

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“MODELO CUANTITATIVO PARA PREDECIR
DESÓRDENES DE TRAUMAS ACUMULADOS EN LA
INDUSTRIA MAQUILADORA DE BAJA
CALIFORNIA”**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS
NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO DE:

Doctora en Ciencias

Presenta:

Melissa Airem Cázares Manríquez

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

TÍTULO DEL PROYECTO

Modelo cuantitativo para predecir desórdenes de traumas acumulados en la Industria de Baja California

DATOS DE LA TESIS

NOMBRE: Melissa Airem Cázares Manríquez

MATRICULA: 308273

e-mail: airem.cazares@uabc.edu.mx

INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Baja California

UNIDAD ACADÉMICA: Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

DIRECCIÓN: Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C.

TELÉFONO: (646) 175-0700 EXT. 64322

DATOS DE LA DIRECTORA DE TESIS

NOMBRE: Claudia Camargo Wilson

GRADO ACADÉMICO: Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial

e-mail: ccamargo@uabc.edu.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



MODELO CUANTITATIVO PARA PREDECIR DESÓRDENES DE TRAUMAS ACUMULADOS EN LA INDUSTRIA DE BAJA CALIFORNIA

TESIS

Que para obtener el grado de Doctora en Ciencias presenta:

MELISSA AIREM CÁZARES MANRÍQUEZ

Aprobada por:

Dra. Claudia Camargo Wilson
Directora de tesis

Dr. Jesús Everardo Olguín Tiznado
Codirector de tesis

Dr. Juan Andrés López Barreras
Miembro del comité

Dra. Blanca Rosa García Rivera
Miembro del comité

Dr. Julio César Cano Gutiérrez
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México, 31 de Agosto de 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme realizar este proyecto.

A mi directora de tesis, Dra. Claudia Camargo por su apoyo, supervisión, paciencia, comprensión y guía a lo largo de este proceso de desarrollo de esta tesis.

A los doctores Jesús Olguín, Jorge García, Juan Andrés López, Blanca García Rivera, Julio C. Cano Gutiérrez y Ricardo Vardasca por sus consejos, soporte, apoyo, críticas y compartir sus conocimientos para el logro de esta tesis.

A la empresa que me permitió aplicar mi proyecto, al Gerente de operaciones por su apoyo, a las ingenieras, a los supervisores de las áreas por su valioso tiempo y soporte, a los trabajadores que contribuyeron con esta investigación, y al departamento de enfermería por su valiosa ayuda.

A mis seres queridos por su apoyo, comprensión, motivación y entusiasmo para llevar a cabo esta tesis.

A todos mis compañeros, por compartir esta etapa de realización. Por sus consejos, por escucharme, por todo.

Muchas gracias una vez más...

DEDICATORIA

Dedicado con todo mi amor a mi hijo David, mi vida....

RESUMEN

El trabajo es una actividad indispensable para que el ser humano pueda subsistir; por tanto, resulta imprescindible para las sociedades. Sin embargo, como consecuencia por realizar un trabajo dado, éste conlleva a un riesgo, el cual está presente en toda actividad laboral. Asimismo, las actividades altamente repetitivas presentan riesgo contra la salud y bienestar. Conforme se va haciendo más compleja y repetitiva la realización de actividades de producción, se van multiplicando los riesgos para el trabajador y por consecuencia se producen numerosos accidentes y enfermedades, específicamente Desorden de trauma Acumulado (DTA). De acuerdo a la Oficina de Estadísticas de Estados Unidos, los DTA's se incrementaron un 800% del periodo 1982 a 1992. En tanto en nuestro país, de acuerdo a registros del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), su diagnóstico es bajo y alcanza una tasa promedio en los últimos 5 años de 40 casos al año, aunque es muy probable que muchos casos pasen como enfermedades de índole general.

Datos extraoficiales estiman que el IMSS gasta más de 65 mil millones de pesos al año a causa de accidentes y enfermedades de trabajo, lo cual ocurre debido a la falta de una cultura de la prevención. Por otro lado, la Organización Internacional del Trabajo indica que en el mundo se registran 160 millones de enfermedades laborales y estima que se pierde 4% del Producto Interno Bruto mundial debido a los accidentes del trabajo y a las enfermedades profesionales.

Debido a las situaciones expuestas anteriormente, la presente investigación de tesis plantea un modelo cuantitativo que contribuya a disminuir el DTA, debido a la realización de actividades altamente repetitivas dentro de la industria maquiladora en el Estado de Baja California. Los datos de esta tesis se llevaron a cabo en una fábrica en la que se analizaron las actividades de ensamble y lijado de madera. Se registraron los posibles factores de riesgo en los trabajadores, los cuales son: índice de masa corporal (IMC), edad, sexo, ritmo cardíaco, tensión arterial (T/A), frecuencia respiratoria (FR) y mano dominante. Posteriormente se tomaron las temperaturas de las muñecas de los participantes por medio de la Termografía Infrarroja (TI). Una vez completados los termogramas, se midieron las temperaturas por medio de software y se procedió a identificar las asimetrías en las temperaturas, las cuales son señales de lesión en la muñeca. Se realizaron los análisis estadísticos a través del software *IBM SPSS Statistics Versión 25*. A continuación, se generaron los modelos de regresión y las superficies de respuesta mediante *Minitab 17*, de acuerdo con los factores significativos señalados a través del análisis de varianza. Se determinaron los factores que mayormente influyen sobre las diferencias de temperaturas mínimas y máximas en diversos lapsos de tiempo para cada área de

producción. En Lijado influyen T/A, FR, ritmo cardiaco, y sexo, mientras que en Tolex influyen FR, T/A, y edad.

El 90% de los participantes del área de Lijado presentaron asimetrías con grado de atención de alarma o gravedad. De los 17 sujetos con asimetrías, el 76% presentaba niveles fuera del rango normal en al menos uno de los factores de estudio (edad, IMC, T/A, ritmo cardiaco o FR). En tanto que el 79% de los participantes de Tolex presentaron asimetrías con niveles de alarma o gravedad. De los 11 sujetos con asimetrías, el 73% tenían niveles fuera del rango normal en al menos uno de los factores de estudio. En el área L, el 94% de los participantes con asimetrías son hombres (con menos de un año laborando en el área). En el área T, el 36% de los participantes con asimetrías son mujeres, mientras que el 64% hombres (los sujetos tienen de 2 a 8 años laborando en el área). En el área T, el 36% de los participantes con asimetrías son mujeres, mientras que el 64% hombres (los sujetos tienen de 2 a 8 años laborando en el área).

En adición, fue posible detectar mediante TI, un 75% de los casos que indicaron lesión o molestia en el área de Lijado, mientras que en el área de Tolex se identificó el único caso existente. Por lo tanto, se comprueba la utilidad de la TI en la detección de posibles lesiones, que conllevan a desarrollar DTA's en los trabajadores. Puesto que este estudio se centra en el comportamiento de la temperatura por periodos de tiempo, se determina una propensión en las diferencias de temperatura que con el paso del tiempo presentan incrementos y decrementos en ambas áreas de manera que es permisible efectuar predicciones. Por lo anterior se estipula que fue posible cumplir con el objetivo principal de esta investigación; es decir, la generación de modelos cuantitativos que describen el comportamiento de las diferencias de temperaturas, a través de los modelos de regresión cuadráticos.

Aprobada por:



Dra. Claudia Camargo Wilson
Directora de tesis

CONTENIDO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO.....	1
ACTA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
RESUMEN	5
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE ECUACIONES.....	12
1. ANTECEDENTES.....	13
1.1 Ergonomía.....	13
1.1.1 Objetivos de la ergonomía.....	17
1.1.2 Ramas de la ergonomía	17
1.1.3 Factores de riesgo	19
1.2 Movimientos Repetitivos.....	20
1.3 Desorden de Trauma Acumulado	23
1.3.1 Terminología y patología de los DTA's	26
1.4 Termografía Infrarroja	33
1.4.1 Historia de la termografía infrarroja.....	33
1.4.2 Conceptos	37
1.4.3 Funcionamiento de la cámara	41
1.4.4 Evaluación de la imagen térmica	52
1.4.5 Fisiopatología de las lesiones músculo-esqueléticas	60
1.4.6 Factores que influyen en la evaluación termográfica del cuerpo humano	66
1.4.7 Aplicaciones de la Termografía Infrarroja.....	69
1.4.8 Aplicaciones de la termografía infrarroja en medicina y lesiones deportivas	73
1.4.9 Aplicación de la termografía: Casos y problemas que pueden detectarse.....	74
1.4.10 Aplicación de referencia: temperatura de funcionamiento del motor	83
2. ESTADO DEL ARTE.....	84
2.1 Aplicación de termografía infrarroja para el diagnóstico de STC.....	88
2.2 Aplicación de termografía infrarroja para estudios sobre STC.....	93
2.3 Asociación de la edad con STC	99
2.4 Asociación de IMC con STC	101
2.5 Asociación de factores cardiovasculares con STC	105
2.6 Asociación de mano dominante con STC.....	106
2.7 Asociación de sexo con STC	106
2.8 Asociación de multifactores con STC	111

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	129
3.1 Definición del problema.....	129
3.2 Preguntas de investigación.....	130
3.3 Hipótesis.....	131
3.4.1 Objetivo General.....	131
3.4.2 Objetivos Específicos.....	131
3.5 Justificación.....	132
3.6 Delimitaciones de la Investigación.....	134
4. METODOLOGÍA.....	134
4.1 Etapa 1: Revisión técnica de la cámara termográfica.....	134
4.2 Etapa 2: Medición de temperaturas en la industria maquiladora.....	139
4.2.1 Condiciones Experimentales.....	140
4.2.1.1 Reclutamiento y selección de los participantes.....	140
4.2.1.2 Restricciones preliminares.....	141
4.3 Protocolo Experimental.....	141
4.3.1 Condiciones ambientales para el estudio.....	141
4.3.2 Implementación de la cámara termográfica infrarroja.....	142
4.3.3 Manejo de Participantes.....	142
4.4 Etapa 3: Obtención de datos y análisis estadísticos.....	143
4.5 Herramientas.....	146
5. RESULTADOS.....	147
5.1 Etapa 1: Ensayo con estudiantes de UABC.....	147
5.2 Etapa 2: Industria Maquiladora.....	148
5.2.1 Imágenes térmicas.....	150
5.2.2 Datos de temperaturas registradas.....	153
5.2.3 Características demográficas de los participantes.....	165
5.2.4 Gráficos del comportamiento de las diferencias de temperatura respecto al tiempo.....	168
5.2.5 Gráficos de comportamiento de las diferencias de temperatura asimétricas respecto al tiempo.....	173
5.2.6 Pruebas de normalidad.....	177
5.2.8 Modelos de Regresión cuadráticos.....	193
5.2.7 Pruebas no paramétricas.....	182
5.2.8 Superficies de respuesta.....	196
6 CONCLUSIONES.....	203
7. DISCUSIONES.....	208
8. RECOMENDACIONES.....	212
9. CRONOGRAMA.....	213
10. ANEXO.....	214
11. REFERENCIAS.....	215

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Se observa un sumario de los artículos revisados sobre TI y su aplicación en SCT.....	95
Tabla 2 Resumen de los trabajos de investigación respecto a factores de riesgo para STC.	127
Tabla 3 Escala de nivel de atención prestado en función de las diferencias de temperaturas obtenidas entre RCI (región corporal de interés) contralaterales o entre dos tomas de la misma RCI.....	143
Tabla 4 Agrupamiento de factores para el área de Lijado.	144
Tabla 5 Agrupamiento de factores para el área de Tolex.	145
Tabla 6 Datos generados del Área de Lijado.....	149
Tabla 7 Datos obtenidos del Área de Tolex.	150
Tabla 8 Temperaturas medidas en cara de los trabajadores.....	154
Tabla 9 Valores de temperatura en dorsos en el tiempo T5.	155
Tabla 10 Datos de temperaturas en dorso T10.	156
Tabla 11 Registros de temperatura en parte dorsal en T15.	156
Tabla 12 Temperaturas en dorso en tiempo T20.	157
Tabla 13 Registros de temperaturas en palma, tiempo T5.	157
Tabla 14 Temperaturas palmas T10.....	158
Tabla 15 Temperaturas en tiempo T15 en región palmar.....	158
Tabla 16 Valores de temperatura en palmas T20.....	159
Tabla 17 Diferencias de temperaturas en dorso y palma por tiempos.	159
Tabla 18 temperaturas de la cara en Tolex.....	160
Tabla 19 Registros de temperaturas en dorso T5.....	161
Tabla 20 Temperaturas dorso en T10.	161
Tabla 21 Valores de temperaturas dorso en T15	162
Tabla 22 Temperaturas obtenidas en dorso T20.	162
Tabla 23 Valores de temperatura en palmas en tiempo T5.	163
Tabla 24 Registros de temperaturas en palmas en T10.	163
Tabla 25 Palmas, sus valores de temperaturas en el tiempo T15.....	164
Tabla 26 Temperaturas en región palmar en tiempo T20.....	164
Tabla 27 Diferencias de temperaturas para cada tiempo en dorso y palma.	165
Tabla 28 Características demográficas en el área de Lijado.....	166
Tabla 29 Características demográficas en el área de Tolex.....	167
Tabla 30 Pruebas de normalidad en el área de Lijado para los factores de estudio.	177
Tabla 31 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para el dorso.....	178
Tabla 32 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para palma.....	178
Tabla 33 Pruebas de normalidad en el área de Tolex en los factores de estudio.	179
Tabla 34 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para el dorso.....	180
Tabla 35 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para la palma.	180
Tabla 36 Resumen de factores y diferencias de temperatura con valores normales en el área de Lijado.....	181
Tabla 37 Resumen de factores y diferencias de temperatura con valores normales en el área de Tolex.....	181
Tabla 38: PruebaU de Mann-Whitney para evaluar influencia de T/A sobre la diferencia de temperatura.	182
Tabla 39 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de lesión sobre la diferencia de temperatura.	184
Tabla 40 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de T/A sobre la diferencia de temperatura....	186
Tabla 41 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de ritmo cardiaco sobre la diferencia de temperatura	188
Tabla 42 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de FR sobre la diferencia de temperatura.	189
Tabla 43 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de FR (RR) sobre la diferencia de temperatura.	190
Tabla 44 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de la edad sobre la diferencia de temperatura.	192
Tabla 45 Prueba U de Mann-Whitney a los factores de estudio respecto a las diferencias de temperatura....	193
Tabla 46 Análisis de varianza para el área de lijado en dorso para la diferencia de temperatura mínimo en el tiempo 15.	194

Tabla 47 Resumen del modelo	194
Tabla 48 Ecuación de regresión.	194
Tabla 49 Análisis de varianza para el área de lijado en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 10.	194
Tabla 50 Resumen del modelo.	195
Tabla 51 Ecuación de regresión.	195
Tabla 52 Análisis de varianza para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínimo en el tiempo 15.	195
Tabla 53 Resumen del modelo.	195
Tabla 54 Ecuación de regresión.	196
Tabla 55 Resumen del modelo por área y sección de la mano.	196

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro electromagnético	40
Figura 2: Diagrama de calor.....	45
Figura 3:Procesamiento de la Señal Infrarroja	63
Figura 4: Resumen del Estado del Arte sobre riesgos ergonómicos y DTA's.	84
Figura 5: Indicaciones para encender cámara termográfica	135
Figura 6 Datos recopilados de los alumnos de UABC.	136
Figura 7 Opción de ajuste de emisividad.	136
Figura 8 Lugar para la toma de termogramas.....	137
Figura 9 Colocación de parte para ajuste de la cámara al trípode.....	137
Figura 10 Ensamblaje de cámara a tripié.	138
Figura 11 Termograma en el cual se verifica el enfoque de la imagen.	138
Figura 12 Diagrama de flujo de la metodología de mediciones. Fuente: Živčák et al., 2011.	146
Figura 13 Toma de la cara del estudiante.....	147
Figura 14 Parte dorsal de la mano.	148
Figura 15 Parte palmar de la mano.	148
Figura 16 Registro de temperatura en dorso.	148
Figura 17 Datos de temperatura en palmas.	148
Figura 18 Termograma cara de trabajador.	150
Figura 19 Imagen térmica en cara.	150
Figura 20 Termograma dorso.	151
Figura 21 Termograma palma.....	151
Figura 22 Figura 21 Termograma palma.	151
Figura 23 Imagen térmica palma.....	151
Figura 24 Toma en parte dorsal.....	152
Figura 25 Toma en palma.	152
Figura 26 Toma cara.....	152
Figura 27 Cara del trabajador.....	152
Figura 28 Termografía dorso.....	152
Figura 29 Termografía palma.....	152
Figura 30 Termograma dorso.....	153
Figura 31 Termograma palma.....	153
Figura 32 Imagen termográfica dorso.	153
Figura 33 Imagen termográfica palma.....	153
Figura 34 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Lijado en dorso.	168
Figura 35 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Lijado en dorso.	169

Figura 36 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Lijado en palma.	169
Figura 37 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Lijado en palma.	169
Figura 38 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Tolex en dorso.	170
Figura 39 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Tolex en dorso.	170
Figura 40 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Tolex en palma.	171
Figura 41 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Tolex en palma.	171
Figura 42 Gráficos de diferencias de temperatura mínimas entre los puntos TminD (muñeca derecha zona palmar)-TminI (muñeca izquierda zona palmar) en Lijado.	172
Figura 43 Gráficos de diferencias de temperatura mínimas entre los puntos TminD (muñeca derecha zona palmar)-TminI (muñeca izquierda zona palmar) en Tolex.	172
Figura 44 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Lijado en dorso.	173
Figura 45 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Lijado en dorso.	173
Figura 46 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Lijado en palma.	174
Figura 47 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Lijado en palma, únicamente registrada para el lapso de 20 minutos.	174
Figura 48 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Tolex en dorso.	175
Figura 49 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Tolex en dorso.	175
Figura 50 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Tolex en palma.	176
Figura 51 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Tolex en palma.	176
Figura 52 Superficie de respuesta generada para el área de Lijado en Dorso para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Sexo y Lesión.	197
Figura 53 Superficie de respuesta generada para el área de Lijado en Palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 10 y los factores Sexo y Lesión.	198
Figura 54 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Edad y Tensión arterial.	198
Figura 55 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Edad y Ritmo cardíaco.	199
Figura 56 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Edad y Frecuencia respiratoria.	200
Figura 57 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Edad y Lesión.	200
Figura 58 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores T/A y Ritmo cardíaco.	200
Figura 59 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores T/A y FR.	201
Figura 60 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores T/A y Lesión.	201
Figura 61 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Ritmo cardíaco y FR.	202
Figura 62 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Ritmo cardíaco y Lesión.	202
Figura 63 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores FR y Lesión.	203

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación1. Calor transmitido por conducción.....	46
Ecuación 2. Emisividad	58
Ecuación 3. Principio de termografía.....	61

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario.....	214
----------------------------	-----

1. ANTECEDENTES.

Durante la última década, en casi todas las ramas del sector de producción y servicios se ha hecho un gran esfuerzo por mejorar la productividad y la calidad. Este proceso de reestructuración ha generado una experiencia práctica que demuestra claramente que la productividad y la calidad están directamente relacionadas con el diseño de las condiciones de trabajo. Una medida económica directa de la productividad, los costes del ausentismo por enfermedad, está relacionada con las condiciones de trabajo. Así, debería ser posible aumentar la productividad y la calidad y evitar el ausentismo prestando más atención a la concepción de las condiciones de trabajo.

En resumen, algunos estudios de la ergonomía moderna confirman que el dolor y el agotamiento causan riesgos para la salud, pérdidas en la productividad y disminución de la calidad, que son las medidas de los costes y beneficios del trabajo humano. Lo anterior, puede ser contrastado con la medicina del trabajo, que generalmente se ocupa exclusivamente de establecer la etiología de las enfermedades profesionales. El objetivo de la medicina del trabajo es establecer las condiciones en las que se minimice la probabilidad de desarrollar dichas enfermedades.

Con la aplicación de los principios de la ergonomía, estas condiciones pueden definirse más fácilmente en forma de demandas y limitaciones de carga. Puede decirse que la medicina del trabajo establece “limitaciones a través de estudios médico-científicos”.

1.1 Ergonomía

La ergonomía tradicional considera que su papel consiste en definir los métodos que permiten poner en práctica las limitaciones que establece la medicina del trabajo, a través del diseño y la organización del trabajo. Así, la ergonomía tradicional se refiere como aquella que desarrolla “correcciones a través de estudios científicos”, donde “correcciones” son todas aquellas recomendaciones para la concepción del trabajo en las que se presta atención a los límites de carga sólo para evitar los riesgos para la salud. Una característica de estas

recomendaciones correctivas es que quienes las practican se quedan finalmente solos en su tarea de aplicarlas, dado que no existe un trabajo de equipo multidisciplinario.

El objetivo de origen de la ergonomía contrasta con esta “ergonomía correctiva”: Etimológicamente, el término “ergonomía” proviene del griego “nomos”, que significa norma, y “ergo”, que significa trabajo. Podría proponerse que la ergonomía debería desarrollar “normas” para una concepción prospectiva del diseño más encaminada hacia el futuro. Al contrario de la “ergonomía correctiva”, la idea de la ergonomía prospectiva se basa en aplicar recomendaciones ergonómicas que tienen en cuenta, simultáneamente, los márgenes de beneficios.

Las normas básicas para el desarrollo de este enfoque pueden deducirse de la experiencia práctica y fortalecerse con los resultados de la higiene del trabajo y las investigaciones ergonómicas. En otras palabras, el término ergonomía prospectiva significa buscar alternativas en el diseño del trabajo que eviten la fatiga y el agotamiento del trabajador, con el objeto de promover la productividad humana (“...en beneficio propio y de los demás”).

Este enfoque global de la ergonomía prospectiva incluye el diseño del equipo y del lugar de trabajo, así como el diseño de las condiciones de trabajo determinadas por una cantidad cada vez mayor de procesamiento de la información y una organización del trabajo en continua evolución. La ergonomía prospectiva es, por lo tanto, un enfoque interdisciplinario de investigadores y médicos de muy diversos campos unidos por el mismo objetivo, y parte de una base general para una concepción moderna de la salud y la seguridad en el trabajo.

Ergonomía significa literalmente el estudio o la medida del trabajo. En este contexto, el término trabajo significa una actividad humana con un propósito, lo que permite deducir que va más allá del concepto más limitado del trabajo como una actividad para obtener un beneficio económico, al incluir todas las actividades en las que el trabajador humano sistemáticamente persigue un objetivo, mismos que incluyen los deportes y otras actividades del tiempo libre, las labores domésticas, como el cuidado de los niños o las labores del hogar, la educación y la formación, los servicios sociales y de salud, el control de los sistemas de

ingeniería o la adaptación de los mismos, como sucede, por ejemplo, con un pasajero en un vehículo.

El trabajador, que es el centro del estudio, puede ser un profesional calificado que maneje una máquina compleja en un entorno artificial, un cliente que haya comprado casualmente un aparato nuevo para su uso personal, un niño dentro del aula o una persona con una discapacidad, reclusa a una silla de ruedas.

El ser humano es sumamente adaptable, pero su capacidad de adaptación no es infinita. Existen intervalos de condiciones óptimas para cualquier actividad. Una de las labores de la ergonomía consiste en definir cuáles son estos intervalos y explorar los efectos no deseados que se producirán en caso de superar los límites; por ejemplo, qué sucede si una persona desarrolla su trabajo en condiciones de calor, ruido o vibraciones excesivas, o si la carga física o mental de trabajo es demasiado elevada o demasiado reducida.

La ergonomía examina no sólo la situación pasiva del ambiente, sino también las ventajas para el trabajador y las aportaciones que éste/ésta pueda hacer si la situación de trabajo está concebida para permitir y fomentar el mejor uso de sus habilidades. Las habilidades humanas pueden caracterizarse no sólo en relación al trabajador humano genético, sino también en relación a habilidades más específicas, necesarias en situaciones determinadas, en las que resulta crucial un alto rendimiento. Por ejemplo, un fabricante de automóviles deberá tener en cuenta el tamaño y la fuerza física de los posibles conductores de un determinado modelo para garantizar que los asientos sean cómodos; que los controles se identifiquen con facilidad y estén accesibles; que la visibilidad, tanto delantera como trasera, sea buena y que los indicadores interiores sean fáciles de leer. También deberá considerar la facilidad para entrar y salir del coche.

En cambio, el diseñador de un coche de carreras considerará que el conductor tiene una constitución atlética, por lo que la facilidad para entrar o salir del vehículo, por ejemplo, no será tan importante e intentará ajustar todo el diseño del vehículo al tamaño y preferencias de un conductor determinado, para asegurar que éste pueda desarrollar todo su potencial y

habilidad como conductor o conductora. En cualquier situación, actividad o tarea, lo más importante es la persona o personas implicadas. Se supone que la estructura, la ingeniería y otros aspectos tecnológicos están ahí para servir al trabajador, y no al contrario.

La ergonomía, como adaptación de la tecnología de la ingeniería a las necesidades del trabajador, es cada vez más necesaria y más factible, gracias a los avances tecnológicos. El término ergonomía empezó a utilizarse alrededor de 1950, cuando las prioridades de la industria en desarrollo comenzaron a anteponerse a las prioridades de la industria militar. Singleton, describe detalladamente el desarrollo de la investigación y sus aplicaciones, a lo largo de los 30 años siguientes. Algunas organizaciones de las Naciones Unidas, en especial la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), comenzaron su actividad en este campo en el decenio de 1960.

El desarrollo de una técnica con bases científicas, que está en un punto intermedio entre las bien consolidadas tecnologías de la ingeniería y la medicina, se superpone inevitablemente con otras disciplinas. En términos de su base científica, gran parte del conocimiento ergonómico deriva de las ciencias humanas: anatomía, fisiología y psicología. Las ciencias físicas también han contribuido, por ejemplo, la solución de problemas de la iluminación, de la temperatura, del ruido o de las vibraciones.

Por lo anterior, es evidente que la naturaleza interdisciplinaria de la ergonomía y el hecho de que se trate de una disciplina relativamente reciente dificulta su inclusión en la organización existente. Al ser una actividad relacionada con las personas, se superpone con muchos otros campos de actividad, ya que las personas son el recurso básico y más generalizado de cualquier organización. La forma de incluirla dependerá de la historia y de los objetivos de cada organización en particular.

El criterio principal es que los objetivos de la ergonomía se comprendan y se valoren adecuadamente y que los mecanismos necesarios para la implementación de las recomendaciones se elaboren dentro de la organización.

1.1.1 Objetivos de la ergonomía.

Es evidente que las ventajas de la ergonomía pueden reflejarse de muchas formas distintas: en la productividad y en la calidad, en la seguridad y la salud, en la fiabilidad, en la satisfacción con el trabajo y en el desarrollo personal. Este amplio campo de acción se debe a que el objetivo básico de la ergonomía es conseguir la eficiencia en cualquier actividad realizada con un propósito, eficiencia en el sentido más amplio, de lograr el resultado deseado sin desperdiciar recursos, sin errores y sin daños en la persona involucrada o en los demás. No es eficaz desperdiciar energía o tiempo debido a un mal diseño del trabajo, del espacio de trabajo, del ambiente o de las condiciones de trabajo. Tampoco lo es obtener los resultados deseados a pesar del mal diseño del puesto, en lugar de obtenerlos con el apoyo de un buen diseño.

El objetivo de la ergonomía es garantizar que el entorno de trabajo esté en armonía con las actividades que realiza el trabajador. Este objetivo es válido en sí mismo, pero su consecución no es fácil por una serie de razones. El trabajador es flexible y adaptable y aprende continuamente, pero las diferencias individuales pueden ser muy grandes. Algunas diferencias, tales como las de constitución física y fuerza, son evidentes, pero hay otras, como las diferencias culturales, de estilo o de habilidades que son más difíciles de identificar.

En vista de lo complejo de la situación, podría parecer que la solución es proporcionar un entorno flexible, en el que el trabajador pueda optimizar una forma específicamente adecuada de hacer las cosas. Desgraciadamente, este enfoque no siempre se puede llevar a la práctica, ya que la forma más eficiente no siempre resulta obvia y, en consecuencia, el trabajador puede seguir haciendo una cosa durante años de forma inadecuada o en condiciones inaceptables (Lauring et. al, 1998).

1.1.2 Ramas de la ergonomía

Como hemos visto hasta ahora, la aplicación de la ergonomía es vasta. Desde tiempo atrás se han desarrollado diversas bifurcaciones del concepto ergonómico, de manera que surgen dos nuevas ramas de dicha ciencia:

- ❏ **Macroergonomía:** optimización ergonómica de los Sistemas Hombre-Máquina.
- ❏ **Ecoergonomía:** la cual amplía mayormente el campo de la optimización ergonómica.

A su vez, existen múltiples clasificaciones de las áreas en las que interviene el trabajo de los ergonomistas:

- ❏ **Biomecánica y fisiología:** estudio del cuerpo humano desde el punto de vista mecánico y la biología.
- ❏ **Ergonomía ambiental:** se especializa en el estudio de los factores ambientales; es decir, las condiciones físicas que rodean al ser humano y que, por tanto, influyen en su desempeño para realizar diversas actividades. Incluye el ambiente térmico, visual, acústico, nivel de luz, vibraciones, distribución del puesto de trabajo, entre otros.
- ❏ **Ergoacústica:** encargada del estudio del ruido como elemento distorsionador, que puede interferir en la actividad laboral de la persona, así como su desempeño laboral.
- ❏ **Ergonomía cognitiva:** se enfoca en el proceso de recepción de señales e información, su habilidad para procesarla y actuar en base a ella y a su vez, considerando los conocimientos y experiencias previas.
- ❏ **Ergonomía preventiva:** trata sobre la relación entre las disciplinas encargadas de la seguridad e higiene en las áreas de trabajo, con el fin de estudiar y analizar las condiciones de seguridad, salud y bienestar laboral.

Entre otro de los aspectos de Ergonomía a considerar para el bienestar y preservación de la salud del trabajador, se encuentran los riesgos ergonómicos que se define como:

“la probabilidad de sufrir un evento adverso e indeseado (accidente o enfermedad) en el trabajo y condicionado por ciertos “factores de riesgo ergonómico”. A su vez, “Factores de Riesgo Ergonómico” son:

“un conjunto de atributos de la tarea o del puesto, más o menos claramente definidos, que inciden en aumentar la probabilidad de que un sujeto, expuesto a ellos, desarrolle una lesión en su trabajo.

http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3675/Riesgo_AnyaipomaTito_Yannet.pdf?sequence=1&isAllowed=y

1.1.3 Factores de riesgo

Los factores de riesgo son:

1. *Factores biomecánicos:* entre los que destacan la repetitividad, la fuerza y la postura:
 - ❏ Mantenimiento de posturas forzadas de uno o varios miembros, por ejemplo, derivadas del uso de herramientas con diseño defectuoso, que obligan a desviaciones excesivas, movimientos rotativos, etc.
 - ❏ Aplicación de una fuerza excesiva desarrollada por pequeños paquetes musculares/tendinosos, por ejemplo, por el uso de guantes junto con herramientas que obligan a restricciones en los movimientos.
 - ❏ Ciclos de trabajo cortos y repetitivos, sistemas de trabajo con materia prima en cadena que obligan a movimientos rápidos y con una elevada frecuencia.
 - ❏ Uso de máquinas o herramientas que transmiten vibraciones al cuerpo.
2. *Factores psicosociales:* trabajo monótono, falta de control sobre la propia tarea, malas relaciones sociales en el trabajo, penosidad percibida o presión de tiempo.

Existen características del ambiente de trabajo que son capaces de generar una serie de trastornos o lesiones, estas características físicas de la tarea (interacción entre el trabajador y el trabajo) dan lugar a los siguientes tipos de riesgos ergonómicos:

- ❏ Riesgos por posturas forzadas.
- ❏ Riesgos originados por movimientos repetitivos.
- ❏ Riesgos en la salud provocados por vibraciones, aplicación de fuerzas, características ambientales en el entorno laboral (iluminación, ruido, calor...).
- ❏ Riesgos por trastornos músculo esqueléticos derivados de la carga física (dolores de espalda, lesiones en las manos, etc.) .

<http://www.croem.es/prevergo/cd.html>

La postura es la posición que adopta el cuerpo al ejecutar una tarea, se considera generalmente que cuando más de una articulación excede los ángulos confortables de movimiento (posturas forzadas), cuando se adopta la misma posición sin posibilidad de

cambio (postura mantenida), se asume la misma postura por largo periodo de tiempo (postura prolongada) o se sostiene un segmento del cuerpo en elevación (postura anti gravitatoria) hay mayor riesgo de lesión. La postura es realmente el resultado de los métodos de trabajo y de las condiciones del puesto que requieren asumir una u otras posiciones.

Se han desarrollado guías de posturas para estaciones de trabajo en computadoras, en trabajos de pie, para trabajos de precisión, para trabajos livianos y pesados; sin embargo, las dimensiones recomendadas son sólo parámetros, pues dependen directamente de las características propias de cada trabajador y de su facultad para el movimiento.

Existen ciertas posturas ejecutadas durante el trabajo que mantenidas por tiempos prolongados se comportan como factores de riesgo que pueden influir en la aparición de sintomatología dolorosa por sus exigencias a nivel biomecánico, como las posturas bípedas que involucran flexión anterior y rotaciones bípedas que involucran flexión anterior y rotaciones de tronco, así como la posición cuclillas o arrodillado. Se ha encontrado presencia de dolor o molestias en las extremidades inferiores, asociado a la postura de trabajo (bípedo prolongado) y a la necesidad de realizar frecuentes desplazamientos.

La repetición es la cuantificación del tiempo de una fuerza similar desempeñada durante una tarea, a medida que aumenta el número de repeticiones, aumenta el riesgo de lesión. Los segmentos corporales tienen diferente grado de tolerancia a la repetición por ejemplo los músculos y articulaciones de los dedos son muy resistentes al movimiento, la velocidad y la repetición, pero su tolerancia a la ejecución de fuerza es baja, contrario a lo que ocurre con los músculos de la espalda, muy resistentes a la fuerza y poco tolerantes a la repetición. La repetición al igual que los demás condicionantes del trabajo se encuentra influenciada por la fuerza, la postura, duración y el tiempo de recuperación (Ordoñez et al., 2016)

1.2 Movimientos Repetitivos

¿Qué situaciones se realizan movimientos repetitivos?

Cuando se realizan movimientos parecidos o idénticos durante gran parte del tiempo de trabajo de manera muy repetitiva (es decir, varias veces por minuto). Mientras está

trabajando, el operario suele tener escaso control sobre el ritmo y la velocidad del trabajo, sobre el orden en que se suceden las tareas y sobre los horarios de actividad y de descanso. Lo normal es que no pueda abandonar de lugar de trabajo sin hacerse sustituir por otra persona.

Ejemplos:

- Cadenas de montaje.
- Operaciones de caja.
- Carga de empaquetadoras.

¿Por qué son perjudiciales los movimientos repetitivos?

El esfuerzo muscular repetitivo durante largos periodos produce fatiga muscular y ésta, a su vez, puede ocasionar – si no se asegura una recuperación suficiente – cambios irreversibles en la estructura muscular. Estos efectos pueden aparecer también, aunque las fuerzas ejercidas hayan sido de escasa intensidad. Frecuentemente, los movimientos repetitivos van acompañados de esfuerzos estáticos y en particular los asociados a determinadas posturas.

¿Cómo pueden evitarse los movimientos repetitivos?

Recomendaciones para los trabajadores:

- Evite utilizar los mismos músculos durante periodos prolongados.
- Procure variar los movimientos, para evitar que los músculos actúen de manera repetitiva. Cuando la tarea es muy monótona, puede que no haya mucho margen para alterar la rutina.
- Cambie frecuentemente de postura para reducir los esfuerzos estáticos.
- Haga pausa para descansar.

Recomendaciones a los empresarios:

- Modifique la organización del trabajo, por ejemplo, estableciendo turnos, diversificando las tareas o haciendo que el trabajo resulte más agradable, para reducir la repetitividad de la actividad laboral.
- Permita que el trabajo decida por sí mismo los periodos de descanso.
- Mecanice las tareas monótonas inevitables que requieran un gran esfuerzo (Luttmann et. al, 2004).

La vibración es la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones posteriores a un movimiento repetido, que puede definirse mediante dos parámetros: la intensidad y la frecuencia. La exposición a la vibración de cuerpo entero está relacionada con la presencia de dolor de espalda baja en exposiciones cortas de tiempo y con cambios morfológicos de la columna lumbar en exposiciones prolongadas mayores a 10 años. La vibración segmentaria puede causar insuficiencia vascular de la mano y dedos (enfermedad de Raynaud), e inferir en los receptores sensoriales de la fuerza de agarre de los dedos, también está fuertemente relacionada con la presencia de túnel del carpo.

La fuerza es la tensión producida en los músculos por el esfuerzo requerido para el desempeño de una tarea como levantar o manipular una carga, hacer un agarre, ejecutar una herramienta, etc., se presume que a mayor fuerza mayor grado de riesgo, especialmente en los grandes segmentos corporales como el hombro, el cuello y la espalda baja. El agarre a su vez es definido como la confrontación de la mano a un objeto acompañado de la aplicación de una fuerza para manipularlo, existen agarres finos ejecutados con los dedos y agarres potentes ejecutados con la palma de la mano, por tanto si se requiriera un movimiento para ejecutar fuerza potente y tuviera que realizarse con los dedos aumentaría notoriamente el riesgo de lesión, de todas maneras el tamaño de la mano, del objeto y la utilización de guantes influye en la presencia de lesión y la ejecución de fuerza necesariamente se ve afectada por otros factores como la postura, la aceleración, la velocidad, la repetición y la duración.

El ambiente de trabajo se caracteriza por la interacción entre el trabajador, con sus propias características y dimensiones de estatura, fuerza, peso, género, rangos de movimiento, intelecto, educación, expectativas, etc., el puesto de trabajo que comprende herramientas, mobiliario, exigencias, controles, horarios, tiempos de descanso y el ambiente de trabajo que comprende la temperatura, iluminación, ruido, vibraciones y otras cualidades atmosféricas. La interacción de estos aspectos determina las condiciones en las cuales se realiza la tarea y sus demandas físicas. Cuando éstas aumentan, el riesgo de lesión también aumenta y cuando sobrepasa las capacidades del trabajador éste puede lesionarse.

La temperatura es la magnitud o medida de la cantidad de calor presente en un cuerpo. El cuerpo humano tiene un sistema regulador que le permite mantener el equilibrio en una temperatura constante de 36 grados. El estrés provocado por alta temperatura ambiental o metabólica, puede causar una condición de desequilibrio hidroelectrolítico que pone en peligro la vida del trabajador o provocarle daños irreversibles en su salud. En exposición menos traumática puede provocar fatiga, calambres, pérdida de la capacidad física y mental durante el trabajo. La exposición al frío puede causar estremecimiento, pérdida de la conciencia, dolor agudo, pupilas dilatadas y fibrilación ventricular y en exposiciones más bajas reducir la fuerza de agarre con los dedos y la pérdida de la coordinación. Se ha encontrado asociación entre la prevalencia de sintomatología dolorosa y la exposición a carga física laboral en presencia de bajas temperaturas (Ordoñez et al., 2016).

1.3 Desorden de Trauma Acumulado

Los trastornos músculoesqueléticos (TME) son enfermedades caracterizadas por una condición anormal de huesos, músculos, tendones, nervios, articulaciones o ligamentos que trae como consecuencia una alteración de la función motora o sensitiva. Estas patologías surgen cuando se sobre exige una determinada estructura y se excede el período de recuperación viscoelástico necesario de los tejidos demandados; lo que generalmente es causado por un esfuerzo mecánico excesivo de estas estructuras biológicas, en otras palabras, cuando se experimenta fuerzas directas o de torsión muy intensas. Como consecuencia, los TME pueden generar una gran cantidad de dolor y sufrimiento en los trabajadores afectados, disminuir la productividad y calidad de su trabajo, y en algunos casos hasta ocasionar discapacidad. Dependiendo del evento que lo causa, pueden distinguirse dos categorías de TME: los causados por traumas agudos, como resbalones o caídas, y los causados por exposición repetida a un tipo de actividad física, llamados también *desórdenes traumáticos acumulativos (DTA)*. El término acumulativo es indicativo de que esas lesiones se desarrollan gradualmente sobre períodos de semanas, meses o inclusive años como resultado de estrés repetido sobre una parte del cuerpo particular. Por otro lado, cuando los TME son causados, agravados o acelerados por las condiciones laborales o por la realización de la tarea, suele hacerse la acotación de que se trata de “TME relacionados al trabajo”, para diferenciarlos de aquellos con una vinculación distinta. En la literatura es posible encontrar diversos términos

para referirse a los TME, entre ellos se encuentran: desorden traumático acumulativo, lesión por esfuerzo repetitivo, síndrome por sobreuso, y problemas músculo-esqueléticos. La Organización Internacional del Trabajo, en la clasificación de enfermedades profesionales, las denomina enfermedades del sistema osteomuscular (Márquez Gómez, 2015).

Las actividades de la vida diaria, tales como escribir en el teclado, barrer, trapear, planchar la ropa, así como el uso de herramientas manuales como tijeras o cuchillos, el trabajo repetitivo en las líneas de ensamble, levantamiento repetitivo, actividades que involucran el movimiento repetitivo de diferentes partes de nuestro cuerpo. Se ha probado que las actividades repetitivas hacen del trabajo una actividad particularmente riesgosa, de tal modo que es la causa primaria de la fatiga muscular. De acuerdo con el Buró de Estadísticas Laborales de Estados Unidos, en 2002, se registraron más de 345, 000 daños en la espalda por consecuencia del trabajo, relacionados con la fatiga muscular, de los cuales se requirieron tiempo fuera del trabajo (Chattopadhyay et. al, 2012).

Los DTA's son lesiones que aparecen comúnmente en las personas debido a tres factores importantes: repetición, postura incómoda y la aplicación de fuerza por periodos largos; éstos causan repercusiones en la persona al tener una lesión y dependiendo del tipo de desorden que padezca, una persona con DTA presenta una incapacidad para desempeñarse completamente.

Según Freivalds, “los DTA's, son lesiones al sistema músculo-esquelético que se desarrollan gradualmente como resultado de microtraumatismos repetidos debido a un mal diseño y al uso excesivo de herramientas de mano y otros equipos”. Existen muchas causas posibles que pueden provocar un DTA, el riesgo puede estar relacionado con la ocupación, o con actividades personales de cada individuo, en esta investigación nos enfocaremos a los riesgos ocupacionales; es decir, los referentes al trabajo que desempeña una persona. Entre los factores ocupacionales, que contribuyen a la aparición de DTA se encuentran, las actividades enérgicas y repetitivas, carga muscular estática, postura del cuerpo, tensión mecánica, vibración y frío, por mencionar las más comunes (Campiño & De la Vega Bustillos, 2012).

Un DTA puede ser descrito como un deterioro o daño que sufren las articulaciones y los tejidos que le rodean por causa de un sobre uso. Cada coyuntura o articulación puede ser potencialmente afectada, pero la espalda baja y las extremidades o miembros superiores son las áreas que reciben frecuentemente más daños.

Los DTA's generalmente pasan desapercibidos para la población en general, aún y que cuando menos una vez en sus vidas han experimentado los síntomas de los mismos, tales como un dolor leve en la parte baja de la espalda.

Frecuentemente, un desorden traumático puede ser temporal y con dolores leves. Pero en las formas más severas, un DTA puede ser muy doloroso y puede causar una incapacidad permanente. Este tipo de desórdenes pueden interferir con todos los aspectos diarios de un ser humano. A pesar de que existen diferencias basadas en el tipo de desorden y la parte del cuerpo afectada, los síntomas de este tipo de desórdenes incluyen:

- * Molestias, dolor y malestares.
- * Limitado margen de movimiento.
- * Rigidez o engarrotamiento de coyunturas.
- * Entumecimiento, sensaciones de picazón.
- * Tensión muscular.
- * Reducción de la sudoración en las manos.
- * Ruidos de estallamiento y chasqueo en las coyunturas.
- * Sensaciones de que alguna parte se está quemando (fuego).
- * Hinchazón y enrojecimiento.
- * Sensación de piquetes de agujas y alfileres.
- * Debilidad y torpeza de las partes afectadas.

Jean Paul Becker, nos dice que generalmente al sufrir una lesión traumática acumulativa generalmente se pasa por las siguientes etapas:

Etapas tempranas: El cuerpo duele y se siente cansado al trabajar, pero los síntomas desaparecen durante el tiempo fuera del trabajo. La lesión no interfiere con la habilidad de laborar. La lesión traumática acumulativa es reversible si es tratada apropiadamente.

Etapas intermedias: El área lesionada empieza a doler y muestra debilidad casi al principio de la jornada y permanece así después de finalizar esta. La realización del trabajo es más difícil. La lesión traumática acumulativa es todavía reversible si es tratada apropiadamente.

Etapas tardías: El área lesionada duele y muestra debilidad hasta en reposo. Se afecta el sueño. Aún las tareas ligeras se hacen muy difíciles. La lesión traumática ya no es reversible, pero sus efectos pueden ser aligerados si son tratados apropiadamente.

1.3.1 Terminología y patología de los DTA's

José D. Porter, indica que para entender la patología de los DTA's es necesario recordar que los músculos tienen su origen en un hueso, pasan a través de una articulación y terminan en un tendón, el cual se inserta a su vez en otro hueso. Algunos tendones, principalmente aquellos que se encuentran alrededor de la muñeca, están encerrados en una suave funda lubricante por la cual atraviesan. Esta funda es conocida como funda o vaina sinovial.

En la base de la muñeca, por el lado de la palma de la mano, los tendones que se dirigen hacia los dedos están agrupados en el túnel ligamentoso conocido como túnel carpiano, el cual evita que estos se separen al momento de la contracción de los músculos flexores del antebrazo. También pasan a través de este túnel pequeños vasos sanguíneos y fibras del nervio mediano. Este último, proporciona fibras nerviosas al dedo pulgar, al índice y al cordial, así como a la mitad del dedo anular.

Las mismas articulaciones están lubricadas por una membrana llamada, membrana sinovial. Otros elementos anatómicos involucrados son los músculos y sus inserciones en los huesos. En particular, existen músculos encargados de la pronación, o giro interior del antebrazo, y la supinación, o giro externo del antebrazo; estos músculos tienen sus inserciones en las esquinas exteriores del húmero a la altura del codo y son mejor conocidos como epicóndilos medio y lateral, respectivamente.

La inflamación, hinchazón, dolor, e incremento en la sensibilidad puede ocurrir en cualquiera de estas estructuras y, aunque las condiciones resultantes son básicamente las mismas, cada una de ellas se identifica con un nombre particular, dependiendo de la zona en la que ocurre. De esta manera el sufijo "itis", que significa inflamación, identifica los traumas acumulativos. Por ejemplo, hablamos de tendinitis cuando se trata de un tendón; de sinovitis cuando se trata de la membrana sinovial; tendosinovitis cuando se trata tanto del tendón como de la vaina que lo envuelve; epicondilitis cuando afecta los epicóndilos, etc. Una condición aparte, pero que se considera relacionada con las anteriores es el síndrome del túnel carpal, el cual ocurre cuando hay inflamación de las estructuras del túnel carpal (Aguirre, 2000).

❧ Los DTA's no resultan de un solo evento de exposición, sino de múltiples microtraumas que ocurren en las mencionadas estructuras, que sumando a un periodo extendido de tiempo, comienzan a producir síntomas y/o deterioro (Fonseca & Moraga López, 2010). Erdil et al., en 1997, hacen un recuento histórico del desarrollo de los problemas músculo-esqueléticos. Señalan que Ramazzini en 1713 pudo haber sido el primero en describir los desórdenes por trauma acumulado, al señalar que son “una enfermedad en oficinistas y escribas” resultado de “permanecer sentado constantemente, uso repetido de la mano en la misma forma y tensión de la mente”. Otra causa a la que atribuyó esta condición fue “a los movimientos violentos e irregulares y posturas antinaturales del cuerpo por lo cual la estructura natural de la máquina vital es alterada, de acuerdo con Violante et al., en 2000. Putz-Anderson (1998) los llaman DTA's y los definen a partir de los términos del concepto:

❧ *Acumulado*: indica que los daños se desarrollan gradualmente durante periodos de semanas, meses o años como resultado de esfuerzos repetidos en una parte del cuerpo en particular. El concepto se basa en que cada repetición de una actividad produce algún microtrauma o desgaste y desgarre de los tejidos y uniones de cuerpo.

❧ *Trauma*: significa daño corporal por estrés mecánico.

❧ *Desorden*: se refiere a enfermedad física o condición anormal.

Sin embargo, según Fonseca y López (2010) la exploración de los DSM (desórdenes del sistema musculoesquelético) por trauma acumulativo, cobró interés alrededor de los años 1830 a 1850, cuando se comenzaron a realizar estudios de productividad en el

área laboral (especialmente en el sector privado), donde poco a poco se evidenció un común denominador entre los tipos de molestias reportadas y el tipo de trabajo realizado.

Desde entonces, cada año éstos son causantes de miles de millones de dólares en pérdidas, tanto en la productividad como en los costes sanitarios y sociales, por lo que se han realizado numerosos estudios (alcanzando gran especificidad por área laboral) dirigidos a identificar la naturaleza de este tipo de lesiones, determinando que la causa de este tipo de lesiones es multifactorial (Fonseca & Moraga López, 2010).

