.1016/j.pmrj.2009.01.020.

Tan, J. *et al.* (2009) 'Infrared Physics & Technology Infrared thermography on ocular surface temperature : A review', *Infrared Physics and Technology*. Elsevier B.V., 52(4), pp. 97–108. doi: 10.1016/j.infrared.2009.05.002.

Tanda, G. (2016a) 'Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise', *Experimental Thermal and Fluid Science*. Elsevier Inc., 71, pp. 103–113. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2015.10.006.

Tanda, G. (2016b) 'Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise', *Experimental Thermal and Fluid Science*. Elsevier Inc., 71, pp. 103–113. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2015.10.006.

Taunton, J. E. *et al.* (2003) 'A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run "In Training" clinics.', *British journal of sports medicine*, 37(3), pp. 239–44. doi: 10.1136/bjism.37.3.239.

Tsekeris, T. and Geroliminis, N. (2013) 'City size, network structure and traffic congestion', *Journal of Urban Economics*. Elsevier Inc., 76(1), pp. 1–14. doi: 10.1016/j.jue.2013.01.002.

Wright, C. I., Kroner, C. I. and Draijer, R. (2006) 'Non-invasive methods and stimuli for evaluating the skin ' s microcirculation B', 54, pp. 1–25. doi: 10.1016/j.vascn.2005.09.004.

Zaïdi, H. *et al.* (2007) 'The influence of swimming type on the skin-temperature maps of a competitive swimmer from infrared thermography', *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 9(1), pp. 47–51.

Zaproudina, N., Ming, Z. and Hänninen, O. O. P. (2006) 'Plantar Infrared Thermography Measurements and Low Back Pain Intensity', *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 29(3), pp. 219–223. doi: 10.1016/j.jmpt.2006.01.003.

Zontak *et al.* (1998) 'Dynamic Thermography : Analysis of Hand Temperature During Exercise', 26, pp. 988–993.