Se ha evidenciado mediante muchos estudios que estos problemas primordialmente son causados, precipitados o agravados por una serie de factores ocupacionales como las actividades de fuerza y repetitivas, la carga muscular estática, la postura inadecuada del cuerpo, las vibraciones, y en general, están asociados con sobreuso y sobre ejercicio. Igualmente se ha evidenciado que hay factores no ocupacionales, como los individuales (tales como peso, talla, sexo, edad, desarrollo muscular, estado de salud, características genéticas, adiestramiento, aptitud física para la ejecución de tareas específicas, acondicionamiento físico, adecuación de ropas, calzados y otros efectos personales llevados por el trabajador) y los ambientales (tales como las temperaturas extremas, el ruido, la humedad, la iluminación, la organización del trabajo) que contribuyen a la etiología de tales desórdenes (Estrada J., et al, 2002).

Desde un punto de vista anatómico hay tres tipos básicos de desórdenes en la extremidad superior: en el tendón, en los nervios o neuromuscular (Prado, et al., 2009).

Los DTA's más frecuentes en el miembro superior son la tendinitis, la sinovitis, la epicondilitis y el síndrome de túnel carpiano (STC); sin embargo, también se presentan la tenosinovitis, la enfermedad de Quervain, la periartritis y la neuritis cubital. En otras regiones del cuerpo aparecen mialgias, desórdenes en la espalda (cervical, dorsal y lumbar), así como también en miembros inferiores (Estrada, J., et. al., 2002).

Tendinitis. Este concepto ha sido y todavía es usado en muchas ocasiones para definir un síndrome clínico doloroso, sin que necesariamente existiera un proceso inflamatorio subyacente, tal y como el sufijo *-itis* parece indicar. En la actualidad, la mayor parte de las lesiones catalogadas anteriormente como tendinitis se incluyen en el grupo de las tendinosis. Por tanto, atendiendo a los conceptos actuales, sólo deberíamos hablar de tendinitis cuando existiera un verdadero proceso inflamatorio en el espesor del tendón. Este hecho es poco frecuente en la lesión por sobrecarga y aparece casi exclusivamente en el contexto de las enfermedades inflamatorias sistémicas con afectación osteoarticular (Abellán, 2010).

La sinovitis es una inflamación de la membrana sinovial, la membrana situada en la parte interna de las articulaciones que secreta un líquido, la sinovia, cuyo fin es facilitar el deslizamiento. La sinovitis puede acompañarse de un derrame, es decir, de una acumulación de líquido en la articulación. A nivel de la rodilla, esta afección es frecuente y la rodilla se hincha, se vuelve dolorosa y sus movimientos se reducen. La sinovitis de la rodilla es frecuente en la poliartritis reumatoide.

La periartritis escapulo-humeral es un término genérico que designa los dolores en hombro. Se trata de una patología tan frecuente como el dolor de espalda, que aparece generalmente a partir de los 20 años y que se agrava con el tiempo convirtiéndose en una tendinopatía. Los dolores, que se extienden hasta el brazo, son provocados por un disfuncionamiento de la articulación del hombro.

<https://salud.ccm.net/faq/15507-periartritis-escapulo-humeral-definicion>

Neuritis cubital. Un nervio es una estructura de nuestro sistema nervioso que transporta estímulos sensitivos, motores o ambos. El nervio cubital, llamado así por discurrir por el territorio del hueso cúbito, es un nervio tanto sensitivo como motor. Motor porque actúa sobre ciertos músculos del antebrazo para darles movimiento; sensitivo porque recoge la información sensitiva de una parte de la palma y el dorso de la mano. A la altura del codo el nervio pasa por un canal llamado canal cubital. En este lugar el nervio cubital tiende a atraparse. La compresión originada por el atrapamiento genera cierta destrucción de la

cubierta que recubre al nervio o directamente del nervio en sí, ocasionando una limitación parcial o total del envío de señales nerviosas. Con ello se producen ciertos signos y síntomas a los que, al manifestarse, llamamos síndrome del nervio cubital. Es el segundo síndrome de atrapamiento más frecuente, después del síndrome del túnel carpiano (Sánchez, 2015).

Mialgia. El término mialgia designa un dolor más o menos intenso y prolongado, puede ser localizado o difuso y afectar a cualquier músculo estriado esquelético del cuerpo humano. En estos músculos, capaces de contraerse, se reagrupan la mayor parte de los músculos del torso, los brazos y las piernas y se controlan a voluntad, a diferencia de los llamados músculos lisos de control automático. El dolor puede ser espontáneo, como por ejemplo en el caso de las agujetas después de haber hecho ejercicio físico o en el cuadro de una gripe, por ejemplo. Otras causas son posibles y en su mayoría benignas

<https://salud.ccm.net/faq/9309-mialgias-sintomas>

Desórdenes en la espalda. Dentro de los desórdenes en la espalda se encuentran los desórdenes cervical y lumbar.

Síndrome cervical por tensión. Corresponde a un cuadro clínico doloroso producido por una contractura muscular incontrolable y persistente en la región cervical posterior, que afecta a un músculo o a un grupo muscular. La contractura comprime los pequeños vasos que aportan sangre al músculo, dificultando así la irrigación sanguínea y favoreciendo aún más la contractura, e impidiendo su recuperación. Los músculos que con mayor frecuencia se ven afectados por la contractura son los músculos del trapecio (el más superficial en la zona posterior de cuello) y el elevador de la escápula.

https://www.insst.es/documents/94886/518407/Sindrome_Tension_Cervical.pdf/33d88a96-683e-468c-8c05-386958a5f05f#:~:text=Definici%C3%B3n%3A,m%C3%BAsculo%20o%20a%20un%20grupo%20muscular.

La lumbalgia es una contractura dolorosa y persistente de los músculos que se encuentran en la parte baja de la espalda, específicamente en la zona lumbar, siendo muy común en la población adulta. Esta contractura es de etiología multicausal. Una vez instaurada, se produce un ciclo repetido que la mantiene debido a que los músculos contraídos comprimen los

pequeños vasos que aportan sangre al músculo, dificultando así la irrigación sanguínea y favoreciendo aún más la contractura, dificultando su recuperación. La diferencia entre lumbago agudo y crónico está relacionada con su duración. Según un criterio bastante extendido, si el dolor dura menos de tres meses se considera agudo, mientras que el dolor crónico corresponde a un dolor que supera los tres meses de duración y puede causar incapacidades severas para quien lo padece.

<https://www.insst.es/documents/94886/518407/Lumbalgia.pdf/c9dcbeb8-22ee-400c-98f4-892849ed142f#:~:text=Lumbalgia%20aguda%20o%20cr%C3%B3nica,contractura%20es%20de%20etiolog%C3%ADa%20multicausal.>

La Epicondilitis lateral y medial del codo son estados dolorosos en las inserciones musculares de los epicóndilos del codo que aparecen unidas a contracturas musculares y puntos gatillo, algunas producen un dolor referido que irradia hacia los dedos y la columna cervical. Las causas no están determinadas claramente, pero se relaciona con signos de desgaste en el origen, de los tendones extensores de la mano y de los dedos, generados por sobrecargas o micro traumatismos crónicos. Aparece frecuentemente cuando se efectúan actividades no habituales o se aumenta la cantidad habitual de las mismas (sobreesfuerzo), lo que produce una mayor carga en los extensores del brazo. Con ello los movimientos repetitivos son la suficiente fase de relajación tiene una importancia especial, pues superan la capacidad aeróbica del tendón muscular provocando alteraciones regresivas. Estas actividades pueden ser tocar el piano, escribir en el computador, trabajos excesivos con el destornillador y determinados gestos deportivos.

Estas afecciones son las principales causas de consulta por dolor de codo, especialmente la epicondilitis externa o lateral también llamada codo de tenista. El riesgo de presentar estas lesiones aumenta con la edad y el número de años de exposición encontrando el pico de máxima incidencia entre los 40 y 50 años de edad. La incidencia más alta se presenta en las ocupaciones que son intensas manualmente con altas demandas de trabajo en ambientes dinámicos, como mecánicos, carniceros, trabajadores de la construcción y chefs. Otras industrias relacionadas son instaladores de paredes y techos, manufactureras de productos de papel, muebles, constructores.

El síndrome de túnel carpiano es la compresión del nervio mediano a través del túnel del carpo, formado por los huesos carpianos, la banda carpiana y los tendones de los músculos flexores de la muñeca. Se caracteriza por parestesias, adormecimiento, hormigueo, dolor, sensación de calor y ocasionalmente atrofia muscular, en la región del pulgar, segundo y tercer dedo de la mano especialmente en horas de la noche y puede irradiarse al antebrazo o al hombro. Este síndrome ocurre en personas que durante sus actividades laborales realizan movimientos repetidos de flexión y extensión de muñeca y desviaciones radio-ulnares, combinadas o no, durante actividades como conducir un automóvil o sostener un libro o periódico, escribir en el computador, tejer, bordar y en actividades que requieran precisión y destreza de la mano, es más prevalente entre los años 40 y años 60 y afecta 4 a 5 veces más frecuentemente a mujeres que a hombres.

La tenosinovitis de Quervain consiste en la inflamación y estrechamiento de la vaina del tendón alrededor del abductor largo y el extensor corto del pulgar provocando dolor y ocasionalmente aumento de volumen en el borde distal externo del radio. EL dolor aumenta con el pulgar doblado sobre la palma de la mano y en la desviación ulnar de la muñeca. Es más frecuente en mujeres jóvenes y está relacionado con actividades repetitivas. Las condiciones del trabajo relacionadas con la tenosinovitis de Quervain son los agarres fuertes, movimientos frecuentes en desviación radial, manipulación de herramientas con mangos muy grandes o muy pequeños, movimientos contra resistencia de los dedos, movimientos de los dedos asociados con presiones externas en la zona de la palma o de la muñeca (Ordoñez et al., 2016).

Enfermedad de Quervain. Es la más conocida tenosinovitis estenosada. Cuando la superficie del tendón se irrita y endurece constantemente y al mismo tiempo la vaina se inflama y continúa presionando sobre el tendón, se presenta la estenosis. Ésta se refiere a una progresiva constricción de la vaina del tendón.

Dicho desorden afecta los tendones laterales de la muñeca y la base del pulgar. Los tendones, conectados a los músculos sobre la parte trasera del antebrazo, jalan el pulgar hacia atrás y sobre la mano. La enfermedad de Quervain se atribuye al exceso de fricción entre los dos tendones del pulgar y su vaina común, que deriva en la constricción de los tendones.

La combinación de girar la mano y apretar fuerte, similar al movimiento de los broches en la ropa, puede ocasionar suficiente estrés sobre el tendón para causar este problema.

Suele presentarse por el uso constante del ratón, que por lo general es manipulado con el dedo pulgar (Prado et al., 2009).

1.4 Termografía Infrarroja

En lo que respecta a la detección de problemas de salud en los trabajadores, existen diversas investigaciones, cuyo punto de apoyo radica en el uso de la termografía infrarroja (TI).

La TI es una técnica que permite, a distancia y sin contacto, medir y visualizar temperaturas de superficies con precisión, siendo esto posible gracias a que todos los cuerpos emiten radiación infrarroja y esta energía irradiada es proporcional a la temperatura superficial. Como lo expresan Sanz, et al. en 2008, la cámara infrarroja recibe y cuantifica dichas radiaciones térmicas emitidas y reflejadas por los diferentes materiales y las transforma en imágenes digitales. Además, De Grado (1998) afirma que los cuerpos emiten esta radiación debido a la vibración y rotación propia de los átomos y moléculas que componen un material.

1.4.1 Historia de la termografía infrarroja

La historia de la TI se remonta a los años de 1800, cuando Sir William Herschel, astrónomo alemán, en momentos que buscaba un filtro óptimo para su telescopio, observó que ciertos cristales coloreados dejaban pasar más calor solar que otros; midió entonces los diferentes haces de colores en que se descompone la luz solar al atravesar un prisma de Newton, y encontró que la temperatura iba creciendo desde el violeta hasta el rojo, pero que la mayor temperatura se registraba en una zona oscura, fuera del haz visible, más allá del color rojo, conocida hoy en día como la radiación infrarroja, llamada en sus inicios “calor oscuro”, en el espectro electromagnético, la región de la radiación infrarroja está comprendida aproximadamente entre los 0,7 μm y 1.0 μm ., de longitud de onda (Morales et al., 2011).

El descubrimiento fue accidental y se produjo durante la investigación de un nuevo material óptico. Sir William Herschel, astrónomo real del rey Jorge III de Inglaterra y ya famoso anteriormente por haber descubierto el planeta Urano, estaba investigando con el fin de

encontrar un material para filtros ópticos que lograra reducir el brillo de la imagen del sol en los telescopios al realizar observaciones solares. Al probar diferentes muestras de cristales de colores que proporcionaban similares reducciones del brillo, le llamó la atención descubrir que algunas de las muestras dejaban pasar muy poco calor solar, mientras que otras dejaban pasar tanto calor que podrían producir daños oculares tras unos pocos segundos de observación.

Inmediatamente, Herschel se dio cuenta de la necesidad de realizar un experimento sistemático, con el fin de descubrir un material que proporcionara la reducción deseada del brillo y al mismo tiempo la máxima reducción posible del calor. Empezó el experimento repitiendo el de prismas de Newton, pero buscando el efecto calorífico en lugar de la distribución visual de la intensidad en el espectro. Al principio oscureció el bulbo de un termómetro de mercurio con tinta y, utilizándolo como detector de radiación, procedió a probar el efecto calorífico de los diferentes colores del espectro que se formaban encima de una mesa haciendo pasar la luz del sol a través de un prisma de cristal. Otros termómetros, colocados fuera del alcance de los rayos del sol, servían como control.

A medida que el termómetro oscurecido se movía lentamente por los colores del espectro, las lecturas de las temperaturas mostraban un incremento fijo desde el extremo violeta hasta el rojo. Esto no era especialmente sorprendente, ya que el investigador italiano Landriani había observado exactamente el mismo efecto en un experimento similar realizado en 1777. No obstante, fue Herschel el primero en darse cuenta de que debía haber un punto en el que el efecto calorífico llegase al máximo y que las medidas confinadas a la parte visible del espectro no mostraban este punto.

Al mover el termómetro en la región oscura, más allá del extremo rojo del espectro, Herschel confirmó que el calor seguía aumentando. El punto máximo, cuando lo encontró, estaba mucho más allá del extremo rojo, dentro de la región que hoy conocemos como longitudes de onda infrarrojas.

Cuando Herschel reveló su descubrimiento, denominó a esta nueva región del espectro electromagnético (espectro termométrico). A veces hizo referencia a la propia radiación como calor oscuro o simplemente los rayos invisibles. Irónicamente y contradiciendo la opinión popular, no fue Herschel el que acuñó el término infrarrojo. Esta palabra sólo empezó a utilizarse en documentos impresos unos 75 años después y su creador aun permanece en el anonimato.

El que Herschel utilizara cristal en los prismas de su experimento original provocó cierta controversia inicial con algunos de sus contemporáneos a cerca de la existencia real de las longitudes de onda infrarrojas. Diferentes investigadores, intentando confirmar la validez de su trabajo, utilizaron diferentes tipos de cristal de forma indiscriminada, obteniendo diferentes transparencias en los infrarrojos. En sus experimentos posteriores, Herschel observó la transparencia limitada del cristal a la radiación térmica recién descubierta y llegó a la conclusión de que las lentes utilizadas para los infrarrojos debían ser forzosamente elementos reflectantes (espejos curvos y lisos). Afortunadamente, en 1830 se descubrió que esto no era cierto, cuando el investigador italiano Melloni realizó su gran descubrimiento: la sal de roca (NaCl), que estaba disponible en cristales naturales lo suficientemente grandes para hacer lentes y prismas, es considerablemente transparente a los infrarrojos. La consecuencia fue que la sal de roca se convirtió en el principal material óptico para los infrarrojos y continuó siéndolo durante los 100 años siguientes, hasta que se dominó el arte de la creación de cristal sintético en los años 30.

Los termómetros fueron los únicos medidores de radiación hasta 1829, año en el que Nobili inventó el termopar. El termómetro de Herschel podía medir solamente hasta 0.2 grados C y los modelos posteriores podían hacerlo hasta 0.05 grados C. Posteriormente se produjo un gran descubrimiento: Melloni conectó varios termopares en serie para crear la primera termopila. El nuevo dispositivo era al menos 40 veces más sensible a la radiación calorífica que el mejor termómetro del momento. Era capaz de detectar el calor de una persona a una distancia de 3 metros.

La captura de la primera imagen de calor se hizo posible en 1840, como resultado del trabajo de Sir John Herschel, hijo del descubridor de los infrarrojos y famoso astrónomo por méritos propios. Basándose en la diferente evaporación de una fina capa de aceite al exponerla a un patrón de calor enfocado hacia ella, la imagen térmica podía verse gracias a la luz reflejada en los lugares en los que los efectos de interferencia de la capa de aceite hacían que la imagen fuese visible para el ojo humano. Sir John también consiguió obtener un registro primitivo de la imagen térmica en papel y lo llamó termografía.

Las mejoras en la sensibilidad de los detectores de infrarrojos fueron sucediéndose lentamente. Otro descubrimiento de gran importancia, realizada por Lagley en 1880, fue la invención del bolómetro. Éste consistía en una delgada tira de platino oscurecido conectada a uno de los brazos de un puente de Wheatstone sobre la que se enfocaba la radiación infrarroja y a la que respondía un galvanómetro sensible. En teoría, este instrumento era capaz de detectar el calor de una vaca a una distancia de 400 metros.

Un científico inglés, Sir James Dewar, fue el primero en utilizar gases líquidos como agentes enfriadores (por ejemplo, nitrógeno líquido con una temperatura de -196°C) en investigaciones a bajas temperaturas. En 1892 inventó un revolucionario contenedor aislante de vacío que permitía almacenar gases en estado líquido durante varios días. Los termos normales de hoy en día, que suelen utilizarse para conservar bebidas frías o calientes, están basados en su descubrimiento.

Entre los años 1900 y 1920, los inventores del mundo descurieron los infrarrojos. Se crearon muchas patentes de dispositivos para detectar personas, artillería, aviones, barcos e incluso icebergs. Los primeros sistemas que funcionaban en el sentido moderno comenzaron a desarrollarse durante la guerra de 1914 a 1918, cuando ambos bandos tenían programas de investigación dedicados a las aplicaciones militares de los infrarrojos. Estos programas incluían sistemas experimentales para la detección de intrusiones del enemigo, sensores de temperatura remotos, comunicaciones seguras y torpedos aéreos guiados. Un sistema de búsqueda por infrarrojos probado durante esta época fue capaz de detectar un avión aproximándose a una distancia de 1.5 km y una persona a una distancia de más de 300 metros.

Los sistemas más sensibles hasta la fecha estaban basados en variaciones sobre la idea del bolómetro, pero el período de entreguerras fue testigo del desarrollo de dos nuevos detectores de infrarrojos revolucionarios: el conversor de imágenes y el detector de fotones. Al principio, el conversor de imágenes fue el que más atención recibió por parte de los militares, ya que por vez primera en la historia permitía a un observador ver en la oscuridad literalmente. Sin embargo, la sensibilidad del conversor de imágenes estaba limitada a las longitudes de onda infrarrojas más cercanas y los objetivos militares más interesantes, por ejemplo los soldados enemigos, tenían que ser iluminados por haces infrarrojos de búsqueda. Dado que esto implicaba el riesgo de delatar la posición del observador a un observador enemigo con un equipo similar, es comprensible que el interés militar en el conversor de imágenes fuera reduciéndose progresivamente.

Las desventajas tácticas para los militares de los llamados sistemas térmicos de imagen activos proporcionaron un cierto impulso después de la guerra de 1939 a 1945, realizaron programas de investigación militar secretos y más ambiciosos, que tenían el objetivo de desarrollar sistemas pasivos (sin haz de búsqueda) tomando como base el extremadamente sensible detector de fotones. Durante este período, las normativas sobre los secretos militares evitaban por completo que se revelase el estado de la tecnología de imágenes infrarrojas. Este secretismo sólo empezó a desaparecer a mediados de los 50 y desde ese momento la ciencia y la industria civil empezaron a tener a su disposición dispositivos de imágenes térmicas adecuadas para sus necesidades (Revillas & Center, 2011).

1.4.2 Conceptos

TI, etimológicamente significa escritura con calor de lo que está por debajo del rojo. La imagen generada por la cámara se denomina termograma o imagen térmica o imagen radiométrica.

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del

espectro electromagnético. Utilizando cámaras termográficas podremos convertir la energía radiada en información sobre la temperatura.

Con esta definición, enseguida nos preguntamos cuál es la información térmica de un objeto y de qué dispositivos estamos hablando.

Pues bien, todos los objetos tienen una información térmica, imperceptible a simple vista pero que se pone de manifiesto mediante esos dispositivos, las cámaras termográficas.

Una cámara termográfica es el dispositivo que va a detectar el patrón térmico del cuerpo al que se apunta, en el espectro de la longitud de onda infrarroja y sin entrar en contacto con ese cuerpo.

Una imagen radiométrica es una imagen térmica que contiene cálculos de las medidas de temperatura en todos los puntos de la imagen.

La información térmica corresponde a un patrón, un estado puntual en cuanto a su temperatura. Se dice que es puntual ya que no se considera el objeto como algo aislado, más bien al contrario, estará bajo unas condiciones cambiantes, rodeado de otros objetos que le influyan, unas actuaciones, etc.

Existen en el mercado numerosos fabricantes de estos equipos, con múltiples características y gran variedad de precios. Vienen comercializándose desde los años setenta, aunque existen desde mucho antes pero usados en aplicaciones militares. Desde hace tiempo, su evolución ha sido muy notable y año a año salen al mercado nuevas cámaras con nuevas herramientas y aplicaciones sorprendentes, y la tendencia seguirá siendo esa, la evolución y mejora continua.

Asimismo, se hace necesario hablar del espectro electromagnético, al que no se está habituado a pesar de estar bajo su influencia constantemente, si a la longitud de onda visible, aunque de tan común que es ni nos planteamos lo que conlleva.

El espectro electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda.

Una onda es la propagación de una perturbación que transfiere energía progresivamente de un punto a otro a través de un medio y que puede tener la forma de deformación elástica, una variación de presión, intensidad magnética o eléctrica o de temperatura.

Los elementos que describen toda onda son:

- a) Cresta: La cresta es el punto más alto de dicha amplitud o punto máximo de saturación de la onda.
- b) Período: El período es el tiempo que tarda la onda en ir de un punto de máxima amplitud al siguiente.
- c) Amplitud: La amplitud es la distancia vertical entre una cresta y el punto medio de la onda. Nótese que pueden existir ondas cuya amplitud sea variable; es decir, crezca o decrezca con el paso del tiempo.
- d) Frecuencia: Número de veces que es repetida dicha vibración. En otras palabras, es una simple repetición de valores por un período determinado.
- e) Valle: Es el punto más bajo de una onda.
- f) Longitud de onda: Distancia que hay entre dos crestas consecutivas de dicho tamaño.

Las ondas se distribuyen, en función de su energía a lo largo del espectro electromagnético. Este se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

Sin entrar en cada una de ellas, algunas no son familiares y otras no tanto. La luz visible, muy similar a la infrarroja, se compone de una mezcla de longitudes de onda, cuando vemos algo azul es porque ese cuerpo tiene la propiedad de reflejar más la parte azul del espectro. Así, a través de nuestros ojos, percibimos los colores correspondientes a un rango de longitudes de

onda muy estrecho, entre $0.4\ \mu\text{m}$ a $0.7\ \mu\text{m}$. O los rayos X nos los encontramos cuando vamos al médico a que nos realicen una radiografía (tienen muchas otras aplicaciones).

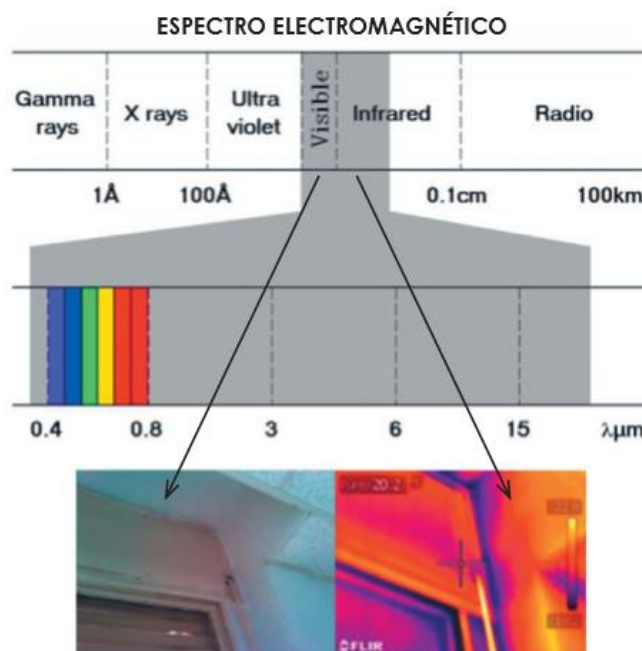


Figura 1: Espectro electromagnético

Hemos de decir que las longitudes de onda no tienen los límites tan marcados como los que se representan en la imagen. Sin embargo, si tienen límites y fronteras muy marcadas en la práctica. En el espectro de la Figura 1 se muestran dos imágenes, una de luz visible y otra de infrarrojo, que no tienen nada que ver la una con la otra.

En este espectro, existe una banda cuya radiación tiene la capacidad de transmitir calor por emisión o absorción. Como se ha dicho antes, sus límites no están marcados exactamente, pero se sabe que la radiación térmica va desde el ultravioleta al infrarrojo, pasando por el visible, donde tiene la intensidad más elevada. El calor no es exclusivo del infrarrojo, no lo olvidemos.

La radiación térmica es la transmisión de calor mediante ondas electromagnéticas.

1.4.3 Funcionamiento de la cámara

Básicamente, la óptica de la cámara hace converger sobre su detector la radiación infrarroja que emite el objeto bajo estudio, obtiene una respuesta (cambio de tensión o resistencia eléctrica) que será leída por los elementos electrónicos (la placa electrónica) de la cámara. Esa señal electrónica es convertida en una imagen electrónica en la pantalla, donde los distintos tonos de color se corresponden con distintas señales de radiación infrarroja procedentes del objeto de estudio.

La temperatura, ¿por qué es tan importante esta variable? Sin ir más lejos, una simple variación de temperatura corporal hace enfermar, si se eleva dos grados la temperatura corporal probablemente se tenga que guardar reposo y estar bajo alguna medicación. En el tema que nos ocupa también es así de crucial y dependiendo de la aplicación, la materia o el objeto, unas décimas o unos grados pueden ser el origen de una avería o problema o no tener ninguna importancia. La diferencia entre fijar el termostato de casa de 22°C a 20°C en invierno, puede suponer un notable ahorro de calefacción, aunque también pueda crear cierto discomfort en la vivienda.

En definitiva, la temperatura es una variable fundamental, controlarla y conocerla dará infinitas ventajas.

Entonces, ¿por qué aprender la técnica de la termografía va a resultar tan útil? Por varios motivos, como:

1. Es una medida actual, en tiempo real, es decir, se puede medir mientras se visualiza el objeto en la pantalla de la cámara. Si el objeto cambia, la cámara muestra el cambio inmediatamente, sin inercias ni actualizaciones.
2. No es invasiva, es decir, se mide sin contacto directo. Así, nos mantiene alejados del peligro, algo muy importante a la hora de realizar inspecciones termográficas para el mantenimiento eléctrico. Además, al no ser invasiva, no se afecta al cuerpo que se quiere medir. El termógrafo tan solo observa la radiación saliente del objeto mientras éste está en marcha.

3. Es bidimensional, es decir, se puede medir la temperatura en dos o más puntos de un mismo objeto en el mismo instante. Ya se sabe que una imagen dice más que mil palabras y se van a componer imágenes de temperatura.

4. Es multidisciplinaria, las imágenes no sólo hablan de temperatura, hablan de patrones térmicos, comportamientos, anomalías, etc.

Estas características diferenciadoras hacen que la termografía haya extendido su campo de aplicación a distintas áreas como la medicina y la veterinaria, la electricidad, la edificación, los procesos industriales, los sistemas de seguridad y antintrusión, la navegación o la automoción y un largo etcétera.

Sin embargo, será difícil que el termógrafo (la persona que trabaja con esta técnica) sepa de tan distintos campos y áreas de conocimiento. Saber cómo se toman las imágenes no llevará muy lejos si de cada imagen térmica no se es capaz de comprender las consecuencias de lo que se ve en la cámara. La cámara proporcionará el 10% de la información, el resto corresponde a la persona que interpreta la imagen.

Además habrá ocasiones en las que el termógrafo es una mera herramienta que simplemente facilita la imagen térmica a partir de la cual un profesional tomará decisiones.

Existen cuatro grandes reglas para capturar una imagen, no se deben olvidar pues nunca se podrá modificar una imagen si se ha cometido un error en alguno de estos tres puntos:

- Encuadre de la imagen: en el fondo se es casi fotógrafo, pero no creativo, es decir, si se quiere medir un objeto, lo presentaremos bien visible y en la posición que de más información.
- Enfoque: una imagen desenfocada dará medidas erróneas y además, hablará muy mal del termógrafo. Por supuesto se debe tratar de mantener la pantalla en todo momento limpia.
- Ajuste del rango de temperatura: se debe fijar el rango de medida que incluya lo que se pretende medir. Si se fija un rango muy ancho se tendrá menos precisión en la medida. Es como si se quieren medir milivoltios fijando el rango en kilovoltios.

- Cuidado con las condiciones meteorológicas: la temperatura exterior cambiante y la hora a la que se realizará la inspección termográfica pueden hacer que esta y sus resultados varíen de un día a otro, por lo que elegir el momento adecuado para hacer el trabajo es un factor a tener en cuenta. Obviamente esto no tiene sentido si la inspección es interior y el ambiente no afecta.

Si se olvida alguno de estos puntos, tocará volver al lugar de la inspección a realizar de nuevo el trabajo, con todo lo que ello conlleva de sobre costo para el informe.

Por último, si se está trabajando con la cámara frente al objetivo, será útil mantener la pantalla despejada de menús. El termógrafo poco experimentado suele llenar la pantalla de información poco útil para la inspección, mostrando datos de emisividad, con el punto frío y punto caliente activos (lo cual va avariando a medida que se mueve la cámara), etc. Interesa ver el objeto en infrarrojos, nada más, la capacidad de interpretación de lo que se ve es la herramienta más útil que se posee.

El calor y la temperatura son conceptos que conviene tener claros, a pesar de que se ha oído hablar de ellos desde que se tiene uso de razón. Es evidente que existe una clara relación entre ellos pero son conceptos diferentes.

Calor es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

Así, la cantidad de energía calorífica de un objeto se relaciona con la energía cinética total de las moléculas que componen ese objeto, esto es el movimiento de las moléculas del objeto.

La energía es la capacidad de realizar un trabajo y se puede manifestar de varias formas. Las moléculas de un determinado objeto están siempre en movimiento, en mayor o menor medida, las más calientes se moverán más rápidamente, chocando unas con otras, mientras que las más frías lo harán más despacio.

Una temperatura dada corresponde a un determinado nivel de movimiento de sus moléculas, pero siempre para un mismo objeto, ya que los cuerpos se comportan de manera particular frente al calor.

El calor se genera por transformación de la energía, bien de un proceso de combustión, por movimiento, rozamiento, etc. Ese calor se mide en Jules (J), al igual que la energía y el trabajo.

Veamos la relación de calor y temperatura mediante un sencillo ejemplo:

Si se cogen dos objetos, cada uno a una temperatura de 200°C y con 200 J de energía y se ponen en contacto, ¿qué temperatura tendrá el conjunto?, ¿cuál será la variación? Se verá que la temperatura NO será dos veces mayor, es decir, 200°C , pero si su energía, tendrán el doble después de juntarse, es decir, 200 J.

Así, de la temperatura se puede decir que es una medida relativa que permite comparar unos cuerpos con otros, sin embargo el calor es una magnitud cuantificable y medible.

A su vez, los cuerpos tendrán una capacidad térmica determinada, es decir, una capacidad para absorber o almacenar calor. Esta propiedad es muy útil, pues el termógrafo puede localizar el nivel de un líquido contenido en un tanque opaco gracias a la distinta capacidad térmica del agua y del aire.

Temperatura es una magnitud a un sistema termodinámico y referida a la energía asociada a las partículas del sistema y su movimiento. Se mide en Kelvin (K) o en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Este parámetro ayuda a definir el estado en que se encuentra un objeto. La energía es una medida absoluta, la temperatura es relativa, dice cómo se encuentra un objeto en relación a otro y es la consecuencia de la energía que posee el objeto. Además dirá la facilidad que tendrá el objeto para ceder ese calor a otros objetos.

Conviene recordar, aunque sea de manera genérica, dos importantes Leyes de la Termodinámica relacionadas con el comportamiento del calor.

- *Ley de la Conservación de la energía:* la suma de la energía total contenida en un sistema cerrado permanecerá constante. Esto es también conocido como el principio de conservación de la energía (la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma).
- *Ley de transferencia del calor:* el calor se transfiere espontáneamente desde las zonas más calientes a las zonas más frías.

La diferencia de calor es lo que produce el flujo de calor.

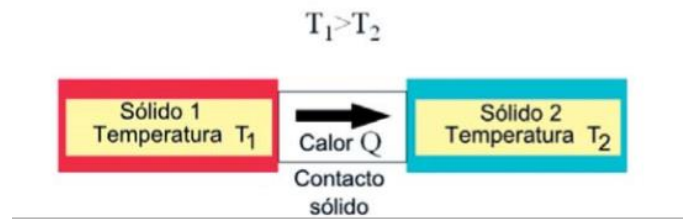


Figura 2: Diagrama de calor.

Ya sabemos que el calor se transfiere entre los objetos con distinta temperatura, pero... ¿cómo se transfiere dicho calor? Hay tres maneras.

A continuación se definen y se explican una a una.

- *Conducción de calor:* es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas por contacto directo de sus partículas sin flujo de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas.
- *Convección de calor:* se produce por medio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor en zonas con diferentes temperaturas.
- *Radiación de calor:* es la transmisión de calor por emisión y absorción de radiación térmica.

Cada uno de estos tres métodos puede describirse como estable o inestable. Durante una transferencia en estado estable, será constante la velocidad de la transferencia de calor y no cambiará de sentido, ya que podéis imaginar que no existe tal flujo de calor estable ideal, en la práctica los flujos son inestables y presentan ciertas fluctuaciones.

La transmisión de calor siempre va a depender de estas dos situaciones típicas y en la *ecuación 1* se ve que realmente sólo vale para condiciones estacionarias, que son poco frecuentes, aunque siempre se pueden suponer condiciones estacionarias para un instante concreto de nuestro estudio. Las condiciones estacionarias se dan cuando hay condiciones estables, un cambio de temperatura y con un flujo de calor constante, es decir, las potencias de calor y enfriamiento son iguales (lo que entra es igual a lo que sale).

Por el contrario, un proceso transitorio es aquel en el que existen cambios de temperatura y de flujo de calor, lo que se asemeja mucho más a nuestro trabajo diario.

Cuando dos moléculas de diferentes objetos o cuerpos se acercan y entran en contacto, la que tiene mayor temperatura tendrá mayor movimiento en sus moléculas y transmitirá parte de esa energía a las moléculas que se mueven más despacio por choques entre ellas.

La conducción tiene lugar en sólidos y los fluidos (líquidos y gaseosos), aunque es muy característico de los sólidos.

Para determinar el calor transmitido por conducción, se necesita conocer qué factores intervienen y cómo afectan; es decir,

$$P(W) = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L} \quad (\text{Ecuación 1})$$

O lo que es lo mismo, el valor del flujo de calor (en condiciones estacionarias) es directamente proporcional a la conductividad térmica del objeto, a la sección transversal a través de la que fluye el calor, y a la diferencia de temperatura entre los puntos del cuerpo bajo estudio.

Es también inversamente proporcional a la longitud, o distancia entre ambos puntos.

La transmisión de calor por conducción se ve afectada por 4 factores:

- k : conductividad térmica del material.
- A : área de la sección transversal.
- $T_1 - T_2$: diferencia de temperatura.
- L : longitud de la trayectoria de conducción.

Para obtener la energía (trabajo) basta con multiplicar por el factor tiempo.

¿Qué es la conductividad térmica k ? La capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos. A mayor conductividad, mayor facilidad para conducir el calor. Así, se puede hablar de materiales conductores (metales por ejemplo) y de materiales aislantes (espumas por ejemplo). La resistencia térmica será la inversa a la conductividad térmica ($1/k$). Un buen material aislante tendrá una baja conductividad térmica y por tanto, una elevada resistencia térmica.

La convección, se trata de un modo de transmisión de calor basado en el transporte mediante corrientes de masa circulantes dentro de un fluido (líquido o gas). La convección tiene lugar dentro del fluido, ya que la transmisión de calor que tiene lugar entre el fluido y la superficie que lo contiene, o en la superficie de fluidos que no se mezclan, corresponde a la conducción (o también puede deberse a radiación). En la zona cercana al sólido existe una fina capa de fluido estacionario (capa límite) donde la transmisión de calor dentro del fluido tiene lugar exclusivamente por conducción.

Si se fuerza la convección mediante el uso de un ventilador o una bomba, se están variando las condiciones naturales del proceso. Por ejemplo, si se está en un habitación con aire a 22°C y se enchufa un ventilador, se sentirá el aire fresco debido al aumento de velocidad de este. Esto indica que si se hacen inspecciones termográficas en exteriores, bajo condiciones de viento fuerte, se tendrá bastante más dificultad para realizar el trabajo que si no hubiera viento.

El viento puede modificar considerablemente la distribución de temperaturas y se debe evitar realizar inspecciones con fuerte viento, se pueden malinterpretar las imágenes y realizar un informe erróneo.

Un concepto equivocado es que en los días de viento se pueden obviar sus efectos utilizando de la diferencia de temperatura. Esto es erróneo ya que el viento enfría más las zonas más calientes variando así la diferencia de temperaturas.

Entramos en una forma de transmisión de calor diferente de las dos anteriores. En esta, las moléculas ni chocan ni se mueven libremente en función de la fuerza de la gravedad o externas. En la radiación no es necesario ningún medio material, es más, como mejor se transfiere este calor es en ausencia total de moléculas, en el vacío.

Radiación. Entramos en una forma de transmisión de calor diferente de las dos anteriores. En ésta, las moléculas ni chocan unas con otras ni se mueven libremente en función de la fuerza de la gravedad o externas. En la radiación no es necesario ningún medio material, es más, como mejor se transfiere este calor es en ausencia total de moléculas, en el vacío.

La radiación térmica es una forma de radiación electromagnética. Todos los cuerpos emiten este tipo de radiación como consecuencia de su temperatura y, a mayor temperatura, mayor emisión de radiación térmica.

El tipo de material que posee el cuerpo le hará emitir mayor o menor radiación térmica. Así, se verá que algunos materiales son mejores emisores de radiación térmica que otros.

Además se verá que la radiación térmica se propaga fácilmente a través de los gases, pero más difícilmente o incluso bloqueada, a través de los líquidos y sólidos.

La transmisión de calor por radiación se lleva a cabo por emisión y absorción de radiación térmica. Esta energía se transmite a la velocidad de la luz, de ahí que la termografía sea tan útil detectando la radiación en continuo. Todos los cuerpos emiten y absorben radiación térmica al mismo tiempo. El calor neto transmitido será la diferencia entre lo que se ha absorbido y lo que se ha emitido.

Esto difiere enormemente de los dos anteriores procesos en lo que había un flujo de calor unidireccional.

Conclusiones a partir de la imagen térmica. Como termógrafo, se dispone de una sola herramienta de trabajo, la cámara, y con las imágenes obtenidas se realizarán los informes y se sacarán las conclusiones. Pero esto no es apuntar y disparar, no se trabaja en el visual sino en el infrarrojo, y esto tiene grandes diferencias que llevan a tener que entrenar al cerebro a interpretar las imágenes térmicas.

Existen dos métodos de análisis de las imágenes térmicas, los análisis cualitativos y los cuantitativos.

Antes de abordarlos, conviene explicar cómo, a partir de la imagen que capta el detector (la intensidad de radiación electromagnética convertida en imagen, cualitativa), se va a proporcionar un dato completamente distinto, la temperatura, a partir de la cual se podrá realizar un trabajo cuantitativo.

Esto es posible por la relación existente entre la potencia de radiación infrarroja de un objeto y la temperatura, o más concretamente por la *Ley de Stefan-Boltzmann*, que define esta relación para un cuerpo negro.

La imagen térmica. Es lo que se va a analizar, sobre lo que se trabajará y sobre lo que se emitirá un posible diagnóstico. Por tanto, y como se ha dicho en capítulos anteriores, antes

de tomarla y guardarla, hay que asegurarse de que estará correctamente tomada, hablamos del ajuste del campo, el enfoque, el encuadre y las condiciones.

Se ha de tener claro que la imagen térmica, a diferencia de la imagen real, es una imagen de intensidad de radiación térmica, no de la distribución de temperaturas captadas por nuestro equipo.

Diferencias en intensidades de radiación no se traducen en diferencias de temperatura. Esto quiere decir, que un mismo objeto sobre el que se está trabajando, puede estar a la misma temperatura, pero con distintas emisividades. Por tanto, la imagen térmica aparecerá con un contraste reflejado en la paleta de colores que puede hacer pensar que tiene diferentes temperaturas.

Por tanto, si la imagen térmica no muestra datos reales de temperatura ¿qué muestra entonces? Muestra siempre temperatura aparente, un concepto que hay que definir y no confundir con la temperatura real.

La temperatura aparente es la temperatura leída, no compensada o corregida en la cámara termográfica. Nos mostrará toda la radiación incidente en nuestra cámara, independientemente de la fuente de la que procede la radiación infrarroja.

Dos tipos de análisis a partir de una misma imagen térmica. El termógrafo puede realizar por tanto dos tipos básicos de análisis de la misma imagen infrarroja, en función de sus intereses, el grado de exactitud que necesite o de las necesidades del cliente para el que trabaja.

Se puede hacer un análisis cualitativo de la imagen obtenida, o cuantitativo. Veamos en qué consiste cada uno.

Análisis cualitativo: la imagen térmica es analizada para poner de manifiesto anomalías de distinta magnitud, localizarlas y evaluar el nivel de gravedad. Es el primer análisis que hace el termógrafo, aunque se quiera hacer otro tipo de análisis, cuantitativo, inevitablemente al

comienzo se tratará de rápidamente buscar aquella que en nuestra cabeza no encaja o se ve que se aleja de lo normal para el objeto bajo estudio.

El 90% de las inspecciones serán de este tipo, lo cual no quiere decir que sea ni más sencillo ni más complejo, simplemente es un tipo de análisis. Es habitual que las empresas que realizan inspecciones termográficas tengan definidos unos niveles de gravedad, por ejemplo:

- Grado 1: reparación urgente.
- Grado 2: programar reparación.
- Grado 3: revisar en la siguiente inspección.

Esto no es más que un ejemplo, los niveles o grados pueden ser muchos más o incluso acompañarse de colores que recuerden esa gravedad (rojo podría ser muy grave, amarillo podría ser un nivel intermedio y verde el último).

Análisis cuantitativo: determina la temperatura o temperaturas de las partes de la imagen térmica que interesan para, a partir de éstas, extraer las conclusiones sobre las anomalías detectadas y las soluciones a adoptar.

Este análisis se realiza con temperaturas reales, con compensación de los parámetros de objeto de emisividad y temperatura aparente reflejada. De los resultados obtenidos se podrán sacar distintas conclusiones y saber si es relevante o no, si hay que actuar o no, en función de los criterios de clasificación de fallos antes mencionados, propios o publicados por algún organismo o asociación relevante.

También hay que tener y usar datos de referencia, es decir, históricos que permiten saber si una temperatura es elevada o baja para un mismo componente y cuánto es respecto al mismo componente en estado normal.

Este método, como se ha dicho antes, no es más complejo ni más sencillo. Podemos equivocarnos en las conclusiones, a pesar de haberse realizado bien la compensación y

haber obtenido datos reales de temperaturas, o por el contrario, sin compensar, se le puede decir al cliente que tiene un problema donde no lo tiene.

Compensación de la imagen térmica. Se puede hacer, bien durante la inspección (*in situ*, sobre la cámara) o con los software de tratamiento de imágenes en la oficina.

Todas las cámaras infrarrojas van a permitir modificar los parámetros de objeto, temperatura aparente reflejada, emisividad, distancia, temperatura exterior y humedad relativa. Esto permite pasar de temperatura aparente a temperatura real.

Conviene en este punto, explicar los efectos que tiene la emisividad sobre la imagen térmica:

- Si se mide un cuerpo de alta emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a su temperatura real. Se ve la realidad.
- Si se mide un cuerpo de baja emisividad, la temperatura aparente del cuerpo es cercana a la temperatura aparente de los cuerpos cercanos. Se ve la realidad y seguramente no se pueda medir o será francamente difícil.

Además de poder modificar en los parámetros de objeto la emisividad, se puede usar un truco para medir sin compensar, se puede pintar o cubrir la superficie que se quiere medir con algo de emisividad conocida, alta y constante. Por ejemplo, se puede colocar un trozo de cinta aislante (emisividad de 0.95) sobre la superficie de una tubería de cobre, la cinta se calentará a la temperatura del cobre y del líquido que circula por él, entonces se podrán hacer mediciones de temperatura sobre esta cinta.

1.4.4 Evaluación de la imagen térmica

Hemos aprendido a interpretar la imagen térmica pero no se debe olvidar que lo que se tiene es una imagen radiométrica y que se puede actuar en ella de diferentes maneras para tratar de extraer las conclusiones más acertadas posibles.

Recordemos que no se pueden modificar el enfoque, el encuadre ni el campo, pero si hay otras herramientas que permiten modificar la imagen y hacerla más clara a la interpretación.

Definamos algunas utilidades que tienen tanto la cámara infrarroja como el software para analizar las imágenes.

El gradiente térmico. Todo gradiente conlleva una variación a lo largo del tiempo o la distancia. En nuestro caso se observará una variación gradual de temperatura del cuerpo con la distancia o la superficie en la que se podrá ver el sentido del flujo de calor mediante el cambio de los colores que aparecen en la escala, si es que aún se ha de recurrir a ella, lo que puede pasar si aún no se está muy habituado a trabajar con imágenes térmicas.

Los gradientes de temperatura casi siempre revelan deficiencias importantes y es el más típico de los patrones que se encontrarán, bien sea en la localización de humedades, problemas eléctricos, puentes térmicos, etc.

Aprender a analizarlos e interpretarlos es fundamental para la inspección termográfica.

Datos de temperatura (puntero y área). Mediante estas herramientas se obtendrán ya los primeros datos numéricos del análisis. Se pueden situar en la imagen cuantos puntos de medida se quieran, con la preocupación de no saturar la imagen de información, sobre todo si se está realizando la inspección. La pantalla de la cámara es pequeña, con la que un punto o dos serán más que suficientes para obtener toda la información necesaria del problema. En la oficina con el software, se podrán poner los que se quieran de una manera más rápida que en la cámara.

El área ayuda a cuantificar rápidamente la temperatura máxima, mínima y la media del área seleccionada. A la hora de seleccionar un área, es importante hacerlo con exactitud y no coger en el área zonas de medida que no interesen, pues desvirtuarán enormemente los datos de la medida que se quiere obtener.

Esta herramienta es muy útil en edificación, donde se puede seleccionar por ejemplo una superficie grande de una fachada y ver la diferencia de temperatura máxima y mínima y tratar de analizar el por qué de esa diferencia. Falta de aislamiento, rozas o grietas por donde se escapa el calor, humedades ocultas, etc.

Las paletas de colores. Es una herramienta útil que, en función de la que se seleccione, asignará distintos colores a una misma temperatura aparente. Así se conseguirán diferentes efectos y contrastes y se acentuará más un posible fallo con un color que con otro, haciendo que el cliente vea o entienda mejor lo que se trata de explicarle.

No existe un criterio fijo para esto, no se trata de que en electricidad se use la paleta roja, en industria la paleta arcoiris, etc. Es el propio termógrafo el que decide qué paleta usar para su análisis. Lógicamente, si tenemos un objeto de medida con poco contraste térmico, trataremos de dárselo con una paleta de alto contraste de colores.

Un error muy común es que una vez que se tiene el informe, con las imágenes, conclusiones, etc., se imprime en blanco y negro y todo queda con el mismo contraste. Hay que aprovechar la fuerza que tienen las imágenes que se aportan en los análisis.

La Isoterma. Una de las herramientas más importantes y que mejor se deben manejar. La isoterma cambiará algunos colores de la escala de la imagen, por otro, fijo, de elevado contraste (a veces el gris, a veces el verde), para así marcar un intervalo de igual temperatura aparente.

La isoterma se podrá ampliar o reducir de arriba abajo, ensanchar o estrechar, siempre dentro de un intervalo. También es una de las herramientas más importantes. Permite ajustar la escala de colores al objeto sobre el que se está midiendo, esto aumenta el contraste del objeto, eliminando zonas que no interesan.

Perfil de temperatura. Esta herramienta da la evaluación de la temperatura a lo largo de una línea recta trazada sobre la imagen.

El resultado es una gráfica con la temperatura en uno de los ejes, el de la X, y la distancia en el eje horizontal, las Y.

Esta herramienta es muy útil para numerosas aplicaciones, por ejemplo también se puede emplear para ver la temperatura de las fases de un contactor eléctrico y evaluar así un posible sobrecalentamiento, terminales mal apretadas, etc.

Al margen de estas herramientas de análisis, la imagen térmica como mucho proporcionará un 10% de la información sobre lo que se está viendo. El resto debe ponerlo la experiencia, los conocimientos y la pericia del termógrafo.

Conviene por tanto, no cometer algunos errores en el diagnóstico, recordemos aquí algunos de estos.

Errores del termógrafo

1. *Conocimientos teóricos:* no hay que caer en el error de pensar que la termografía consiste en encender una cámara y apuntar y disparar. Se debe saber manejar conceptos de transferencia de calor, materiales y sus propiedades, la atmósfera y su influencia y un sinnúmero de variables que afectan el trabajo. En resumen, formación presencial.
2. *La cámara y su uso:* no todas las cámaras termográficas son válidas para todas las tareas. El detector infrarrojo de la cámara es sensible a una determinada franja del espectro electromagnético, incluso dentro del infrarrojo, lo cual afectará al cuerpo que se está midiendo. Existen dos tipos de cámaras, de onda larga y de onda corta, en función de las necesidades, se adquirirá un equipo y otro.
3. *Resolución y óptica:* en esto influye el diseño del detector, el número de píxeles que genera la imagen y la calidad de la óptica y su fabricación y montaje. El mercado da la posibilidad de cambiar ópticas sin cambiar cámara, como un fotógrafo que cambia el objetivo si va a hacer un retrato, tomar un paisaje, etc. Seleccionar bien estas características, antes de adquirir el equipo, es fundamental.
4. *Rango de temperatura:* ya mencionando anteriormente, una selección apropiada del rango es fundamental para detectar toda la información posible de la imagen.
5. *Toma de la imagen:* el ángulo con que se toma la imagen, el enfoque, la posición respecto al objeto, los reflejos, etc., son fundamentales para el diagnóstico. Incluso tomar varias imágenes desde distintos ángulos ayudará a diagnosticar el problema. Una vez que se

abandone el lugar de la inspección, quizás no se vuelva o se haga ya con el informe definitivo en la mano.

6. Si la inspección abarca bastantes elementos muy parecidos entre sí, hay que identificarlos bien y no olvidar tomar las imágenes visuales de los mismos.

7. *Punto frío y punto caliente:* las anomalías no tienen por qué conllevar una temperatura alta, no siempre hay que buscar el punto caliente. No siempre los colores identifican el problema, la imagen hay que analizarla en conjunto.

8. *El informe:* toda la información que se saque de la imagen analizada formará parte del informe. No hay que precipitarse a la hora de escribir las impresiones. Hay que dejar claro el alcance del informe y no trasarse más de 3 o 4 días en la elaboración del mismo (dependiendo también del alcance de la inspección). Si el trabajo de campo ha consistido en averiguar por qué una bomba circuladora de agua se calienta y tardamos en elaborar el informe con las conclusiones más de una semana, es probable que cuando se entregue ya esté la bomba quemada y el circuito parado.

9. *Actualización permanente:* un buen termógrafo está en aprendizaje y reciclaje constante. No sólo a nivel de formación, también en cuanto a equipos y software. Esta técnica está en constante evolución y el termógrafo ha de ir con ella, si se queda atrás lo más probable es que comience a cometer errores en los informes y a perder clientes.

10. *Responsabilidades y código ético:* el termógrafo que analiza una imagen y lógicamente redacta un informe debe conocer las responsabilidades que tiene a la hora de ejercer su profesión. Este código ético puede redactarlo cada empresa o acogerse al de asociaciones de termógrafos o distintos colegios profesionales. En rasgos generales, el termógrafo no debe pronunciarse sobre aquello que no conoce o para lo que no está capacitado, la imagen térmica como hemos dicho, tan sólo representan el 10% de la información, el resto dependerá de la capacitación y experiencia del inspector. También debe acogerse a las normas de seguridad y salud de los trabajos que le sean encomendados así como no revelar información confidencial y relevante de su trabajo a terceras personas. Las imágenes térmicas que posea, son información confidencial de su cliente.

Cómo medir la temperatura con la cámara termográfica. Hasta ahora se ha aprendido a analizar la imagen térmica desde el punto de vista cualitativo, lo que es ya bastante. Ahora, se da un paso más y se aprenderá a obtener datos reales de temperatura en la imagen térmica.

De nuevo nos encontramos con la emisividad como obstáculo principal a la hora de obtener el datos de la temperatura, ya que en función de esta característica se tendrá mucha dificultad para medirla (cuerpos de emisividad muy baja) o poca dificultad (cuerpos de emisividad alta). Incluso puede ser imposible la medida, así que tampoco debemos obsesionarnos con obtener una medida exacta si las condiciones no son adecuadas.

Además, otros factores influirán en la medida como el ambiente exterior, el entorno del cuerpo, la distancia a la que se realice la termografía, etc., factores que en ocasiones no se podrán controlar.

El entorno del objeto. Es evidente que durante la inspección, el termógrafo se encontrará en un entorno cambiante que va a influir en la imagen que pueda obtenerse, incluso en cómo lo va a obtener. Como poco, entre el cuerpo que se quiere medir y la cámara existirá cierta cantidad de aire. En segundo lugar, salvo que se trabaje en un laboratorio ensayando con materiales, lo habitual es que el objeto que se mide está rodeado de otros objetos que no interesan pero que emitirán radiación hacia él y éste la reflejará hacia la cámara. A partir de ahí, todo lo que se quiera añadir es posible que lo encontremos en alguna ocasión.

Toda medida de un objeto ha de comenzar necesariamente por una medida o estimación de la Temperatura aparente reflejada, la temperatura del entorno.

La atmósfera. La radiación que llega a la cámara procedente del objetivo, no es igual a 1. Existe una pequeña parte que será absorbida por la atmósfera, y además variable en función de la cantidad de aire que exista entre el cuerpo y la cámara (la distancia) y las condiciones de la atmósfera (partículas en suspensión).

Se puede y se debe considerar la atmósfera como un cuerpo más que transmitirá la radiación emitida por el cuerpo (la mayor parte) y absorberá una pequeña parte de esa radiación.

Compensación de ambos efectos. Para compensar el primero, la influencia de la atmósfera se plantean las siguientes preguntas, ¿cuánta atmósfera hay entre el objeto y la cámara? Y ¿qué densidad tiene? O dicho de otra manera más sencilla, ¿a qué distancia se está del cuerpo y cuál es la temperatura exterior y la humedad relativa del aire?

En cuanto a la distancia, está claro que cuanto más se aleje del cuerpo, más atmósfera existirá entre éste y la cámara y por tanto más atenuación de la radiación (además de otras consideraciones como que el objeto será más pequeño). Respecto a la temperatura del aire, si es muy elevada, más irradiación se producirá. Por último, en cuanto a la humedad, la atmósfera tiene moléculas de vapor de agua en suspensión, cuantas más moléculas tenga, la atmósfera más dificultad tendrá la radiación en llegar a la cámara.

Estos tres valores pueden ajustarse en las cámaras termográficas en los ya conocidos parámetros de objetos, se puede probar hacerlo y comparar su influencia en las medidas obtenidas. El resultado será que apenas hay variación. Sin embargo, conviene poner esos datos ya que, si se realiza un informe mediante el software del fabricante, aparecerán esos datos por defecto y el cliente pensará que son reales o pensará que no son correctos bien por error o por cualquier motivo menos que es porque no influyen apenas en la medida.

La emisividad. Una vez que se sabe la radiación que viene de otras fuentes distintas al objetivo, ahora compensar la emisividad es ya el último paso y obstáculo para tener el dato de la temperatura a partir de la radiación recibida. Antes de nada, definamos este concepto. Emisividad es la relación entre la radiación que emite un cuerpo real y la emitida por un cuerpo negro, para una misma temperatura y longitud de onda.

Traducido a una expresión matemática se tiene

$$\varepsilon = \frac{W_{CR}}{W_{CN}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Y este es el cálculo que hace la cámara. Ésta conoce la radiación que recibe del objeto, si se introduce la emisividad, se divide y es como si la radiación la hubiera emitido un cuerpo negro y su temperatura fuera real. Se ha transformado un cuerpo real en un cuerpo negro en el que se puede leer la temperatura.

Y qué factores afectan a la emisividad. Veamos los más importantes:

1. El material del cuerpo: distintos materiales poseen distintas emisividades. Incluso un mismo material puede poseer distinta emisividad, esto se encuentra con frecuencia en materiales expuestos a determinadas condiciones ambientales, de manera que un material nuevo tiene una emisividad distinta pasados algunos años. Descubriremos que es más fácil trabajar con no metales que con metales. Los primeros suelen tener emisividades mucho más elevadas y ésta perdura mucho más en el tiempo a diferencia de un metal que rápidamente sufre oxidación y cambia su emisividad completamente (hasta 0.95). En cualquier caso, ya se ha hablado de los trucos que se pueden emplear para medir estas superficies.
2. Su geometría: si es redondo, agujerado, liso, alargado, etc., influirá sobre su emisividad.
3. Su estructura superficial: las superficies lisas, pulidas, brillantes reflejan más que las rugosas. Sobre una superficie rugosa se obtendrá un mejor valor de la temperatura pues su emisividad es mayor.
4. La temperatura: por suerte esto sólo ocurrirá a temperaturas muy altas y en los metales. Algunos metales a temperaturas cercanas a los 1000° C pueden incrementar su emisividad.
5. La longitud de onda: una misma medida sobre un objeto, puede ser distinta debido a que se detecta distinta emisividad. Esto ocurrirá si las cámaras que se usan trabajan en diferentes longitudes de onda. Rara vez será nuestro caso, pero lo mencionamos.
6. El color del objeto: Error. El color es algo del espectro visual, no del infrarrojo, las cámaras no saben de qué color son los objetos que enfocan, el calor visual no afecta a la emisividad. Si es cierto que los colores absorben luz visible de una u otra forma, la radiación solar es más alta en la franja visual del espectro que en la del infrarrojo, así algunos colores

absorben más radiación que otras y por tanto se calientan más (e irradian más a nuestra cámara), pero no tiene que ver con la emisividad.

Estas cuestiones conviene recordarlas e ir experimentando con ellas, aprendiendo incluso a base de errores. Muchas veces el usuario de la cámara termográfica simplemente se dedica a tomar imágenes para luego centrarse en complejos cálculos, sin saber que el dato de partida, la imagen, es errónea por cosas tan simples como el ángulo, un reflejo, etc.

Ahora bien, existe un pequeño atajo y es, usar las conocidas tablas de emisividades. ¡ERROR!. No debemos fiarnos de las tablas de emisividad, son tablas para materiales estándar y con definiciones o traducciones del inglés a veces ambiguas (acero desgastado). Nosotros trabajamos con materiales y cuerpos reales, con su pequeña historia detrás (oxidación, pulido, partículas depositadas, en exterior o en interiores, etc.). La tabla dará una idea aproximada, pero si se recurre a ella es porque se debe conocer la emisividad del cuerpo que se mide, entonces se debe calcular por uno mismo, sin atajos.

Un mundo de aplicaciones. Después de todo lo explicado anteriormente se despliega un abanico impresionante de aplicaciones para la Termografía. Si ahora mismo se tuviera una cámara termográfica en la mano se estuviera donde se estuviera se podría realizar una inspección termográfica y comprobar ya seguramente algunas anomalías ocultas a simple vista pero no para la cámara y el ojo entrenado.

1.4.5 Fisiopatología de las lesiones músculo-esqueléticas

Siempre que los tejidos sufren algún daño como resultado de una lesión, el cuerpo reacciona con rapidez llevando a cabo una serie de acciones fisiológicas predecibles y destinadas a reparar los tejidos afectados. La respuesta inicial del cuerpo a un traumatismo es la inflamación. Otros signos y síntomas comúnmente asociados a la inflamación son el dolor, el enrojecimiento de la piel (eritema) y el aumento local de la temperatura; esto se debe, principalmente, a la inicial disminución del flujo sanguíneo del área (vasoconstricción), para más tarde aumentar de manera súbita en los espacios intersticiales (vasodilatación). Las acciones musculares, contracción-relajación, son las fuentes más importantes del incremento

térmico metabólico. Esto explica por qué en las imágenes generadas mediante TI, las lesiones musculares agudas son reconocidas por ser áreas de aumento de temperatura debido a la inflamación en un estudio temprano.

Mientras que las lesiones crónicas y las cicatrices son identificadas por aparecer áreas hipotérmicas debido a la contracción muscular disminuida y, por lo tanto, a la disminución de producción de calor.

En general, si la temperatura de la piel es mayor 0,5°C en una zona que en su contralateral, es posible sospechar de la existencia de una patología (Marín, 2014).

En adición, la TI ha sido también utilizada en aplicaciones relacionadas con la Higiene, Seguridad Laboral y Ergonomía. Así lo manifiestan Diakides & Bronzino (2008), quienes refieren que en la planta de EvoBus-Daimler de Chrysler, en Alemania, se emplea como sistema de monitoreo del bienestar y la salud de los trabajadores.

Algunos autores, como Berz & Sauer (2007), argumentan que el reciente cambio de los paradigmas médicos (diagnóstico y tratamiento) da una aproximación más moderna (identificar riesgos y eliminarlos) y, aún más, identificar el estado saludable y mantenerlo abre un nuevo horizonte a la TI. Otros, como Bertaring (2006), exponen que la Termografía es una herramienta de análisis viable, donde lecturas térmicas son sensibles al cambio según demandas laborales (Morales et al., 2011).

Principio de la Termografía: Todos los cuerpos cuya temperatura excede el cero absoluto (0 K o - 273 °C) emiten una radiación térmica que el ojo humano no alcanza a percibir. La magnitud de dicha radiación está relacionada directamente con la temperatura del objeto y se puede calcular por medio de la ecuación 2.

$$E = \varepsilon \sigma T_e^4 \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde:

ε es la emisividad

σ es la constante de Stefan Boltzman

T_e es la temperatura del objeto medida en K

Por medio de la energía emitida de un objeto, se puede conocer la temperatura que éste posee. Mientras más caliente se encuentre un cuerpo, más energía infrarroja emitirá.

La energía infrarroja no se puede ver, pero con el desarrollo de la tecnología, ya existen equipos especializados en captar esta energía y transformarla en imágenes visibles que permiten determinar la temperatura de los objetos.

Cámara Termográfica: Es un equipo que mide la radiación térmica de los cuerpos y la convierte en una imagen visible de varios colores los cuales están establecidos por su temperatura. Generalmente, estas cámaras manejan longitudes de onda entre 8 μm y 15 μm .

Las cámaras termográficas pueden entregar dos tipos de medidas: Medidas cualitativas y medidas cuantitativas como se explican a continuación.

Medidas Cualitativas: Son imágenes que poseen diversos colores por medio de los cuales se pueden identificar los puntos más calientes y verificar la uniformidad de la temperatura de un equipo.

Medidas Cuantitativas: Son valores exactos de temperatura de los puntos calientes que sirven para determinar la gravedad de un problema existente para realizar la acción correctiva pertinente que le permita al equipo volver a su estado normal de operación.

El procesamiento de la señal infrarroja se muestra en la Figura 3.

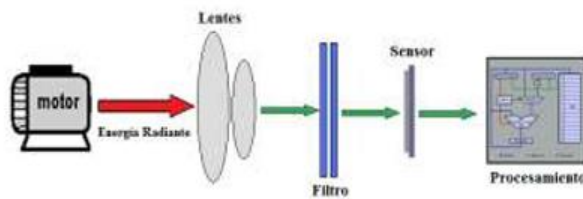


Figura 3:Procesamiento de la Señal Infrarroja

La energía radiante que produce cualquier equipo es captada por los lentes de la cámara a través de un sensor; este sensor transforma la señal radiante en una señal eléctrica para que pueda ser procesada y presentada en una pantalla o display.

La imagen que genera una cámara termográfica se denomina Termograma (Olarte, et al., 2011).

La TI hace referencia a la cuantificación de la energía radiante que emite todo objeto cuya temperatura esté por encima del cero absoluto, pero es invisible para los humanos, pues involucra longitudes de onda correspondientes al espectro electromagnético infrarrojo. Mediante el uso de arreglos bidimensionales de sensores sensibles a dicha energía se obtienen los denominados termogramas, que son representaciones de la distribución espacial de las temperaturas de la superficie analizada con una cámara de TI.

Dado que el uso de la TI no supone de ninguna manera la emisión de ningún tipo de radiación sobre las superficies analizadas, se considera que es una técnica segura, no invasiva (no requiere del contacto físico entre los sensores y las superficies analizadas), no dolorosa y de bajo costo (comparada con otras técnicas de imaginología diagnóstica), que permite el registro de la energía radiante infrarroja que emite el cuerpo humano de forma natural. Estas características hacen a la TI particularmente útil, siempre que se valide su uso, para el potencial diagnóstico de condiciones patológicas que impliquen la presencia de manifestaciones de tipo térmico que puedan registrarse mediante imágenes de TI, como aquellas que alteran el proceso de termorregulación (Ramírez-Arbeláez et al., 2015).

(Guerrero-Robles et. al, 2015), señalan que la termografía es la técnica más eficiente para el estudio de la distribución de temperatura en la piel, proporciona información sobre el funcionamiento normal o anormal del sistema nervioso sensorial y simpático, disfunción vascular, trauma miofacial y procesos inflamatorios locales.

Dentro de la termografía, se derivan las siguientes vertientes:

Termografía activa. Es una forma práctica de inspeccionar objetos provocando flujos de calor y en su exposición a este identificar defectos o fallas de acuerdo a su reacción. Se aplica calor a una pieza en sus condiciones normales, esta pieza por sus propiedades debe tener un comportamiento uniforme frente al estímulo de calor externo lo cual en el momento de la toma de la muestra se evidencia en la cámara termográfica su comportamiento si este es fuera de los rangos establecidos de la pieza, ésta posee un defecto.

Termografía pasiva. Es todo lo contrario a la anterior, no necesita ningún estímulo exterior para su muestra ésta solo se toma en estado natural y vemos cuál es su resultado.

La termografía infrarroja y la ergonomía. El cuerpo humano es una fuente innata de calor ya que por sí mismo y sin necesidad de ningún acto físico genera un gasto mínimo de energía, la TI es una técnica que se vale de herramientas de alta definición que nos permite tomar estas emisiones de calor y evaluarlas en tiempo real, gracias a esto podemos evaluar el confort en el puesto de trabajo de los trabajadores y determinar amenazas específicas (Vargas, 2017).

Actualmente, la TI tiene un uso muy extendido en el ámbito industrial y de la construcción, y en el sector automovilístico de alta competición, la conocida Fórmula 1. La termografía se utiliza también en el ámbito de veterinaria para la detección de patologías en animales de competición y, en el ámbito médico, su mayor valor clínico es su alta sensibilidad en patología vascular, neurológica y del sistema musculoesquelético, así como su contribución en la patogénesis y el diagnóstico; es una herramienta valiosa en el diagnóstico y seguimiento de cáncer de mama o de piel, la evaluación de las operaciones de injertos, o la evaluación forense.

En relación al ámbito médico, durante los años 80, se utilizaban cámaras infrarrojas rudimentarias para el diagnóstico de patologías y lesiones musculares que, a finales de los 80 y en los 90, fueron sustituidas por métodos más novedosos, eficaces y objetivos de diagnóstico como la resonancia magnética, los rayos X y la ecografía, por lo que la investigación del uso de la termografía en el ámbito de la medicina se aparcó y, con ello, el uso de dichas cámaras en este campo. Sin embargo, la TI ha evolucionado considerablemente, convirtiéndose en una tecnología más precisa, potente, rápida, instantánea y sencilla que, aun no siendo tan objetiva como otros métodos a la hora de diagnosticar patologías en el funcionamiento de los sistemas del cuerpo humano, sí puede ser lo suficientemente precisa y fiable para usarla como una herramienta complementaria donde se obtenga información del equilibrio térmico corporal que, a priori, deberían tener las estructuras músculo-esqueléticas en un estado natural y sano.

El diagnóstico médico está basado en datos funcionales y estructurales, además de los síntomas referidos por el paciente. Entre los principales métodos de exploración funcional (ECG, EEG, etc.) se encuentra la TI que detecta y analiza anormalidades térmicas caracterizadas por un aumento o disminución de la temperatura de la superficie de la piel. Cualquier asimetría significativa de más de 0.5°C puede ser indicativa de la existencia de una variación fisiológica o anatómica. Si las directrices metodológicas son cuidadosamente implementadas, la TI puede lograr una alta especificidad y sensibilidad en el diagnóstico de ciertas características médicas, llegando a ser una herramienta de diagnóstico muy útil.

La mayoría de los estudios relacionados con la termografía a nivel músculo-esquelético concluyen que éste método es de gran ayuda para el diagnóstico de lesiones o patologías y que es una herramienta ideal para controlar la evolución de las lesiones y la eficacia del tratamiento de estas, la contrapartida es que son estudios bastantes antiguos. Entre las diferentes aplicaciones de carácter clínico de la TI, hay que señalar:

- Detección y diagnóstico de cáncer de mama y del cáncer de piel.
- Localización de patologías cardiovasculares y neurológicas.

- Desórdenes circulatorios o inflamatorios.
- Localización de puntos de dolor y patología músculo-esquelética.
- Patología reumatológica (artritis reumatoide, osteoartritis).
- Patología urológica.
- Trastorno de la Articulación Temporo-mandibular.
- Cefaleas.
- Pacientes en diálisis.
- Monitorización evolutiva de la anestesia local en extremidades.
- Valoración de la gravedad de quemaduras.
- Monitorización de la evolución de injertos y úlceras.
- Apoyo en cirugías a corazón abierto, cirugía plástica y de reconstrucción.
- Documentación objetiva de determinadas dolencias, sobretodo en medicina forense.

Dermatología o detección de varices.

1.4.6 Factores que influyen en la evaluación termográfica del cuerpo humano

La interpretación de una imagen termográfica está sujeta a diversos factores que pueden influir en los resultados. Existen tres grandes grupos de factores que influyen en la evaluación:

Factores naturales: Son todos aquellos factores que “están en el entorno de una manera natural y que son propios tanto del contexto como de los objetos o seres que aparecen”. La radiación saliente de un objeto está compuesta por tres conceptos:

Radiación emitida, o emisividad: La emisividad es la capacidad que cada objeto tendrá de emitir radiación infrarroja. No todos los objetos emiten el 100% de lo que deberían. El cuerpo que mejor emite es el catalogado como “cuerpo negro”, que tiene un valor de emisividad cercano a 1, una emisividad casi perfecta; lo que significa que dicho cuerpo tiene un valor de reflectividad cercano a 0, por lo que la radiación captada por la cámara proporcionará información de la temperatura de dicho cuerpo, y no de la reflejada. La piel humana tiene una alta emisividad cercana a 1, según Hardy, mientras, un material con baja emisividad es el aluminio.

Radiación reflejada, o reflectividad: Es aquella radiación que el cuerpo refleja, como una imagen en un espejo. Cuanto mayor sea la reflectividad, mayor será la influencia de la temperatura aparente reflejada.

Radiación transmitida, o transmisividad: Normalmente, al trabajar con cuerpos opacos, la transmisividad es igual a 0, puesto que dicha radiación es la que un cuerpo deja pasar a través de sí.

Dentro de los factores naturales existe también otro grupo de variables, las variables atmosféricas, y que pueden influenciar en la exactitud de la evaluación:

Atmósfera: La atmósfera transmite su propia radiación entre el cuerpo y la cámara, y, además, absorbe una pequeña parte de la radiación saliente del cuerpo provocando una pequeña pérdida. Esta variable se corrige en las cámaras termográficas introduciendo en estas el dato de distancia.

Humedad relativa: Una de las causas por las que el aire es capaz de absorber un poco de la radiación emitida por los objetos, se debe al vapor de agua que contiene.

Temperatura del aire: A mayor temperatura del aire, más influencia de radiación tendrá la atmósfera. Numerosos estudios recomiendan que la toma de imágenes se realice entre 18°C y 25°C.

Factores artificiales: Aunque estos factores pueden alterar considerablemente los resultados obtenidos afectando a la emisividad, son fácilmente controlables:

Variables de ingesta:

- La ingesta de alcohol, café y té altera el flujo sanguíneo.
- El consumo de la nicotina y el tabaco influyen sobre el flujo sanguíneo superficial pudiendo provocar un aumento de la temperatura cutánea.
- La ingesta de medicamentos y/o drogas; está demostrado que algunos de los medicamentos que inciden sobre el sistema cardiovascular, inciden en la vascularización de la piel, y consecuentemente en la temperatura cutánea y radiación infrarroja que emite la piel.
- Las comidas copiosas o determinados alimentos, como puede ser el azúcar, provocan un aumento del consumo de oxígeno, de la temperatura corporal y de la temperatura local en determinados órganos, sobre todo los más profundos.

Variables de aplicación cutánea: Estas variables hay que tenerlas en cuenta, puesto que son las que más influyen en la radiación que emite la piel y son difíciles de detectar.

- Cosméticos, cremas, o geles de tipo cutáneo que actúan como filtro sobre la piel distorsionando la radiación e influyendo en la emisividad.
- Exposición a rayos solares durante periodos prolongados, o tratamientos con rayos UVA que producen un aumento antinatural en la temperatura de la piel distorsionando la imagen.

Variables terapéuticas: Son todas aquellas distorsiones que una terapia puede suponer en la radiación que emite la piel registrada por la cámara termográfica. Mayoritariamente son disciplinas ejecutadas dentro del ámbito de la Fisioterapia:

- Electroterapia, diversos estudios han demostrado su influencia en la termografía al aumentar la temperatura corporal.
- Ultrasonido, desarrolla una acción fibrolítica, térmica y vasodilatadora, produciendo un aumento de la temperatura, sobre todo en planos profundos.
- Termoterapia por radiación, conducción o convección, provocando un aumento de la temperatura cutánea y, por tanto, perturbando la evaluación termográfica posterior.
- Crioterapia, provoca un descenso de la temperatura de la piel y, por lo tanto, influencia el resultado.
- Masoterapia, habitualmente se asocia con variables de aplicación cutánea de carácter antiinflamatorio que pueden distorsionar el estado térmico real de la zona a la hora de ser evaluado termográficamente.
- Hidroterapia, que pueden aumentar o disminuir la temperatura cutánea en función del estado y temperatura del agua, y consecuentemente, alterar la zona evaluada.

La principal incidencia de estos factores radica en el cambio de temperatura de la piel de la persona evaluada. Dicho cambio puede durar entre 4 y 6 horas como mínimo, por lo que es esencial conocer si el paciente puede estar influenciado por alguno de estos factores previa toma de la imagen (Marín, 2014).

1.4.7 Aplicaciones de la Termografía Infrarroja

A continuación, se muestran algunas de las más comunes aplicaciones de la TI.

Diagnóstico en la edificación. Se trata de uno de los campos más amplios y con más proyección quizás. A pesar de la grave crisis que atraviesa, se están dedicando los recursos a la rehabilitación de edificios, el control de calidad en las viviendas acabadas, las pequeñas y grandes reformas y un largo etcétera.

Patrimonio histórico-artístico. Como ejemplo, esta técnica se utilizó para localizar antiguos cerramientos tapados en reformas sucesivas llevadas a cabo en un edificio histórico. Al igual que otras técnicas (rayos X) también se está utilizando ahora para rehabilitar cuadros de importante valor histórico.

Electricidad. Tanto en alta tensión, como en baja tensión, su desarrollo en este campo ha sido enorme ya que es quizás donde primero comenzó a aplicarse. Sobre tensiones o diferencias de temperatura entre fases, siempre sin manipular los contactos en tensión, evitando así el potencial peligro del usuario y evitando parar el proceso.

Instalaciones mecánicas. Se evalúan las instalaciones mecánicas de climatización, agua caliente sanitaria, protección contra incendios, se analiza el estado de los componentes, posibles obstrucciones en la valvulería, depósitos de sedimentos en tuberías provenientes de restos de soldaduras, etc.

Automoción. Sobre el vehículo se puede controlar la temperatura que alcanzan los discos tras una frenada, analizar la distribución de la calefacción de los asientos o comprobar el aislamiento del habitáculo de los ocupantes.

Detección de humedades. Se localizan las zonas húmedas debido a filtraciones de agua de las cubiertas o provenientes de fugas en la instalación. El patrón que deja el agua es siempre muy característico y pronto aprenderemos a diferenciarlo.

Control de plagas. Se pueden localizar las galerías que dejan las termitas en la madera, ya que estas son en definitiva huecos de aire, los cuales quedan de manifiesto en la termografía al contrastar con la temperatura de la madera.

Obra civil. En este caso, un ejemplo es la reparación de una carretera en la que se puede observar con la termografía las partes dañadas que van a ser cubiertas por el nuevo asfalto, que tendrá un aspecto más homogéneo al acabar el trabajo.

Mantenimiento preventivo. En base a datos históricos de termografías (treading), se puede anticiparse a posibles problemas técnicos y prevenir paradas no programadas que pueden afectar al proceso o cadena de fabricación.

Termografía aérea. Planes urbanos de eficiencia energética.

Control de calidad de productos. En cadenas de montaje o fabricación de componentes.

Energía eólica. Tanto para la inspección durante su funcionamiento como para controlar el proceso de fabricación de sus componentes, sobre todo las palas.

La lista de aplicaciones se puede seguir incrementando: procesos industriales, control de calidad de productos, peritajes, medicina y veterinaria son también campos en los que la termografía ayuda al diagnóstico de patologías y otras lesiones. En fin, un mundo de aplicaciones tras la inversión en una cámara termográfica.

La edificación, es una de las más complejas, pues en la edificación intervienen numerosísimos factores y áreas de conocimiento como las propiedades de los materiales (aislantes o no, los acabados, etc.), la electricidad (cuadros eléctricos de B.T., centros de transformación, placas electrónicas), la calefacción o el aire acondicionado, redes de tuberías y otras canalizaciones y mucho más. Además, pequeñas variaciones de temperatura conllevan grandes fallos en el sistema global del edificio.

La termografía sin duda es un gran aliado para el sector de la edificación, tan amplio y con tanta y es una gran desconocida, así que aprender esta técnica dará grandes ventajas (Revillas & Center, 2011).

Una de las inspecciones de más simple desarrollo, utilidad y empleo es la TI, que consiste en la medición de la temperatura corporal superficial. Cuando hay lesión muscular existe una variación de la temperatura en la zona comprometida. La termografía es capaz de detectar esas variaciones, y al respecto se han desarrollado varios estudios para diagnosticar lesiones o trastornos músculo- esqueléticas, a través de la aplicación de la teoría Termográfica Infrarroja.

Entre otras de las aplicaciones de la TI, se encuentra la agricultura moderna. La agricultura moderna cuenta cada vez más con un mayor nivel de tecnificación, a través de la incorporación de nuevas tecnologías usadas en otras disciplinas diferentes al sector agrario. Un ejemplo es el uso de sistemas de detección remota para la monitorización del estado fisiológico de los cultivos. Estos sistemas se basan en la detección y registro de las variaciones espectrales de los cultivos tanto en el rango de la radiación visible, como dentro del espectro electromagnético en el rango del infrarrojo.

La relevancia del uso de la termografía en disciplinas tales como la agricultura, la ecología o la eco-fisiología vegetal se basan en el principio básico de que la Tc (temperatura de la cubierta vegetal) está directamente relacionada con la pérdida de vapor de agua por transpiración, pudiendo ser usada como una medida para la estimación del nivel de gs. De esta forma, se evita el uso de otras técnicas más tediosas (medidas de intercambio gaseoso), que cuentan además con una mayor limitación para su uso en campo, especialmente cuando se trata de monitorizar grandes áreas de estudio y por lo tanto el desarrollo de un gran número de observaciones.

Más allá de la monitorización del estrés hídrico en plantas, la termografía también ha sido usada para la caracterización del comportamiento de nuevos genotipos/variedades en condiciones de laboratorio y campo, en función de su resistencia al estrés hídrico y térmico.

Una utilización combinada de diferentes técnicas de análisis de imágenes ayudará a extraer la máxima información sobre los diferentes parámetros fisiológicos y bioquímicos de las plantas (fotosíntesis, clorofila, gs o eficiencia del uso del agua).

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta para la optimización del uso de esta técnica será la mejora de los sistemas de análisis y procesamiento de datos que faciliten la emisión de conclusiones y la toma de decisiones por parte del agricultor. La aplicación de índices térmicos más sencillos tales como ΔT facilitará el desarrollo de medidas en condiciones de campo.

Así mismo, el uso combinado de índices térmicos con índices de reflectancia (NDVI- Normalized Difference Vegetation Index) contribuirá también a la validación de esta técnica

para la caracterización más precisa del estado fisiológico de los cultivos. Por último, la mejora a nivel de equipamiento y una simplificación de los programas destinados al análisis de estas imágenes facilitará en gran medida el acceso a este tipo de técnicas por parte de técnicos y agricultores, contribuyendo a la optimización de la producción y el manejo sostenible de situaciones de estrés hídrico (García, et al, 2014).

En cuanto a su uso en el área del deporte, de acuerdo con (Marins, et al., 2015), el trabajo de Albert et al., efectuado en 1964, se considera el primero en el que se emplea la termografía para evaluar un desorden músculo-esquelético. Por otro lado, en el estudio de Clark et al., en 1977, encontramos el primer artículo de referencia, al hacer un seguimiento térmico en distintos ambientes (20°C vs 10°C) con ejercicio realizado en tapiz. Sin embargo, debido a las dificultades tecnológicas, la calidad de los aparatos, el coste económico y velocidad de análisis de los datos, esta técnica no ha proliferado en el mundo del deporte. No obstante, el avance tecnológico de este sector en los últimos años ha permitido la construcción de aparatos más fiables, económicos, manejables y con software de análisis de datos prácticamente inmediatos, mejorando así la posibilidad del empleo de dicha técnica en el deporte en sus más variados campos: como el médico, el de la fisioterapia, el de rendimiento, el de investigación e incluso el de la gestión.

Teniendo en cuenta que ciertos desajustes fisiológicos pueden influir en la respuesta térmica central o local, el empleo de la termografía en el deporte puede ayudar a la prevención de una lesión muscular, articular o tendinosa, ya que, en caso de sobreuso o sobre entrenamiento puede existir un aumento de temperatura local, en comparación con otra región corporal semejante o contralateral. La TI puede detectar dicha asimetría térmica que podría derivar en una lesión, con su consiguiente repercusión en rendimiento y la salud del deportista, la planificación del equipo e incluso, si consideramos el deporte profesional o de alto rendimiento, en los beneficios del deportista o del club.

Conocer las posibilidades de empleo de esta nueva técnica en el deporte facilita, por ejemplo, una mayor cantidad de información sobre el estado del deportista, factor clave para la planificación de un entrenamiento lo más personalizado posible.

1.4.8 Aplicaciones de la termografía infrarroja en medicina y lesiones deportivas

La termografía ha sido estudiada en diversas enfermedades en donde la temperatura de la superficie de la piel puede reflejar la presencia de inflamación en los tejidos o en donde el flujo de sangre refleja problemas fisiológicos.

Las aplicaciones y las ventajas de la termografía en la medicina han sido ampliamente estudiadas en los últimos 50 años. Algunos de estos estudios incluyen las aplicaciones de la TI en desorden neurológico, cirugía de corazón abierto, problemas vasculares, síndrome de distrofia simpática refleja, problemas urológicos, detección de fiebre.

En el contexto deportivo, diversos estudios surgieron en los 80's con el propósito de diagnosticar lesiones. Más tarde, estudios en esta área declinaron considerablemente y sólo regresaron alrededor de 2007, probando que es una técnica muy prometedora y una herramienta poderosa en el análisis de desempeño y diagnóstico de patologías en el deporte. Todos estos estudios siguen el supuesto que, en atletas sanos, la temperatura de la superficie de la piel sigue una distribución simétrica y que este parámetro es afectado cuando el daño ocurre. Los investigadores más relevantes en el área son:

- Hildebrandt et. al. Dirigido a las lesiones más comunes en varios deportes. En atletismo, la lesión más común es la tendinitis aquilea. El estudio se realizó en un corredor con 22 años de edad y en el momento de la prueba, presentaba un poco de dolor, sin inflamación, pero la asimetría era muy notable en el termograma. La diferencia de temperatura entre los dos lados era de 1.6°C.
- Más tarde, en otro estudio, Hildebrandt et. al., condujeron una investigación con 35 mujeres y 52 hombres corredores junior de esquí alpino, para evaluar la tendinopatía patelar, una lesión muy frecuente, la cual se caracteriza por presentar inflamación, dolor y sensibilidad. Los resultados mostraron que los atletas sintomáticos tenían una diferencia de temperatura media en los lados de 1.4°C ($\pm 0.58^\circ\text{C}$) considerando que los atletas no lesionados mostraron una variación lado a lado de 0.3°C ($\pm 0.61^\circ\text{C}$). Además, exámenes físicos en la rodilla mostraron que la hipotermia estaba asociada a umbral bajo por dolor de presión, indicando una buena detección para lesiones tempranas.

- Selfe et. al., realizaron un análisis cuantitativo y mostraron que la diferencia de más de un grado centígrado entre los lados del cuerpo eran suficientes para identificar problemas subclínicos antes de ser clínicamente relevantes.
- Arfaoui et. al., estudiaron la aplicación de la termografía para la detección de osteoartritis en la rodilla relacionada al deporte, lesiones traumáticas. La Osteoartritis está caracterizada por una degeneración del cartílago el cual subsecuentemente invade la bolsa articular, resultando un detonante de inflamación y, por tanto, incrementando la temperatura. El estudio fue realizado en 10 atletas patológicos y 12 sanos. Los resultados demostraron que es posible detectar comportamientos de asimetría significativa en el color de los termogramas en ambas rodillas, haciendo de la termografía infrarroja una nueva herramienta de diagnóstico para caracterizar la osteoartritis en la rodilla.
- Finalmente, Carmona condujo un estudio en el equipo profesional de fútbol de la liga española durante la pretemporada de 2008 (N=24) Y 2009 (n=24), en donde su objetivo principal era monitorear y prevenir lesiones. Las imágenes termográficas fueron recolectadas cada día antes de entrenar y en caso de asimetría mayor a 0.3°C, un protocolo de post-ejercicio fue implementado para prevención (Pinto, 2014).

1.4.9 Aplicación de la termografía: Casos y problemas que pueden detectarse.

Su principal aplicación abarca fundamentalmente la detección de problemas en el comportamiento térmico de los sistemas constructivos de los elementos de la envolvente térmica así como en la detección de problemas en los componentes de las instalaciones de los edificios . Además en el caso del certificado energético ayudan al técnico a localizar y conocer el estado de los puentes térmicos para poder estimarlos con exactitud y obtener un resultado más fiable y objetivo.

En la envolvente térmica:

- Detección, localización y verificación del estado de zonas con puentes térmicos como el encuentro de los cerramientos de fachada con forjado o con pilares, el encuentro de fachada con cubiertas, los perímetros de huecos de ventanas (jambas y dinteles), etc...o zonas donde no existe aislamiento o este se ha deteriorado.

- Detección de zonas con fugas de aire, de manera que en estas zonas también se producen mayores pérdidas energéticas generando problemas en las instalaciones de ventilación, así como posibles condensaciones.
- Detección de humedades que pueden generar otros daños o patologías que acaben afectando al resto del edificio. Además hay que tener en cuenta que la condensación en ciertas capas interiores de los cerramientos, dado que las cámaras tampoco suelen tener ventilación, dificultan el secado de las mismas y favorecen la aparición de otros problemas asociados como la presencia de hongos o de moho.
- Detección de zonas de fachada con excesivas pérdidas de calefacción, en este caso la termografía nos ayuda a detectar ciertas zonas de fachada donde el calor se escapa rápidamente al exterior, pues el espesor de la fachada era mínimo y no tenía apenas resistencia térmica, puesto que solían colocar los radiadores o emisores de calor en unas hornacinas generadas a consta de restarle capas al cerramiento.

En los sistemas de instalaciones:

- Detección de problemas en los componentes de las instalaciones eléctricas de alta o baja tensión, y fallos en el sistema, como por ejemplo sobretensiones, conexiones mal realizadas o daños internos, excesivos recalentamientos en algunos fusibles o conexiones, etc.
- Detección de fallos en instalaciones mecánicas, dentro de estas encontramos las de agua caliente sanitaria, climatización y de protección contra incendio, permitiéndonos estudiar el estado en que se encuentran sus componentes, y a detectar cualquier fuga de agua, obstrucción de tuberías, deterioro o pérdida del aislamiento que presentan, espesores inadecuados de aislamiento o incorrecta colocación del mismo.
- Observación del estado de motores y equipos de bombeo de manera que una imagen térmica nos va a ayudar a detectar motores recalentados, bombas sobrecargadas, rodamientos calientes o problemas de lubricación, detectar estos problemas puede ayudar a evitar que se produzcan otros daños más graves y de más costosa reparación.
- Permiten realizar el mantenimiento y verificar el estado de conservación de paneles fotovoltaicos, de manera que sólo mediante su monitorización y un adecuado mantenimiento se podrá garantizar el adecuado rendimiento de dicha instalación. Con la termografía se

podrán detectar cualquier tipo de anomalías en estos paneles como la presencia de células rotas, células con fisuras o bien con soldadura defectuosa entre sus uniones.

- El empleo de la termografía se hace necesario para auditorías energéticas o cuando se va a realizar una rehabilitación energética, debido a la objetividad y fiabilidad que aporta para conocer el estado real del comportamiento térmico de envolvente e instalaciones, pero no sólo en estos casos sino también en la realización del certificado energético, sobre todo porque es necesario valorar que, en un determinado edificio, aunque pueda presentar un buen espesor de aislamiento térmico con buenas carpinterías, buenos vidrios, etc.... si no se dispone de información correcta sobre cómo se comportan las zonas con puentes térmicos o sobre la presenta excesivas zonas con infiltraciones o la existencia de fugas de aire o pérdidas de calor, probablemente realizaremos una estimación incorrecta de los mismos a la hora de introducir dicha información.

- Uno de los puntos de mayor relevancia a la hora de subsanar problemas en la envolvente térmica y que pueden deteriorar el edificio radica en la detección de las zonas frías o puentes térmicos que pudieran originar humedades. Estas humedades de condensación son un problema potencial que con los años pueden afectar a los elementos estructurales del edificio, si además añadimos que pueden confluir otros tipos de humedades por fugas en la red de desagües o en conductos de la red de agua fría y/o caliente, nos enfrentamos a un problema todavía mayor, por eso es fundamental intentar detectar y subsanar los mismos.

- Igualmente en el caso de las instalaciones es de gran utilidad para evaluar si el rendimiento de las mismas es el adecuado y verificar que los componentes no se han deteriorado o presentan cualquier tipo de patología que puedan acabar mermando el funcionamiento de la instalación. Evidentemente si los equipos pierden rendimiento los consumos energéticos se disparan y además estos problemas mencionados podrían afectar y mermar considerablemente los años de vida útil de la instalación

<https://ovacen.com/uso-y-aplicaciones-de-la-termografia/>

Dentro del área médica, recientemente, (Muñoz, 2016), establece que la interpretación correcta de una imagen obtenida mediante termografía —tecnología que registra gráficamente la temperatura del cuerpo— puede ayudar en la detección temprana de cáncer de mama. Con un nivel de efectividad superior a 90 por ciento, esta técnica es desarrollada

en México por el doctor Francisco Javier González Contreras, investigador de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

"Los tumores cancerosos, específicamente el de cáncer de seno, tienen una generación de calor metabólica más alta porque las células se reproducen más rápido que en el tejido normal. Esas variaciones de temperatura se pueden ver a través de la termografía infrarroja", explicó el también director del Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología de Terahertz en entrevista para la Agencia Informativa CONACYT.

Este método de exploración clínica, además de no ser invasivo, permite la detección de formaciones anormales menores a seis milímetros de diámetro y a una profundidad de dos centímetros en el seno. "Si tomamos en cuenta que el principal método que se promociona es la autoexploración, una mujer no nota una 'bolita' hasta que mide más o menos un centímetro, y ya para cuando llega una persona con una formación de este tamaño, el tumor pudo haber estado creciendo de tres a cinco años", acotó el académico, ganador del Premio Nacional de Investigación 2012.

Considerado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) como un método de diagnóstico adjunto, el investigador reconoce que se recomienda complementar esta técnica con el ultrasonido para obtener un diagnóstico más certero, debido a que aún no está avalado como único para determinar la presencia de esta enfermedad.

Cómo funciona

Antes de realizar la toma de una imagen para su posterior interpretación es necesario equilibrar la temperatura corporal, por lo que las pacientes son colocadas alrededor de diez minutos en una cámara con temperatura controlada. Después se toman tres imágenes del seno —una de frente y dos laterales—, a fin de abarcar la totalidad del mismo y parte de la axila, sitio donde se ubican los ganglios linfáticos.

El equipo del doctor González Contreras utiliza una cámara FLIR T600, de fabricación estadounidense, capaz de generar imágenes de 480 por 360 pixeles de longitud. Tras la obtención de la imagen y mediante un método de diagnóstico especializado, se otorga una

puntuación a cada seno, basada tanto en la temperatura como en el patrón vascular, entre otros factores.

La primera consideración surge al comparar la medición de ambos senos. Si existe disparidad en la temperatura de ellos, es muy probable que exista un problema. La diferencia de las temperaturas puede ser hasta de cuatro centígrados, reconoce el especialista.

“No solamente nos fijamos en la temperatura. En la imagen se pueden ver las venas que pasan por el tejido, entonces si en un seno hay más venas que en otro, damos una puntuación de hasta dos, a los que se suman hasta otros dos por el aumento de temperatura”, apuntó el académico.

Los puntos determinan las acciones posteriores para la mujer. Si se califica con más de tres puntos, es muy probable la presencia de células cancerosas, por lo que se confirma mediante otro método como el ultrasonido o la mamografía. Si el puntaje es menor a tres, las mujeres se mantendrán únicamente bajo supervisión ya que, pese a presentar anomalías, no existiría en ese momento riesgo de cáncer.

¿Qué más se puede detectar?

Además de cáncer de mama, a través de imágenes termográficas se puede detectar trombosis venosa profunda, pie diabético, melanomas y enfermedades de la piel como psoriasis; también ayuda a calcular la profundidad de heridas causadas por quemaduras (Muñoz, 2016).

Con base en el estudio de (Guerrero-Robles et al., 2015), diversos grupos han propuesto el procesamiento de imágenes termográficas para detección de Cáncer de Mama (CaMa). Angiogénesis y vascularización dependientes del ciclo menstrual, edad e Índice de Masa Corporal (IMC) modifican la temperatura absoluta en la superficie tisular sin estar necesariamente asociadas a malignidad, en este estudio proponen la Termografía Tisular Diferenciada (TTD) en mama con respecto a su contralateral en espejo con el fin de observar diferencias térmicas características de malignidad. Se evalúa la posibilidad de emplear la TTD como potencial técnica para asistir la detección de CaMa. Se muestrearon mujeres segmentadas en dos grupos experimentales: grupo sanas (n=90) y grupo con CaMa (n=20)

previamente diagnosticadas por mastografía e histopatología. Imágenes termográficas de ambas mamas fueron adquiridas con una cámara infrarroja y se estimó la TTD en relación a la mama contralateral de la misma paciente, se realizó un análisis de sensibilidad y especificidad y se comparó con el diagnóstico radiológico a través de curvas ROC tomando como referencia el diagnóstico histopatológico. La TTD muestra viabilidad técnica para asistir la detección de CaMa.

En las imágenes térmicas, cambios sutiles en la temperatura superficial de la mama se pueden detectar y pueden indicar padecimientos y anormalidades de la mama. La termografía para detección de cáncer de mama se basa en el hecho de que la temperatura de la piel que recubre una malignidad es mayor que la registrada en la piel del tejido de mama normal. Esto es probablemente debido a un aumento en el flujo sanguíneo, incremento de la actividad metabólica y angiogénesis alrededor del sitio de la lesión. Con el objetivo de mejorar la interpretación de imágenes termográficas diversos investigadores han propuesto diferentes estándares y software de análisis. Ng y colaboradores en el 2001 propusieron un estándar para la toma de termografías durante el ciclo menstrual. Estudiaron durante 2 meses un grupo de 50 mujeres entre 21 y 45 años de edad y analizaron un total de 800 termografías de mama en vistas frontal y lateral, digitalizadas y segmentadas a través de un software computacional que desarrollaron para discriminar la región útil del fondo y la detección de los límites.

Analizaron la variación de la distribución de la temperatura en la mama durante el ciclo menstrual y determinaron que los días del 5 al 12 y después del 21 corresponden a los que menos vascularización presentan y por lo tanto ideales para realizarse la termografía. En el 2008, Ng y Kee propusieron un modelo estadístico para analizar imágenes termográficas tomadas entre los días 5 al 12 y a partir del día 21 del ciclo menstrual, dicho modelo consta de una regresión lineal, una “Red de Funciones de Base Radial” (RBFN) y un análisis de la curva “Receiver Operating Characteristics” (ROC).

Primero emplearon la regresión para correlacionar las variables y el estado de salud real de los sujetos determinado por mastografía (82 pacientes: 30 asintomáticas, 48 con anomalías y 4 con cáncer, entre 51 ± 8 años de edad); posteriormente seleccionaron las variables adecuadas para la construcción de una red neuronal y la RBFN para producir un resultado ya sea

negativo o positivo. Por último, aplicaron el análisis de curvas ROC para evaluar la sensibilidad, especificidad y exactitud de la prueba RBFN.

En sus resultados termográficos hallaron una sensibilidad del 100%, una especificidad del 70.6% y una exactitud del 80.95%, en comparación con el examen clínico de radiólogos experimentados que tiene un índice de exactitud de aproximadamente 60- 70%. Wang y colaboradores en el 2010 desarrollaron un estudio para conocer el rendimiento de las termografías en mama utilizando un modelo interpretativo derivado de un sistema de puntuación. Para ello; un radiólogo identificó las lesiones en las mastografías de 276 mujeres con una edad promedio de 50.8 ± 11.8 años, dos radiólogos más analizaron las imágenes termográficas con hallazgos sospechosos de cáncer basados en el reporte del primer radiólogo y un sistema de escala de gradientes, posteriormente realizaron la correlación del diagnóstico mastográfico con el estado final de la enfermedad mediante análisis de regresión logística uni y multivariante.

Finalmente estimaron los valores de las curvas ROC para cada signo de la escala de gradientes del modelo univariante y el modelo multivariado ajustado por edad. Como resultado obtuvieron una sensibilidad de 74.4%, una especificidad de 76.6%, un valor predictivo positivo de 81.3% y un valor predictivo negativo de 66.4%. Así; el empleo de la termografía como herramienta de diagnóstico del cáncer de mama se ha propuesto desde hace aproximadamente cuatro décadas sin que hasta el momento su utilidad haya sido validada, por lo que se mantiene la desconfianza en la utilidad del método como herramienta única de diagnóstico debido fundamentalmente a su limitada especificidad. En contraste; existen investigaciones que soportan la utilidad de la termografía como técnica auxiliar cuando se usa con otros métodos.

Un ejemplo se deriva de métodos similares a los que se utilizan en el análisis y caracterización de materiales denominados “Análisis Diferencial Térmico” o “Calorimetría Diferencial” donde se exponen dos muestras del mismo material a diferentes condiciones de temperatura (una controlada y la otra variante) a fin de observar la respuesta en sus propiedades térmicas. Una investigación que se realizó con la intención de mejorar la calidad de la información que se deriva de las imágenes termográficas, en contraste con obtener sólo la imagen a

temperatura ambiente, fue la realizada por Gauthier en 1980, en tal estudio expuso previamente a las pacientes a una temperatura diferente para posteriormente medir la respuesta dinámica de los cambios de temperatura por enfriamiento espontáneo de la piel de las regiones sana y posiblemente patológica.

(Guerrero-Robles et al., 2015), proponen una metodología de medición que consiste en utilizar las mismas condiciones ambientales para las dos regiones de tejido de mama a analizar y utilizar la diferencia de temperaturas en condiciones térmicas del tejido superficial en lo que se puede considerar como “estado estable”. La idea central radica en observar las diferencias de temperatura en una mama con respecto a su contralateral y hacer emerger cambios en la respuesta dinámica de temperatura asociada a malignidad, tal procedimiento representa una estrategia relativamente sencilla y susceptible de emplearse por profesionales de la salud sin un alto grado de especialización.

Por otra parte, proponen medir las propiedades eléctricas tisulares a través de inducción magnética a múltiples frecuencias como una alternativa valiosa para detectar de manera no invasiva neoplasias malignas en tejido de mama.

En tanto, desarrollaron un Espectrómetro Inductivo prototipo; inductor-sensor de campos magnéticos de baja intensidad y de frecuencias no ionizantes, adaptado de forma ergonómica a la anatomía de la mama. El sistema utiliza la técnica de Espectroscopía de Inducción Magnética (EIM), la cual mide las propiedades eléctricas del tejido a través de campos magnéticos a múltiples frecuencias. En recientes estudios han reportado que cambios de la temperatura tisular dependientes de la fase del ciclo menstrual, volumen de mama, edad e IMC tienen una influencia en las mediciones de EIM en mama, por lo que tales cambios podrían representar factores de confusión en la aplicación de la EIM para discriminar tejido cancerígeno.

Resulta evidente que cambios en la temperatura tisular de la mama no solo pueden ser dependientes de malignidad, sino que factores asociados a la angiogénesis y vascularización dependientes del ciclo menstrual, inclusive la edad y el Índice de Masa Corporal (IMC) pueden modificar la temperatura tisular absoluta en la superficie de la mama, razones por las

cuales se han explorado diversas estrategias orientadas a minimizar el efecto de tales factores en la discriminación de CaMa a través de termografía, las estrategias documentadas hasta el momento han propuesto desde el muestreo termográfico en fases específicas del ciclo menstrual, hasta algoritmos complejos de procesamiento y clasificación de imágenes termográficas asistidos por redes neuronales artificiales, los cuales si bien en algunos casos han arrojado niveles de sensibilidad y especificidad comparables a los estimados por el diagnóstico radiológico, su aceptación clínica ha sido cuestionada por las limitaciones que tales estrategias representan en el muestreo de mujeres con ciclos menstruales irregulares, posmenopáusicas o bien la demanda de requerimientos técnicos de alta especialización para el procesamiento e interpretación de imágenes termográficas.

Cabe mencionar que esta propuesta se encuentra basada en el hecho de que la probabilidad de que el CaMa se manifieste de manera simétrica (simultáneamente) en ambas mamas es muy baja, puesto que no se encontraron reportes en la literatura de tal incidencia, en la experiencia del personal médico del campo clínico donde se realizó el presente estudio se estima una incidencia de aproximadamente el 2% de los casos que corresponden al cáncer de tipo lobulillar, el cual representa aproximadamente del 5 al 10% de todos los casos de CaMa.

Así; observar las diferencias de temperatura en una mama con respecto a su contralateral (normalización en espejo) busca neutralizar de una manera simple el efecto de factores asociados al volumen tisular, edad e IMC, así como la angiogénesis y vascularización dependientes del ciclo menstrual, de tal forma que emerjan de manera natural aquellas diferencias de temperatura asociadas a malignidad en alguna de las mamas.

Mantenimiento predictivo

Las cámaras termográficas por infrarrojos son la primera línea de defensa en un programa de mantenimiento predictivo. Los cambios de temperatura son un parámetro clave en el control de equipos y, dado que la termografía no necesita contacto, los técnicos pueden medir rápidamente la temperatura de los equipos sin interrumpir su funcionamiento. La termografía destaca en la medida de unidades frente a la medida de puntos.

A diferencia de un termómetro por infrarrojos que solamente captura la temperatura en un solo punto, una cámara termográfica captura el perfil de temperatura de un objeto completo como una imagen bidimensional. Los técnicos pueden revisar la temperatura tanto de los componentes fundamentales como de toda la superficie de la unidad, o bien comparar una unidad en buen estado con una problemática, y determinar así rápidamente en qué lugar se debe investigar. Las cámaras termográficas también pueden almacenar imágenes anteriores y actuales para compararlas, así como cargar imágenes en una base de datos centralizada.

Usos comunes

- Supervisión y medida de temperaturas de rodamientos en motores grandes u otros equipos giratorios.
- Identificación de "puntos calientes" en equipos electrónicos.
- Identificación de fugas en recipientes herméticos.
- Búsqueda de aislamientos defectuosos en tuberías u otros procesos aislados.
- Búsqueda de conexiones defectuosas en circuitos eléctricos de alta potencia.
- Localización de interruptores automáticos sobrecargados en un cuadro eléctrico.
- Identificación de fusibles en el límite de su capacidad nominal de corriente, o próximos al mismo.
- Identificación de problemas en el cuadro de distribución eléctrica.
- Captura de lecturas de temperatura de procesos.

1.4.10 Aplicación de referencia: temperatura de funcionamiento del motor

Cuando una planta de procesamiento de papel tuvo un problema con una unidad de control de bombeo, la termografía mostró que uno de los ramales de la alimentación trifásica estaba funcionando a una temperatura elevada, lo cual indicaba que la unidad estaba consumiendo demasiada corriente a través de dicho ramal. El personal de mantenimiento ejecutó una orden de trabajo e intentó reparar el controlador de la bomba; no obstante, la comprobación termográfica efectuada posteriormente para evaluar la reparación mostró que ahora dos ramales estaban funcionando a una temperatura elevada.

El equipo de mantenimiento intentó efectuar una segunda reparación, pero los tres ramales comenzaron a funcionar a una temperatura elevada. Finalmente, quitaron la unidad completa y la sustituyeron por otra. Todas las medidas y los intentos de reparación ocurrieron antes de que se produjera un fallo catastrófico. No se perdió tiempo de producción, ni se dañó o perdió ningún material de ningún trabajo en curso. Un buen programa de mantenimiento predictivo que incluya técnicas de termografía pone a su disposición pasos para corregir pequeños problemas antes de que sean más grandes.

<http://www.fluke.com/fluke/es/soluciones/mantenimiento-de-planta/mantenimiento-predictivo/termograf%C3%ADa>

2. ESTADO DEL ARTE

En la presente sección se describe la literatura revisada, sobre la cual opera este trabajo de investigación. Inicialmente, se realizó una búsqueda sobre DTA's, modelos implementados para reducir riesgos ergonómicos y temas de ergonomía ambiental y su relación con la producción. Posteriormente, se realizaron investigaciones sobre la TI y su aplicación en el STC. Finalmente, se realizó un estudio sobre STC y factores de riesgo.

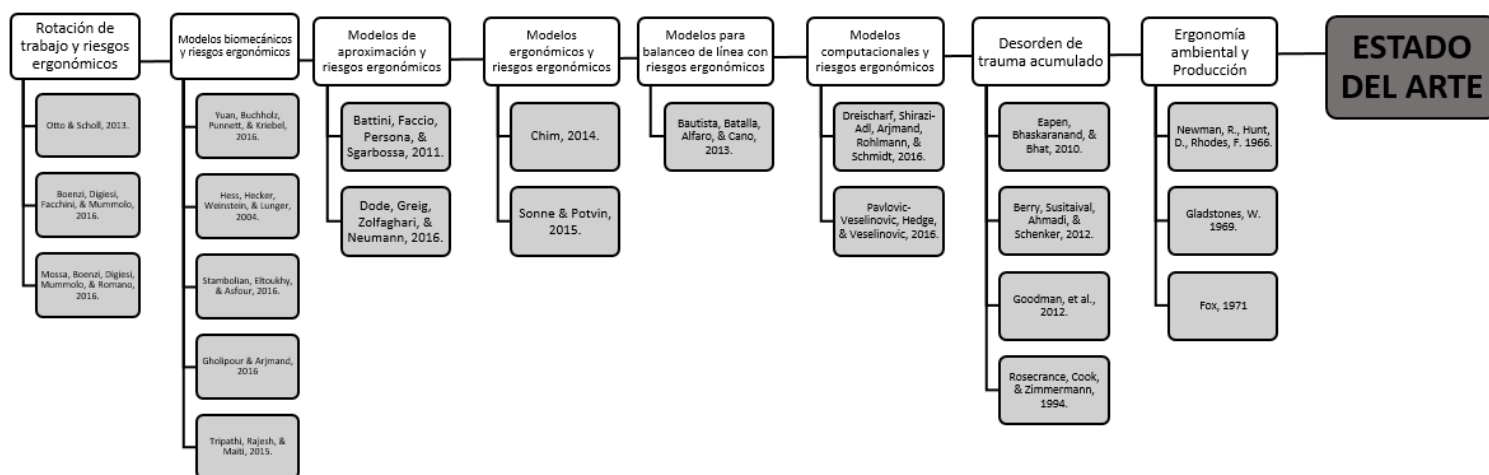


Figura 4: Resumen del Estado del Arte sobre riesgos ergonómicos y DTA's.

A continuación se describen los trabajos de investigación revisados que se muestran en el diagrama de la Figura 4, los cuales se clasifican de acuerdo con los temas relacionados con riesgos ergonómicos y DTA's.

Respecto a los trabajos enfocados en la rotación de labores, se utilizan ya sea modelos heurísticos (Otto & Scholl, 2013), algoritmos (Boenzi et al., 2016), o bien, modelos de programación integrada para que los trabajadores estén bajo la menor exposición de riesgos ergonómicos, buscando siempre la solución óptima (Mossa et al., 2016).

Por un lado, se examinaron formas de programar la rotación de actividades que balancee los riesgos ergonómicos en los trabajadores. Se propuso un modelo heurístico efectivo y rápido computarizando las soluciones iniciales y re-optimizando el proceso. A su vez se utilizó una búsqueda de aproximación tabú, lo cual es muy recomendable. Esta combinación de aproximaciones logró resolver el problema en tiempos computacionales cortos (Otto & Scholl, 2013).

Mientras que (Boenzi et al., 2016), utilizaron el método OCRA para evaluaciones ergonómicas en casos infrecuentes de rotación de trabajo. Se utilizó un algoritmo, implementando diferentes criterios de ergonomía, identificando entre todas las formas de rotación de trabajo viables, la mejor solución en presencia de un subgrupo de trabajadores o que requieran la menor exposición de riesgos.

Del mismo modo, (Mossa et al., 2016), proponen un modelo que pretende encontrar el programa de rotación de trabajo óptimo en ambientes de trabajo caracterizados por tareas manuales de carga baja altamente repetitivos. El modelo es una mezcla de programación integrada, permitiendo maximizar el rango de producción y a su vez, reduciendo y balanceando las cargas de trabajo y los riesgos ergonómicos con límites aceptables.

Conjuntamente se observan trabajos en donde se hacen uso de modelos biomecánicos, en los cuales se estiman fuerzas (Stambolian et al., 2016).

(Gholipour & Arjmand, 2016), efectuaron predicciones de posturas espinales en 3 dimensiones en diversas actividades de alcance estático y levantamiento de carga.

En tanto (Hess et al., 2004), introducen innovación ergonómica para reducir los riesgos en desorden de espalda baja, cuantificando la evaluación de la exposición, aplicando una aproximación interventoría en la construcción.

Adicionalmente, se desarrollaron modelos de aproximación para evaluaciones de diseño y optimización ergonómica, así como modelos de simulación para predicciones de productividad y calidad (Dode et al., 2016).

Mientras tanto, (Yuan et al., 2016), desarrollaron un modelo de aproximación biomecánico para evaluar ergonómicamente la instalación de una pared de yeso. Se integraron tres metodologías: primeramente, muestreo de la actividad laboral, para determinar el porcentaje de tiempo de la instalación. Seguidamente se efectuó simulación computacional (Monte-Carlo), que permitió la conversión de los datos recopilados previamente a variables continuas para inmediatamente después introducirse al modelo biomecánico para aproximar las cargas físicas en la espalda baja y hombros.

Del mismo modo, (Dreischarf et. al., 2016), (Pavlovic-Veselinovic et. al., 2016), emplearon modelos computacionales con el fin de estimar cargas en la espina lumbar y para detección de desorden músculo-esquelético. Mientras que (Chim, 2014), pretende ofrecer una solución sistemática para manejar riesgos potenciales de desorden músculo esquelético entre usuarios de computadora en asientos de oficina. Desarrolló un programa de ergonomía en oficinas, a través del modelo FITS, el cual se compone de cuatro puntos: evaluación y selección de muebles, evaluación individual de la estación de trabajo, educación y entrenamiento y ejercicios de estiramiento y tiempos de descansos.

En cuanto a los modelos ergonómicos, se aplicó para manejar riesgos potenciales de desorden músculo-esquelético y para predecir fatiga (Sonne & Potvin, 2015).

Por otra parte (Chattopadhyay et al., 2012), presentaron un caso de éxito de aplicación de técnicas de adaptación de dominio multifuente para detectar diferentes niveles de fatiga basados en la superficie de señales electromiográficas sobre sujetos múltiples. Se clasificaron los artículos por sus niveles de calidad y se crearon dos modelos de práctica.

(Bautista et al., 2013), utilizaron modelos para el balanceo de líneas de ensamble considerando riesgos ergonómicos. Presentaron una extensión del problema TSALB (balanceo de línea de ensamble con restricciones de tiempo y espacio), y restricciones de riesgos ergonómicos.

Estudios recientes centrados en el DTA, estudian la prevalencia de este trauma en miembros superiores en usuarios de celular. Para ello se aplicaron cuestionarios basados en encuestas comprometidas a detectar la prevalencia de DTA en estudiantes (Eapen et al., 2010). Por otra parte, se estudió la prevalencia de DTA en veterinarios, detectando el problema en base a cuestionarios que fueron enviados a diversos profesionales.

Se aplicó un análisis de regresión multivariable para encontrar los factores significativos en DTA (Berry et al., 2012).

(Goodman, et al., 2012), efectuaron una revisión de abstracts para encontrar las intervenciones actuales y efectivas en DTA's enfocadas en las extremidades superiores para usuarios de computadora.

Entre otras investigaciones, (Campillo & De la Vega Bustillos, 2012), proponen un modelo de predicción de DTA por medio de TI para lograr el temprano descubrimiento de este tipo de lesiones y poder prevenir un problema más severo. Sin embargo, concluyen que dicho modelo no es tan bueno para explicar la variabilidad de la temperatura en el tiempo, por lo que es necesario realizar más análisis.

(Rosecrance et al., 1994), desarrollaron e implementaron un programa de vigilancia activa multietapas para el manejo y control de DTA. Este estudio se centra en las primeras tres

etapas de modelo de vigilancia multietapas que son: cuestionarios de factores de trabajo, encuestas específicas de anatomía y pruebas de detección clínicas.

(Lowe, 1999), propone como tratamiento alternativo y complementario para reducir la frecuencia para tratar diversos DTA's. El masaje ortopédico es un sistema compuesto por una amplia variedad de métodos de tratamientos por masaje. El masaje ortopédico es un método efectivo para tratar varios DTA's.

(Battini et. al., 2011), desarrollaron una nueva infraestructura teórica para evaluar una reciente aproximación de ingeniería para ensamblar problemas de diseño de sistemas en conjunto con optimización ergonómica en el área de trabajo.

En resumen, los trabajos de investigación revisados, buscan cada uno predecir, estimar, reprogramar labores, estimar fuerzas, etc., con el propósito de reducir los riesgos ergonómicos. Este trabajo de investigación plantea emplear un modelo cuantitativo sobre variables que permitan medir temperatura, ritmo cardiaco, tensión arterial, frecuencia respiratoria, IMC, edad y sexo.

Por otra parte, la búsqueda continuó respecto a los temas relacionados con las aplicaciones de la Termografía Infrarroja en el área de la medicina, específicamente sobre el STC. Los estudios encontrados se clasificaron como sigue:

2.1 Aplicación de termografía infrarroja para el diagnóstico de STC

En lo que respecta a las investigaciones realizadas sobre la aplicación de la TI en el diagnóstico de STC, seis de dieciocho estudios revisados, que incluyen (Živčák et al., 2011), (Tkáčová et al., 2010), (Papež et al., 2008), (Papež et al., 2009), (Palfy et al., 2007) & (Tchou et al., 1992), a través de sus investigaciones efectuadas para determinar la efectividad de TI como método de diagnóstico de STC, mediante el análisis de imágenes térmicas de manos en sus partes dorsal y palmar, entre personas sanas y pacientes con STC, coinciden que el lado dorsal de la mano proporciona mayores resultados de éxito al diagnosticar STC y por tanto, es más importante que la zona palmar de la mano.

Dos de dieciocho estudios lograron clasificar correctamente el 72,2% de todas las manos (sanas y patológicas) basada en imágenes del dorso y 80% de las manos cuando sólo estaban gravemente afectadas y considerando a su vez las manos sanas (Živčák et al., 2011) & (Papež et al., 2009).

Por otro lado, (Tkáčová et al., 2010), (Papež et al. 2008), (Papež et al., 2009) & (Tchou et al., 1992), obtuvieron tasas de éxito de la clasificación de manos sanas y con patología STC cercanas o superiores al 80%.

(Živčák et al., 2011), se valieron de una base de datos de 268 termogramas, clasificados en 120 manos sanas y 14 manos con STC clínicamente diagnosticadas. Se observó la distribución de temperaturas y se calcularon las temperaturas parciales en 5 regiones que son: punto central de los carpóforos (D1), punto central de los metacarpos (D2) y las puntas del tercer dedo desde las falanges proximales (D3), las falanges intermedias (D4) hasta las falanges distales (D5) y el índice de Nervio Mediano ($MI=(D1-D5)$).

(Papež et al., 2008), (Papež et al., 2009), (Tkáčová et al., 2010) & (Palfy et al., 2007), utilizaron sistemas de inteligencia artificial para mejorar el diagnóstico de STC. (Papež et al., 2008), probaron la fiabilidad del método mediante 112 tomas de termogramas (26 manos sanas y 30 patológicas). Dividieron la mano en 12 áreas de interés: los dedos (cinco segmentos), metacarpo (cinco segmentos) y carpo con muñeca (dos segmentos). Del mismo modo, en un trabajo posterior, (Papež et al., 2009), segmentaron la región de la mano de la misma forma descrita previamente y emplearon una base de datos de 502 imágenes térmicas incluyendo 132 manos sanas y 119 patológicas.

En el trabajo realizado por (Tkáčová et al., 2010), registraron 14 imágenes térmicas (7 sanas y 7 afectadas) y midieron la temperatura de cada mano dividida en 5 segmentos. Por otra parte, (Tchou et al., 1992), registraron 122 termogramas en donde 61 pacientes presentaban STC y 40 voluntarios sin padecimiento. Midieron las temperaturas de los dedos pulgar, índice

y medio de cada mano desde la metacarpofalángica de la unión a la punta de los dedos y hacia el ancho de los dedos.

(Palfy et al., 2007), emplearon 44 termogramas de manos sanas y patológicas (23 patológicas y 21 saludables) a las cuales midieron sus temperaturas y dividieron la mano en las siguientes áreas de interés: dedos (5 segmentos), metacarpo (parte intermedia de la mano - 5 segmentos) y el carpo con la muñeca (2 segmentos).

Por su parte, (Herrick et al., 1987), emplearon la termografía para la obtención de imágenes de la columna cervical, los hombros, los antebrazos y las manos de un total de 90 pacientes de los cuales, 55 padecían STC. Sus estudios para diagnosticar STC mediante termografía, establecen que los resultados fueron eficaces y sensibles para diferenciar el diagnóstico del STC de otras neuropatías compresivas periféricas, incluyendo la radiculitis cervical, el síndrome de la salida torácica, el síndrome del túnel cubital y el síndrome del canal de Guyón. Los resultados alcanzaron una especificidad general de los estudios termográfico del 80%, y la sensibilidad fue del 96%, en tanto que al considerar únicamente a los pacientes de STC, el éxito de diagnóstico ascendió al 97% con 100% de sensibilidad.

(Ming et al., 2005), efectuaron un estudio para esclarecer la patología simpática en el STC y la utilidad de la TI como diagnóstico de ayuda. Se midieron temperaturas en puntas de los dedos, punto central tenar y eminencias en 38 manos patológicas y 41 manos sanas y se analizaron las temperaturas para determinar si presentaban diferencias significativas; además, se calcularon las diferencias de temperaturas entre las puntas de los dedos. Los resultados muestran diferencias altamente significativas en las temperaturas del área de distribución del nervio mediano en las manos entre el STC y el grupo de control. Las diferencias entre el área de distribución del nervio mediano y cubital también fueron diferencias altamente significativas en las manos con STC. La sensibilidad y especificidad de la TI fue del 84 y 91%, respectivamente.

Por otra parte, (Baic et al., 2017) además de comprobar la utilidad de TI como método de diagnóstico de STC, analizaron su posible uso para el monitoreo del proceso de sanación en cirugía de STC. Se obtuvieron imágenes en ambas manos de palmas y dorso, para obtener

gradientes de temperatura. Los pacientes con cirugía de STC fueron examinados antes y después de la cirugía para verificar efectos del tratamiento. En este estudio participaron 15 pacientes con STC, 15 pacientes operados de STC y 15 voluntarios sanos. Las imágenes térmicas analizadas mostraron que difieren completamente los controles sanos y los pacientes, así como la imagen térmica manual realizada antes y después de la cirugía. El análisis térmico muestra que el pulgar se recupera más rápido que el resto de los dedos. Esto podría deberse a la eminencia tenar, un músculo muy fuerte, que puede proteger los nervios y los vasos sanguíneos. De hecho, los dedos corazón e índice están expuestos a los efectos del STC más que el pulgar.

Uno de dieciocho trabajos de investigación revisados, evaluaron la temperatura en las puntas de los dedos antes y después de efectuar ejercicio manual. Dicho estudio fue realizado por (Orlin et al., 2005), en 22 pacientes con síntomas de STC, así como 16 sujetos de control, a través de dos ejercicios en las manos: (1) Dorsiflexión pasiva en la articulación radiocarpiana en el rango de 0-75°, usando una flexión de mano especialmente desarrollada. Dicho dispositivo permite un aumento angular en 5 pasos y (2) Medidas realizadas antes e inmediatamente después de una prueba de ejercicio manual. Con la muñeca en posición neutral, la mano comprimió intermitentemente un fortalecedor de mano (una compresión por segundo) a la máxima resistencia durante 90 segundos, o menos en los casos en que la fatiga se presentaba tempranamente. Los hallazgos en termografía correlacionan bien con el deterioro de los síntomas después de la prueba de ejercicio manual. La temperatura de la yema de los dedos se redujo significativamente en los pacientes después del ejercicio. No hubo cambios en los sujetos de control. Pacientes con STC de bajo grado presentaron reducción de temperatura en la piel, causada por aumento de sudoración

A diferencia de los trabajos analizados anteriormente, (Maxel et al., 2014), estudiaron la respuesta térmica en 6 pacientes con STC y 5 personas sanas, de manera que excitaron las manos de los pacientes (cambios de temperatura frío-caliente). Por medio de los termogramas infrarrojos obtenidos, se demostró que las manos infectadas por el STC dan una respuesta térmica. La variación de la temperatura es débil para los pacientes sanos y aumenta para los

pacientes patológicos. También prueba que la variación de la temperatura debe estar por encima o por debajo de 0 °C.

Por su parte, (Lang et al., 1995), realizaron un estudio más profundo con el fin de evaluar las funciones de las fibras nerviosas gruesas y finas en STC para determinar si los datos de las fibras del nervio delgado podrían añadir más información al diagnóstico del STC. Se examinaron la conducción nerviosa motora y sensorial, las pruebas vibratorias, los umbrales de sensaciones de calor y frío, la magnitud del umbral superior del dolor y la respuesta de llamarada, así como los reflejos simpáticos antes y después de la descompresión del nervio mediano de 22 pacientes y 16 sujetos de control. Se evaluaron las temperaturas medias del segundo, tercero, y quinto dedos; el thenar y el hypothenar; y la zona alrededor del sitio de la mecano-estimulación de la piel entre el segundo y tercer dedo. Sin embargo, la evaluación de la respuesta de antorcha y reflejos simpáticos usando TI y fotopletismografía no añadieron más información para el diagnóstico de STC.

Asimismo, (Park et al., 2008), determinaron que IT no es útil para el diagnóstico de STC. En su trabajo de investigación, en torno a evaluar la factibilidad de dicho método para diagnosticar STC unilateral, evaluaron una población de 28 pacientes con dicha patología, en donde 19 de 28 pacientes con STC unilateral mostraron diferencias de temperatura significativa en la punta del pulgar, índice y medio, pero 13 de estos 19 pacientes mostraron diferencia significativa en al menos una de las regiones que no son inervados por el nervio mediano al pasar el túnel carpiano. Sólo 4 de 28 pacientes con STC unilateral mostraron la temperatura significativa en la punta del pulgar, índice o dedo medio y 2 de estos 4 pacientes mostraron diferencia significativa en al menos una de las regiones que no están inervadas por el nervio mediano que pasa por el túnel carpiano.

Por último, (Reilly et al., 1989), buscan encontrar los patrones térmicos característicos en el STC en 23 pacientes con historial clínico que sugerían el padecimiento de esta patología. Se compararon pruebas de conducción nerviosa media y termografía. Sin embargo, a pesar de haber encontrado irregularidad térmica en muñecas y dedos, no se encontró un patrón de

diagnóstico claro. Del mismo modo, no se encontró asociación entre las pruebas clínicas y la termografía o las pruebas de conducción.

2.2 Aplicación de termografía infrarroja para estudios sobre STC

En lo que respecta al uso de TI en avances médicos de la patología de STC, (Ming et al., 2007), estudiaron la recuperación de los pacientes tras cirugía de STC. Obtuvieron termogramas de las manos antes y después de la liberación de STC entre 22 pacientes y 41 voluntarios. Posteriormente, obtuvieron las temperaturas de las puntas de los dedos desde el dígito 1 hasta el dígito 5, el punto central de las eminencias Thenar e Hipotenar, el índice nervioso medio y la diferencia de temperatura entre la mediana y el área de distribución del nervio cubital. Los resultados de las mediciones de TI sugieren que la regulación del flujo sanguíneo en el STC es anormal, posiblemente debido a la alteración de la regulación vasomotora simpática y que la circulación se normaliza junto con el alivio de los otros síntomas del STC registrados 6 meses después de la operación.

(Lang et al., 1994), evaluaron las posibles disfunciones en las fibras nerviosas no mielinizadas en el STC empleando TI para medir la temperatura de la piel en ambas manos en reposo. Además, se estudiaron los cambios de temperatura reflejados durante la maniobra de Valsalva y estimulación mecánica nociva en diferentes áreas de la mano. Participaron 23 pacientes con STC y 16 voluntarios. Se analizaron las temperaturas medias de los dedos 2º, 3º y 5º, el tenar y el hipotenar, el área alrededor del sitio de la mecano-estimulación nociva de la piel entre el dedo índice y el medio y en un área de referencia alrededor de la piel entre el dedo anular y el meñique. La vasodilatación en el área de estimulación se evaluó restando la temperatura media en la zona eritematosa a partir de la de la zona de referencia. Se presentaron efectos similares en la maniobra de Valsalva en la temperatura de la piel, en las áreas inervadas medianas y cubitales de la mano que sugieren que las fibras del nervio sudomotor no están significativamente dañadas en STC.

(Ammer et al., 1999), estudiaron imágenes térmicas de 154 manos para comprobar que los pacientes que sufren de síndrome de salida torácica o STC se puede diferenciar de los sujetos saludables por la ocurrencia de una asimetría térmica entre el dedo índice y meñique. Una

diferencia de temperatura entre estos dedos de más de 0,5 °C se consideraba como un hallazgo patológico. Acorde a la neurografía y criterios termográficos, las manos se asignaron en cuatro grupos: controles sanos, STC, síndrome de la salida torácica y la combinación de los síndromes. Un análisis discriminante de la agrupación con respecto a la diferencia de temperatura entre el índice y dedo meñique, determinó una clasificación correcta en 44,8 % de los casos. Después de la transferencia del síndrome combinado a la salida torácica el número de clasificaciones correctas aumentó a 63,3%. Por tanto, los pacientes que sufren de STC no pueden ser diferenciados de las normales en imágenes térmicas aplicando pruebas del síndrome de la salida torácica.

Posteriormente, (Ammer et al., 2002), prosiguieron con sus investigaciones para determinar la posibilidad de un rango de temperatura normal de las articulaciones de los dedos. Las manos de 140 sujetos fueron analizadas por imágenes térmicas. 37 pacientes presentaron síntomas de osteoartritis dolorosa, 21 pacientes fueron diagnosticados con artritis y 22 pacientes con STC. Se realizó una prueba de agua fría en todos los pacientes y se observó el patrón de recuperación de la temperatura. El rango normal de temperaturas se definió por medio de un valor estándar de desviación y alternativamente por la mediana y el intervalo intercuartílico. Los resultados mostraron que en el caso de las articulaciones no sintomáticas, los valores de temperatura más altos se encontraron en las articulaciones del pulgar y las lecturas más bajas en el dedo meñique. Sin embargo, la temperatura de las articulaciones interfalángicas del dedo anular y del dedo meñique fueron ligeramente inferior a las articulaciones no tiernas, mientras que la temperatura de las articulaciones coloreadas de las paredes y de algunas de las articulaciones deflectoras se recuperan más rápidamente que la de las demás articulaciones después de un leve ataque de frío. Por tanto, se infiere que el rango normal para las lecturas de temperatura a partir de imágenes térmicas de las articulaciones de los dedos no ha demostrado ser clínicamente útil.

En la Tabla 1, se muestra un resumen de las investigaciones efectuadas, previamente descritas, en la cual se incluyen autor, país, año de publicación, resultados, entre otros.

Tabla 1 Se observa un resumen de los artículos revisados sobre TI y su aplicación en SCT.

Investigadores	Año	País	Journal	Tipo	Participantes	Método	Regiones de medición de temperatura	Resultados
Baic et al.	2017	Poland	Medicine	Diagnóstico STC	15 pacientes con STC 15 pacientes operados de STC 15 voluntarios sanos	Obtención de gradientes de temperatura por termogramas de palma y dorso de cada mano. Excitar las manos de los	Palma y dorso de cada mano	TI puede ser útil en el diagnóstico de STC.
Maxel et al.	2014	France	Mechanics & Industry	Diagnóstico STC	6 pacientes con STC 5 personas sanas	pacientes (cambios frío-caliente) y analizar su respuesta térmica.	Palma y dorso de cada mano	Los termogramas muestran que las manos con STC dan una respuesta térmica.
Zivcak et al.	2011	Hungary	International Symposium on Computational Intelligence and Informatics	Diagnóstico STC	14 manos patológicas 120 personas sanas	Estudiar la distribución de temperatura de toda la mano y calcular temperaturas parciales.	punto central de los carpóforos, punto central de los metacarpos y las puntas del tercer dedo desde las falanges proximales, las falanges intermedias hasta las falanges distales y el índice de Nervio Mediano	72,2% de todas las manos (sanas y patológicas) basada en imágenes del dorso y 80% de las manos cuando sólo estaban gravemente afectadas y considerando a su vez las manos sanas.
Tkáčová et al.	2010	Slovakia	International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics	Diagnóstico STC	7 manos patológicas 7 manos sanas	La temperatura de la piel de ambas manos por TI asistido por ordenador.	Dividieron la mano en 5 segmentos	clasificación de manos sanas y con patología STC cercanas o superiores al 80%.
Papez et al.	2009	Slovenia	The Journal of International Medical Research	Diagnóstico STC	502 datos térmicos 132 manos sanas 119 manos patológicas	Uso de imágenes térmicas de palma y dorso en manos y redes neuronales artificiales para	los dedos (cinco segmentos), metacarpo (cinco segmentos) y carpo con muñeca (dos segmentos)	72,2% de todas las manos (sanas y patológicas) basada en imágenes del dorso y 80% de las manos cuando sólo estaban gravemente afectadas y considerando a su vez las manos sanas.

							el diagnóstico de STC.		
Papez et al.	2008	Slovenia	The Journal of International Medical Research	Diagnóstico STC	26 manos sanas 30 manos patológicas	Comparar imágenes térmicas (dorso y palma) respecto a una referencia, empleando un sistema de inteligencia artificial.	los dedos (cinco segmentos), metacarpo (cinco segmentos) y carpo con muñeca (dos segmentos)	clasificación de manos sanas y con patología STC cercanas o superiores al 80%.	
Park et al.	2008	Seoul, Republic of Korea	American Association of Neuromuscular & Electrodiagnostic Medicine	Diagnóstico STC	350 pacientes	Medir temperatura de los dedos por TI en pacientes con STC unilateral	punta del pulgar, índice y medio, área del thenar, el área hipotenar, el dorso de la mano, y el antebrazo	TI no es útil en el diagnóstico de STC unilaterales.	
Ming et al.	2007	Finland	Clinical Neurology and Neurosurgery	Estudio Médico	22 pacientes con STC 41 voluntarios sanos	Obtener termogramas antes y 6 meses después de la liberación de STC y medir las temperaturas de las puntas de los dedos.	puntas de los dedos desde el dígito 1 hasta el dígito 5, el punto central de las eminencias tenar e hipotenar, el índice nervioso medio y la diferencia de temperatura entre la mediana y el área de distribución del nervio cubital.	sugieren que la regulación del flujo sanguíneo en el STC es anormal, posiblemente debido a la alteración de la regulación vasomotora simpática y que la circulación se normaliza junto con el alivio de los otros síntomas del STC registrados 6 meses después de la operación.	
Palfy et al.	2007	Slovenia	International Symposium on Computer-Based Medical Systems	Diagnóstico STC	23 manos patológicas 21 manos sanas	Segmentación de termogramas de manos y extracción de temperaturas y análisis de imágenes para diagnosticar STC.	dedos (5 segmentos), metacarpo (parte intermedia de la mano - 5 segmentos) y el carpo con la muñeca (2 segmentos)	clasificación de manos sanas y con patología STC cercanas o superiores al 80%.	
Ming et al.	2005	Finland	Pathophysiology	D	38 manos patológicas 41 manos sanas	Medir temperaturas en regiones de manos para aclarar la patología simpática en STC.	puntas de los dedos, punto central tenar y eminencias	TI con sensibilidad de 84% y especificidad de 91%	

Orlín et al.	2005	Norway	European Journal of Neurology	D	22 pacientes con síntomas de STC 16 sujetos de control	Estudiar la perfusión microvascular en la piel de la punta de los dedos y la temperatura de la piel durante dorsiflexión de la mano antes y después de ejercicio manual.	puntas de los dedos	*Los hallazgos en termografía correlacionan bien con el deterioro de los síntomas después de la prueba de ejercicio manual.
Ammer, K. et al.	2002	Austria	Thermology international	Estudio Médico	98 pacientes 42 participantes	Prueba de agua fría en pacientes para observar el patrón de recuperación de temperatura.	dedo índice y meñique	se infiere que el rango normal para las lecturas de temperatura a partir de imágenes térmicas de las articulaciones de los dedos no ha demostrado ser clínicamente útil.
Ammer, K.	1999	Austria	Proceedings of The First Joint BMES/EMBS Conference	Estudio Médico	77 pacientes	Toma de termogramas durante la prueba de hiperabducción y la maniobra de Adson modificada, para medir las temperaturas y análisis discriminante del agrupamiento de datos. Examinar la conducción nerviosa motora y sensorial, las pruebas vibratorias, los umbrales de sensaciones de calor y frío, la magnitud del umbral superior del dolor y la respuesta de llamarada, así como los reflejos simpáticos antes y después	dedos anular, pulgar y meñique	una clasificación correcta en 44,8 % de los casos. Al transferir STC combinado a la salida torácica el número de clasificaciones correctas aumentó a 63,3%.
Lang et al	1995	Germany	MUSCLE & NERVE	Diagnóstico STC	22 pacientes 16 sujetos de control	Examinar la conducción nerviosa motora y sensorial, las pruebas vibratorias, los umbrales de sensaciones de calor y frío, la magnitud del umbral superior del dolor y la respuesta de llamarada, así como los reflejos simpáticos antes y después	segundo, tercero, y quinto dedos; tenar e hipotenar y la zona alrededor del sitio de la mecanoestimulación de la piel entre el segundo y tercer dedo.	La evaluación de la respuesta de la antorcha y reflejos simpáticos usando TI y fotopletiografía no añadieron más información para el diagnóstico de STC.

						de la descompresión del nervio mediano.		
Lang et al.	1995	Germany	Pain	Estudio Médico	23 pacientes con STC 16 voluntarios	Obtención de termogramas en manos y dedos estimulados dolorosamente.	dedos 2º, 3º y 5º, el tenar y el hipotenar, el área alrededor del sitio de la mecanoestimulación nociva de la piel entre el dedo índice y el medio y en un área de referencia alrededor de la piel entre el dedo anular y el meñique.	las fibras del nervio sudomotor no están significativamente dañadas en STC. La intensidad del dolor debido al STC depende de las alteraciones de las funciones periféricas y centrales de los nervios.
Tchou et al.	1992	United States	THE JOURNAL OF HAND SURGERY Y	Diagnóstico STC	61 pacientes con STC unilateral 40 voluntarios	Exámenes termográficos para su clasificación de manos sanas y patológicas. Evaluación de patrones térmicos de STC, comparando pruebas de conducción nerviosa media y termografía. Obtención de termogramas para obtener diagnósticos y series de estrés. Se realizaron estudios para diferenciar el STC de las lesiones neurovasculares periféricas.	dedos pulgar, índice y medio	clasificación de manos sanas y con patología STC cercanas o superiores al 80%.
Reilly et al.	1989	United Kingdom	British Journal of Rheumatology	Diagnóstico STC	23 pacientes con STC		manos y muñecas	no se encontró un patrón de diagnóstico claro de STC por TI
Herrick et al.	1987	United States	The Journal of hand surgery	Diagnóstico STC	90 pacientes		columna cervical, los hombros, los antebrazos y las manos	especificidad general de 80% y sensibilidad de 96%. Al considerar solo pacientes de STC, el éxito de diagnóstico ascendió al 97% con 100% de sensibilidad.

Por otra parte, se efectuó búsqueda bibliográfica sobre los factores de mayor influencia sobre STC, los cuales fueron agrupados y clasificados en 6 categorías: 1) asociación de la edad con el STC, 2) asociación del IMC con el STC, 3) asociación del riesgo cardiovascular y el STC, 4) asociación de la mano dominante con el STC, 5) asociación del género con el STC y 6)

asociación de multifactores con el STC. Esas categorías se describen en los párrafos siguientes.

2.3 Asociación de la edad con STC

Un importante factor de influencia que se relaciona con el STC es la edad. Se identificaron siete de los 70 trabajos examinados que estudiaron la relación entre la edad y el STC en diversas circunstancias. (Szyluk et al., 2006) y (Porter et al., 2002), obtuvieron los mismos resultados; es decir, ambos han encontrado que las mejoras en los pacientes después de la cirugía disminuyen a medida que aumenta la edad, especialmente en las personas mayores de 60 años.

De manera similar, (Hansen & Larsen, 2009), en su investigación para obtener predicciones sobre la liberación del túnel carpiano, encontraron resultados desfavorables en pacientes mayores de 65 años. (Haghigat et al., 2012), en su estudio de la prevalencia del STC, obtuvieron que dicha patología aumenta con la edad en personas mayores de 55 años.

(Szyluk et al., 2006), a través de una población de 386 pacientes con STC, que fueron operados y liberados de esa patología, procedieron a dividirlos en tres subgrupos según su edad: 40 años o menos (n=28), 41-65 años (n= 248) y más de 65 años (n= 73). Los pacientes fueron evaluados 6 meses después de la cirugía por el cuestionario Levine y las medidas de la fuerza de agarre y pellizco, así como la sensación de un ligero toque por la prueba de filamentos. Cada uno de los pacientes mostró una resolución significativa de los síntomas según la evaluación de Levine y una mejora significativa de la destreza de la mano según la evaluación de la función de Levine. Del mismo modo, todos los pacientes mostraron una mejora significativa en la sensación de un ligero, doblado agarre y fuerza de pellizco. Sin embargo, los pacientes mayores (mayores de 60 años) mostraron una menor mejora en la fuerza general de agarre de la mano.

Mientras tanto, (Porter et al., 2002), estudiaron 87 pacientes con STC que se sometieron a una cirugía de descompresión, con el fin de analizar los resultados de dicha cirugía con respecto a la edad, ya que no hay información clara sobre este tema. Se aplicó un cuestionario

autoadministrado validado, y se encontró que la mejora de los síntomas y la función disminuyó con el aumento de la edad. Esta fue la más marcada en los pacientes de más de 60 años.

En cuanto a (Moschovos et al., 2019), realizaron estudios electrodiagnósticos de la conducción de los nervios mediano, cubital y radial en 433 pacientes y 92 personas sanas. Esto con el propósito de evaluar el efecto de la edad en la precisión de la ecografía de alta resolución en el diagnóstico y clasificación del STC. Los participantes en el estudio se clasificaron en dos grupos: <65 años y ≥ 65 años. Como resultado, se encontró que en los pacientes de 65 años o más con STC moderado y severo, los aumentos relacionados con la enfermedad se correlacionan negativamente con el aumento de la edad.

(Hansen & Larsen, 2009), por otro lado, estudiaron la influencia de la edad como posible predictor a corto plazo de la liberación del túnel carpiano por endoscopia. 101 pacientes de 23 a 94 años con STC idiopático participaron en este estudio. La satisfacción del paciente, los síntomas y la función se registraron antes y 2 meses después de la liberación endoscópica del túnel carpiano. Los datos fueron entonces analizados por una regresión logística multivariante. Los resultados mostraron una predicción precisa en pacientes mayores de 65 años con resultados desfavorables; por lo que este procedimiento no se justifica en pacientes ancianos.

(Haghighat et al., 2012), evaluaron a 240 dentistas para evaluar la prevalencia del STC. Hicieron el diagnóstico de STC aplicando un cuestionario en el que se consideraban la edad, el sexo, la experiencia, las horas trabajadas por semana, el tipo de actividad y los síntomas clínicos de STC como el dolor y la parestesia en las manos. Al mismo tiempo, se realizaron pruebas clínicas de Phalen y Tinel. En sus conclusiones informan de que la prevalencia de los STC aumenta en la edad avanzada, de tal manera que alcanzó el 22,2% en las edades superiores a los 55 años, frente al 6% entre los participantes de 25 a 34 años.

Por el contrario, (Wilgis et al., 2006), encontraron en los resultados de sus pruebas que los pacientes mejoraron significativamente en todos los grupos de edad después de la cirugía del

túnel carpiano. Evaluaron el efecto del aumento de la edad en el resultado después de la cirugía del STC. 635 casos de diagnóstico de STC con un examen de seguimiento a los 6 meses. Se identificaron 145 pacientes operados con ambas manos y 345 pacientes con una sola mano operada. Cabe mencionar que los casos se dividieron en cuatro grupos de edad: El grupo de edad de los pacientes fue: los menores de 40 años ($n = 75$), los de 40 a 60 años ($n = 353$), los de 61 a 80 años ($n = 181$) y los mayores de 80 años ($n = 26$). Pre-operativamente, se aplicó la señal de Tinel, la prueba de Phalen, la prueba sensorial de Semmes-Weinstein, las pruebas de agarre y resistencia al pellizco (medidas en kilogramos). Los resultados de las pruebas mostraron que los pacientes mejoraron significativamente en todos los grupos de edad después de la cirugía del túnel carpiano.

Sólo un trabajo investigó los signos y síntomas en pacientes con STC después de usar el transporte urbano; (de Saboya et al., 2016), realizaron su estudio sobre (1) ambas extremidades superiores, (2) cuánto tiempo antes de que estos síntomas aparezcan, y (3) la posición de las manos o la reacción del cuerpo durante el acto de presionar las barras de seguridad. Se evaluó a un total de 205 pacientes (178 mujeres y 27 hombres). El STC fue diagnosticado en 285 manos. Todos los participantes respondieron a un cuestionario formulado por los autores. No hubo significación estadística en la edad entre los grupos ($p > 0.05$). Por lo tanto, el inicio de los síntomas en los pacientes del STC que usaban el transporte público urbano ocurrió en los primeros 15 minutos después del embarque. La vibración del transporte público parece estar, al menos en parte, directamente relacionada con el desarrollo de los síntomas.

2.4 Asociación de IMC con STC

Otro posible factor de riesgo para el STC es el IMC, que se calcula dividiendo los kilogramos de peso por el cuadrado de la altura en metros. Dentro de los estudios de investigación revisados, se encontró que 11 de los 70 corresponden al grupo de investigación sobre la relación entre el IMC y el STC. En 2 de estos trabajos, (Ozcakir et al., 2018) y (Sharifi et al., 2008), estudiaron tanto el IMC como las mediciones antropométricas de la mano como factores de influencia para el IMC. Mientras tanto, (Ünaldi et al., 2015), además de las medidas de la muñeca y el IMC, incluyeron la circunferencia de la cintura.

Por otra parte, (Ozcakir et al., 2018), llevaron a cabo sus estudios utilizando 7 pacientes con síntomas de STC y 27 controles asintomáticos. Registraron las mediciones antropométricas de la mano y el IMC para determinar si son factores de riesgo independientes para el STC. Descubrieron que tanto el IMC como las medidas antropométricas eran altamente significativos en el grupo del STC y demostraron ser variables independientes.

(Sharifi et al., 2008), trataron de aclarar el papel del IMC y las mediciones antropométricas manuales como factores independientes en el desarrollo de los STC y su relación con la gravedad. Formaban parte de la población de este estudio 131 pacientes con sintomatología clínica de STC y 131 sujetos normales. Cada caso fue confirmado por electrodiagnóstico y agrupado según 3 niveles de gravedad. El IMC y las medidas antropométricas de la mano se midieron para cada participante. Se realizó un análisis de regresión logística para determinar factores de riesgo independientes para el STC. Los resultados mostraron que el IMC, el radio de la muñeca y el índice de forma son factores de riesgo independientes para el STC.

Además, (Ünaldi et al., 2015), evaluaron no sólo la relación entre la circunferencia de la muñeca y el IMC en pacientes con STC, sino que también relacionaron el radio de la cintura con su estudio. Cien pacientes y cien voluntarios participaron y se sometieron a pruebas neurológicas y de conducción nerviosa. Encontraron que los promedios de la circunferencia de la cintura y la muñeca son significativamente más altos en los pacientes que en los controles. Hubo correlaciones estadísticamente significativas entre el STC y el IMC, así como las medidas de la cintura y la muñeca de los pacientes.

Además, (Kurt et al., 2008) y (Landau et al., 2005), analizaron la influencia del IMC en la mediana de la velocidad de conducción nerviosa en los pacientes del STC.

(Kurt et al., 2008), evaluaron la presencia o ausencia de recuperación en las velocidades de conducción del nervio de la línea media en 126 pacientes obesos después de la pérdida de peso. Su objetivo era averiguar si el exceso de peso u otros factores influyen en la mayor prevalencia del STC en los pacientes obesos. Realizaron estudios de conducción nerviosa en un miembro superior. Todos los pacientes fueron incluidos en programas dietéticos. Otro

estudio de conducción nerviosa se realizó 3 meses después. El IMC fue estadísticamente significativo en la segunda prueba. Por lo tanto, la recuperación de la velocidad media de conducción nerviosa se espera en los pacientes con STC después de la pérdida de peso.

En cuanto a la investigación de (Landau et al., 2005), trataron de determinar si los extremos del IMC son factores de riesgo para la neuropatía cubital en el codo o el STC y si el IMC afecta la velocidad de conducción del nervio mediano y el cubital. Realizaron un análisis unidireccional de la varianza de los registros de electrodiagnóstico de control y el IMC que se calculó para cada sujeto, involucrando a 50 pacientes con neuropatía del codo cubital, 50 pacientes con STC y 50 sujetos de control. Confirmaron que los pacientes con STC tienen un IMC promedio más alto. Por lo tanto, los pacientes con un alto IMC aumentan el riesgo de STC.

Así, se identificaron dos de los 11 trabajos de investigación en los que se estudiaba la relación del IMC después de la liberación del STC. Estos son los estudios de (Hassan et al., 2013) y (Bodavula et al., 2007).

(Hassan et al., 2013), aclararon el papel del IMC y la latencia motora distal en la primera visita diagnóstica como determinantes independientes del riesgo en la recurrencia del STC, después de la liberación quirúrgica en 120 pacientes. Todos los casos fueron confirmados por electrodiagnóstico. Se midió el IMC y la latencia motora distal. Los valores medios del IMC y la latencia motora distal fueron significativamente más altos en el grupo de recurrencia en comparación con el grupo de no recurrencia. Hay una correlación significativa con un IMC más alto y un valor más alto de latencia motora distal y de recuperación después de la liberación quirúrgica.

Mientras tanto, (Bodavula et al., 2007), investigaron la asociación entre el IMC y la efectividad de la liberación de STC. Esto se hizo a través de pruebas físicas y autoevaluación de la gravedad de los síntomas y la funcionalidad antes y después de la cirugía. Este estudio consistió en 598 casos diagnosticados con STC. Aunque los casos de obesidad mórbida empeoraron en ciertas pruebas físicas y de autoevaluación en comparación con el IMC

normal preoperatorio, todos mejoraron postoperatoriamente independientemente del IMC, a diferencia de los hallazgos de (Hassan et al., 2013).

En las investigaciones de (Mansoor et al., 2017), (Aygül et al., 2009) y (Kouyoumdijan et al.2000), se realizaron estudios de conducción de los nervios sensoriales y motores para estudiar la relación entre el IMC y el STC. Todos estos estudios abordan la asociación entre la obesidad y la prevalencia de esta patología.

Por otro lado, (Mansoor et al., 2017), determinaron la frecuencia de la obesidad entre un total de 112 pacientes de STC. Se realizaron estudios motores y sensoriales en ambas manos de cada paciente. Se obtuvo una frecuencia de obesidad del 34%. En consecuencia, se indica que la terapia dirigida a los pacientes del STC debe incluir también la reducción de peso, ya que la obesidad plantea una relación de causa y efecto para la gravedad y la patogénesis del STC.

(Aygül et al., 2009), evaluaron las sensibilidades de las técnicas electrofisiológicas e investigaron su relación con el IMC en una población de 92 pacientes de STC y 30 voluntarios sanos. Realizaron estudios de conducción nerviosa sensorial y motora. Los pacientes fueron agrupados según el IMC. Encontraron que el IMC medio era significativamente más alto en el grupo de STC que en el grupo de control. Por lo tanto, el STC está asociado con un mayor IMC.

Entre otros estudios encontrados, (Kim et al., 2017), investigaron los factores que contribuyen al STC, los hallazgos electrodiagnósticos y ultrasonográficos del nervio mediano, y el cambio del nervio mediano después del ejercicio en 15 jugadores de baloncesto en silla de ruedas. Realizaron un electrodiagnóstico y un ultrasonido de ambos nervios medios para evaluar el STC en los jugadores. Sus resultados encontraron que el IMC y el período de uso de la silla de ruedas contribuyen al desarrollo del STC en los jugadores de baloncesto en silla de ruedas.

(Kouyoumdijan et al., 2000), realizaron una investigación para conocer la asociación entre el IMC y el STC. El estudio incluyó 141 sujetos con STC y 243 sujetos de control. Inicialmente, la patología fue confirmada por medio de un electrodiagnóstico. Se calculó el IMC de cada sujeto. Posteriormente, se realizaron estudios de conducción nerviosa y sensorial, así como estímulos de intensidad supramáxima desde la muñeca hasta el dedo índice. En conclusión, los casos de STC tienen una correlación significativa con un IMC más alto, en comparación con los sujetos de control.

Finalmente, (Nageeb et al., 2018), evaluaron los niveles de IMC y vitamina D en pacientes con STC. Participaron 50 pacientes y 50 voluntarios. Se realizó una investigación de laboratorio para los niveles de vitamina D, hemoglobina y estudios de electrodiagnóstico. Encontraron que el STC se asociaba significativamente con la hipovitaminosis D, especialmente en pacientes con IMC alto. Los pacientes con STC tenían un nivel más bajo de vitamina D y un IMC más alto comparable al de los controles. Además, la gravedad del dolor estaba altamente relacionada con el bajo nivel de vitamina D en los pacientes de STC. Basado en los pacientes de STC, especialmente los sujetos obesos pueden ser aconsejados para recibir suplementos de vitamina D y someterse a la reducción de peso, ya que estas modalidades podrían minimizar la gravedad del dolor.

2.5 Asociación de factores cardiovasculares con STC

Otro factor importante que afecta a la STC es el rendimiento cardiovascular y varias investigaciones lo están reportando. Por ejemplo, (Shiri et al., 2011), se refirieron al grosor de la íntima-media de la arteria carótida y a las enfermedades ateroscleróticas clínicas con el STC. Se elaboraron encuestas de exámenes médicos a nivel nacional en 5 regiones de hospitales universitarios, con una población total de 6.254 sujetos. A través de estas encuestas se obtuvo información actualizada sobre los principales problemas de salud, sus causas, tratamientos y capacidad funcional y de trabajo. Además, se consideraron los síntomas de las enfermedades cardiovasculares y las dolencias músculo-esqueléticas. Entre los exámenes médicos realizados se diagnosticaron STC, hipertensión, enfermedades ateroscleróticas, se obtuvo el IMC, se midió el grosor de la íntima-media de la arteria carótida por ultrasonido. Después de eso, se realizaron modelos de regresión logística para estudiar las asociaciones

de los factores de riesgo de la aterosclerosis, la íntima-media de la arteria carótida y las enfermedades vasculares clínicas con el STC. Los hallazgos indican una asociación entre el STC y la obesidad, el colesterol alto, la hipertensión, la arritmia cardíaca y los triglicéridos altos en sujetos de 30 a 44 años. En el grupo de edad de 60 años o más, la enfermedad de las arterias coronarias, la enfermedad cardíaca valvular y el grosor de la íntima-media de la arteria carótida se asociaron con el STC.

2.6 Asociación de mano dominante con STC

La relación de la mano dominante con respecto al STC ha sido estudiada por (Tang et al., 2017), que examinaron el efecto de la mano dominante en la resolución de los síntomas con el seguimiento de la descompresión quirúrgica en pacientes con STC moderado y severo. Al realizar la liberación bilateral del STC en 87 pacientes con STC moderado o severo, los síntomas se registraron con seguimiento hasta su completa resolución; o hasta la última consulta registrada. Los pacientes con STC severo lograron una resolución completa en la mano no dominante en comparación con la dominante y en un tiempo más corto que la dominante. Por lo tanto, los síntomas se resolvieron más rápido en la mano no dominante después de la liberación del STC en pacientes con STC severo.

2.7 Asociación de sexo con STC

En cuanto a los estudios de investigación centrados en la determinación de la asociación entre la STC y el sexo, se identificaron 7 de 70 trabajos. Dentro de estos 7 trabajos, (McDiarmid et al., 2000), (Roquelaure et al., 2009) & (Giersiepen et al., 2000), realizaron investigaciones para determinar si los hombres y las mujeres que realizan el mismo trabajo, influyen en la prevalencia del STC.

(McDiarmid et al., 2000), argumentan que los hombres y mujeres que hacen las mismas tareas de trabajo tendrán tasas similares de STC. Para examinar esta premisa, utilizaron los recuentos de lesiones de la Oficina de Estadísticas Laborales (BLS) (numerador) y los datos del censo de la Encuesta de Población Actual (denominador) para determinar las tasas de lesiones del STC para hombres y mujeres en seis ocupaciones de alto riesgo: (1) ensamblador, (2) trabajador no constructor, (3) operadores de máquinas de embalaje, (4) conserjes y limpiadores, (5) carniceros y cortadores de carne, y (6) teclados de entrada de datos. Dentro

de sus resultados encontraron que existen tareas laborales variables dentro de cinco de los seis títulos ocupacionales de alto riesgo. Entre esos cinco, la proporción de la tasa de riesgo masculina y femenina varió de 0,29 a 0,50. Sin embargo, el sexto título ocupacional, teclados de entrada de datos, que requiere una sola tarea física, tenía una relación de tasa de riesgo de 1,06. Esto sugiere que existe un riesgo igual entre los géneros cuando las tareas ocupacionales (exposición) son realmente similares. El análisis de las tareas ocupacionales desenmascara los posibles sesgos que pueden atribuir erróneamente tasas de STC desproporcionadas a los atributos de género. Este enfoque en los atributos de género falla en todos los trabajadores porque se aplazan las intervenciones preventivas en el lugar de trabajo.

Mientras tanto, (Roquelaure et al., 2009), realizaron un estudio para evaluar la fracción atribuible a la población relacionada con el trabajo (PAF) de los STC en los sectores industriales y las categorías ocupacionales de alto riesgo de STC en la población general. La población incluida en el programa de vigilancia del STC comprendía residentes en el grupo de edad de 20 a 59 años. Los principales sectores se distribuyeron de la siguiente manera: agricultura (mujeres, 6%; hombres, 11%), construcción (mujeres, 1%; hombres, 10%), manufactura (mujeres, 18%; hombres, 27%) e industrias de servicios (mujeres, 75%; hombres, 52%). La tasa de empleo fue del 66% para las mujeres y del 81% para los hombres. A continuación, aplicaron un cuestionario, que se envió por correo, con el que reunieron los antecedentes médicos y laborales de 815 mujeres y 320 hombres. Se calcularon los riesgos relativos ajustados por edad y el PAF del STC para los sectores de la industria y las categorías profesionales. Como resultado, se encontró que el PAF para las mujeres era más alto en los trabajadores de cuello blanco de menor grado [24%, IC 95%]. (IC 95%) 19-29] que en los trabajadores (19%, IC 95% 15-22). El FAP fue mayor en las industrias de servicios (16%, IC 95% 8-22) que en los sectores de la manufactura (10%, IC 95% 7-13) o la agricultura (5%, IC 95% 3-7). El FAP fue alto para los hombres en los trabajadores (50%, 95% CI 41-57) y en la construcción (13%, 95% IC 9-18) y las industrias manufactureras (17%, 95% CI 10-23). La edad media fue de 44,9 años (DE 9,4) para las mujeres y 43,3 años (DE 9,5) para los hombres. Las tasas de incidencia anual basadas en la población de STC fueron de 1,4 por cada 1000 mujeres y 0,6 por cada 1000 hombres, y aumentaron sustancialmente con la edad para ambos sexos ($P < 0,001$). Alrededor del 79% de las mujeres y el 89% de los hombres que

sufrían de STC estaban trabajando en el momento del diagnóstico. El exceso de riesgo de STC fue estadísticamente significativo para dos categorías ocupacionales principales: trabajadores de cuello azul (para ambos sexos) y servicios de menor calidad, vendedores de cuello blanco y oficinistas (para las mujeres). El exceso de riesgo de STC en las mujeres obreras se produjo principalmente en los obreros calificados (RR 3,2, intervalo de confianza del 95% (IC del 95%) 2,7-3,8) y en los trabajadores agrícolas no calificados (RR 4,2, IC del 95% 3,2-5,7). En el caso de los trabajadores varones, el exceso de riesgo de STC se produjo en los trabajadores calificados (RR 1,8; IC del 95%: 1,5-2,3) y no calificados (RR 3,5; IC del 95%: 2,7-4,5), tanto en los obreros como en los trabajadores agrícolas no calificados (RR 3,5; IC del 95%: 2,2-5,5). El PAF del STC para los obreros varones alcanzó el 50%. El PAF fue menor para las mujeres, los obreros (19%), pero alcanzó un valor mayor (24%) para las mujeres, los servicios de menor grado, las ventas y los oficinistas. El PAF para las mujeres fue mayor en el sector de las industrias de servicios (16%). El PAF para los hombres fue relativamente alto en dos sectores, a saber, la construcción (13%) y la manufactura (17%). Por lo tanto, los resultados sugieren que los programas de intervención preventiva deberían centrarse en los trabajadores de los sectores de la manufactura (para ambos sexos) y la construcción (para los hombres), y en las mujeres, de menor categoría, de las industrias de servicios.

Por otra parte, (Giersiepen et al., 2000), realizaron una investigación para determinar el papel de la profesión y los factores de riesgo personales para el STC en hombres y mujeres. Se tomó una muestra aleatoria de la población de Bremen (0,65 millones) de hombres (n=404) y mujeres (n=404) menores de 65 años con una primera cirugía por el STC en 1995/96 y se le comparó con los controles por edad y género muestreados en el registro de población. Un cuestionario auto-administrado con 77 preguntas fue empleado para el análisis. Factores personales y actividades durante el trabajo y el ambiente privado (respuesta: 60% de los casos elegibles y 52% en los controles, respectivamente), cambio de trabajo, percepciones del ritmo del trabajo, o riesgo laboral de bajo. El análisis multivariante ajustado por el IMC mostró que era más el trabajo, si había o no tiempo suficiente para hacer los riesgos pronunciados en los hombres en comparación con las mujeres para los movimientos repetitivos de la mano: ORm = 2,89 (CL 1.82, 4.58); ORw = 2.10 (CL 1.37, 3.22), para el agarre fuerte: ORm = 2,69 (CL

1,70, 4,27); $OR_w = 2,29$ (CL 1,43, 3,66), pero no para las tareas domésticas: $OR_m = 0,64$ (CL 0,40, 1,03); $OR_w = 0,88$ (CL 0,34, 2,29). Las mujeres trabajaron menos horas por semana que los hombres, pero las exposiciones manuales siguieron siendo más relevantes en los hombres después del ajuste. Las mujeres tenían un mayor riesgo de STC si habían tenido más de dos nacimientos o un historial de histerectomía. La adición de estos factores al modelo logístico todavía mostraba una asociación entre el trabajo manual y el STC. La calificación a ciegas de los expertos (manual frente a no manual) de los trabajos realizados por los encuestados y los no encuestados y por los casos y controles no reveló efectos de selección o sesgos de repetición pertinentes. Así pues, el STC es una enfermedad relacionada con el trabajo tanto en hombres como en mujeres, la fracción atribuible al trabajo en la población de Bremen menor de 65 años se estima en un 33% en los hombres y un 15% en las mujeres.

Sólo una de cada siete investigaciones sobre la asociación entre el sexo y el STC evaluó la correlación entre la historia del paciente, el examen físico y el método electrofisiológico de evaluación en pacientes con sospecha de STC, (Çirakli et al., 2018). Realizaron exámenes electrofisiológicos realizados entre 2009 y 2016 en 3151 manos de 2516 pacientes. Los pacientes fueron evaluados en términos de edad, género, dirección de la compresión del nervio, y presencia y grado de STC según se determinó electrofisiológicamente. La prueba de Kolmogórov-Smirnov, la prueba de Levene, y la prueba de Chi cuadrado se utilizaron para los análisis estadísticos. El nivel de significación se aceptó como $p < 0,05$. 1838 (73,1%) eran mujeres y 678 (26,9%) hombres. La edad media fue de $48,60 \pm 14,83$ años, y 1858 (73,8%) de los pacientes se quejaron en una sola mano, mientras que 658 (26,2%) se quejaron en manos bilaterales. El STC se detectó en 1383 pacientes (54,9%; mujer/hombre: 1019/364) y la edad media fue de $52,16 \pm 13,84$ años. No se encontró ninguna asociación estadísticamente significativa entre el STC y el género.

Entre los siete estudios de la relación entre el sexo y el STC, sólo uno contenía información que consideraba el tamaño del túnel carpiano entre hombres y mujeres, (Sassi & Giddings, 2016). Se estableció la hipótesis de que no habría diferencia en el tamaño relativo del túnel carpiano entre hombres y mujeres. El tamaño relativo del túnel carpiano se definió entonces como las áreas transversales de entrada (nivel del pisiforme) y salida (nivel del gancho de

hamato) del túnel carpiano divididas por la longitud del capitado (como medida del tamaño de la mano). Posteriormente, se tomaron medidas mediante resonancia magnética de 50 hombres y 50 mujeres con síntomas no relacionados con el STC. El área relativa media de la sección transversal fue significativamente más pequeña en las mujeres que en los hombres ($p < 0,05$). Esto sugiere que el área transversal del túnel carpiano en relación con el tamaño de la mano es constitucionalmente más pequeña en las mujeres que en los hombres. Teóricamente esto podría ser un factor significativo en los pacientes que desarrollan STC.

Sólo un estudio consideró la determinación de la prevalencia de la STC, la asociación entre factores ergonómicos y personales en una población de técnicos de laboratorio, (El-Helaly et al., 2017). Se realizó un estudio transversal entre 279 técnicos de laboratorio, a quienes se les administró un cuestionario auto-administrado, que incluía preguntas relativas a su demografía, historial de ocupación, tareas laborales, herramientas de trabajo, ergonomía, factores laborales y síntomas que sugerían la existencia de STC. A los participantes que sugirieron la existencia de STC se les realizaron estudios diagnósticos para confirmar la patología. A continuación se realizaron análisis univariantes y multivariantes de los factores personales y físicos en asociación con los STC confirmados entre los técnicos de laboratorio. La prevalencia del STC entre los técnicos de laboratorio fue del 9,7% (27/279). Los factores de riesgo estadísticamente significativos para el STC entre ellos fueron: el género (todos los casos de STC fueron mujeres, $p = 0,00$), la tensión del brazo/mano (OR: 7,96, IC 95%: 1,84-34,33), el pipeteo (OR: 7,27, IC 95%: 3,15-16,78), tareas repetitivas (OR: 4,60; IC 95%: 1,39-15,70), uso de sillas o escritorios no ajustables (OR: 3,35; IC 95%: 1,23-9,15), y trabajo con un armario de bioseguridad (OR: 2,49; IC 95%: 1,11-5,59). Los casos de STC tuvieron una duración de trabajo significativamente mayor ($17,9 \pm 19,56$ años). En consecuencia, este estudio demuestra algunos factores personales y ergonómicos asociados con el STC entre los técnicos de laboratorio, entre ellos el sexo femenino, la tensión en el brazo/mano, el pipeteo, las tareas repetitivas, el trabajo con un gabinete de bioseguridad y una estación de trabajo no ajustada.

Un estudio evaluó la influencia del STC con el sexo, para el diagnóstico de STC por ultrasonido de alta resolución. (Gruber et al., 2016), evaluaron las diferencias entre los sexos

para el diagnóstico del STC por ultrasonido de alta resolución, en términos de la gravedad de las alteraciones neurales por la relación muñeca-brazo (WFR), el engrosamiento epineural, la pérdida de la anatomía fascicular, los signos y los síntomas. En este estudio se analizaron 170 casos (115 mujeres y 55 hombres), de los cuales 149 fueron pacientes y 21 voluntarios sanos. El análisis específico de género entre los pacientes y los controles mostró que los hombres sintomáticos también tenían una media significativamente más alta de WFR ($2,28 \pm 0,74$ vs. $1,13 \pm 0,29$; $p < 0,0001$) y una tasa más alta de engrosamiento epineural (56,4 vs. 5,0 %; $p < 0,0001$). En los casos sintomáticos, encontramos una diferencia significativa en el WFR entre las mujeres ($2,66 \pm 0,95$) y los hombres ($2,28 \pm 0,74$) ($p = 0,009$), siendo la sensibilidad diagnóstica en los hombres menor que en las mujeres (89,1 vs. 99,1 %, corte del WFR 1,4). Sólo hubo una tendencia no significativa de mayor afección bilateral en las mujeres: las mujeres se vieron afectadas bilateralmente en el 36,9% de los casos, mientras que los hombres sólo en el 31% ($p < 0,05$). La pérdida de la anatomía fascicular fue tres veces más probable en las mujeres (5,5 frente a 15,6%, respectivamente), aunque no fue estadísticamente significativa ($p = 0,08$). Por lo tanto, las mujeres difieren significativamente de los hombres en cuanto a la presentación clínica. Los resultados de la ecografía en el primer diagnóstico de STC deben incluirse en las consideraciones diagnósticas posteriores.

2.8 Asociación de multifactores con STC

A través de la revisión de la literatura, se identificaron 42 trabajos de investigación que estudian la asociación entre los multifactores y la patología del STC, 9 de los 42 estudios analizaron la asociación entre el STC y las medidas antropométricas, además de otros factores como la edad, el sexo, el IMC, entre otros. (Hiebs et al., 2014), (Komarcu et al., 2014), (Iwuagwu et al., 2007), (Moghtaderi et al., 2005), (Kouyoumdijan et al., 2002), (Thiese et al., 2017), (Arslan et al., 2017), (Boz et al., 2004), y (Modelli et al., 2016).

Se identificaron tres de los 42 trabajos de investigación, entre ellos (Arslan et al., 2017), (Boz et al., 2004) y (Modelli et al., 2016), centrados en el análisis de la asociación del STC con las mediciones antropométricas de mano y muñeca como factores de riesgo.

Por otro lado, (Arslan et al., 2017), realizaron un estudio en el que incluyeron a 165 participantes con prediagnóstico de STC, de los cuales 85 fueron confirmados con STC idiopático. Se analizó la edad, el sexo, la ocupación, el IMC, la mano dominante, el grado de STC idiopático, la circunferencia de la muñeca, la anchura proximal/distal de la palma, la longitud de la mano/palma, el volumen de la mano y la longitud de la palma/anchura proximal de la palma. En sus estudios se identificó que la edad media era mayor en el grupo de STC grave. El sexo femenino, la edad avanzada y el alto IMC son factores de riesgo para el STC idiopático. El mayor volumen de la mano, la circunferencia de la muñeca y la menor relación longitud de la palma de la mano/anchura de la palma proximal también pueden ser factores de riesgo antropométricos. Los grandes volúmenes de la mano, las manos grandes y gruesas son más propensos a un STC idiopático.

De manera similar, (Boz et al., 2004), estudiaron la antropometría de las muñecas y las manos como factores de riesgo para el STC, y encontraron que para las mujeres son factores de riesgo independientes, mientras que para los hombres no lo son. Este estudio consistió en 154 mujeres y 44 hombres diagnosticados clínicamente con STC y 150 mujeres y 44 hombres pertenecientes al grupo de control. El IMC, el índice de la muñeca, el índice de la forma de la mano, el índice de los dígitos y la relación longitud/altura de la mano se compararon entre los pacientes del STC y los sujetos de control para cada género por separado, mediante el Análisis de Regresión Logística.

(Mondelli et al., 2016), determinaron la relación entre la gravedad del STC y determinados índices antropométricos y de obesidad. Un total de 1087 pacientes, 340 con STC y 747 sin STC participaron en el estudio. Se llevó a cabo un estudio de casos y controles, en el que la gravedad clínica y electrofisiológica del STC se clasificó como leve, moderada o grave, según escalas validadas. Se midieron las características antropométricas del cuerpo y la mano en el momento del estudio electrodiagnóstico. A continuación se analizaron los cocientes de riesgo relativo (RRR) de la gravedad del STC utilizando modelos de regresión logística multinomial ajustados por edad y sexo. Además, se ajustaron los siguientes modelos multivariantes, incluyendo la edad, el sexo, la proporción de la muñeca, la proporción de la mano, el IMC y la proporción de la cintura/altura. En consecuencia, se estipula que las

configuraciones de la mano y la muñeca pueden influir en la apariencia y la gravedad del STC.

Mientras tanto, (Kouyoumdijan et al., 2002), se concentraron en estudiar la asociación entre el STC con el índice de la muñeca y el IMC. El estudio consistió en 210 pacientes con un diagnóstico de STC y 320 sujetos de control, que se sometieron a un estudio de conducción nerviosa. A su vez, se obtuvieron sus medidas antropométricas, es decir, el IMC y el índice de la muñeca. Los datos fueron luego analizados estadísticamente a través del ANOVA y el análisis de regresión logística. Los resultados mostraron que la presencia de STC estaba asociada con un aumento del IMC y del índice de la muñeca.

En el estudio realizado por (Hiebs et al., 2014), participaron 100 sujetos: 50 pacientes con STC confirmados por electrodiagnóstico y 50 voluntarios sanos como grupo de control, cada grupo incluía 37 mujeres y 13 hombres. A todos los participantes se les evaluó la altura, el peso, el IMC, la profundidad y anchura de la muñeca, el índice de la forma de la mano, el índice de los dígitos, la longitud de la palma, la anchura de la palma, la longitud del tercer dedo y la relación entre la longitud de la mano y la altura del cuerpo. Se utilizó la regresión logística múltiple para determinar los factores de riesgo independientes para el STC. El índice de la muñeca y el ancho de la muñeca fueron significativamente más altos en los pacientes con STC que en el grupo de control. El IMC elevado se correlacionó con el STC bilateral en ambos sexos. Por lo tanto, el estudio identificó el índice de la muñeca, el IMC y la relación entre la longitud de la mano y la altura del cuerpo como factores de riesgo independientes para el STC.

Dos de los 9 estudios evaluaron la asociación entre el STC y la muñeca cuadrada (Thiese et al., 2017) y (Moghtaderi et al., 2005). Por otro lado, (Thiese et al., 2017), encontraron que la muñeca cuadrada está significativamente asociada con el STC, mediante el análisis de los datos de base de un estudio de cohorte prospectivo multicéntrico. Incluye 1.206 participantes, 798 eran mujeres y 408 hombres.

Mientras tanto, (Moghtaderi et al., 2005), determinaron que el sexo femenino, la obesidad y la muñeca cuadrada son factores de riesgo independientes para el STC. Se llevó a cabo un

estudio de casos y controles, que consistió en 128 pacientes con STC y 109 sujetos de control. Posteriormente, se midieron la altura, el peso, el IMC, el ancho de la muñeca, la profundidad, la circunferencia y la proporción en todos los pacientes y el grupo de control. A su vez, se midieron los valores medios de diferentes factores de riesgo para el grupo con STC y los de control. Se llevó a cabo un análisis de regresión logística para evaluar la razón de probabilidades de los diferentes factores de riesgo.

Uno de los 42 estudios clasificados como multifactores y el STC, se centró en la identificación de una relación significativa entre el grado de gravedad del STC, la edad, el IMC, la circunferencia de la mano y la circunferencia de la cintura, (Komarcu et al, 2014). En el estudio participaron 547 pacientes, que se clasificaron en 4 grupos de gravedad del STC, mediante estudios electrofisiológicos. Luego se hicieron mediciones antropométricas. A través de los datos obtenidos, se procedió al análisis estadístico; es decir, ANOVA, análisis de covarianza y análisis de regresión logística. Se encontró que las circunferencias de cintura de los grupos con gravedad STC leve, media y severa eran significativamente más altas en comparación con el grupo de referencia normal. El estudio identificó una relación significativa entre la gravedad del STC y la edad, el IMC y la circunferencia de la cintura.

Sólo uno de los estudios inscritos considera la circunferencia del tórax y el tamaño de los senos con la incidencia de STC, (Iwuagwu et al., 2007). En esta investigación participaron 31 pacientes con STC y macromastia y se registraron sus características físicas, como la edad, el IMC y el tamaño de los senos. Se realizaron evaluaciones clínicas y electrofisiológicas del miembro superior. A través de análisis estadísticos se encontró que la edad, la circunferencia del tórax y el tamaño de los senos tienen una correlación positiva con la incidencia de STC.

Ocho de los 42 trabajos revisados corresponden al estudio de la relación entre el STC y varias enfermedades como la diabetes, el hipotiroidismo, la artritis, las migrañas, entre otras (Zhang et al., 2017), (Solmaz et al., 2017), (Karne et al., 2016), (Sousa et al., 2015), (Zambelis et al., 2010), (Becker et al., 2002), (Law et al., 2015) y (Geoghegan et al., 2004).

(Sousa et al., 2015), (Zambelis et al., 2010) y (Becker et al., 2002), estudiaron la influencia de la diabetes mellitus o la prediabetes como factor de riesgo para el STC. (Sousa et al., 2015), llevaron a cabo un estudio transversal con 115 pacientes idiopáticos con STC y 115 pacientes con controles. Se realizaron evaluaciones clínicas, de laboratorio y neurofisiológicas para confirmar el diagnóstico de STC. La gravedad del STC se calificó en una escala neurofisiológica estandarizada. La prediabetes se definió utilizando criterios estrictos. Los datos recopilados se analizaron luego mediante un análisis de regresión logística con la prediabetes como variable dependiente y la edad, el IMC y el STC como variables independientes. En consecuencia, los hallazgos indicaron que el STC no está asociado con la prediabetes, pero la prediabetes está estrechamente relacionada con la edad y el sobrepeso.

(Zambelis et al., 2010), en su nombre, encontraron que la edad avanzada, un mayor IMC y la diabetes mellitus eran más frecuentes en los pacientes con STC bilateral. La edad y el IMC se asociaron independientemente con el STC bilateral. En esta investigación participaron 130 sujetos con STC, de los cuales obtuvieron los siguientes parámetros: edad, sexo, trabajo, destreza manual, mano utilizada principalmente en las actividades cotidianas, IMC, diabetes mellitus, disfunción tiroidea, traumatismo de muñeca y enfermedades del tejido conectivo. Se realizaron análisis de regresión logística univariantes y multivariantes para identificar predictores independientes del STC.

Mientras que (Becker et al., 2002), confirman que el sexo femenino, la obesidad y la edad son factores de riesgo independientes para el STC. La diabetes mellitus puede ser un factor de riesgo débil, especialmente entre las mujeres. Se realizó un estudio de casos y controles con 791 casos de STC y 981 controles. Se calculó la proporción de probabilidad entre los dos grupos para analizar la radiofrecuencia. Se estudiaron posibles fuentes de sesgo utilizando análisis estratificados y multivariados.

Por otro lado, 3 de 42 investigaciones, consideran el hipotiroidismo como un factor de riesgo para el STC, (Karne et al., 2016), (Geoghegan et al., 2004) & (Solmaz et al., 2017).

(Karne et al., 2016), realizaron un estudio transversal en el que participaron 36 pacientes con diagnóstico de hipotiroidismo primario y STC. Se consideró el historial médico de cada paciente y se realizaron exámenes clínicos y estudios electrofisiológicos de conducción nerviosa. Los resultados mostraron que un aumento del IMC es un factor de riesgo importante para el STC en el hipotiroidismo y la evidencia clínica del STC demostró ser un parámetro muy sensible para ello.

Mientras que (Geoghegan et al., 2004), encontraron que las condiciones músculo-esqueléticas de fracturas previas de muñeca, artritis reumatoide y osteoartritis de la muñeca y el carpo, un aumento del IMC, la diabetes y el hipotiroidismo son importantes factores de riesgo para el STC. Los casos fueron pacientes con un diagnóstico de STC y, para cada uno, cuatro controles fueron emparejados individualmente por edad, sexo y práctica general. Nuestro conjunto de datos incluyó 3.391 casos, de los cuales 2.444 eran mujeres. Los datos demográficos fueron extraídos de todos los pacientes del estudio, incluyendo altura, peso y hábitos de fumar. El IMC se calculó para cada participante. La asociación entre el STC y cada exposición fue analizada usando una regresión logística condicional.

Por otro lado, (Solmaz et al., 2017), determinaron si hay diferencias electrodiagnósticas entre artritis reumatoide o casos de STC idiopáticos, mediante comparaciones de estudios de conducción nerviosa. En la investigación participaron 293 pacientes y 50 individuos sanos, y no hubo diferencias significativas entre los grupos en cuanto a sexo y edad. En conclusión, los resultados llevan a considerar el daño axonal además de las características desmielinizantes del STC en los grupos de hipotiroidismo, diabetes mellitus y artritis reumatoide.

(Zhang et al., 2017), informaron de un estudio retrospectivo de cohorte mediante la consulta del sistema de facturación utilizando códigos de terminología de procedimiento común para todos los pacientes que se sometieron a una liberación del túnel carpiano abierto y/o a una cirugía del túnel cubital abierto. En el estudio participaron 1.257 pacientes con STC, 326 con liberación cubital abierta y 100 con liberación de túnel carpiano y cubital abierta. En el

análisis multivariable, la edad avanzada, el sexo femenino, el índice de masa corporal más alto, el dedo en gatillo y la tenosinovitis de Quervain se asociaron con el STC.

Uno de los 42 estudios analizó la relación entre el STC y la migraña, (Law et al., 2015). Los datos del Módulo Básico para Adultos de la Encuesta Nacional de Entrevista de Salud de 2010 se utilizaron como base para calcular las estimaciones de prevalencia del STC y la migraña. Un total de 25,880 encuestados formaron parte del estudio. Utilizando la regresión logística, se calcularon las probabilidades ajustadas y un CI del 95% para el grado de asociación entre las migrañas y el STC después de controlar los factores demográficos y de salud conocidos. A través del análisis se encontró que el STC estaba asociado con la edad avanzada, el sexo femenino, la obesidad, la diabetes y el tabaquismo. La migraña se asoció con una edad más joven, el género femenino, la obesidad, la diabetes y el tabaquismo actual. La prevalencia de la migraña fue del 34% en aquellos con STC comparado con el 16% en aquellos sin STC.

Dentro de la revisión bibliográfica se encontraron 6 de 42 trabajos, que consideraban la cirugía del túnel carpiano, incluyendo (English et al., 2015), (Hobby et al., 2005), (Bland et al., 2014), (Bae et al., 2018), (Fakhauri et al., 2017). Por un lado, (Bland et al., 2014), (Bae et al., 2018) y (Fakhauri et al., 2017), estudiaron las predicciones de éxito de la cirugía del túnel carpiano. (Bland et al., 2014), realizaron un estudio de observación de la cirugía. Se evaluó la gravedad de los síntomas y el estado funcional de 145 descompresiones del túnel carpiano en relación con la medición preoperatoria de la sección transversal del nervio mediano. La tasa de éxito de la cirugía fue del 86%. Se encontró que el área de la sección transversal no era confiable como predictor del resultado.

En cambio, (Bae et al., 2018), realizaron un análisis multivariado y determinaron que la edad y el nivel de depresión eran predictores preoperatorios de la satisfacción del paciente después de la liberación del túnel carpiano. En la investigación participaron 60 pacientes diagnosticados con STC idiopático en el que incluyeron como predictores preoperatorios de la satisfacción del paciente: la edad, el sexo, la duración de los síntomas, la discriminación estática de dos puntos, la prueba del monofilamento de Semmes-Weinstein, la fuerza de

agarre, la categoría electrofisiológica y las puntuaciones del cuestionario del túnel carpiano de Boston, la escala de síntomas de ansiedad por el dolor y la escala del Centro para el Estudio Epidemiológico de la Depresión.

Mientras tanto, (Fakhauri et al., 2017), realizaron un estudio para identificar los factores de base clínicos y demográficos como posibles predictores de un buen resultado quirúrgico. En este trabajo participaron 620 pacientes con STC. La patología fue confirmada por electrodiagnóstico. Los pacientes se sometieron a una cirugía abierta para la liberación del túnel carpiano. La tasa de éxito de la cirugía fue del 89,4% después de 2 semanas y del 94,2% después de 6 meses. En consecuencia, se determinó que los pacientes ancianos con enfermedades de larga duración, déficits neurológicos y Phalen negativo, pueden no responder a la cirugía como los demás.

En cambio, (Hobby et al., 2005), justifican la cirugía en los ancianos, basándose en el resultado de la liberación del túnel carpiano en términos de mejora de los síntomas y de las puntuaciones funcionales. Sin embargo, las predicciones quirúrgicas son menores que en los pacientes más jóvenes. Se realizó un estudio prospectivo para evaluar la edad y el sexo en los síntomas, la discapacidad autoinformada y los resultados quirúrgicos en 97 pacientes con STC. La gravedad de los síntomas, la función de las manos y la satisfacción del paciente se evaluaron mediante el cuestionario del túnel carpiano de Boston y la medida de evaluación del paciente.

(English et al., 2015), determinaron que la mayor incidencia de STC se encuentra en las personas mayores que tienden a tener cambios neurofisiológicos más graves. Se realizó una revisión retrospectiva de 2.313 pacientes que se sometieron a la descompresión del túnel carpiano. La edad y el sexo se consideraron para la comparación en el estudio de conducción nerviosa. Los mayores índices de descompresión se observaron en el grupo de 70-79 años, en mujeres y hombres.

Mientras tanto, (Roh et al., 2010), encontraron en su estudio de la población coreana que las mujeres coreanas con STC tienen más probabilidades de ser tratadas quirúrgicamente que los

hombres. En su estudio retrospectivo para determinar la incidencia del STC en la población coreana, la Agencia de Revisión del Seguro Médico de Corea recopiló datos de 2005 a 2007, que abarcan el 97% de la población. Se analizaron las incidencias de los STC diagnosticados clínicamente y tratados quirúrgicamente. También se analizó la influencia de la edad y el sexo. En comparación con los estudios occidentales, se encontró una incidencia similar de STC, pero una menor incidencia de cirugía.

Cuatro de los 42 estudios incluidos relacionan los factores ocupacionales con el STC, e incluyen las investigaciones llevadas a cabo por (Ghasemi et al., 2012), (Mattioli et al., 2009), (Ibrahim et al., 2009) y (Bongers et al., 2007). (Ghasemi et al., 2012), realizaron su estudio sobre los trabajadores de montaje en una fábrica de detergentes y los usuarios de computadoras para determinar la prevalencia del STC y evaluar los factores de riesgo personal y el nivel de exposición a los factores de riesgo ocupacional. Se analizaron 906 casos (332 trabajadores de montaje y 574 trabajadores de informática). El STC se evaluó mediante el diagrama de mano de Katz y la técnica de comprobación de exposición rápida para evaluar la exposición física a los factores de riesgo. La prevalencia probable del STC fue del 14% en hombres y del 8,9% en mujeres. La tasa probable de STC fue significativamente más alta en los trabajadores de ensamblaje que en los usuarios de computadoras.

A su vez, (Bongers et al., 2007), compararon las tasas de incidencia del STC para estudiar la relación entre el STC y la ocupación. Se analizaron los datos de la primera y segunda Encuesta Nacional Holandesa de Práctica General realizada en 1987 y 2001, de la que se obtuvieron datos de 355,201 y 181,887 personas, respectivamente. Para obtener datos sobre los factores ocupacionales, se envió un cuestionario a los pacientes, obteniendo 118,208 en 1987 y 127,466 en 2001. Para conocer la relación entre el STC y la ocupación, se analizó el sexo por separado, con una regresión logística ajustada por edad. En 2001 la tasa bruta de incidencia del STC fue 1,5 veces superior a la de 1987, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa después de subdividirla por edad y sexo. En ambos años, la relación mujer:hombre fue de 3:1. Las tasas de incidencia estaban relacionadas con el nivel de trabajo de las mujeres, pero no de los hombres.

Mientras tanto, (Mattioli et al., 2009) e (Ibrahim et al., 2009), analizaron la relación entre los casos de STC quirúrgico y los factores ocupacionales. (Mattioli et al., 2009), estudiaron casos quirúrgicos de STC idiopático en obreros y amas de casa. 8801 participantes (7535 mujeres y 1266 hombres) tomaron parte en la investigación. Los datos se obtuvieron de registros de hospitales públicos y privados en la base de datos regional de Toscana, Italia. El STC tratado quirúrgicamente fue de 3 a 7 veces más común en obreros que en oficinistas, lo cual es difícil de explicar por las diferencias en el peso corporal u otros factores individuales. Los factores de riesgo ocupacionales parecen ser relevantes a lo largo de la vida laboral. Las altas tasas de amas de casa de tiempo completo sugieren que las actividades domésticas pueden ser un posible factor de riesgo para el STC.

Mientras que (Ibrahim et al., 2009), investigaron el efecto de la edad, el sexo y la ocupación en el resultado de la descompresión del túnel carpiano. Participaron en el estudio 479 pacientes (342 mujeres y 137 hombres). Los resultados de la cirugía se evaluaron mediante el cuestionario sobre el túnel carpiano del Hospital Brigham dos semanas antes de la cirugía y seis meses después de la misma. Los casos se dividieron por edad en cuatro categorías y dos grupos por ocupación (repetitiva y no repetitiva). Los análisis estadísticos en los que se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la edad y la de Mann Whitney-U para evaluar el sexo y la ocupación no encontraron ninguna influencia entre la edad, el sexo y la ocupación en el resultado de la descompresión del túnel carpiano.

Por otra parte, se identificaron cuatro estudios centrados en el estudio del STC en ocupaciones específicas, entre los que se encuentran los trabajos de (Modelli et al., 2006), (Rosecrance et al., 2002), (Cosgrove et al., 2002), (Nathan et al., 2002) y (Wolf et al., 2009).

(Modelli et al., 2006), a través de una población hospitalaria de 179 trabajadores de la limpieza, estudiamos la aparición del STC y la neuropatía cubo codo (UNE), para comprobar las diferencias entre los trabajadores con y sin STC. La gravedad clínica y electrofisiológica del STC y la UNE se evaluó mediante escalas y los síntomas se valoraron con el cuestionario auto-administrado de Boston. Se registraron los factores demográficos y no ocupacionales y

la duración de las ocupaciones actuales y anteriores. El análisis univariado mostró que los limpiadores con STC eran mayores, tenían un mayor IMC y una mayor exposición a la limpieza con empleadores anteriores que los que no tenían STC. En la regresión logística, el único predictor de STC era la limpieza con empleadores anteriores.

(Rosecrance et al., 2002), informaron de que la prevalencia de la ETC entre los aprendices de la construcción era del 8,2%, mientras que entre los trabajadores de la metalurgia alcanzaba el 9,2%. Además, se determinó que el IMC, la edad y los autoinformes de sobrecarga de trabajo estaban asociados con la prevalencia del STC. En su estudio participaron 1142 aprendices. Se llevó a cabo un estudio transversal, en el que los participantes completaron un cuestionario auto-administrado y se sometieron a un estudio electrofisiológico para evaluar la función nerviosa media.

Además, (Cosgrove et al., 2002), determinaron si el STC está relacionado con la clasificación de puestos de trabajo u otros factores de riesgo. A su vez, determinaron si la intervención quirúrgica para el tratamiento del STC está indicada con base a criterios de electrodiagnóstico. Se seleccionaron 900 sujetos para el estudio. Se llevó a cabo una evaluación ocupacional mediante un análisis del trabajo escrito, grabado en vídeo, análisis del trabajo, transcripciones de declaraciones y entrevistas directas. Al comienzo del estudio, 50 sujetos se sometieron a extensos estudios de electrodiagnóstico, que incluían evaluaciones sensoriales, motoras y del palmo medio de los nervios mediano y cubital de ambas manos. En la población que reclamaba el STC causado por ocupaciones ferroviarias, había una asociación significativa entre el STC y el IMC, la edad y el índice de la muñeca, pero no la clasificación de los puestos. Más de la mitad del grupo de estudio y un tercio del subconjunto quirúrgico tenían datos normales de la mediana menos el diferencial de latencia distal del nervio cubital.

(Nathan et al., 2002), realizaron un estudio de los factores asociados con el STC en los trabajadores industriales (farmacia de acero, empaquetado de carne y alimentos, electrónica y plásticos). La historia médica, los factores de estilo de vida y los síntomas se evaluaron mediante entrevistas y se realizaron estudios de electrodiagnóstico para medir la mediana de

la función nerviosa. Se realizaron evaluaciones de seguimiento entre 1989 y 1994-1995. La muestra consistió en 111 mujeres y 145 hombres sin STC. El análisis de regresión logística mostró que la edad avanzada, el sexo femenino, el sobrepeso relativo, el fumar cigarrillos y las vibraciones asociadas a las tareas laborales aumentaron significativamente el riesgo de STC de la mano dominante.

Además, (Wolf et al., 2009), estudiaron el STC en la población militar de los EE.UU., con la hipótesis de que los jóvenes tendrían una menor incidencia de STC que la previamente reportada en las poblaciones en general. Se consultó la base de datos utilizando la Clasificación Internacional de Enfermedades, novena revisión, código 354.0 STC y se analizó al personal que se presentaba a las visitas iniciales para los años 1998-2006. La incidencia bruta del STC en el ejército de los Estados Unidos fue de 3,98 por cada 1.000 años-persona, en una población de 12.298.088 años-persona. Se utilizó la regresión multivariante de Poisson para estimar la tasa de diagnósticos de STC por cada 1.000 años-persona, controlando por covariables. Usando la regresión de Poisson, se calcularon los índices de tasas para el género, usando los hombres como referencia, y controlando las diferencias de edad, raza, servicio y rango entre hombres y mujeres. Entre los hallazgos se encuentra que la incidencia de STC aumentó por edad, teniendo el grupo de edad ≥ 40 años una incidencia significativamente mayor. Además, se determinó que el rango militar era un factor de riesgo independiente para el STC, con tasas más altas en los grupos de oficiales superiores y alistados. Esto sugiere que los requisitos ocupacionales tienen un efecto en el STC dentro de las fuerzas armadas. El aumento de la edad y el rango avanzado fueron factores de riesgo para el STC.

Cuatro estudios consideraron la mano dominante en el análisis de la asociación del STC y los factores de riesgo, (Zambelis et al., 2010), (Arslan et al., 2017), (Harris-Adamson et al., 2013) y (Mohammad, 2019). (Zambelis et al., 2010) y (Arslan et al., 2017), cuyas investigaciones se describieron anteriormente, encontraron resultados opuestos. Por un lado, (Zambelis et al., 2010), encontraron que el CTS de la mano derecha era más frecuente en sujetos más jóvenes y mujeres. Mientras que (Arslan et al., 2017), no encontraron ninguna asociación del STC con respecto a la mano dominante en su estudio.

(Harris-Adamson et al., 2013), realizaron análisis de población por conglomerados para examinar la incidencia del STC en la mano dominante, en relación con las características demográficas, y estimaron las asociaciones con factores ocupacionales psicosociales y los años trabajados, ajustando la confusión por factores de riesgo personales. Se hizo un seguimiento de 3.515 participantes sin STC durante 7 años. La alta tensión laboral ajustada de mayor riesgo fue estudiada por los modelos de riesgo proporcional de Cox. Los factores personales asociados con un mayor riesgo a desarrollar STC fueron el IMC, la edad y el ser mujer. Los factores de riesgo en el lugar de trabajo eran la alta tensión laboral, mientras que el apoyo social era protector. La relación inversa entre la incidencia del STC y los años trabajados entre las contrataciones recientes, sugiere la presencia de un efecto de un trabajador saludable a corto plazo.

(Mohammad, 2019), realizó un estudio para explorar la prevalencia de los síntomas del STC entre los usuarios de pantallas táctiles en la Universidad de Majmaah (Arabia Saudita). Se utilizó un diseño de estudio descriptivo transversal. En el presente estudio participaron 222 usuarios de pantallas táctiles. Se utilizó un dispositivo inclinómetro digital para evaluar la gama de movimientos de la muñeca. Un cuestionario computarizado, la prueba de Phalen y el signo de Tinel se utilizaron para investigar la presencia de síntomas de STC. Se comparó el rango de movimiento de la muñeca entre los probables usuarios de STC y los usuarios de pantalla táctil que no son de STC. Las mujeres con probable STC y las que no lo son se compararon en cada variable independiente usando la prueba de ji-cuadrada, o la prueba t, según fuera apropiado. En cuanto a los factores de riesgo del STC, se determinó que la edad, el IMC, el trabajo, la mano predominante, los años y las horas de uso de la pantalla táctil/día están significativamente asociados con los síntomas del STC.

Entre las investigaciones revisadas, se identificaron los trabajos de (Mondelli et al., 2005) y (Castro et al., 2015), que consideraban la educación como un posible factor de riesgo para el STC.

(Mondelli et al., 2005), realizaron un estudio transversal para determinar si las diferencias entre mujeres y hombres están asociadas con la edad, la educación o el IMC en dos poblaciones; una con personas con STC idiopático tratado no quirúrgicamente y otra con personas con STC idiopático tratado con descompresión quirúrgica. El estudio consistió en 172 participantes no quirúrgicos y 219 participantes tratados quirúrgicamente. La edad, la educación, el IMC, la duración de los síntomas, la gravedad electrofisiológica y clínica del STC (con escalas ordinales), y el Cuestionario de Boston auto-administrado de síntomas y función se consideró el estado de las manos. Las diferencias estadísticas entre hombres y mujeres se evaluaron mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para las variables numéricas, y con la prueba de ji cuadrada para las escalas ordinales (educación, grupos de IMC, escalas de gravedad clínica y electrofisiológica). Se encontró que las mujeres tienen una percepción más negativa de los síndromes relacionados con el STC que los hombres, mientras que la gravedad clínica y electrofisiológica es similar en ambos sexos. En este estudio, las diferencias no estuvieron mediadas por factores de confusión (educación, IMC o edad), por lo que el sexo surgió como el único factor responsable de estas diferencias.

Según (Castro et al., 2015), la prevalencia de STC en una población de trabajadores hospitalarios era del 34%. El número de años de educación formal era el único factor de riesgo independiente para el STC. 200 personas sanas participaron en la investigación para describir la prevalencia del STC, estableciendo las respectivas asociaciones epidemiológicas. Los participantes se sometieron a una ecografía de la muñeca para medir el área del nervio mediano. Se les interrogó y examinó para obtener datos epidemiológicos, IMC, signos y síntomas del STC, y se les sometió al Cuestionario del Túnel Carpiano de Boston para evaluar la gravedad. Los datos se recogieron y organizaron de acuerdo con las tablas de frecuencia y contingencia y se analizó la distribución de la muestra para la prueba de Kolmogórov-Smirnov. La tendencia central se expresó en valores medios en función del muestreo no paramétrico. Para los estudios de asociación se utilizaron las pruebas de Chi cuadrada y Mann-Whitney.

Dos trabajos de investigación, (Jerosh-Herold et al., 2017) y (Day et al., 2010), consideraron los factores socioeconómicos en sus estudios de la asociación de factores de riesgo con el

STC. (Jerosh-Herold et al., 2017), incluyeron los costos de los servicios médicos, mientras que Day et al. (2010) incorporaron el ingreso familiar promedio, la ocupación y el seguro dentro de los aspectos socioeconómicos.

(Jerosch-Herold et al., 2017), exploraron la asociación transversal de la gravedad clínica y de referencia de los pacientes con ansiedad, depresión, calidad de vida relacionada con la salud, y los costos del STC en los pacientes remitidos a la atención secundaria. 753 pacientes con STC proporcionaron una línea de base datos completa. Se utilizaron estudios de la gravedad de los síntomas y de la conducción nerviosa de una sola mano por paciente, regresión lineal multivariable ajustada por edad, sexo, etnia, duración del STC, estatus de fumador, consumo de alcohol, estatus de empleo, IMC y comorbilidades. Se ha determinado que la gravedad de los síntomas comunicados por el paciente en el STC se asocia significativa y positivamente con la ansiedad, la depresión, la calidad de vida relacionada con la salud y los costos del Servicio Nacional de Salud y de la sociedad, incluso al ajustar por la edad, el sexo, el índice de masa corporal, las comorbilidades, el tabaquismo, la bebida y la situación laboral.

En los estudios realizados por (Day et al., 2010), se examinaron los efectos de factores como la edad, el sexo y la situación socioeconómica en los síndromes de gestión del túnel carpiano y cubital. Se examinaron los registros de 273 pacientes diagnosticados con el síndrome del túnel carpiano o el síndrome del túnel cubital. Se reunió información sobre aspectos demográficos, clínicos (diagnóstico, tratamiento) y socioeconómicos (seguros) (ingresos medios). Se realizó un análisis de regresión para determinar qué variables de entrada contribuían a la liberación quirúrgica de su neuropatía y el tiempo de espera de los que se sometían a la cirugía. Se determinó que la edad del paciente era el factor predictivo más importante en cuanto a la liberación quirúrgica, y entre los que tenían neuropatías múltiples, los hombres tenían más probabilidades de someterse a una cirugía que las mujeres.

Sólo un estudio consideró la liberación de los dígitos del gatillo con el STC. (Harada et al., 2005), estudiaron retrospectivamente 101 casos de pacientes con operaciones de liberación de dígitos desencadenantes antes y/o después de la liberación del STC. Se realizaron dos

estudios de comparación. El primero con los casos que sólo requerían liberación endoscópica del túnel carpiano, y en relación con la edad, el sexo y el estudio de conducción nerviosa. El segundo estudio se realizó entre el grupo de liberación del túnel carpiano abierto y el grupo de liberación endoscópica del túnel carpiano con liberación de los dígitos desencadenantes, en lo que respecta a la ocurrencia de liberación de los dígitos desencadenantes después de la liberación del túnel carpiano y la mejora del estudio de conducción nerviosa después de la liberación del túnel carpiano. Las evaluaciones estadísticas se hicieron utilizando la prueba U de Mann-Whitney. La comparación del estudio de conducción nerviosa entre el STC asociado a los dígitos desencadenantes y el STC aislado mostró que la latencia motora distal preoperatoria se retrasó significativamente más en el STC asociado a los dígitos desencadenantes, mientras que no hubo evidencia de ninguna diferencia debido a la edad o al género. Este estudio sugirió que el STC asociado a los dígitos desencadenantes tiene un amplio estrechamiento de la vaina del tendón flexor previamente desarrollado.

Uno de los casos encontrados entre los documentos examinados es el realizado por (McCabe et al., 2011), el único de los 42 documentos que considera el papel de la posición de sueño como un factor del STC, basado en la prevalencia de los síntomas nocturnos. Durante el estudio se analizaron 68 casos y 138 sujetos de control, con los que se hizo una comparación de la posición preferida para dormir. Los datos fueron estratificados por edad y sexo, controlados por el IMC. Inicialmente, se realizaron estadísticas descriptivas para describir la población de la muestra. Se desarrollaron modelos de regresión logística en los que la posición para dormir se hizo en función del STC, ajustando el IMC. Como resultado, se encontró una fuerte y significativa asociación entre la preferencia por dormir de lado y la presencia de STC en hombres y mujeres menores de 60 años. El IMC se asoció con el STC en las mujeres pero no en los hombres.

Uno de los 42 estudios, determinó si el ultrasonido podría ser una alternativa a los estudios de conducción nerviosa en el diagnóstico del STC, (Kwon et al., 2008). Veintinueve pacientes participaron en el estudio y la sección transversal del nervio mediano fue medida por ultrasonido. Se obtuvo la sensibilidad y la especificidad y se compararon la ecografía y el estudio de conducción nerviosa. No hubo diferencias significativas en edad, sexo, IMC y

participación lateral entre los pacientes, por lo que el ultrasonido no es preciso para reemplazar el estudio de conducción nerviosa para diagnosticar el STC.

Por último, (Chan et al., 2007), consideraron si en los pacientes con STC, los resultados del estudio electrodiagnóstico se asocian con la gravedad de los síntomas y las limitaciones funcionales después de controlar variables como la depresión, la somatización y la catástrofe relacionada con el dolor. En esta investigación participaron 215 pacientes con STC. Los datos se recogieron mediante medidas de autoinforme, que incluyeron el Cuestionario de Evaluación del Síndrome del Túnel Carpiano. Los datos obtenidos se analizaron mediante estadísticas descriptivas y análisis de regresión lineal. Los resultados obtenidos del electrodiagnóstico y los síntomas y la función del STC se mostraron como medidas independientes.

Enseguida se muestra un compendio de los trabajos descritos previamente (Tabla 2). En dicha tabla se incluye información como autor, Journal, año de la publicación, y su clasificación por factores de estudio.

Tabla 2 Resumen de los trabajos de investigación respecto a factores de riesgo para STC.

Resumen de los trabajos de investigación respecto a factores de riesgo para STC.

Autor	Journal	Año de Publicación	Clasificación
Mohammad	Pakistan Journal Medical Sciences	2019	Multifactores & CTS
Bae et al.	Rev. Chir. Orthop. Traumatol	2018	Edad & CTS
Çirakli et al.	Nigerian Journal of Clinical Practice	2018	Sexo & CTS
Haghighat et al.	Advanced Biomedical Research	2018	Edad & CTS
Moschovos et al.	Clinical Neurophysiology	2018	Edad & CTS
Nageeb et al.	Psychiatry Neurosurgery	2018	IMC & CTS
Ozcakir et al.	Clinical Anatomy	2018	IMC & CTS
Arslan et al.	Neurological Sciences Journal	2017	Multifactores & CTS
El-Helaly et al.	Journal of Occupational Health	2017	Sexo & CTS
Fakhauri et al.	Asian Journal of Neurosurgery	2017	Multifactores & CTS
Jerosch-Herold et al.	BMJ Open	2017	Multifactores & CTS
Kim et al.	Annals of Rehabilitation Medicine	2017	BMI & CTS
Mansoor et al.	Cureus	2017	BMI & CTS
Solmaz et al.	Journal of Clinical Neurophysiology	2017	Multifactores & CTS
Tang et al.	Journal of Hand Surgery	2017	Mano dominante & CTS
Thiese et al.	Muscle & Nerve	2017	Multifactores & CTS
Zhang et al.	Journal of Hand Surgery	2017	Multifactores & CTS

de Saboya et al.	Hand	2016	Edad & CTS
Gruber et al.	J. Med. Ultrason.	2016	Sexo & CTS
Kame et al.	J. Clin. Diagnostic Res.	2016	Multifactores & CTS
Mondelli et al.	Ar. of Physical Medicine Rehab.	2016	Multifactores & CTS
Sassi and Giddins	The Journal of Hand Surgery	2016	Sexo & CTS
do Amaral et al.	Radiologia Brasileira	2015	Edad & CTS
Bland et al.	Muscle and Nerve	2015	Multifactores & CTS
English et al.	J. Hand Surg. Am.	2015	Multifactores & CTS
Law et al.	Plastic. Reconstruction. Surgery	2015	Multifactores & CTS
Sousa et al.	Clin. Neurol. Neurosurg.	2015	Multifactores & CTS
Ünalı et al.	J. of Turgut Ozal Medical Center	2015	IMC & CTS
Hiebs et al.	Coll Antropol.	2014	Multifactores & CTS
Komurcu et al.	Neurol. Med. Chir	2014	Multifactores & CTS
Harris-Adamson et al.	Occup. Environ. Med.	2013	Multifactores & CTS
Hassan et al.	Egyptian J. of Neurol., Psychiat. & Neurosurg.	2013	IMC & CTS
Ghasemi et al.	Trauma Mon	2012	Multifactores & CTS
McCabe et al.	Hand	2011	Multifactores & CTS
Shiri et al.	BioMed Central Musculoskeletal Disorders	2011	Cardiovascular & CTS
Day et al.	Clin. Orthop. Relat. Res.	2010	Multifactores & CTS
Roh et al.	J. Hand Surg. Am.	2010	Sexo & CTS
Zambelis et al.	Eur. Neurol.	2010	Multifactores & CTS
Aygül et al.	J. of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury	2009	IMC & CTS
Hansen et al.	J. Hand Surgery-European	2009	Edad & CTS
Mattioli et al.	Occupational and Environmental Medicine	2009	Multifactores & CTS
Roquealure et al.	Scand. J. Work Environ. Health	2009	Sexo & CTS
Wolf et al.	Hand	2009	Multifactores & CTS
Ibrahim et al.	Int. Orthop.	2008	Multifactores & CTS
Kurt et al.	Eur. Neurol.	2008	IMC & CTS
Kwon et al.	J. Hand Surg. Am.	2008	Multifactores & CTS
Sharifi et al.	Folia Morphologica	2008	IMC & CTS
Bodavula et al.	Hand	2007	IMC & CTS
Bongers et al.	J. Gen. Pract.	2007	Multifactores & CTS
Chan et al.	Arch. Phys. Med. Rehabil.	2007	Multifactores & CTS
Iwuagwu et al.	British Society for Clinical Neurophysiology	2006	Multifactores & CTS
Mondelli et al.	Neurophysiologie Clinique	2006	Multifactores & CTS
Szyluk et al.	Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja	2006	Edad & CTS
Wilgis et al.	The Journal of hand surgery	2006	Edad & CTS
Harada et al.	Hand Surg.	2005	Multifactores & CTS
Hobby et al.	Journal of Hand Surgery	2005	Multifactores & CTS
Landau et al.	Muscle and Nerve	2005	IMC & CTS
Moghtaderi et al.	Acta Neurologica Scandinavica	2005	Multifactores & CTS
Mondelli et al.	European Journal of Neurology	2005	Multifactores & CTS
Boz et al.	Clin. Neurol. Neurosurg.	2004	Multifactores & CTS
Geoghegan et al.	The Journal of Hand Surgery	2004	Multifactores & CTS
Becker et al.	Clin. Neurophysiol.	2002	Multifactores & CTS
Cosgrove et al.	American J. of Physical Medicine & Rehab.	2002	Multifactores & CTS

Kouyoumdijan et al.	Muscle & Nerve	2002	Multifactores & CTS
Nathan et al.	Hand Surg. Am.	2002	Multifactores & CTS
Porter et al.	The Journal of Bone & Joint Surgery	2002	Edad & CTS
Rosecrance et al.	Am. J. Ind. Med.	2002	Multifactores & CTS
Giersiepen et al.	Annals of Epidemiology	2000	Multifactores & CTS
Kouyoumdijan et al.	Arq. neuropsiquiatr.	2000	IMC & CTS
McDiarmid et al.	Environ. Res.	2000	Sexo & CTS

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la siguiente sección se define la problemática que aborda nuestro tema de investigación, las preguntas de investigación planteadas, las hipótesis establecidas, los objetivos general y específicos que pretende cumplir este trabajo, la justificación del estudio y por último las delimitaciones presentes.

3.1 Definición del problema

Es una realidad que el trabajador, al realizar actividades altamente repetitivas el nivel de riesgo aumenta y afecta la salud y bienestar. Conforme se va haciendo más compleja y repetitiva la realización de actividades de producción, se van multiplicando los riesgos para el trabajador y por consecuencia se producen numerosos accidentes y enfermedades (específicamente DTA's) (Salgado, 2002).

Los desórdenes del sistema músculo esquelético (DSM) son las enfermedades laborales más comunes (Muggleton et al., 1999). Se derivan de diversas causas, y se dividen en dos categorías: los causados por traumas agudos, tal como resbalones o caídas y los debidos por exposición repetitiva a un tipo de actividad física, conocidos como desórdenes de traumas acumulativos (DTA's) (Attwood et al., 2004). Por acumulativo se refiere a que dichas lesiones se desarrollan con el paso del tiempo, que pueden ser desde semanas, meses, e incluso años de propensión al estrés repetitivo, por lo que no se deben a un solo evento abocado, como es el caso de la primera categoría, sino a diversos micro-traumas (Putz, 1988).

Los trabajadores que padecen este trastorno, sufren de dolor severo lo que se refleja en una disminución de la productividad y calidad de su trabajo e incluso pueden causar discapacidad.

Por ende, son los principales responsables del ausentismo en el trabajo y conllevan a elevar los costos para las empresas y para el sistema de salud pública (Luttmann et al., 2004).

A pesar de la importancia de contar con personal sano dentro de cualquier organismo social y aprovechar al máximo los recursos que lo integran, nuestro país no ha quedado al margen en el hecho de que sus trabajadores se encuentran en condiciones inseguras y de desamparo. La simple legislación en lo referente a los riesgos de trabajo, o a la seguridad social, no son suficientes para que éstos se vean adecuadamente prevenidos (Salgado, 2002).

Por lo que, la presente investigación plantea un modelo cuantitativo que contribuya a disminuir el DTA debido a la realización de actividades altamente repetitivas, a las que se enfrenta día a día el trabajador, dentro de la industria maquiladora en el Estado de Baja California. Para poder llevarlo a cabo, será necesario identificar los posibles factores de riesgo en los trabajadores, como por ejemplo el IMC, edad, ritmo cardiaco, tensión arterial, entre otros e identificar aquellos que representen mayor significancia sobre los valores de temperatura registrados en las extremidades con riesgo a presentar lesión. De este modo, es posible predecir lesiones, mediante pronósticos de temperaturas, identificando las diferencias entre una extremidad y otra a través del tiempo.

3.2 Preguntas de investigación.

1. ¿Es posible determinar un modelo cuantitativo que permita mejorar las condiciones laborales prediciendo DTA's en actividades altamente repetitivas en la industria de Baja California?
2. ¿Cuáles son los factores potenciales que representan mayor significancia en la reducción de los DTA's en los trabajadores que realizan actividades altamente repetitivas dentro de la industria maquiladora en Ensenada, Baja California?
3. ¿Afecta a alguno de los factores potenciales a las diferencias de temperatura?
4. ¿Cuáles factores influyen significativamente a las diferencias de temperatura?
5. ¿A través de la termografía es posible identificar lesiones en los trabajadores?
6. ¿Qué precisión ofrece el diagnóstico de lesiones mediante termografía?

3.3 Hipótesis

Para esta investigación se establecen las siguientes hipótesis:

- Los modelos de predicción proporcionan información que permite detectar las diferencias de temperaturas del área de la muñeca, considerando los factores de riesgo de estudio a través de la TI al realizar actividades altamente repetitivas en áreas de trabajo en la industria maquiladora.
- A través de la TI es posible detectar lesiones en los trabajadores, mediante las asimetrías en las diferencias de temperatura en las muñecas.
- Los factores de riesgo analizados influyen sobre las diferencias de temperatura.

3.4. Objetivos

3.4.1 Objetivo General

❧ Determinar un modelo cuantitativo que prediga los DTA's por actividades altamente repetitivas, en la Industria Maquiladora de Ensenada, Baja California.

3.4.2 Objetivos Específicos

Con el propósito de cumplir con el objetivo general, se derivan los subsecuentes objetivos específicos, enlistados a continuación:

- Identificar y cuantificar los factores potenciales que representen mayor significancia en la reducción de los DTA's en los trabajadores que realicen actividades altamente repetitivas dentro de la industria maquiladora de Ensenada, Baja California.
- Determinar la interacción entre los factores de mayor influencia sobre la predicción de los DTA's en los trabajadores que realicen actividades altamente repetitivas dentro de la industria maquiladora de Ensenada, Baja California.
- Evaluar y comparar los modelos cuantitativos que mejor significancia muestren en la predicción de los DTA's en la industria maquiladora de Ensenada, Baja California.
- Encontrar los factores que son significativos y no significativos en la reducción de los DTA's en actividades altamente repetitivas en la industria maquiladora de Baja California.

3.5 Justificación

El trabajo es una actividad inherente al ser humano; durante su desarrollo permite crear y desarrollar la imaginación, construir nuevas formas, nuevos enfoques y nuevas soluciones a problemáticas ordinarias. El trabajo es, en consecuencia, imprescindible para los seres humanos y para las sociedades. Se puede afirmar que no existe trabajo sin riesgo; de hecho, el riesgo profesional está presente en todo trabajo o actividad laboral.

Por esta razón, si se desarrollan actividades específicas para la gestión del riesgo, quizá no ocurran los fenómenos mediante los cuales se expresa, como lo son el accidente de trabajo o la enfermedad profesional, o bien, si eventualmente se materializan, quizá su manifestación sea de características leves y reversibles. Surge, entonces, el ámbito de la prevención de los riesgos laborales como complemento fundamental del trabajo, para que su realización sea positiva, tanto económicamente como en términos de salud.

Por lo tanto, la salud de los trabajadores debe ser un objetivo estratégico de las sociedades, en las cuales existe orientación hacia el crecimiento económico de la comunidad, dada la imposibilidad de crecer sin el esfuerzo diario de la fuerza laboral (Varona et al., 2012).

En la región de Baja California, indicadores de ocupación y empleo de INEGI durante 2015, muestran que el estado cuenta con una población total de 3, 315, 766 habitantes, de los cuales presenta una población económicamente activa (PEA) del 43.84%, de donde 284, 030 personas laboran en la industria maquiladora. Los riesgos de trabajo terminados registrados en el IMSS por año de ocurrencia, durante 2015, presentó un total de 25, 842 de los cuales el 81% se deben a accidentes de trabajo y el 2.16% a enfermedades de trabajo.

Asimismo, más de 500 personas fallecieron en dicha entidad por accidentes de trabajo, tal y como confirmaron las autoridades de la Delegación Federal del Trabajo (Martínez, 2016).

Datos extraoficiales señalan que el Seguro Social gasta más de 65 mil millones de pesos al año en atender accidentes y enfermedades de trabajo, lo cual ocurre debido a la falta de una cultura de la prevención. La Organización Internacional del Trabajo menciona que en el

mundo se registran 160 millones de enfermedades relacionadas con lo laboral y estima que se pierde 4% del Producto Interno Bruto mundial debido a los accidentes del trabajo y a las enfermedades profesionales (Vargas, 2016).

El estrés, la ansiedad, la depresión, 'burnout', acoso laboral, así como dolor de espalda y tensión muscular, son consideradas ya como enfermedades laborales y, como tal, deben ser objeto de incapacidad e indemnización laboral por parte de las empresas. El nuevo Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo publicado en el Diario Oficial y que entró en vigor en febrero de 2014, considera por primera vez los factores de riesgo psicosocial y ergonómico, los cuales asignan multas que van de 50 a 5,000 salarios mínimos a aquellos patrones que no cumplan las medidas de identificación, registro y prevención de las mismas. Seguidamente, la Norma Oficial Mexicana estableció la NOM-035-STPS-2018 (factores de riesgo psicosocial en el trabajo: identificación, análisis y prevención), así como la NOM-036-1-STPS-2018 (factores de riesgo ergonómico en el trabajo: : identificación, análisis y prevención y control).

“Las empresas van a tener la obligación de identificar factores de riesgo en su trabajo como el acoso, lo que genera incluso depresión y hasta el suicidio”, dijo el coordinador de Salud en el Trabajo de la Facultad de Medicina de la UNAM, Rodolfo Nava Hernández.

En lo que se refiere al DTA, de acuerdo a la Oficina de Estadísticas de Estados Unidos, estos desórdenes se incrementaron un 800% del periodo 1982 a 1992. En México, de acuerdo a registros del IMSS, su diagnóstico es bajo y alcanza una tasa promedio en los últimos 5 años de 40 casos al año, aunque es muy probable que muchos casos pasen como enfermedades de índole general.

https://www.medigraphic.com/medicospostgraduadosimss/capitulos/Cap_MedTra/MT-act-16.htm

Por tales razones, esta investigación propone un modelo para contribuir a mejorar las condiciones laborales bajo las que se encuentran los trabajadores de la industria maquiladora en el estado de Baja California, de manera que la función objetivo sea minimizar los DTA's,

debido a la fatiga por los movimientos altamente repetitivos (4 ciclos de movimiento por minuto) efectuados durante su jornada laboral.

3.6 Delimitaciones de la Investigación

Por cuestión de tiempo y de disponibilidad de la cámara infrarroja, sólo fue posible realizar el estudio en una sola empresa, la cual estableció únicamente dos áreas para llevar a cabo la investigación. Durante el proceso de obtención de datos, el cual se llevó a cabo en una empresa maquiladora, dependíamos de las condiciones climáticas para adquirir los termogramas; es decir, de los niveles de humedad (de 45% a 60%). Para la aplicación de cuestionarios, toma de signos vitales y somatometría, así como la toma de imágenes térmicas, teníamos un horario restringido con el fin de no afectar las metas de producción para la empresa.

4. METODOLOGÍA

En esta sección se detalla primeramente el proceso de aprendizaje del uso de la cámara infrarroja y posteriormente el procedimiento llevado a cabo durante el estudio en la industria maquiladora, en donde se incluyen las condiciones experimentales y ambientales, reclutamiento, selección y manejo de los participantes del estudio, las restricciones preliminares, el protocolo experimental, la implementación de la cámara, y las herramientas utilizadas.

4.1 Etapa 1: Revisiónn técnica de la cámara termográfica

Para el desarrollo de las diferentes etapas de este trabajo de investigación, primeramente, se contempló conocer el funcionamiento de la cámara termográfica, así como las condiciones de uso óptimo para la obtención de datos de temperaturas adecuados, de acuerdo con el protocolo que se muestra a continuación:

Pasos para el protocolo de imágenes termográficas

1. Encender la cámara 15 minutos antes de la primera toma (con el fin de que se adapte a la temperatura). Para apagarla se debe mantener pulsado el botón durante 2 segundos, como se observa en la imagen de la Figura 5



Figura 5: Indicaciones para encender cámara termográfica

2. Tomar datos: Nombre del alumno, edad, si ha tenido fractura en la muñeca o brazo, si practica algún deporte. Si es mujer indicar si está en su periodo.

- En caso de que el alumno haya consumido alcohol, fumado un día antes, o ingerido algún medicamento, la prueba no se puede llevar a cabo.

En figura 6, se muestra un listado de alumnos evaluados.

NOMBRE	EDAD	TOMA	FUMA	DEPORTE	PESO	MEDICAMENTO	FRACTURA	PERIODO
AGUAS LOYA ADALBERTO								
BADILLA OLACHEA RAFAEL ANGEL								
BECERRA OTIZ NOSE ONASIS								
BLANCKET MELCHOL ANGEL IVAN								
BRACAMONTES MARTINEZ LUIS FERNANDO								
CHAVES AGUILAR NAYELY								
COLIN ZAVALA LUIS FERNANDO								
FERRE GIL FRANCISCO JOSE								
FERRE GIL JUAN ANTONIO	21	NO	NO	SI	63	NO	NO	
HUILTRON NUÑEZ JOSE ANTONIO								
LEDESMA GARCIA DANIEL								
LEYVA SALDOVAL Alejandra								
LINQUIST ALMARAZ EUGENIO	21	NO	NO	NO	66	GRIPA	SI	
LOPEZ MASCAREO KEVINN NAHEL								
MALDONADO VILLAVICENCIO PAULINA								
MONTOYA FIERRO ELVIS EDUARDO								

Figura 6 Datos recopilados de los alumnos de UABC.

Otros datos que se debe considerar es instalar la app Thermometer & Hydrometer, para considerar las variables de temperatura y humedad dentro del estudio.

- 4 Revisar la emisividad de la cámara, la cual debe estar en 98. Dicha variable se encuentra en el botón menú, emisividad, y con las flechas se sube o baja, tal y como se muestra en la Figura 7.



Figura 7 Opción de ajuste de emisividad.

4. Acomodar el lugar de trabajo, una silla negra (para evitar el ruido dentro de la imagen) y la tabla con los puntos rojos marcados (Figura 8).



Figura 8 Lugar para la toma de termogramas.

Acomodar el trípode a la altura debida, de tal modo que la cámara pueda ensamblarse a éste, por lo que se requiere colocar un cartón blanco y después enroscar el botón rojo, tal y como se observa en la Figura 9.



Figura 9 Colocación de parte para ajuste de la cámara al trípode.

Una vez ensamblado, se instala la cámara al trípode y se fija mediante la palanca negra, tal y como se muestra en la Figura 10.



Figura 10 Ensamblaje de cámara a tripié.

Si es necesario, se debe ajustar el trípode con la finalidad de que enfoque el área donde se colocan las manos.

5. Ajustar el enfoque de la cámara, hasta que la imagen se observe nítida y el contorno de las manos delgado (Figura 11).

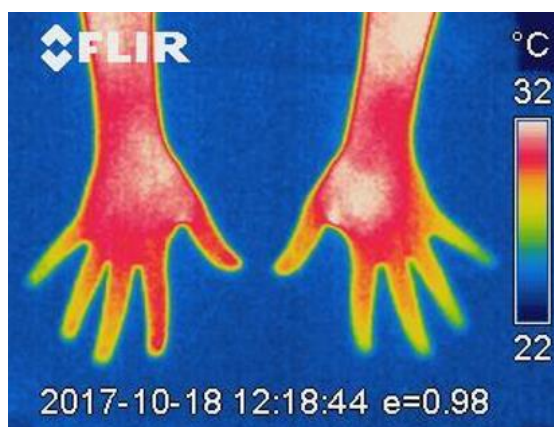


Figura 11 Termograma en el cual se verifica el enfoque de la imagen.

6. Tomar foto de rostro, y foto inicial de las manos y palmas (libres, no pulseras ni mangas) antes de iniciar a enrollar los cables.

7. Explicar a los alumnos cómo es el movimiento repetitivo con los cables, y tomar el tiempo, 10 minutos enrollando los cables.

8. Posteriormente tomar foto de las manos y después las palmas a cada alumno. Lo ideal es pasar de tres por sesión. Es necesario respetar el orden del registro de datos para identificar a quién corresponde cada termograma de las manos.

Es necesario tomar el tiempo después de 5 min. Enseguida se realiza otra toma, respetando el orden en el que pasaron.

Realizar una toma cada 5 minutos hasta llegar a los 20 minutos de descanso por alumno. Aproximadamente a los 5 minutos, después a los 10 minutos, a los 15 minutos y a los 20, para la parte dorsal y palmar de la mano.

Posteriormente, se procede a descargar las mediciones de temperatura correspondientes a los alumnos participantes, a través del software *ThermaCAM Researcher Pro 2.10* y subsecuentemente, se señalan las secciones de la cara, muñeca y dedos para obtener las temperaturas registradas por la cámara termográfica. Una vez finalizado este procedimiento, se exportan los datos a Excel, para crear la tabla de datos en donde se incluyen las temperaturas de cada mano y cada dedo, así como las diferencias de temperaturas entre una mano y otra. Hasta este punto finaliza la faceta de entrenamiento del uso de la cámara termográfica y la adquisición de datos.

4.2 Etapa 2: Medición de temperaturas en la industria maquiladora

La segunda parte de este trabajo de investigación consistió en aplicar la obtención de temperaturas mediante TI en el ámbito industrial, en donde participaron los trabajadores de una maquiladora de Ensenada, Baja California, los cuales realizan actividades altamente repetitivas y cuyo historial clínico presenta problemas en las extremidades superiores en ciertos trabajadores.

Previamente se examinaron detenidamente los procesos de producción en las áreas tentativas a realizar el estudio, para asegurarse que se tratase de actividades altamente repetitivas y conocer los pasos que componen dichos procesos en cada área. En este caso se evaluaron dos áreas de producción: Lijado y Tolex.

Seguidamente se comunicó del estudio a realizar con el supervisor del área de Tolex, y una vez autorizado el proyecto se aplicaron encuestas a todos los trabajadores que componen el lugar de trabajo para seleccionar a los participantes. Posteriormente, se midieron los factores de referencia establecidos previamente en cada uno de los trabajadores; esto es, estatura y peso para obtener *el IMC, ritmo cardiaco, frecuencia respiratoria (FR) y tensión arterial (T/A)*.

Enseguida, se realizaron las tomas de termogramas, conforme las condiciones climáticas lo permitieron. En este caso las tomas se efectuaron en un cuarto con temperatura controlada, por lo que el único factor determinante fue la humedad.

4.2.1 Condiciones Experimentales

4.2.1.1 Reclutamiento y selección de los participantes

Inicialmente se acudió a la Empresa objetivo para exponer los propósitos de la investigación y solicitar aprobación para aplicar el proyecto en cuestión mediante un documento expresando los objetivos, procedimientos, análisis a efectuar y tiempos estimados. Una vez obtenido el permiso, se asignaron dos áreas de producción; es decir, Lijado y Tolex, las cuales presentaban los mayores registros por problemas en las muñecas y brazo entre los trabajadores. A continuación se acudió a cada una de las áreas para conocer sus procesos de producción y determinar a su vez el espacio experimental. Seguidamente, se aplicó un cuestionario a cada trabajador, diseñado para seleccionar a los participantes. Se obtuvieron parámetros de edad, sexo, mano dominante, etc. Esta fase tuvo una duración aproximada de 1 mes, debido a que teníamos restricción de tiempo para no afectar con las metas de producción diarias de la compañía. Se aplicaron 23 cuestionarios en Lijado y 16 en Tolex. Al finalizar el proceso de reclutamiento se obtuvieron 19 participantes en el área de Lijado (dado que se presentó una incapacidad y una persona diabética), 1 mujer y 18 hombres. Se

determinó una edad promedio 33 ± 19 años. En Tolex se aplicaron 16 cuestionarios. Se determinaron 14 participantes, pues una persona no deseó participar y otra tenía epilepsia. Participaron 6 mujeres y 8 hombres (edad promedio de 37 ± 11 años). Un total de 33 personas formaron parte de la muestra experimental. Posteriormente, se llevó a cabo la obtención de los signos vitales y somatometría de los participantes elegidos; es decir, peso, estatura, IMC, T/A, ritmo cardíaco y FR. El área de Lijado obtuvo un IMC promedio = 26.78 kg/m^2 , T/A 78% normal, 13% alta y 9% baja. 96% de los participantes son diestros, presentaron un ritmo cardíaco promedio de 77.43 BPM y FR de 17.63. Referente al área de Tolex, se registró un IMC promedio de 27.93 kg/m^2 , T/A 75% normal, 12.5% alta y 12.5% baja. Todos los participantes de esta área son diestros, presentaron un ritmo cardíaco promedio de 94.18 BPM y FR de 18.5. Los sujetos seleccionados, no debían ingerir medicamentos del sistema nervioso periférico (vasodilatador, antihipertensivo) para no interrumpir la respuesta vasoconstrictora simpática y, por lo tanto, afectar la temperatura corporal. Además, se les solicitó cumplir con ciertos criterios para poder realizar la toma de termogramas.

4.2.1.2 Restricciones preliminares

Previo a la toma de termogramas y con el propósito de eliminar incertidumbres en las mediciones de temperaturas, se impusieron las siguientes restricciones para los participantes:

- No fumar en horas previas a las tomas (12 horas).
- No ingerir bebidas alcohólicas horas previas al examen (12 horas).
- No ingerir café o té horas antes del estudio (12 horas).
- Preferentemente no consumir alimentos grasos antes del análisis.

4.3 Protocolo Experimental

4.3.1 Condiciones ambientales para el estudio

Con el fin de evitar los fenómenos de vasomoción, se mantuvo la temperatura controlada de las salas asignadas por cada área entre $23\text{-}24^\circ\text{C}$ ($+/-1^\circ\text{C}$). Respecto a la humedad, sus valores oscilaron entre los 50-60%, dependiendo de las condiciones climáticas de la región. Cabe mencionar que en aquellos días en que la humedad del ambiente era elevada, se requirió de un deshumidificador para reducirla a los niveles adecuados. En la región de las tomas se evitaron las corrientes de aire sobre las manos, así como evitar lámparas o domos sobre el

sujeto durante las tomas de las imágenes térmicas. En lo referente a los participantes, se les solicitó descubrirse la zona del antebrazo (de ser necesario), no utilizar pulseras, anillos, muñequeras, etc. y en la cara retirarse aretes, gafas o gorras.

4.3.2 Implementación de la cámara termográfica infrarroja

La cámara de termografía infrarroja utilizada en este estudio, corresponde al modelo FLIR ThermaCAMTM E25, con resolución de 160 x120 píxeles, precisión $\pm 2^{\circ}\text{C}/\pm 3.6^{\circ}\text{C}$ para $\pm 2\%$ de lectura, rango espectral: 7.5-13 μm , propiedad de la Universidad Autónoma de Baja California, la cual fue montada sobre un trípode para un mejor manejo y colocada a una distancia no mayor a los 2 m. Las imágenes fueron tomadas en un ángulo de 90° , con una emisividad de 0.98, la cual era ajustada cada día. Previo a cada toma se mantenía encendida la cámara por 15 minutos para mantener un equilibrio térmico con su entorno. Referente a la imagen, se colocó la cámara perpendicularmente a la mano analizada. Cabe mencionar que se colocó una superficie de color negro como fondo para la imagen, de manera que contribuyó en mejorar la lectura de los termogramas, reduciendo el ruido presente.

4.3.3 Manejo de Participantes

Antes de iniciar con las tomas, se verificó con cada participante si habían cumplido con los requerimientos; es decir, no ingerido cafeína, alcohol, medicamentos vasodilatadores o fumado, para poder proseguir con las pruebas. Para ello, se les avisaba un día antes de las tomas, como recordatorio. Posteriormente, se colocó sobre la silla, un tablero negro sobre el cual se realizaron las tomas de las palmas y dorsos de las manos. Dicho tablero contaba con marcadores de tape, que funcionaron como guías para proporcionar un posicionamiento preciso y reproducible de las manos. Se indicó a cada participante que no debían tocar directamente el tablero, para evitar que el calor de las manos se mantuviera en éste y provocara ruido en los termogramas. El colaborador, debía posicionarse detrás de la silla y agacharse un poco hasta colocar sus dedos sobre las marcas. El primer termograma de mano, se denominó t_0 . Seguidamente se desarrolló una secuencia de tomas de imágenes infrarrojas. Estas fueron espaciadas cada 5 minutos, de manera que se inició con t_5 hasta finalizar en t_{20} , para cada participante.

4.4 Etapa 3: Obtención de datos y análisis estadísticos

Seguidamente se analizaron las imágenes térmicas a través del software *ThermaCAM Researcher Pro 2.10*. Una vez obtenidos los datos se organizaron y agruparon de acuerdo a los tiempos en que se registraron las temperaturas.

Posteriormente se calcularon las diferencias de temperaturas para los valores mínimos y máximos de temperatura captados por la cámara termográfica. Luego se identificaron las asimetrías en sus niveles de alarma y gravedad, de acuerdo con lo establecido por (Marins et al., 2015), tal y como se observa en la Tabla 3. Después se dispuso a calcular el IMC, y se agruparon los factores de estudio con los datos obtenidos a través de la encuesta aplicada a los participantes, como se muestra en las Tablas 4 y 5. Seguidamente se realizaron los análisis estadísticos a través del software *IBM SPSS Statistics Versión 25*, con el cual se realizaron las pruebas de normalidad de los datos, mediante la prueba Shapiro-Wilk. Una vez identificados los datos normales y no normales se efectuaron las pruebas no paramétricas (Mann-Whitney), la cual se aplicó para todos los datos debido al tamaño pequeño de la muestra (Pinto, 2010). Con ello se determinaron la relación de influencia de los factores sobre las diferencias de temperaturas. Se utilizó análisis de varianza para comparar más de dos grupos. A continuación se generaron los modelos de regresión y las superficies de respuesta mediante *Minitab 17*. Las diferencias obtenidas con $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativas con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 3 Escala de nivel de atención prestado en función de las diferencias de temperaturas obtenidas entre RCI (región corporal de interés) contralaterales o entre dos tomas de la misma RCI.

Diferencias de temperatura	Nivel de atención
$\leq 0.4^{\circ} \text{ C}$	Normal
$0.5^{\circ} - 0.7^{\circ} \text{ C}$	Seguimiento
$0.8^{\circ} - 1^{\circ} \text{ C}$	Prevención
$1.1^{\circ} - 1.5^{\circ} \text{ C}$	Alarma
$\geq 1.6^{\circ} \text{ C}$	Gravedad

Fuente: Marins et al., 2015.

Tabla 4 Agrupamiento de factores para el área de Lijado.

AGRUPACIÓN DE FACTORES PARA LIJADO	
Factor	Agrupación
Sexo	Masculino=1 Femenino=0
Edad	Edad joven= 18-39 años Edad madura ≥ 40 años
IMC	No obeso=1 Obeso=2
T/A	Normal=1 Bajo=2
Ritmo cardíaco	Normal=1 Alto=2
FR	Normal=1 Alto=2
Lesión	Lesión=1 Sin lesión=2
Mano dominante	Diestro=1 Zurdo=0

Tabla 5 Agrupamiento de factores para el área de Tolex.

AGRUPACIÓN DE FACTORES PARA TOLEX	
Factor	Agrupación
Sexo	Masculino=1 Femenino=0
Edad	Edad joven= 18-39 años Edad madura ≥ 40 años
IMC	No obeso=1 Obeso=2
T/A	Normal=1 Bajo=2 Alto=3
Ritmo cardiaco	Normal=1 Alto=2
FR	Normal=1 Alto=2
Lesión	Lesión=1 Sin lesión=2

En el siguiente diagrama de flujo se resumen el procedimiento realizado para la obtención de imágenes térmicas.

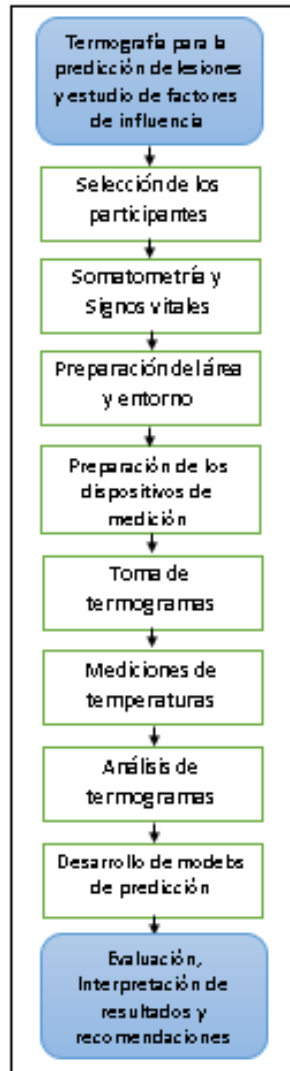


Figura 12 Diagrama de flujo de la metodología de mediciones. Fuente: Živčák et al., 2011.

4.5 Herramientas

Para la elaboración de esta investigación se utilizó lo siguiente:

- Computadora HP Pavilion Touch 14 Notebook PC
- Cámara Termográfica FLIR ThermoCAMTM E25
- Tripie.
- Deshumidificador Honeywell.
- Software *ThermaCAM Researcher Pro 2.10*.

- Software *IBM SPSS Statistics Versión 25*.
- Software *Minitab 17*.
- App de temperatura y humedad.
- Báscula con estadímetro.
- Baunanómetro.
- Acceso a internet.

5. RESULTADOS

Inicialmente se muestra en este apartado, una compilación de imágenes térmicas de estudiantes de UABC y de los participantes del estudio realizado en la industria maquiladora. A su vez, se señalan las características demográficas de los sujetos de estudio, los datos de temperaturas obtenidas, gráficos del comportamiento de las diferencias de temperatura, pruebas estadísticas y por último, los modelos de regresión generados y las superficies de respuesta.

5.1 Etapa 1: Ensayo con estudiantes de UABC

Dentro de la fase de aprendizaje de manejo de la cámara infrarroja, a continuación se muestran algunos ejemplos de los termogramas de la cara y manos en las secciones dorsal y palmar, obtenidos de estudiantes de UABC (Figuras 13-15). A su vez, en las figuras 16 y 17 se observa como se delimitan las regiones de interés para medir temperatura.

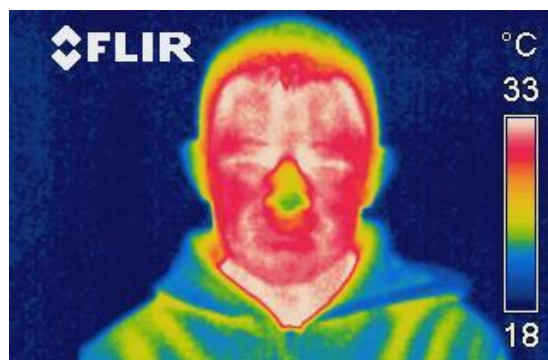


Figura 13 Toma de la cara del estudiante.

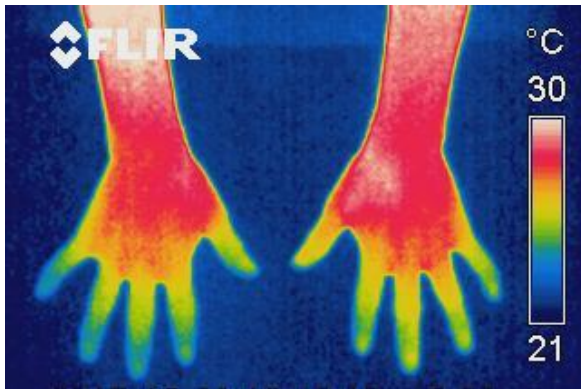


Figura 14 Parte dorsal de la mano.

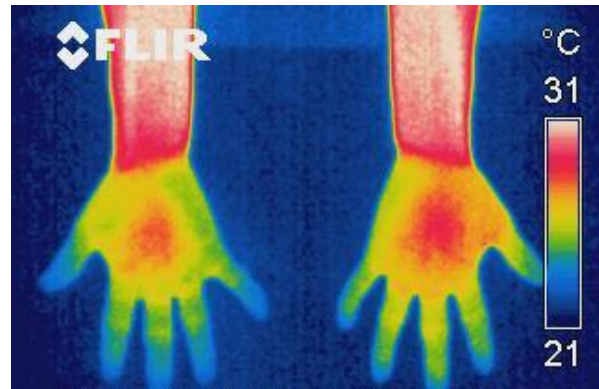


Figura 15 Parte palmar de la mano.

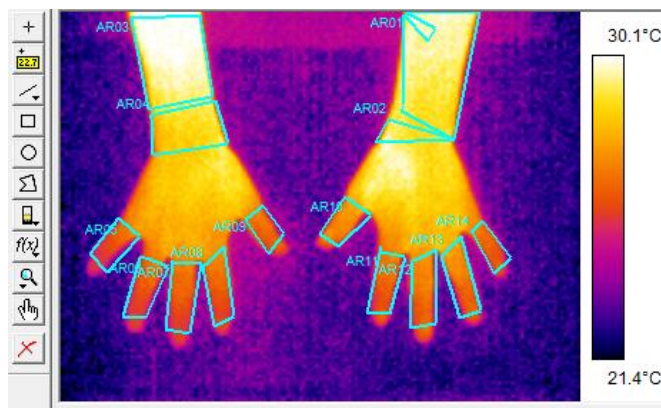


Figura 16 Registro de temperatura en dorso.

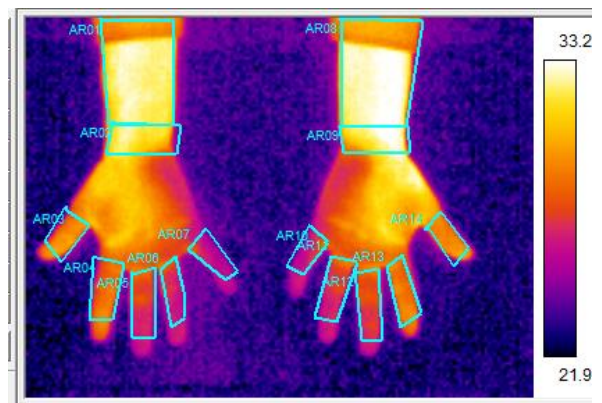


Figura 17 Datos de temperatura en palmas.

5.2 Etapa 2: Industria Maquiladora

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la encuesta aplicada en la industria maquiladora, concentrados en las Tablas 6 y 7, que corresponden a las áreas de producción de Lijado y Tolex, respectivamente, en las cuales se incluyen datos demográficos, signos vitales y somatometría.

Tabla 6 Datos generados del Área de Lijado.

No.	NOMBRE	AREA	SEXO	EDAD	MANO DOMINANTE	PESO (Kg.)	Estatura (mts)	IMC	T/A	RITMO CARDIACO	FR
1	Alejandro Ricardo	Lijado	M	37	D	63	1.67	22.59	110/70	92	20
2	Arce Santos Jerick Fco.	Lijado	M	23	D	97	1.72	32.79	110/70	95	18
3	Aréballo José	Lijado	M	34	D	77	1.67	27.61	120/80	84	18
4	Arias Moroyoke Salvador	Lijado	M	32	D	64.5	1.68	22.85	90/60	82	16
5	Bacab Evan Feliciano	Lijado	M	52	D	80	1.64	29.74	120/70	90	18
6	Barrera Oswaldo	Lijado	M	29	D	72	1.72	24.34	110/80	66	16
7	Campos Ulises	Lijado	M	40	D	79.7	1.67	28.58	120/80	86	22
8	Castro Hernández Gabriel	Lijado	M	39	D	71.8	1.72	24.27	110/56	66	26
9	Cruz Hernández Noe C.	Lijado	M	38	D	95.1	1.58	38.09	110/70	80	23
10	Estevez Gabriel	Lijado	M	38	D	100	1.72	33.80	120/80	82	18
11	García Martínez Santiago	Lijado	M	43	D	76	1.68	26.93	110/70	78	16
12	González Rubén	Lijado	M	47	D	68	1.76	21.95	110/80	84	20
13	Gutiérrez Pérez Manuel Eduardo	Lijado	M	21	D	79	1.76	25.50	98/62	74	14
14	Hernández G. Demetrio	Lijado	M	31	D			INCAPACITADO			
15	López Villanueva E. Omar	Lijado	M	22	I	79	1.65	29.02	110/74	60	16
16	Martínez Juan Heriberto	Lijado	M	39	D	101	1.73	33.75	160/90	80	16
17	Ortiz Memije E. Enrique	Lijado	M	26	D	71	1.68	25.16	120/60	86	18
18	Pérez González Emy Luis	Lijado	M	27	D	100.8	1.8	31.11	114/80	66	22
19	Ramírez Amaro Josefina	Lijado	F	52	D	62	1.51	27.19	140/80	110	16
20	Ramos Ortiz Esaú	Lijado	M	35	D	65	1.66	23.59	100/70	70	16
21	Robles Sosa Marlon	Lijado	M	30	D	73	1.66	26.49	100/60	60	20
22	Rodríguez Uriel	Lijado	M	18	D	116	1.8	35.80	140/80	110	18
23	Zabala Tinajero Jorge	Lijado	M	27	D	63.5	1.6	24.80	110/78	80	19

Datos generados del Área de Lijado.

Tabla 7 Datos obtenidos del Área de Tolex.

No.	NOMBRE	AREA	SEXO	EDAD	MANO DOMINANTE	PESO (Kg.)	Estatura (mts)	IMC	T/A	RITMO CARDIACO	FR
1	Arce Guzmán Raúl	Tolex	M	27	D	75.9	1.79	23.69	110/80	83	18
2	Ávila Márquez Elda	Tolex	F	41	D	63.5	1.55	26.43	100/70	92	17
3	Cetzal Valencia Norma	Tolex	F	48	D	85.7	1.55	35.67	110/60	84	16
4	Cibrián Escobar Iván	Tolex	M	45	D	92.5	1.76	29.86	120/84	80	18
5	Flores Brenda	Tolex	F	27	D	75.4	1.57	30.59	100/70	92	18
6	Garibay Espinoza Julio	Tolex	M	43	D	82.2	1.6	32.11	130/100	92	18
7	Hernández Mauricio	Tolex	M	26	D	84.7	1.71	28.97	100/70	100	18
8	Mendoza Rodríguez Jesús	Tolex	M	42	D	83.2	1.68	29.48	120/70	84	18
9	Mireles Cázares Martha	Tolex	F	40	D	80	1.58	32.05	90/60	124	21
10	Ochoa López Luis	Tolex	M	38	D	61.7	1.72	20.86	10	80	18
11	Ramírez Sánchez Claudia	Tolex	F	36	D	72.1	1.57	29.25	110/70	84	16
12	Talamantes Abigail	Tolex	F	32	D	55.9	1.74	18.46	100/76	128	22
13	Torres Camacho Omar	Tolex	M	43	D	80.4	1.69	28.15	140/100	84	19
14	Torres Ramos Alfredo	Tolex	M	27	D	98	1.68	34.72	120/90	108	24
15	Trenado López Angel	Tolex	M	26	D	92.8	1.84	27.41	100/60	104	18

5.2.1 Imágenes térmicas

En esta sección se muestran ejemplos de un total de 336 imágenes térmicas adquiridas por la cámara termográfica para los trabajadores de las áreas de producción de Lijado y Tolex. En las figuras 18 y 19 se observan las tomas en la cara, en las figuras 20, 22 y 24 la región del dorso, mientras que en las figuras 21, 23 y 25, la región de las palmas, las cuales corresponden al área de Lijado.

**Área Lijado

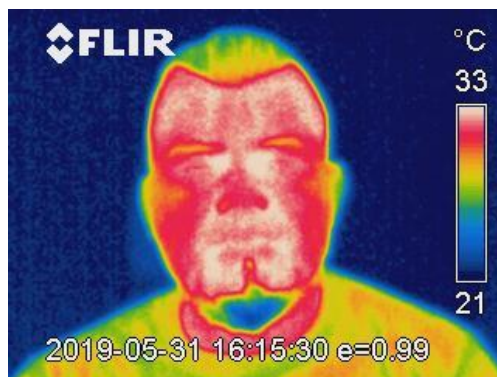


Figura 18 Termograma cara de trabajador.

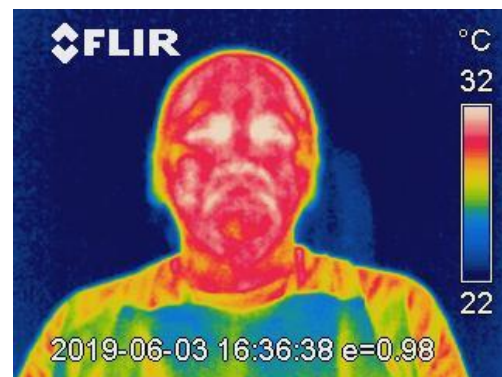


Figura 19 Imagen térmica en cara.

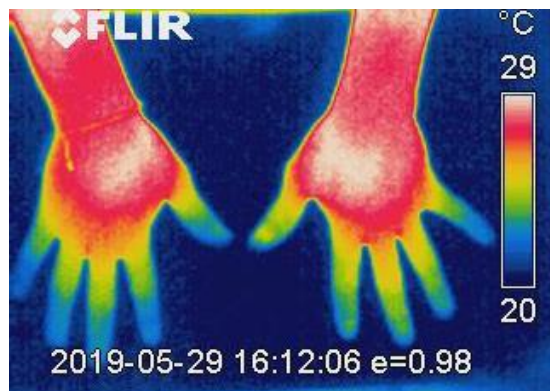


Figura 20 Termograma dorso.

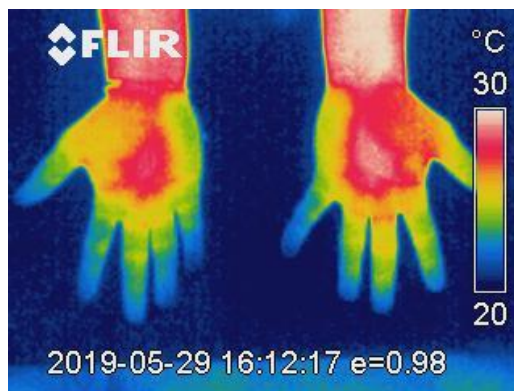


Figura 21 Termograma palma.



Figura 22 Figura 21 Termograma palma.

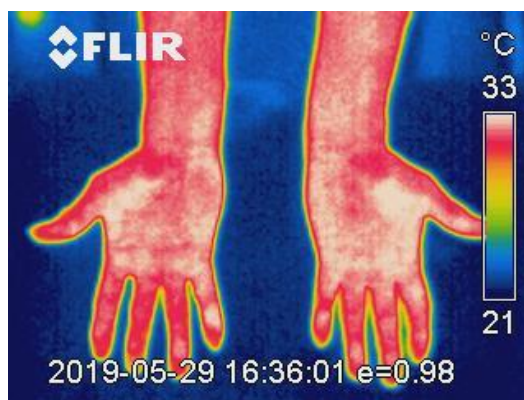


Figura 23 Imagen térmica palma.

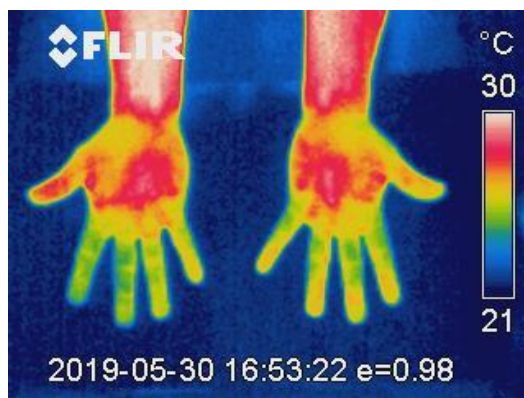
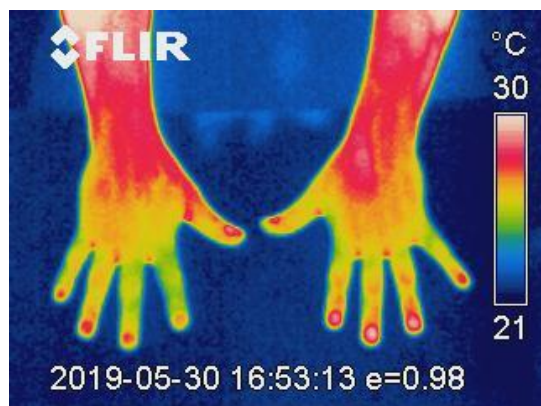


Figura 24 Toma en parte dorsal.

Figura 25 Toma en palma.

Los siguientes termogramas pertenecen a los trabajadores del área de Tolex. En las figuras 26 y 27, se perciben las caras de los participantes. Para el caso de las figuras 28, 30 y 32, representan las regiones dorsales y las regiones palmares se ven en las figuras 29, 31 y 33.

****Área Tolex**

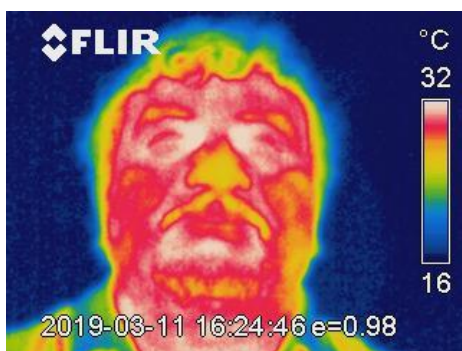


Figura 26 Toma cara.

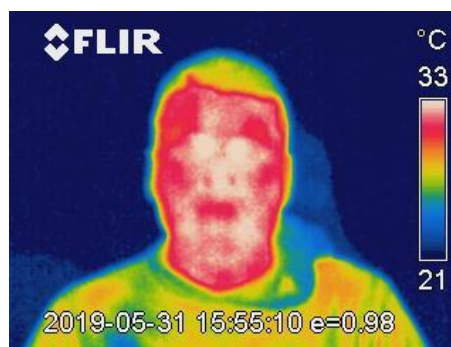


Figura 27 Cara del trabajador.

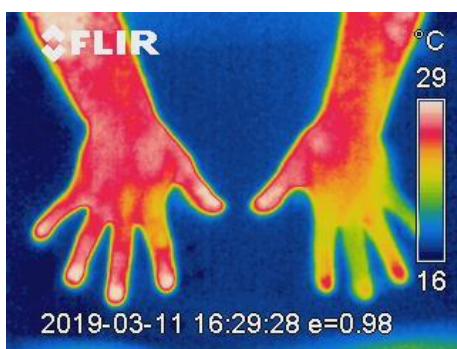


Figura 28 Termografía dorso.

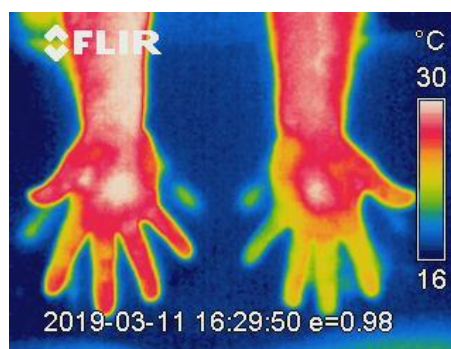


Figura 29 Termografía palma.

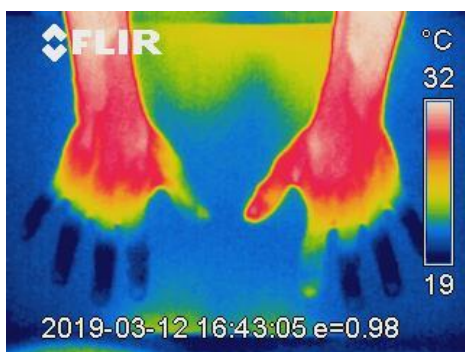


Figura 30 Termograma dorso.



Figura 31 Termograma palma.



Figura 32 Imagen termográfica dorso.



Figura 33 Imagen termográfica palma.

5.2.2 Datos de temperaturas registradas

Enseguida se muestran los registros de temperaturas tomadas en cara, dorso y palma de las áreas Lijado y Tolex, mostrando las temperaturas mínimas, máximas, las diferencias entre máximas y mínimas, promedio y desviación estándar.

**ÁREA LIJADO

En las subsecuentes tablas se despliegan las temperaturas para la cara en Tabla 8, las regiones dorsales para los tiempos 5, 10, 15 y 20 en las Tablas 9, 10, 11, y 12, respectivamente. Las regiones palmares se muestran en las Tablas 13, 14, 15, y 16 para los tiempos 5, 10, 15, y 20, correspondientemente.

Tabla 8 Temperaturas medidas en cara de los trabajadores.

CARA				
Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
30.5	32.9	2.4	31.6	0.5
31.1	33.8	2.7	32.2	0.6
27.2	33.1	5.9	30	1.5
31.6	33.5	1.9	32.6	0.3
31.9	34.3	2.5	33	0.4
31.4	33.5	2.1	32.4	0.5
30.5	33.8	3.3	32.1	0.8
30.7	33	2.3	31.5	0.5
31.7	34.2	2.5	33	0.4
28.9	32.4	3.4	30.2	0.9
31	33.1	2.1	31.8	0.4
28.2	33.2	5	30.5	1.4
30.8	33.5	2.7	32.3	0.5
31	32.8	1.8	32	0.4
29.9	33.2	3.3	31.2	0.6
31.4	33.9	2.5	32.5	0.5
29.7	33.1	3.4	31.1	0.7
32.1	34.1	2	33	0.4
30.4	33	2.6	32	0.4

Tabla 9 Valores de temperatura en dorsos en el tiempo T5.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT5	MaxDT5	Max - MinDT5	AvgDT5	StdevDT5	MinIT5	MaxIT5	Max - MinIT5	AvgIT5	StdevIT5
23.1	30.6	7.5	28.9	1.7	23.4	30.2	6.8	29.3	0.9
22.6	31.3	8.8	29.5	1.4	22.1	31	8.9	29.2	1.6
21.9	28.8	6.9	27.5	1.3	21.5	28.8	7.3	27.4	1.3
21.9	28.8	6.9	27.5	1.3	21.5	28.8	7.3	27.4	1.3
22.5	32.2	9.8	30.7	2.1	22.5	32.6	10	31.2	1.5
22.9	31	8.1	29.7	1.3	22.1	31.2	9.1	29.5	1.5
21	30.2	9.2	28.8	1.4	20.3	30.9	10.7	28.7	2.2
23.7	31.1	7.4	30.1	1.3	24.2	31.1	7	30.1	0.9
21.4	31.2	9.9	29.4	1.4	21.6	31	9.4	29.2	1.4
21.4	30.8	9.4	29.1	2.1	23.5	30.6	7.2	29.6	1.3
21.3	31.1	9.8	29.6	2.1	21.5	31.7	10.1	30.2	1.7
20.7	28.6	7.9	27.1	1.6	21.7	28.8	7.1	27.8	1
24.3	32.3	8	30.8	1.4	23	31.5	8.5	30.4	1.3
22.9	30.5	7.6	29.4	1.4	22.3	30.4	8.1	29.3	1.3
22.6	30.4	7.8	28.9	1.3	21.8	29.6	7.8	28.2	1.7
26.2	31.9	5.7	31	0.7	24.2	31.6	7.4	30.3	1.3
23.7	31.2	7.5	29.6	1.3	23.5	31.1	7.5	29.9	1.3
22.7	31.4	8.7	29.5	1.6	21.9	31.1	9.2	29.2	1.4
23.8	32.1	8.3	30.5	1.6	22.8	31.6	8.8	30.2	2.1

Tabla 10 Datos de temperaturas en dorso T10.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT10	MaxDT10	Max - MinDT10	AvgDT10	StdevDT10	MinIT10	MaxIT10	Max - MinIT10	AvgIT10	StdevIT10
21.8	30.6	8.8	29.2	1.6	23.9	30.2	6.3	29.1	1
23.5	32.1	8.6	30.3	1.3	21.9	31.9	10.1	29.9	1.4
22.6	29.4	6.8	28.1	1	23.2	29.8	6.7	28.6	0.9
22.6	29.4	6.8	28.1	1	23.2	29.8	6.7	28.6	0.9
22.5	32.3	9.8	30.8	1.6	22.1	32.2	10.1	31	1.5
22.9	31.8	8.9	30.2	1.6	21.9	31.6	9.7	29.7	2.1
21	30.2	9.2	29	1	21.8	31.2	9.4	29.6	1.4
26.7	31.9	5.2	30.9	0.6	27.9	32	4.1	31.1	0.6
22.6	31.7	9.1	30.1	0.9	21.4	31.5	10.1	29.5	1.9
20.8	29.8	9	28.6	1.8	22.1	30	7.9	28.9	1.3
21.6	31.6	10	30.2	1.8	22.2	32	9.7	30.7	1.4
21	28.8	7.8	27.3	1.8	20.7	28.7	8	27.4	1.8
23.1	32.7	9.6	31	1.9	22.4	32	9.6	30.6	1.5
21.6	30	8.4	28.8	1.5	22.1	30.1	8	28.9	0.9
25.3	32.1	6.8	30.4	1.2	21.5	31	9.5	29.4	1.7
24.4	32.9	8.5	31.7	0.8	23	32.7	9.7	30.7	1.7
23.3	30.7	7.4	29.4	1.5	23.7	30.9	7.2	29.9	1
23	31.4	8.4	30.3	1.2	22.5	31.3	8.8	29.6	1.8
22.5	31.4	9	30.1	1.8	22.9	31.5	8.6	30.4	1.4

Tabla 11 Registros de temperatura en parte dorsal en T15.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT15	MaxDT15	Max - MinDT15	AvgDT15	StdevDT15	MinIT15	MaxIT15	Max - MinIT15	AvgIT15	StdevIT15
22.8	32	9.3	30.7	2	22.6	31.3	8.7	30.1	1.3
22.7	32.4	9.7	30.2	2.3	22.9	32	9.1	30.4	1.4
26.3	29.1	2.8	28.3	0.3	25.5	29.5	4	28.6	0.5
26.3	29.1	2.8	28.3	0.3	25.5	29.5	4	28.6	0.5
22.4	32.4	10	31	1.6	22.9	32.2	9.3	31	1.4
22.5	31.9	9.4	30	2.2	22.1	32	9.9	30	2.1
22	30.8	8.8	29.5	0.9	21.7	31.6	9.9	29.9	1.4
24	32.1	8.2	30.8	1.3	22.5	32	9.5	30.7	2.1
22.1	32.8	10.7	31.3	1.9	22.2	32.7	10.5	31.1	1.9
22.2	30.6	8.4	29.3	1.8	23.5	31.1	7.6	30	1.2
21.6	31.9	10.3	30.2	2.2	22.4	32	9.6	30.8	1.6
20.8	28.3	7.5	27	1.3	21.1	28.4	7.3	27.3	1.2
24.3	33	8.7	31.7	1.4	23	32.3	9.4	30.9	1.3
22.7	30.6	7.9	29.1	1.5	22.3	30.6	8.4	29.5	1
28.8	32.7	3.9	31.5	0.8	22.3	31.9	9.6	30.3	1.5
22.9	33.6	10.7	31.9	2	22.8	33.5	10.7	31.6	2.1
22.5	30.3	7.8	28.7	1.5	22.8	30.1	7.3	28.9	1.4
23	32.2	9.2	30.7	1.4	22.9	32.1	9.2	30.4	1.3
22.1	31.2	9	29.3	2.1	21.8	31.2	9.3	29.6	2

Tabla 12 Temperaturas en dorso en tiempo T20.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT20	MaxDT20	Max - MinDT20	AvgDT20	StdevDT20	MinIT20	MaxIT20	Max - MinIT20	AvgIT20	StdevIT20
22.4	33.1	10.7	31.6	1.7	22.7	32.4	9.7	30.7	1.9
22.7	30.2	7.5	28.9	1.6	22.6	30.2	7.6	29.2	1.1
24.1	28.7	4.6	28	0.3	22.5	28.9	6.4	28	0.6
24.1	28.7	4.6	28	0.3	22.5	28.9	6.4	28	0.6
22.6	32.6	10.1	31.3	1.3	22.8	32.5	9.7	31.2	1.4
22.8	32.6	9.8	30.5	2.4	22.3	32.9	10.6	30.7	2.3
21.9	30.4	8.4	29.6	0.9	21.2	31.6	10.3	30	1.5
22.2	31.9	9.7	30.4	1.9	22.9	31.9	9	30.4	2.1
22	31.4	9.4	30	1.3	21.8	31.5	9.7	29.6	2.1
22.1	30.8	8.7	29.4	1.8	22.8	31.2	8.5	30	1.7
21.6	31.6	10	30.2	2	21.9	32.1	10.2	30.8	1.6
20.9	29.8	8.9	28.3	1.5	21.1	28.4	7.3	27.4	1.3
22.5	32.8	10.3	31.2	2	22.8	32.7	9.9	31.1	1.6
23	31.3	8.3	29.5	1.6	22.9	31.7	8.7	30.3	1.2
24.3	32.8	8.5	31.2	1.1	22.8	32.2	9.5	30.8	1.4
22.2	32.2	10	30.7	1.7	22.4	31.6	9.2	30	1.7
22.7	30	7.3	28.7	1.5	22.6	30.1	7.5	28.6	1.6
24.1	32	7.9	30.6	1	23.1	32.2	9.1	30.4	1.2
22.6	30.8	8.2	29.6	1.7	22.5	31.5	9	30.1	1.3

Tabla 13 Registros de temperaturas en palma, tiempo T5.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT5	MaxDT5	Max-MinDT5	AvgDT5	StdevDT5	MinDT5	MaxIT5	Max - MinIT5	AvgIT5	StdevIT5
22.9	31.2	8.3	29.2	1.2	22.8	32	9.2	29.6	1.7
22.4	32.4	10	30.9	1.4	22.6	32.3	9.7	31	1.3
22.1	30.5	8.4	28.5	1.5	21.4	30	8.6	27.7	1.7
22.1	30.5	8.4	28.5	1.5	21.4	30	8.6	27.7	1.7
22.4	33.2	10.8	31.6	1.8	22.4	33.1	10.8	31.8	1.8
22.1	32.4	10.2	30.7	1.8	21.7	32.1	10.4	30.3	2
21	31	10	29.3	1.4	21.5	31.2	9.7	29.4	1.9
23.2	32.1	9	30.8	1.5	26.8	32.1	5.3	31	0.7
21.4	32.2	10.9	30.7	2	21.6	32	10.4	30.4	1.8
20.7	31.6	10.9	29.7	2.3	21.5	31.5	10.1	30.3	1.4
21.3	32.6	11.3	30.9	1.9	22.1	32.5	10.4	31.2	1.3
20.5	29.7	9.2	27.9	1.7	21.2	30.7	9.5	29	1.4
24.1	32.8	8.7	31.7	1.2	24.1	32.7	8.6	31.5	1.1
22	31.7	9.7	29.9	1.6	23.8	30.8	6.9	29.7	0.9
23.2	31	7.8	29.7	1	21.8	30.8	9	29.3	1.6
24	32.9	8.9	31.7	0.9	22.7	32.7	10	30.8	1.4
23.1	32.1	9	30.4	1.5	23.1	32.2	9.1	30.6	1.6
21.8	32.7	10.9	30.5	2.2	22.1	32.8	10.7	30.4	2.3
24.4	32.9	8.5	31.6	1.4	22.7	32.8	10.1	31.8	1.2

Tabla 14 Temperaturas palmas T10.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT10	MaxDT10	Max - MinDT10	AvgDT10	StdevDT10	MinIT10	MaxIT10	Max - MinIT10	AvgIT10	StdevIT10
22.3	31.7	9.4	30	1.4	22.1	32	9.9	30.1	1.7
22.3	33.2	11	31.2	2.1	22.1	33.1	11.1	31.6	1.5
22.4	31.5	9.1	29.3	1.6	22.2	30.9	8.7	29	1.3
22.4	31.5	9.1	29.3	1.6	22.2	30.9	8.7	29	1.3
22.7	33.1	10.4	31.7	1.5	22	32.9	11	31.3	1.8
22.4	32.3	9.9	30.8	1.7	22	32.2	10.2	30.5	2
20.9	31.4	10.6	29.6	1.3	21.4	31.5	10	29.9	1.6
22.4	33.2	10.8	31.4	1.9	23.2	33.2	9.9	31.5	1.9
22.1	31.3	9.2	30.1	1	21.9	31.6	9.6	29.7	1.8
21.1	30.8	9.7	29.2	1.6	21.2	30.8	9.6	29.5	1.2
21.6	32.9	11.3	31.2	2	22.5	32.9	10.4	31.5	1.6
20.6	29.8	9.2	28.3	1.7	20.7	30.5	9.7	28.5	2
23	33.2	10.2	32	1.5	24.4	32.9	8.5	31.8	1.1
22.4	32	9.6	30.2	1.5	22.7	31	8.3	29.8	1.4
29.8	31.9	2.1	31.2	0.4	22.5	31.7	9.2	30.5	1.2
22.4	32.8	10.3	31.3	1.5	22.3	32.6	10.3	30.3	2.4
23.1	32.3	9.3	30.3	1.7	23.5	32.4	8.9	30.6	1.5
22.8	33	10.2	31.7	1.4	23.8	33.2	9.4	31.6	1.4
23.1	32.9	9.8	31	1.7	23.5	32.7	9.2	31.1	1.8

Tabla 15 Temperaturas en tiempo T15 en región palmar.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT15	MaxDT15	Max - MinDT15	AvgDT15	StdevDT15	MinIT15	MaxIT15	Max - MinIT15	AvgIT15	StdevIT15
22.5	32.8	10.3	31	2.1	25.6	32.9	7.3	31.5	1.1
22.9	33.3	10.4	31.7	2	23.4	33.1	9.7	32.1	1.2
22.3	30.5	8.3	29.1	1.2	22.8	30.5	7.7	28.7	1.1
22.3	30.5	8.3	29.1	1.2	22.8	30.5	7.7	28.7	1.1
22.9	33.2	10.3	31.6	2	21.9	32.8	10.9	31.2	1.9
22.7	32.6	9.9	31	1.7	22.6	32.6	10	30.9	2.1
21.6	31.6	10.1	29.9	1.2	21.8	31.6	9.8	30.1	1.5
23.4	33.1	9.8	31.6	1.9	23.1	33	10	31.7	1.7
22	32.8	10.8	31.3	1.8	22.2	32.6	10.4	31.4	1.2
21.5	30.5	9	29.2	1.5	22.2	30.8	8.6	29.5	1.3
21.7	32.7	11	31.2	2	22.5	32.9	10.4	31.6	1.5
21.8	29.5	7.7	28.2	1.3	21.4	30.3	8.9	28.7	1.6
23.8	33.4	9.6	32.3	1.1	24.5	33.3	8.8	32	1.1
22.3	31.9	9.6	29.8	1.8	21.9	31	9.1	29.8	1.6
30.3	32.6	2.3	31.9	0.3	23.2	32.3	9.2	31.3	1.1
22.7	31.7	9	30	1.9	22.3	30.9	8.6	29.6	1.6
23	31.5	8.4	29.6	1.5	23.1	31.3	8.2	29.7	1.3
23.5	33.6	10.1	32.2	1.3	24.8	33.6	8.8	32.3	1
23	33	10	31.1	1.6	22.9	33	10.1	31.2	2

Tabla 16 Valores de temperatura en palmas T20.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT20	MaxDT20	Max - MinDT20	AvgDT20	StdevDT20	MinIT20	MaxIT20	Max - MinIT20	AvgIT20	StdevIT20
22.6	33.1	10.5	31.5	2	23.4	33.1	9.7	31.8	1.7
22.6	31.6	9	29.8	1.7	24.9	31.8	6.9	30.4	0.9
22.8	30.9	8.1	28.3	1.6	22	30.5	8.5	28.1	1.6
22.8	30.9	8.1	28.3	1.6	22	30.5	8.5	28.1	1.6
23.4	33.3	9.9	32.1	1.2	22.3	33	10.7	31.4	1.9
23.3	33	9.7	31.6	1.8	22.5	33.1	10.6	31.5	2.2
21.5	31.7	10.3	30.2	1.2	22	31.8	9.7	30.6	1.3
23.6	33.2	9.6	31.6	1.9	23.2	33.2	10	31.5	1.9
22	32.9	10.8	31.3	1.6	22.3	32.9	10.5	31.3	1.5
22.1	31.6	9.5	30	1.6	22.4	32.1	9.8	30.9	1.6
22.2	32.7	10.5	31.1	2	22.8	33	10.1	31.6	1.7
21.2	30.6	9.5	29.3	1.4	21.3	30.6	9.3	28.9	1.4
24.5	33.5	9	32.5	1	25.2	33.3	8	32.3	1
22.7	32.3	9.6	30.3	1.6	22.8	31.7	8.9	30.7	1.2
22.8	32.6	9.7	31.3	1.2	22.8	32.5	9.7	31.4	1.1
22.7	31.9	9.2	30.3	1.8	23	30.7	7.6	29.5	1.2
22.9	31.6	8.7	29.8	1.3	22.8	31.8	9	29.7	1.9
24	34	10	32.6	1.1	25.1	33.8	8.7	32.5	1.3
22.7	32.7	10	30.6	1.8	22.7	32.6	9.9	31.1	1.3

Tabla 17 Diferencias de temperaturas en dorso y palma por tiempos.

ΔT DORSO								ΔT PALMAS							
ΔT5 Min	ΔT5 Max	ΔT10 Min	ΔT10 Max	ΔT15 Min	ΔT15 Max	ΔT20 Min	ΔT20 Max	ΔT5 Min	ΔT5 Max	ΔT10 Min	ΔT10 Max	ΔT15 Min	ΔT15 Max	ΔT20 Min	ΔT20 Max
0.30	0.40	2.10	0.40	0.20	0.70	0.30	0.70	0.10	0.80	0.20	0.30	3.10	0.10	0.80	0.00
0.50	0.30	1.60	0.20	0.20	0.40	0.10	0.00	0.20	0.10	0.20	0.10	0.50	0.20	2.30	0.20
0.40	0.00	0.60	0.40	0.80	0.40	1.60	0.20	0.70	0.50	0.20	0.60	0.50	0.00	0.80	0.40
3.40	0.60	1.00	0.50	2.90	0.10	2.30	0.20	0.90	0.10	1.20	0.00	0.40	0.20	1.60	0.40
0.00	0.40	0.40	0.10	0.50	0.20	0.20	0.10	0.00	0.10	0.70	0.20	1.00	0.40	1.10	0.30
0.80	0.20	1.00	0.20	0.40	0.10	0.50	0.30	0.40	0.30	0.40	0.10	0.10	0.00	0.80	0.10
0.70	0.70	0.80	1.00	0.30	0.80	0.70	1.20	0.50	0.20	0.50	0.10	0.20	0.00	0.50	0.10
0.50	0.00	1.20	0.10	1.50	0.10	0.70	0.00	3.60	0.00	0.80	0.00	0.30	0.10	0.40	0.00
0.20	0.20	1.20	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.20	0.30	0.20	0.20	0.30	0.00
2.10	0.20	1.30	0.20	1.30	0.50	0.70	0.40	0.80	0.10	0.10	0.00	0.70	0.30	0.30	0.50
0.20	0.60	0.60	0.40	0.80	0.10	0.30	0.50	0.80	0.10	0.90	0.00	0.80	0.20	0.60	0.30
1.00	0.20	0.30	0.10	0.30	0.10	0.20	1.40	0.70	1.00	0.10	0.70	0.40	0.80	0.10	0.00
1.30	0.80	0.70	0.70	1.30	0.70	0.30	0.10	0.00	0.10	1.40	0.30	0.70	0.10	0.70	0.20
0.60	0.10	0.50	0.10	0.40	0.00	0.10	0.40	1.80	0.90	0.30	1.00	0.40	0.90	0.10	0.60
0.80	0.80	3.80	1.10	6.50	0.80	1.50	0.60	1.40	0.20	7.30	0.20	7.10	0.30	0.00	0.10
2.00	0.30	1.40	0.20	0.10	0.10	0.20	0.60	1.30	0.20	0.10	0.20	0.40	0.80	0.30	1.20
0.20	0.10	0.40	0.20	0.30	0.20	0.10	0.10	0.00	0.10	0.40	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20
0.80	0.30	0.50	0.10	0.10	0.10	1.00	0.20	0.30	0.10	1.00	0.20	1.30	0.00	1.10	0.20
1.00	0.50	0.40	0.10	0.30	0.00	0.10	0.70	1.70	0.10	0.40	0.20	0.10	0.00	0.00	0.10

Es de observarse que las diferencias de temperatura con valores mayores se encuentran marcados por dos colores: el color amarillo marcado para los valores de las diferencias de

temperatura, representa un nivel de atención de alarma. Por otra parte, los valores marcados de rosa corresponden a un nivel de atención grave, de acuerdo con lo establecido por la Tabla 3.

****ÁREA TOLEX**

En las tablas que se presentan enseguida se muestran los valores de temperaturas medidas en la cara de los trabajadores (Tabla 18). Las tablas 19, 20, 21, y 22 pertenecen a temperaturas para la región dorsal en los tiempos 5, 10, 15, y 20, respectivamente, mientras que en las tablas 23, 24, 25, y 26, contienen datos de temperaturas para la región palmar en los tiempos 5, 10, 15, y 20, correspondientemente.

Tabla 18 temperaturas de la cara en Tolex.

CARA				
Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
26.5	32.8	6.2	29.7	1.3
28.5	33.4	4.8	31.2	1.1
28.9	32.6	3.6	30.6	0.8
29.5	33.5	4	31.7	0.9
26.7	32.1	5.3	29.8	1.2
28.9	32.6	3.7	30.3	0.8
29.8	33.5	3.7	31.8	0.7
29.3	33.7	4.3	31.3	0.9
26.8	33.1	6.3	30.1	1.6
29.7	32.8	3.1	31.4	0.7
25.6	32.7	7.1	28.2	1.2
31.4	33.8	2.4	32.5	0.5
29.8	33.3	3.6	31.6	0.9
26	32.2	6.2	29.5	1.4

Tabla 19 Registros de temperaturas en dorso T5.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT5	MaxDT5	Max - MinDT5	AvgDT5	StdevDT5	MinIT5	MaxIT5	Max - MinIT5	AvgIT5	StdevIT5
23.9	29.8	5.9	28.1	1.1	23	30	7	28.3	1.4
23.2	31.3	8.1	29.3	1.5	23	30.4	7.5	29	1.3
24.6	29.6	5	28.7	0.9	23.7	28.7	5.1	28	0.7
23.1	30.6	7.5	29.5	1.3	23	30.5	7.5	29.2	1.5
18.6	28.5	9.9	26.5	1.7	18.8	27.3	8.5	25.6	1.6
21	30.6	9.5	29.1	1.2	22.2	30.8	8.5	29.5	1.1
24.6	30.8	6.2	29.8	0.9	24.2	30.6	6.4	29.6	0.9
22.1	29.7	7.6	28.3	1.4	23.8	30.7	6.9	29.1	1.2
21.7	31.5	9.8	29.8	1.3	21.8	31.7	9.9	29.8	1.4
22.9	29.8	6.9	28.5	0.9	24.1	30.7	6.7	29.1	1.3
23.3	30.8	7.5	28.7	1.4	24.6	30.1	5.5	28.5	1
24.1	29.8	5.6	28.8	1	22.7	30.2	7.5	28.6	1.5
23.5	30.4	6.9	28.9	0.8	23.2	30.1	6.9	29	0.8
20.7	29.3	8.7	27.6	1.1	19.8	30.1	10.3	28.2	1.3

Tabla 20 Temperaturas dorso en T10.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT10	MaxDT10	Max - MinDT10	AvgDT10	StdevDT10	MinIT10	MaxIT10	Max - MinIT10	AvgIT10	StdevIT10
22.6	29.2	6.6	28.2	1.1	21.6	29.3	7.7	28.2	1.2
22.2	30.1	7.9	28.6	1.3	22.5	30.3	7.8	29.1	1.2
26	30.5	4.5	29.4	0.7	23.6	29.3	5.7	28.4	0.7
23.5	31.3	7.8	30.2	1	23.2	31.5	8.3	29.8	0.9
19.4	29.2	9.8	27.8	1.3	19.6	27.9	8.3	26.3	1.5
22.1	31.1	9	29.6	1.4	24.7	31.4	6.7	30.3	0.8
24.4	30.9	6.5	29.9	0.9	24.1	30.8	6.8	29.9	0.9
22.1	30.1	8	28.2	1.6	23.6	30.1	6.5	28.5	1.2
22.1	30.6	8.5	28.8	1	20.7	30.9	10.1	28.6	1.8
23.5	30.6	7.1	28.5	1.1	22.7	30.6	8	28.9	1.3
25.3	31.1	5.8	29.9	0.7	22.7	30.4	7.7	29	1.3
21.5	30.8	9.4	29.2	1.6	22.5	31.3	8.8	29.6	1.5
24.7	31	6.4	29.6	0.8	23.8	30.9	7.1	29.8	0.6
22.2	29.1	6.9	27.8	1	21.5	29.4	7.9	28.2	1.2

Tabla 21 Valores de temperaturas dorso en T15

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT15	MaxDT15	Max - MinDT15	AvgDT15	StdevDT15	MinIT15	MaxIT15	Max - MinIT15	AvgIT15	StdevIT15
21.6	29.5	7.9	28.6	1.2	21.7	29.9	8.2	28.7	1.3
22.5	30.1	7.6	29.2	0.9	22.3	30.1	7.8	29.2	0.8
24.5	30.8	6.3	29.5	1.1	23.5	29.9	6.4	28.5	0.8
22.8	30.9	8.1	30.1	0.7	22.6	31.1	8.4	29.9	0.7
20.6	30	9.5	28.5	0.9	19.8	28.4	8.6	26.9	0.9
21.4	30.6	9.2	29.3	1.5	23.1	31	7.9	29.8	1.3
23.5	31.7	8.3	30.2	0.8	23.7	31.2	7.4	30	1.3
22.4	31.6	9.3	29.9	1.6	23.1	31.7	8.6	29.7	1.6
22	29.3	7.3	28	0.8	20.7	30.7	10	28.5	1.7
22.5	31.4	8.9	29.8	1.3	24.2	31.8	7.6	30.6	0.7
22.2	31.6	9.4	30.3	1.6	21.8	31.5	9.6	29.9	1.7
23.3	31.6	8.3	30.2	1.3	23.3	31.8	8.5	30	1.7
22.4	31.1	8.7	29.5	2.1	22.1	31.4	9.2	29.9	1.5
20.9	28.2	7.3	26.7	1.1	19.6	28.6	9	26.9	1.4

Tabla 22 Temperaturas obtenidas en dorso T20.

DORSO DERECHO					DORSO IZQUIERDO				
MinDT20	MaxDT20	Max - MinDT20	AvgDT20	StdevDT20	MinIT20	MaxIT20	Max - MinIT20	AvgIT20	StdevIT20
22.5	29.8	7.3	28.5	1.3	22.2	30.1	7.9	29.1	0.9
22	30.4	8.4	28.9	1.5	22.1	30.6	8.4	29.5	1.1
25.4	31.1	5.6	30	0.9	23.1	31.1	7.9	29.4	1
23.4	31.9	8.5	30.5	1.4	22.7	32	9.3	30.3	1.1
19.8	29.8	9.9	28	1.7	19.5	28.7	9.2	26.9	1.3
22.1	31.5	9.4	30	1.7	23.5	31.6	8.1	30.5	1.2
23.9	31.6	7.7	30.4	0.8	23	31.5	8.4	30	1.5
22.1	31.9	9.8	29.9	2.1	22.5	32	9.5	29.6	2.1
22.8	29.5	6.7	27.9	0.7	20.7	29.9	9.2	28.1	1.2
22.9	31.7	8.9	30.5	1.1	22.7	32.5	9.8	30.6	1.5
22.2	31.7	9.5	30.4	1.8	22.1	31.5	9.4	30.2	1.6
22.8	31.6	8.8	30.4	1.4	24.2	32	7.8	30.5	1.6
22.9	31	8	29.8	1.2	22	30.7	8.7	29.7	1.2
19.6	28.9	9.3	27.6	1.2	21.2	29.2	8	27.9	1

Tabla 23 Valores de temperatura en palmas en tiempo T5.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT5	MaxDT5	Max - MinDT5	AvgDT5	StdevDT5	MinDT5	MaxIT5	Max - MinIT5	AvgIT5	StdevIT5
23	31.5	8.5	29.8	1.3	22.6	31.5	9	30.1	1.5
23	32.5	9.5	30.5	1.1	22.3	32	9.7	30	1.7
23	30.5	7.5	28.9	1.7	23.2	30.1	7	28.8	1.2
24	32.4	8.4	30.9	1.3	23.5	32.4	8.9	30.5	1.5
18.9	29.9	11	28	2.1	20.3	28.9	8.7	27.2	1.7
22	32.2	10.3	30.6	1.8	22	32.8	10.8	30.9	1.2
26.1	31.9	5.9	30.8	1	24.1	31.4	7.3	30.1	1.3
22.6	31.8	9.2	29.8	1.8	23.3	32	8.7	30	1.7
24.8	32.2	7.4	30.6	1.1	25.3	32.8	7.5	31.5	0.7
22.7	31.4	8.7	29.8	1.2	23.7	32.1	8.4	30.5	1.5
24.5	33.2	8.8	31.8	1.1	23.7	32.9	9.2	31.1	1.7
23	31.2	8.3	29.7	1.5	22	31.3	9.4	29.4	1.9
23.4	32.6	9.3	31.1	1.3	23.8	32.4	8.6	31.1	1
21.7	30.8	9.1	29.2	1.1	21.9	31.2	9.3	29.8	1.2

Tabla 24 Registros de temperaturas en palmas en T10.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT10	MaxDT10	Max - MinDT10	AvgDT10	StdevDT10	MinIT10	MaxIT10	Max - MinIT10	AvgIT10	StdevIT10
22.2	31.4	9.2	29.7	1.6	23.5	31.6	8.1	30.3	1.1
22.3	32.1	9.8	30.2	1.7	22	31.6	9.5	30.1	1.9
23	31	8	29.5	1.4	23.4	30.7	7.3	29.4	0.9
23.2	32.5	9.3	30.5	2.1	24.2	32.3	8.1	30.7	1.2
20.1	30.6	10.6	29	2.1	19.3	30	10.6	28.7	0.9
22.5	32.8	10.3	31.1	1.7	23.6	32.7	9.1	31.1	1.1
24.4	31.7	7.3	30.4	1.2	24.3	31.9	7.6	30.3	1.2
22.8	31.4	8.6	29.6	1.8	22.4	31.4	8.9	29.2	1.9
22.3	31.7	9.4	30	1.3	21.5	32.6	11.1	30.4	1.7
22.2	31.7	9.5	30.2	1.5	23.3	31.8	8.5	30.4	1.3
23.5	33.1	9.6	31.9	1.1	22.6	32.8	10.2	30.9	2.2
22.8	32.4	9.6	31.1	1.6	22	32.2	10.2	30.8	1.7
26.2	33.1	6.9	31.8	0.9	25.2	32.9	7.7	31.4	0.9
23.6	30.5	6.8	29.2	0.8	23	31.2	8.2	29.5	1.3

Tabla 25 Palmas, sus valores de temperaturas en el tiempo T15.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT15	MaxDT15	Max - MinDT15	AvgDT15	StdevDT15	MinIT15	MaxIT15	Max - MinIT15	AvgIT15	StdevIT15
22.9	31.3	8.3	29.5	1.4	23.2	31.5	8.2	30.1	1.2
22.6	31.9	9.4	30	1.8	22.2	32.1	9.9	30.4	1.6
23.4	31.5	8.1	29.9	1.7	23.2	31.1	8	29.4	1.6
22.7	32.2	9.5	30.6	1.7	23.1	32.3	9.3	30.8	1.5
19.3	30.5	11.2	29.1	2	21.3	30	8.7	28.3	1.4
21.9	32.5	10.6	30.6	1.8	22.1	32.4	10.3	31.1	1.1
24.6	32.2	7.7	30.8	1	23.5	32	8.5	30.7	1.1
22.7	32	9.2	30.2	1.6	22.4	32.4	9.9	30.3	2.1
22.4	31.1	8.7	29.4	1.3	21.1	32.1	11	30.2	1.5
22.4	32.3	9.9	30.8	1.3	27.3	32.5	5.2	31.3	0.6
22.5	32.9	10.5	31.3	1.9	21.9	32.9	11	31.5	1.5
23.3	32.8	9.5	31.3	1.4	22.4	32.5	10.2	30.9	1.9
23.6	32.7	9	31	1.7	23	32.6	9.7	30.9	1.4
20.1	29.3	9.2	27.6	1.3	22.7	29.6	6.9	27.8	1

Tabla 26 Temperaturas en región palmar en tiempo T20.

PALMA DERECHA					PALMA IZQUIERDA				
MinDT20	MaxDT20	Max - MinDT20	AvgDT20	StdevDT20	MinIT20	MaxIT20	Max - MinIT20	AvgIT20	StdevIT20
22	31.4	9.3	29.7	1.3	22.5	31.8	9.2	30.2	1.5
22.7	32.7	10	30.7	2.1	23.3	32.6	9.4	30.8	1.5
23.1	31.8	8.7	30.3	1.9	23.2	31.6	8.4	30	1.6
22.6	32.7	10.1	31.3	1.5	22.7	33	10.3	31.1	1.8
20.2	30.6	10.4	29	1.9	21.6	29.7	8.1	28.4	1.2
21.4	32.9	11.6	31	2.1	21.5	33	11.5	31.6	1.4
23.6	32.1	8.5	30.7	1.4	23.1	32.5	9.4	31	1.5
22.9	32.6	9.7	30.8	2	22	32.8	10.8	30.7	2.4
22.2	31.3	9.1	29.6	1.5	21.5	32.3	10.8	30.3	1.5
23.1	32.4	9.3	31.4	0.9	24.8	32.8	8	31.7	0.9
22.3	33.2	10.9	31.4	2.4	22.4	33	10.6	31.8	1.5
23.1	33	10	31.5	1.5	22.9	32.7	9.7	31.1	2
23.6	32.7	9	30.9	1.4	22.8	33	10.2	30.9	1.1
23.2	29.7	6.5	28.5	0.9	23.2	30.8	7.6	29	1

Tabla 27 Diferencias de temperaturas para cada tiempo en dorso y palma.

ΔT_{DORSO}								ΔT_{PALMAS}							
$\Delta T5$ Min	$\Delta T5$ Max	$\Delta T10$ Min	$\Delta T10$ Max	$\Delta T15$ Min	$\Delta T15$ Max	$\Delta T20$ Min	$\Delta T20$ Max	$\Delta T5$ Min	$\Delta T5$ Max	$\Delta T10$ Min	$\Delta T10$ Max	$\Delta T15$ Min	$\Delta T15$ Max	$\Delta T20$ Min	$\Delta T20$ Max
0.90	0.20	1.00	0.10	0.10	0.40	0.30	0.30	0.40	0.00	1.30	0.20	0.30	0.20	0.50	0.40
0.20	0.90	0.30	0.20	0.20	0.00	0.10	0.20	0.70	0.50	0.30	0.50	0.40	0.20	0.60	0.10
0.90	0.90	2.40	1.20	1.00	0.90	2.30	0.00	0.20	0.40	0.40	0.30	0.20	0.40	0.10	0.20
0.10	0.10	0.30	0.20	0.20	0.20	0.70	0.10	0.50	0.00	1.00	0.20	0.40	0.10	0.10	0.30
0.20	1.20	0.20	1.30	0.80	1.60	0.30	1.10	1.40	1.00	0.80	0.60	2.00	0.50	1.40	0.90
1.20	0.20	2.60	0.30	1.70	0.40	1.40	0.10	0.00	0.60	1.10	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10
0.40	0.20	0.30	0.10	0.20	0.50	0.90	0.10	2.00	0.50	0.10	0.20	1.10	0.20	0.50	0.40
1.70	1.00	1.50	0.00	0.70	0.10	0.40	0.10	0.70	0.20	0.40	0.00	0.30	0.40	0.90	0.20
0.10	0.20	1.40	0.30	1.30	1.40	2.10	0.40	0.50	0.60	0.80	0.90	1.30	1.00	0.70	1.00
1.20	0.90	0.80	0.00	1.70	0.40	0.20	0.80	1.00	0.70	1.10	0.10	4.90	0.20	1.70	0.40
1.30	0.70	2.60	0.70	0.40	0.10	0.10	0.20	0.80	0.30	0.90	0.30	0.60	0.00	0.10	0.20
1.40	0.40	1.00	0.50	0.00	0.20	1.40	0.40	1.00	0.10	0.80	0.20	0.90	0.30	0.20	0.30
0.30	0.30	0.90	0.10	0.30	0.30	0.90	0.30	0.40	0.20	1.00	0.20	0.60	0.10	0.80	0.30
0.90	0.80	0.70	0.30	1.30	0.40	1.60	0.30	0.20	0.40	0.60	0.70	2.60	0.30	0.00	1.10

Nótese que en esta tabla se encuentran señaladas las asimetrías de temperatura. Las de color amarillo representan las diferencias de temperatura con nivel de atención de alarma, mientras que las rosas para un nivel de gravedad, de acuerdo con la Tabla 3.

5.2.3 Características demográficas de los participantes.

Enseguida se muestra un resumen de los datos recopilados a través de la encuesta aplicada, la toma de signos vitales y somatometría aplicada a los participantes del estudio, en cada área analizada. La tabla 28 muestra las características demográficas en el área de Lijado, en tanto que la tabla 29 los datos para el área de Tolex.

Tabla 28 Características demográficas en el área de Lijado.

Características demográficas Lijado			
Sexo		QTY	Porcentaje
	Masculino	18	95%
	Femenino	1	5%
Edad	$\bar{X}=33\pm9.7$ años Rango=26-48 años		
IMC	No obeso	14	74%
	Obeso	5	26%
	$\bar{X}=27 \text{ kg/m}^2$		
T/A	Normal	16	84%
	Bajo	3	16%
	Alto	0	
Ritmo cardiaco	Normal	17	90%
	Alto	2	10%
FR	Normal	11	58%
	Alto	8	42%
Lesión	8 (hombres)		
Mano dominante	1/19 zurdo		

Cabe destacar que de los 8 sujetos que indicaron lesión durante la entrevista, 6 de ellos fueron identificados por asimetrías.

Tabla 29 Características demográficas en el área de Tolex.

Características demográficas Tolex			
Sexo		QTY	Porcentaje
	Masculino	8	57%
	Femenino	6	43%
Edad	$\bar{X}=35\pm7.45$ años		
	Rango=26-48 años		
IMC	No obeso	9	64%
	Obeso	5	36%
	$\bar{X}=28.4$ kg/m ²		
T/A	Normal	11	79%
	Bajo	1	7%
	Alto	2	14%
Ritmo cardiaco	Normal	10	71%
	Alto	4	29%
FR	Normal	10	71%
	Alto	4	29%
Lesión	1 (mujer)		
Mano dominante	100% diestros		

La mujer que indicó presentar lesión durante la entrevista, fue identificada a través de la TI por asimetrías.

5.2.4 Gráficos del comportamiento de las diferencias de temperatura respecto al tiempo.

En las subsecuentes gráficas se observa el comportamiento de las diferencias de temperatura mínimas y máximas en el transcurso del tiempo (5, 10, 15 y 20, minutos) para el área de Lijado en las regiones dorsal y palmar. Es de observarse que los valores mayores surgen en las diferencias de temperatura mínimas, en los tiempos 10 y 15, sobretodo en la región palmar.

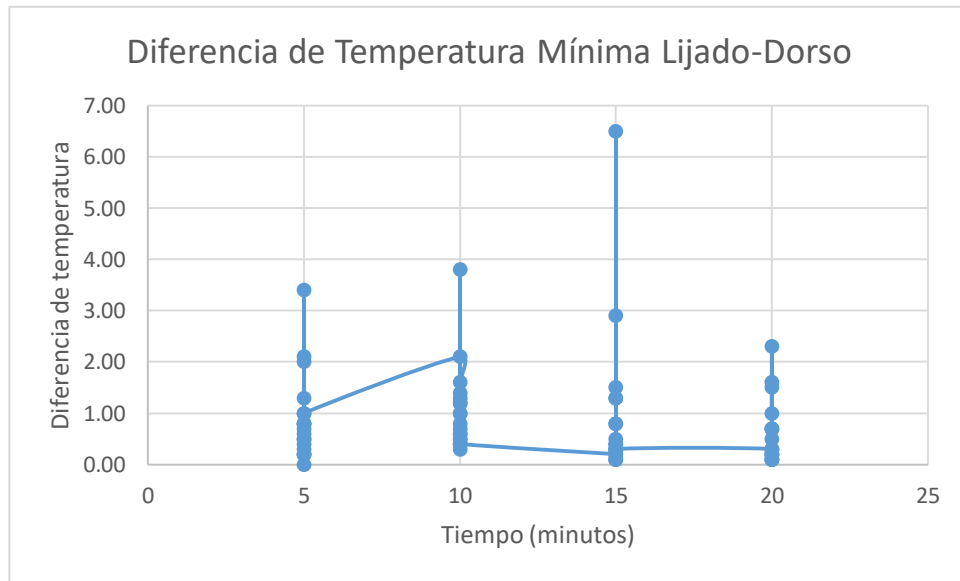


Figura 34 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Lijado en dorso.

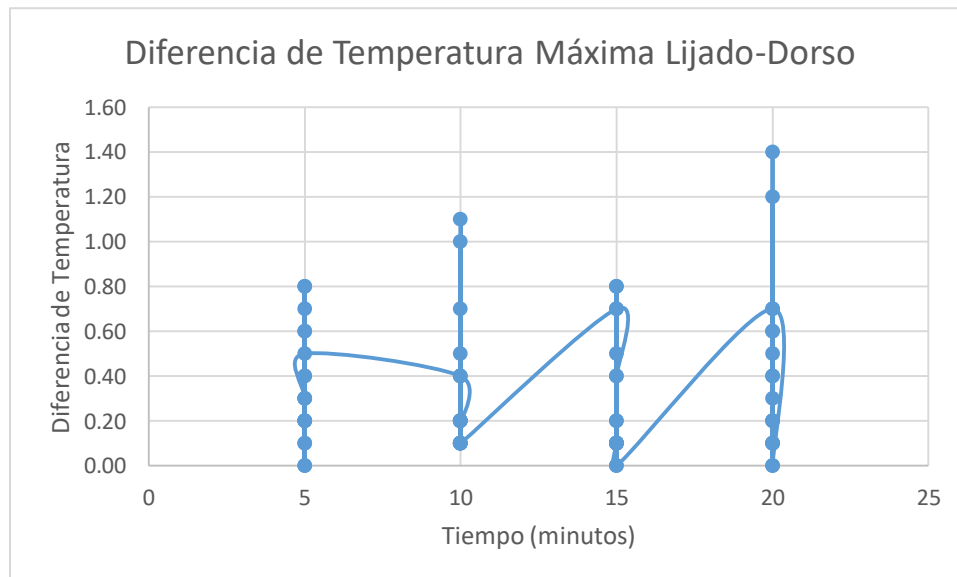


Figura 35 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Lijado en dorso.

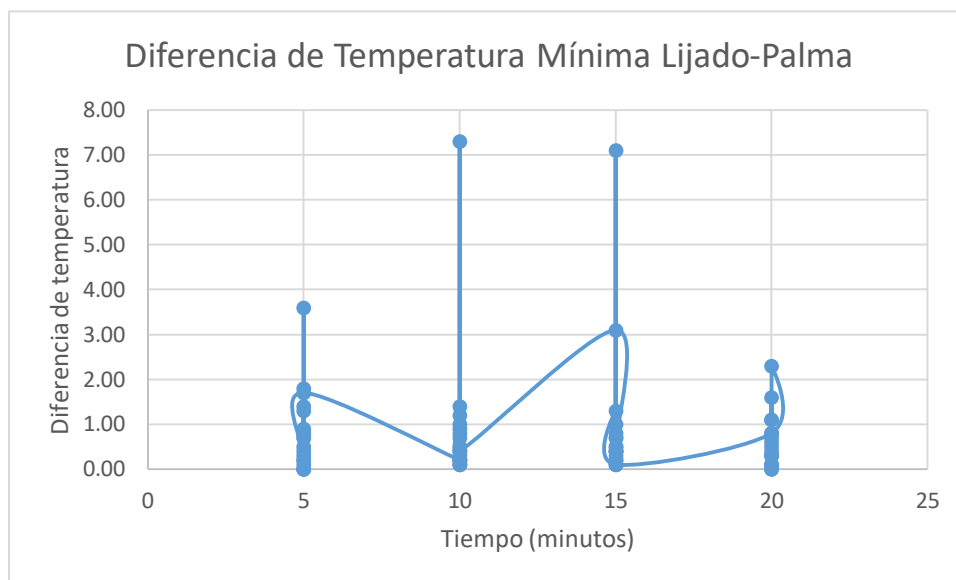


Figura 36 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Lijado en palma.

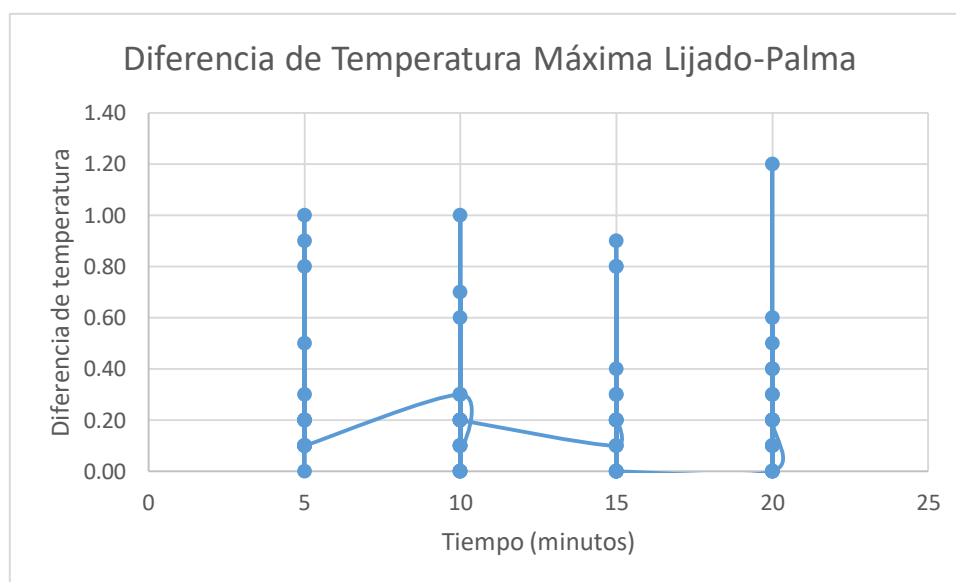


Figura 37 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Lijado en palma.

ÁREA TOLEX

A continuación se muestran mediante los gráficos de las figuras 38-41, el comportamiento de las diferencias de temperatura mínimas y máximas respecto al tiempo en el área de Tolex para el dorso y palma. Al igual que Lijado, los mayores valores se presentan para las

diferencias de temperatura mínimas en los tiempos 10 y 15 y el más elevado valor también surgió en la región palmar.

****Dorso**

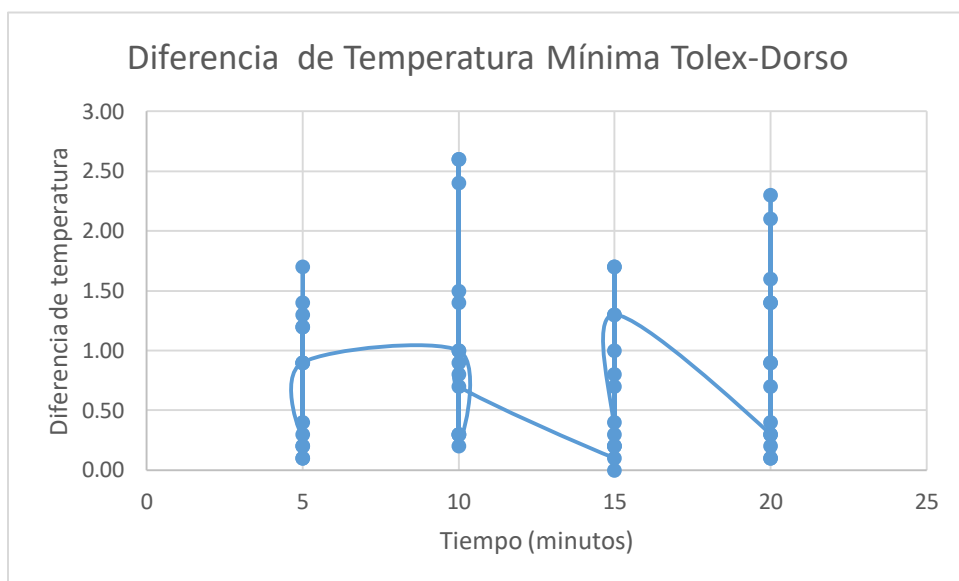


Figura 38 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Tolex en dorso.

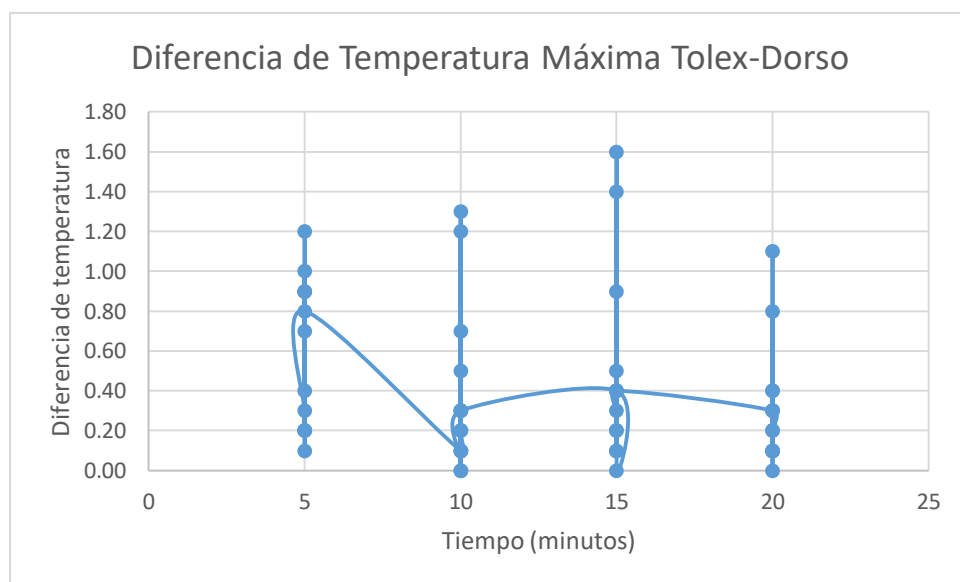


Figura 39 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Tolex en dorso.

****Palma**

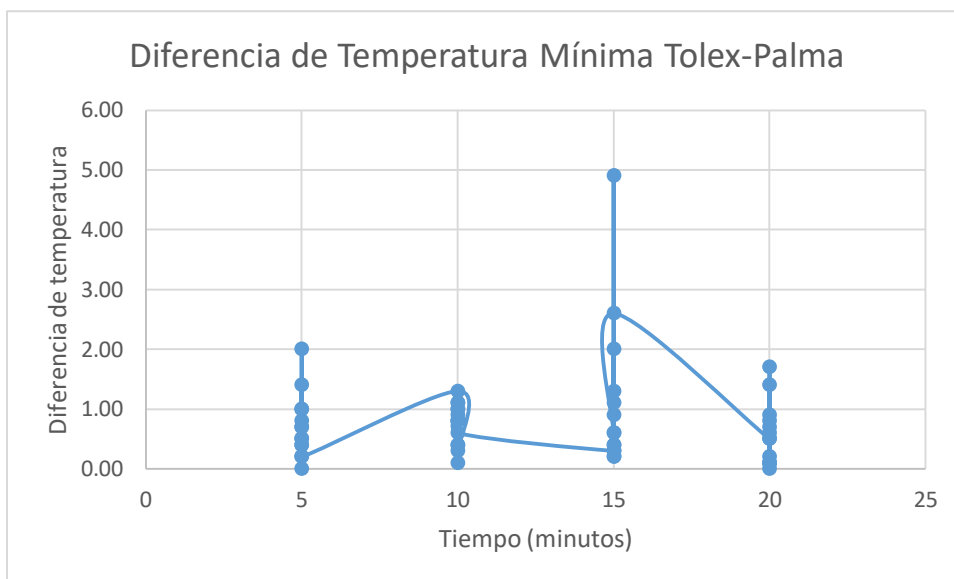


Figura 40 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura mínima en el área de Tolex en palma.

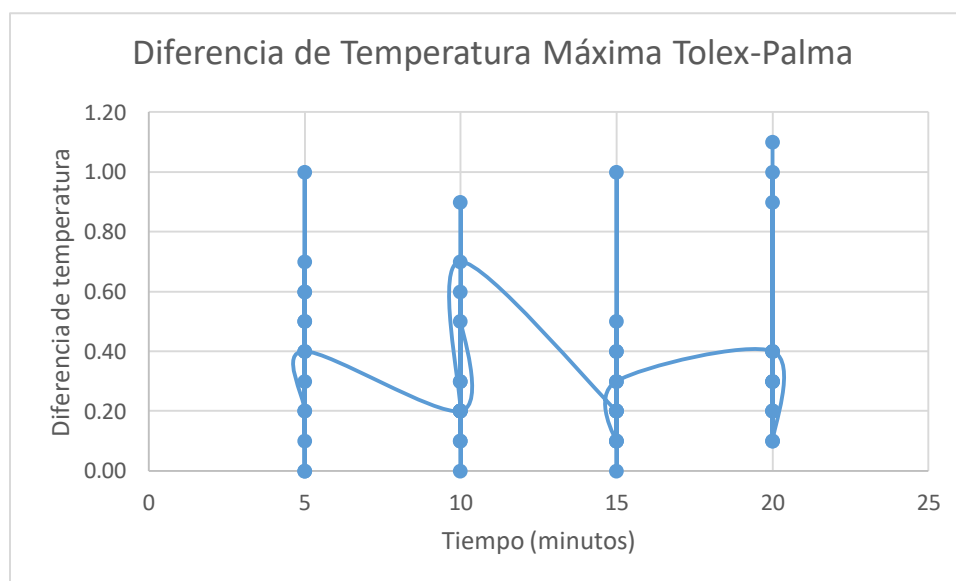


Figura 41 Gráfico de comportamiento de las diferencias de temperatura máxima en el área de Tolex en palma.

Al analizar los gráficos de las Figuras 34-41, es notable que el comportamiento de las diferencias de temperatura muestra incrementos y decrementos con el paso del tiempo.

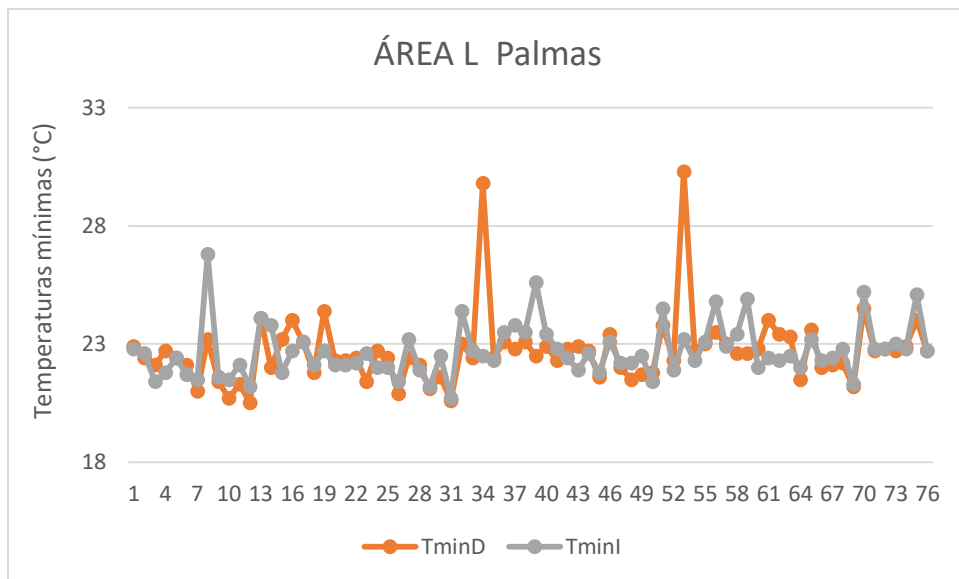


Figura 42 Gráficos de diferencias de temperatura mínimas entre los puntos TminD (muñeca derecha zona palmar)-TminI (muñeca izquierda zona palmar) en Lijado.

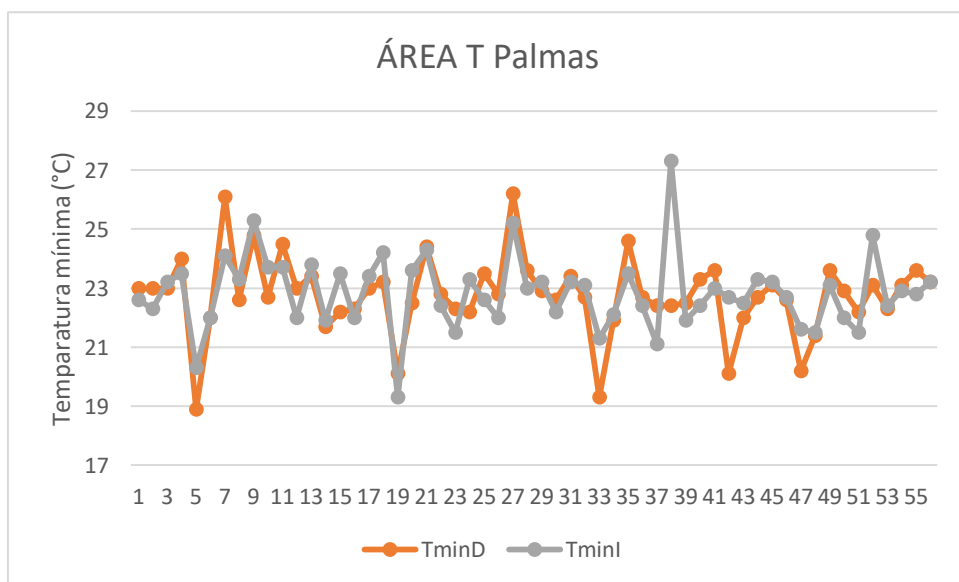


Figura 43 Gráficos de diferencias de temperatura mínimas entre los puntos TminD (muñeca derecha zona palmar)-TminI (muñeca izquierda zona palmar) en Tolex.

5.2.5 Gráficos de comportamiento de las diferencias de temperatura asimétricas respecto al tiempo.

En esta sección se muestran las diferencias de temperatura mínimas y máximas para el área de Lijado en dorso y palma (Figuras 42-45) que representan las asimetrías identificadas para cada caso.

ÁREA DE LIJADO

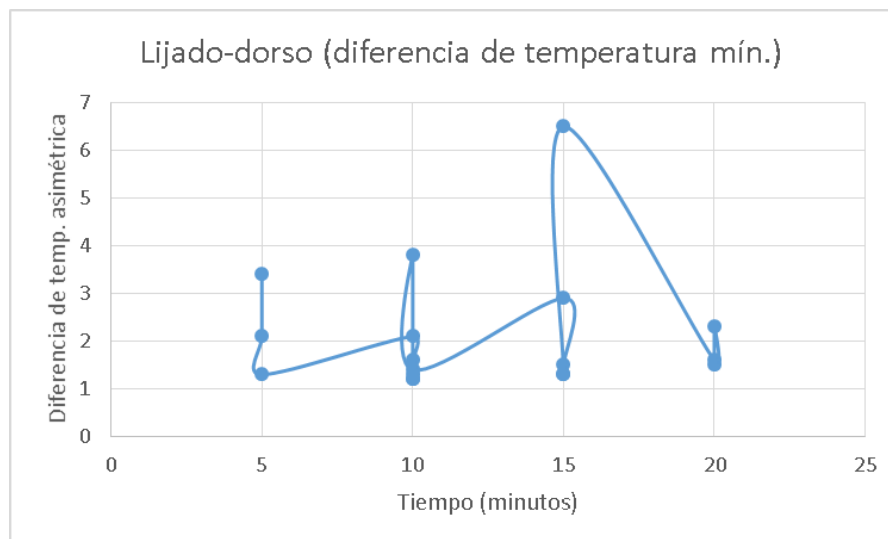


Figura 44 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Lijado en dorso.

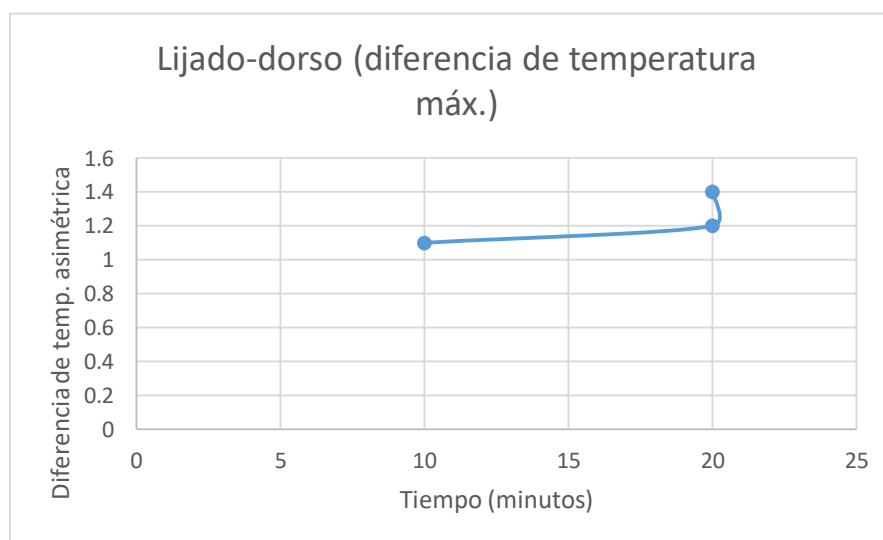


Figura 45 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Lijado en dorso.

Obsérvese que sólo se presentaron en dos tiempos: 10 y 20 minutos.

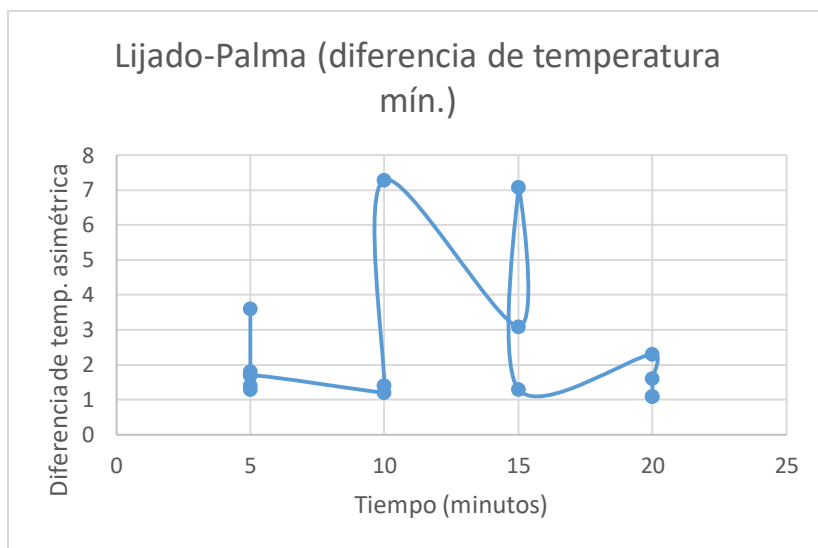


Figura 46 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Lijado en palma.

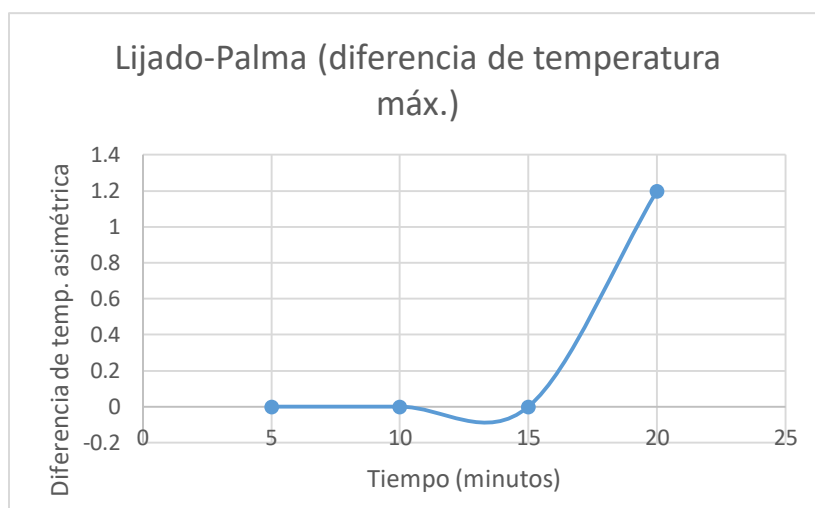


Figura 47 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Lijado en palma, únicamente registrada para el lapso de 20 minutos.

A continuación se presenta gráficamente el comportamiento de las diferencias de temperatura mínimas y máximas con respecto al tiempo, que reflejan asimetría en el área de Tolex para las regiones del dorso y palma.

ÁREA DE TOLEX

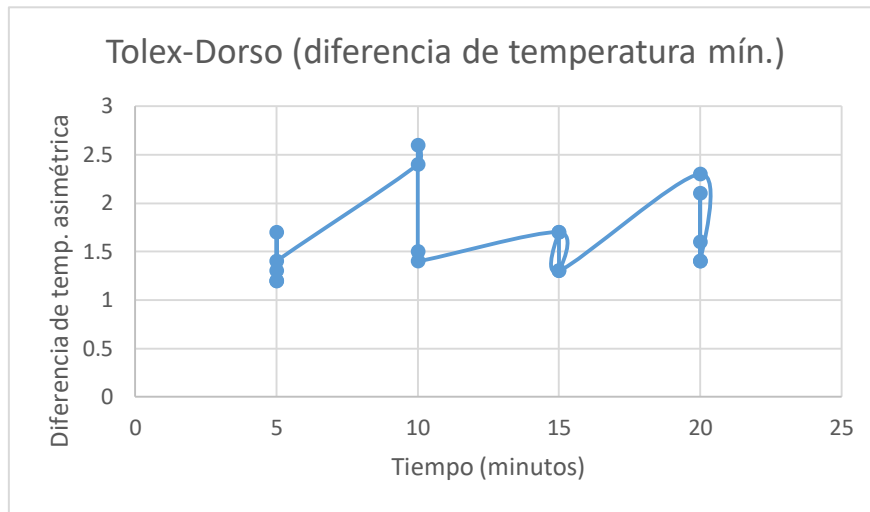


Figura 48 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Torex en dorso.

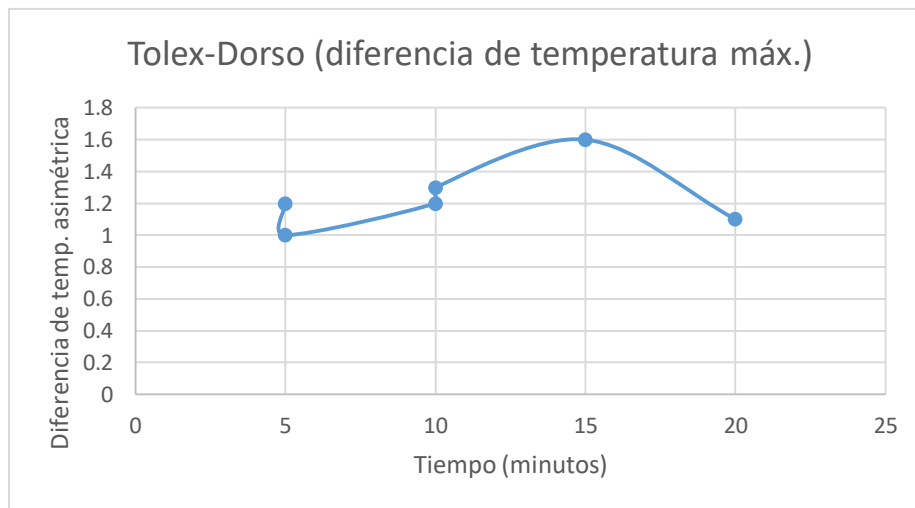


Figura 49 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Torex en dorso.

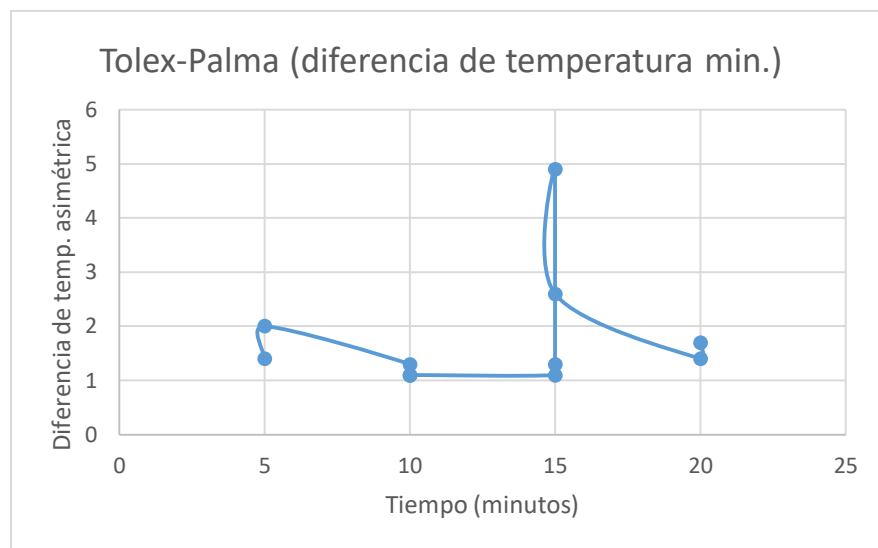


Figura 50 Comportamiento de la diferencia de temperatura mínima respecto al tiempo en el área de Tolex en palma.

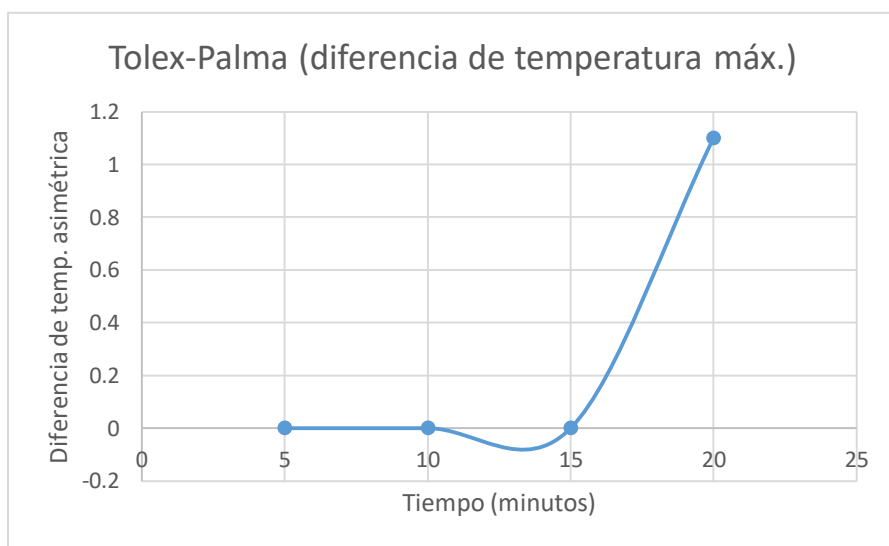


Figura 51 Comportamiento de la diferencia de temperatura máxima respecto al tiempo en el área de Tolex en palma.

Nótese que sólo se registró en el tiempo de 20 minutos.

5.2.6 Pruebas de normalidad

Acorde con las pruebas de normalidad efectuadas mediante la prueba de Shapiro-Wilk, (puesto que el tamaño de las muestras en nuestra investigación son menores de 50), se establecieron las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0)= El conjunto de datos siguen una distribución normal.

Hipótesis Alternativa (H_1)= El conjunto de datos no siguen una distribución normal.

En seguida se muestran las pruebas de normalidad para cada área de estudios, realizadas para los factores de análisis, así como para las diferencias de temperatura mínimas y máximas por tiempo.

Área Lijado

Tabla 30 Pruebas de normalidad en el área de Lijado para los factores de estudio.

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
EDAD	.098	19	.200*	.951	19	.418
SEXO	.538	19	.000	.244	19	.000
MANO DOMINANTE	.538	19	.000	.244	19	.000
IMC	.160	19	.200*	.909	19	.069
TA	.505	19	.000	.445	19	.000
Ritmo cardiaco	.111	19	.200*	.942	19	.288
FR	.177	19	.121	.934	19	.209
Lesión	.376	19	.000	.633	19	.000

Nótese que los factores *edad*, *IMC*, *ritmo cardiaco* y *FR* (*frecuencia respiratoria*), son datos normales, dado que sus valores $p > 0.05$.

Tabla 31 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para el dorso.

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
T5 DMin	.234	19	.007	.812	19	.002
T5 DMax	.162	19	.200*	.933	19	.194
T10 DMin	.184	19	.090	.763	19	.000
T10 DMax	.300	19	.000	.756	19	.000
T15 DMin	.284	19	.000	.579	19	.000
T15 DMax	.278	19	.000	.806	19	.001
T20 DMin	.257	19	.002	.775	19	.001
T20 DMax	.180	19	.108	.862	19	.010

La siguiente tabla muestra sus datos no normales a excepción de T5 DMax, con $p > 0.05$.

Tabla 32 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para palma.

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
T5 PMin	.196	19	.052	.812	19	.002
T5 PMax	.334	19	.000	.701	19	.000
T10 PMin	.317	19	.000	.451	19	.000
T10 PMax	.255	19	.002	.796	19	.001
T15 PMin	.333	19	.000	.519	19	.000
T15 PMax	.258	19	.002	.789	19	.001
T20 PMin	.174	19	.133	.870	19	.014
T20 PMax	.211	19	.025	.786	19	.001

Obsérvese que todos los datos analizados son no normales ($p < 0.05$).

Área Tolex

Tabla 33 Pruebas de normalidad en el área de Tolex en los factores de estudio.

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
EDAD	.219	14	.067	.883	14	.064
SEXO	.369	14	.000	.639	14	.000
IMC	.133	14	.200*	.957	14	.678
RITMO CARDIACO	.236	14	.033	.841	14	.017
FR	.327	14	.000	.829	14	.012
TA	.470	14	.000	.532	14	.000
Lesión	.534	14	.000	.297	14	.000

Los factores Edad e IMC, resultaron ser datos normales ($p > 0.05$).

Tabla 34 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para el dorso.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
$\Delta T5$ DMin	.181	14	.200*	.904	14	.130
$\Delta T5$ DMax	.195	14	.157	.875	14	.049
$\Delta T10$ DMin	.209	14	.097	.865	14	.036
$\Delta T10$ DMax	.289	14	.002	.794	14	.004
$\Delta T15$ DMin	.196	14	.151	.887	14	.073
$\Delta T15$ DMax	.291	14	.002	.803	14	.005
$\Delta T20$ DMin	.181	14	.200*	.899	14	.110
$\Delta T20$ DMax	.245	14	.022	.803	14	.005

Las diferencias de temperaturas $\Delta T5$ DMin, $\Delta T15$ DMin, y $\Delta T20$ DMin arrojaron normalidad en sus datos con $p > 0.05$.

Tabla 35 Pruebas de normalidad en las diferencias de temperaturas por tiempos para la palma.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
$\Delta T5$ PMin	.148	14	.200*	.917	14	.200
$\Delta T5$ PMax	.109	14	.200*	.961	14	.739
$\Delta T10$ PMin	.192	14	.175	.953	14	.610
$\Delta T10$ PMax	.253	14	.016	.873	14	.046
$\Delta T15$ PMin	.237	14	.031	.724	14	.001
$\Delta T15$ PMax	.207	14	.107	.814	14	.007
$\Delta T20$ PMin	.179	14	.200*	.877	14	.052
$\Delta T20$ PMax	.312	14	.001	.795	14	.004

Obsérvese que las diferencias de temperaturas $\Delta T5$ PMin, $\Delta T5$ PMax, $\Delta T10$ PMin, y $\Delta T20$ PMin presentan datos con distribución normal.

Tabla 36 Resumen de factores y diferencias de temperatura con valores normales en el área de Lijado.

ÁREA DE LIJADO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	p-value
EDAD	.098	19	.200 [*]	.951	19	.418
IMC	.160	19	.200 [*]	.909	19	.069
Ritmo cardiaco	.111	19	.200	.942	19	.288
FR	.177	19	.121	.934	19	.209
T5 DorsoMax	.162	19	.200	.933	19	.194

Tabla 37 Resumen de factores y diferencias de temperatura con valores normales en el área de Tolex.

ÁREA DE TOLEX	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk	
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl
EDAD	.219	14	.067	.883	14
IMC	.133	14	.200	.957	14
T5 DorsoMin	.181	14	.200	.904	14
T15DorsoMin	.196	14	.151	.887	14
T20DorsoMin	.181	14	.200	.899	14
T5 PalmaMin	.148	14	.200	.917	14
T5 PalmaMax	.109	14	.200	.961	14
T10PalmaMin	.192	14	.175	.953	14
T20PalmaMin	.179	14	.200	.877	14

5.2.7 Pruebas no paramétricas

Para determinar si existe influencia entre los factores de estudio y las diferencias de temperaturas, se realizaron análisis estadísticos a través de la prueba U de Mann-Whitney, para los datos con distribución normal y no normal, de acuerdo con (Pinto, 2014), quien indica que para un tamaño de muestra pequeño, es posible realizar pruebas no paramétricas para distribuciones normales y no normales. En esta investigación, los tamaños de las muestras son pequeñas. A continuación se muestran los factores que presentaron influencia sobre la diferencia de temperatura por tiempos en las dos áreas de estudio, a través de las Tablas 38-45.

Área de Lijado

****Dorso**

Tabla 38: PruebaU de Mann-Whitney para evaluar influencia de T/A sobre la diferencia de temperatura.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ DMin son las mismas entre las categorías de T/A.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.582 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ DMin es la misma entre las categorías de T/A.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.712 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T10$ DMin son las mismas entre las categorías de T/A.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.582 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T10$ DMin es la misma entre las categorías de T/A.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.421 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ DMax son las mismas entre las categorías de T/A.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.036 ^{1,2}	Rechazar la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ DMax es la misma entre las categorías de T/A.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.033 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T15$ DMin son las mismas entre las categorías de T/A.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.058 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T15$ DMin es la misma entre las categorías de T/A.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.014 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T15$ DMax son las mismas entre las categorías de T/A.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T15$ DMax es la misma entre las categorías de T/A.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.875 ¹	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de $\Delta T20$ DMin son las mismas entre las categorías de T/A.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.546 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.

Obsérvese que en efecto, la T/A influye sobre las diferencias de temperatura máximas en el tiempo 10 y en las mínimas en el tiempo 15.

Tabla 39 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de lesión sobre la diferencia de temperatura.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ DMin son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.650 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ DMin es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.840 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T10$ DMin son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T10$ DMin es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.717 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ DMax son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.633 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ DMax es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.600 ¹	Retener la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T15$ DMin son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.352 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T15$ DMin es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.238 ¹	Retener la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T15$ DMax son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T15$ DMax es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.545 ¹	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de $\Delta T20$ DMin son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.059 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
12	La distribución de $\Delta T20 D_{Min}$ es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.012 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
13	Las medianas de $\Delta T20 D_{Max}$ son las mismas entre las categorías de Lesion.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.070 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
14	La distribución de $\Delta T20 D_{Max}$ es la misma entre las categorías de Lesion.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.442 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.

La siguiente tabla muestra que existe influencia entre la variable lesión y T20 Dmin medida en dorso

**Palma

Tabla 40 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de T/A sobre la diferencia de temperatura.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ PMin son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.058 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ PMin es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.171 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T5$ PMax son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T5$ PMax es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.559 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ PMin son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.058 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ PMin es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.014 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T10$ PMax son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.517 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T10$ PMax es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.138 ¹	Retener la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T15$ PMin son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.582 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T15$ PMin es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.171 ¹	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de $\Delta T15$ PMax son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
12	La distribución de $\Delta T15$ PMax es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.487 ¹	Retener la hipótesis nula.
13	Las medianas de $\Delta T20$ PMin son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.582 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
14	La distribución de $\Delta T20$ PMin es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	1.000 ¹	Retener la hipótesis nula.
15	Las medianas de $\Delta T20$ PMax son las mismas entre las categorías de TA.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.523 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
16	La distribución de $\Delta T20$ PMax es la misma entre las categorías de TA.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.559 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.

Es posible observar que se rechaza la hipótesis nula, por lo que hay evidencias suficientes para afirmar influencia entre T/A y T10 Pmin.

Tabla 41 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de ritmo cardiaco sobre la diferencia de temperatura

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ PMin son las mismas entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ PMin es la misma entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.749 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T5$ PMax son las mismas entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T5$ PMax es la misma entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.842 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ PMin son las mismas entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.164 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ PMin es la misma entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.047 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T10$ PMax son las mismas entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T10$ PMax es la misma entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.842 ¹	Retener la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T15$ PMin son las mismas entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.211 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T15$ PMin es la misma entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.023 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
11	Las medianas de $\Delta T15$ PMax son las mismas entre las categorías de RITMO CARDIACO.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.

El ritmo cardiaco influye sobre las diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 10 y 15.

Tabla 42 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de FR sobre la diferencia de temperatura.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ PMin son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.658 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ PMin es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.600 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T5$ PMax son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T5$ PMax es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.968 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ PMin son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.352 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ PMin es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.310 ¹	Retener la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T10$ PMax son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T10$ PMax es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.904 ¹	Retener la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T15$ PMin son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.170 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T15$ PMin es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.091 ¹	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de $\Delta T15$ PMax son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
12	La distribución de ΔT_{15} PMax es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.717 ¹	Retener la hipótesis nula.
13	Las medianas de ΔT_{20} PMin son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.020 ^{1,2}	Rechazar la hipótesis nula.
14	La distribución de ΔT_{20} PMin es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.051 ¹	Retener la hipótesis nula.
15	Las medianas de ΔT_{20} PMax son las mismas entre las categorías de FR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.633 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
16	La distribución de ΔT_{20} PMax es la misma entre las categorías de FR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.272 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.

Es de comprobarse que FR influye sobre las diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 20.

****Área Tolex-Dorso**

Tabla 43 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de FR (RR) sobre la diferencia de temperatura.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ DMax son las mismas entre las categorías de RR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ DMax es la misma entre las categorías de RR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.635 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T10$ DMin son las mismas entre las categorías de RR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.559 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T10$ DMin es la misma entre las categorías de RR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.188 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ DMax son las mismas entre las categorías de RR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ DMax es la misma entre las categorías de RR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.839 ¹	Retener la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T15$ DMax son las mismas entre las categorías de RR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.251 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T15$ DMax es la misma entre las categorías de RR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.036 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T20$ DMax son las mismas entre las categorías de RR.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T20$ DMax es la misma entre las categorías de RR.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	1.000 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.

Dado que para T15 Dmin se obtuvo $p=0.036$, por lo que se rechaza la hipótesis nula y, por tanto, se prueba que FR (RR) repercute en la diferencia de temperatura, con un nivel de significancia del 5%.

Tabla 44 Prueba U de Mann-Whitney para evaluar influencia de la edad sobre la diferencia de temperatura.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las medianas de $\Delta T5$ PMin son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.103 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
2	La distribución de $\Delta T5$ PMin es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.108 ¹	Retener la hipótesis nula.
3	Las medianas de $\Delta T5$ PMax son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
4	La distribución de $\Delta T5$ PMax es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.755 ¹	Retener la hipótesis nula.
5	Las medianas de $\Delta T10$ PMin son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.010 ^{1,2}	Rechazar la hipótesis nula.
6	La distribución de $\Delta T10$ PMin es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.005 ¹	Rechazar la hipótesis nula.
7	Las medianas de $\Delta T10$ PMax son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
8	La distribución de $\Delta T10$ PMax es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	1.000 ¹	Retener la hipótesis nula.
9	Las medianas de $\Delta T15$ PMin son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
10	La distribución de $\Delta T15$ PMin es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.662 ¹	Retener la hipótesis nula.
11	Las medianas de $\Delta T15$ PMax son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.277 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
12	La distribución de $\Delta T15$ PMax es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.081 ¹	Retener la hipótesis nula.
13	Las medianas de $\Delta T20$ PMin son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	1.000 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
14	La distribución de $\Delta T20$ PMin es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.491 ¹	Retener la hipótesis nula.
15	Las medianas de $\Delta T20$ PMax son las mismas entre las categorías de Age.	Prueba de la mediana para muestras independientes	.627 ^{1,2}	Retener la hipótesis nula.
16	La distribución de $\Delta T20$ PMax es la misma entre las categorías de Age.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.414 ¹	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asíntóticas. El nivel de significación es de .05.

Se comprueba que la edad es significativa sobre las diferencias de temperatura mínimas en el tiempo 10.

Tabla 45 Prueba U de Mann-Whitney a los factores de estudio respecto a las diferencias de temperatura.

Área-Sección	Pruebas No	Paramétricas		p-value
	Factor	Tiempo (minutos)	Diferencias de temperatura	
Lijado-Dorso	T/A	10	Máxima	0.036
Lijado-Dorso	T/A	15	Mínima	0.014
Lijado-Palma	T/A	10	Mínima	0.014
Lijado-Palma	Ritmo cardiaco	10	Mínima	0.047
Lijado-Palma	Ritmo cardiaco	15	Mínima	0.023
Lijado-Palma	FR	20	Mínima	0.020
Tolex-Dorso	FR	15	Máxima	0.036
Tolex-Dorso	Edad	10	Mínima	0.010

5.2.8 Modelos de Regresión cuadráticos

Luego de la recopilación y organización de los datos adquiridos se procedió a la generación de los modelos de regresión, buscando el modelo que presentara un mejor ajuste de los datos. Se evaluaron considerando como la variable de respuesta las diferencias de temperaturas mínima y máxima entre muñeca derecha y muñeca izquierda, tanto para dorso como palma y los factores de estudio; es decir, edad, sexo, mano dominante, IMC, T/A, ritmo cardiaco, FR, y lesión como variables independientes. Entre los modelos de regresión evaluados se encuentran los de tipo lineal, logarítmica, inverso, cuadrática, cúbico, potencia, compuesto, S, crecimiento y exponencial, siendo el modelo de regresión cuadrático el que generó un mejor ajuste de los datos. Los factores significativos arrojados por análisis de Varianza (ANOVA para comparar más de dos grupos) para cada área de estudio se muestran a continuación (Tablas 43-.52), así como los coeficientes de determinación R^2 y de determinación ajustado R^2 y las ecuaciones de regresión cuadráticas generadas.

ÁREA DE LIJADO

****Dorso**

Tabla 46 Análisis de varianza para el área de lijado en dorso para la diferencia de temperatura mínimo en el tiempo 15.

Analysis of Variance T15 mín					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	45.8503	5.7313	9.49	0.001
EDAD	1	2.2288	2.2288	3.69	0.084
SEXO	1	11.0164	11.0164	18.24	0.002
MANO DOMINANTE	1	1.7788	1.7788	2.95	0.117
IMC	1	1.5956	1.5956	2.64	0.135
TA	1	0.1912	0.1912	0.32	0.586
RITMO CARDIACO	1	0.4310	0.4310	0.71	0.418
FR	1	0.4500	0.4500	0.75	0.408
LESION	1	6.8137	6.8137	11.28	0.007
Error	10	6.0392	0.6039		

Se observa que en el ANOVA para el tiempo 15, los factores sexo y lesión son significativos, pues $p < 0.05$.

Tabla 47 Resumen del modelo

Model Summary				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
0.777124	88.36%	79.05%		*

Tabla 48 Ecuación de regresión.

Regression Equation	
$\Delta T_{15} \text{ Min} = 10.51 - 0.0545 \text{ EDAD} - 7.18 \text{ SEXO} + 1.591 \text{ MANO DOMINANTE} - 0.0806 \text{ IMC} + 0.382 \text{ TA} - 0.86 \text{ RITMO CARDIACO} + 0.393 \text{ FR} - 1.535 \text{ LESION}$	

Tabla 49 Análisis de varianza para el área de lijado en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 10.

****Palma**

Analysis of Variance T10 Min					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	58.7997	6.5333	37.08	0.000
SUJETO	1	0.3771	0.3771	2.14	0.177

EDAD	1	0.7076	0.7076	4.02	0.076
SEXO	1	14.6276	14.6276	83.03	0.000
MANO DOMINANTE	1	0.1671	0.1671	0.95	0.356
IMC	1	0.4992	0.4992	2.83	0.127
TA	1	0.8889	0.8889	5.05	0.051
RITMO CARDIACO	1	0.0746	0.0746	0.42	0.532
FR	1	0.5387	0.5387	3.06	0.114
LESION	1	0.9892	0.9892	5.62	0.042
Error	9		1.5856	0.1762	

El análisis de varianza para el tiempo 10, presenta significancia para los factores sexo y lesión ($p < 0.05$).

Tabla 50 Resumen del modelo.

Model Summary				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
0.419732	97.37%	94.75%		*

Tabla 51 Ecuación de regresión.

Regression Equation	
$\Delta T_{10} \text{ Min} = 8.27 - 0.0336 \text{ SUJETO} + 0.0321 \text{ EDAD} - 8.331 \text{ SEXO} - 0.493 \text{ MANO DOMINANTE} + 0.0456 \text{ IMC} - 0.831 \text{ TA} - 0.386 \text{ RITMO CARDIACO} - 0.446 \text{ FR} + 0.598 \text{ LESION}$	

ÁREA TOLEX

****Palma**

Tabla 52 Análisis de varianza para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínimo en el tiempo 15.

Analysis of Variance T15 Min					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	36.7285	4.5911	18.14	0.003
SUJETO	1	0.0000	0.0000	0.00	0.999
EDAD	1	1.9622	1.9622	7.75	0.039
SEXO	1	0.2491	0.2491	0.98	0.367
IMC	1	0.1574	0.1574	0.62	0.466
TA	1	6.9597	6.9597	27.49	0.003
RITMO CARDIACO	1	3.2116	3.2116	12.69	0.016
FR	1	9.0156	9.0156	35.61	0.002
Lesión	1	10.3524	10.3524	40.89	0.001
Error	5		1.2658	0.2532	

En el siguiente ANOVA, se observan los factores de edad, T/A, ritmo cardiaco, FR y lesión como significativos ($p < 0.05$).

Tabla 53 Resumen del modelo.

Model Summary				
---------------	--	--	--	--

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
0.503140	96.67%	91.34%		*

Tabla 54 Ecuación de regresión.

Regression Equation
$\Delta T15 \text{ Min} = -1.31 + 0.0001 \text{ SUJETO} + 0.0702 \text{ EDAD} + 0.436 \text{ SEXO} - 0.0241 \text{ IMC}$ $- 1.421 \text{ TA} - 2.123 \text{ RITMO CARDIACO} + 3.045 \text{ FR} - 4.909 \text{ Lesión}$

Se observa en las tablas 45, 48, y 51, que corresponden a la ecuación de regresión, que se incluyen todos los factores de estudio, pues de incluir solamente los factores significativos se reducen considerablemente los coeficientes de determinación R^2 y R^2 ajustado.

Tabla 55 Resumen del modelo por área y sección de la mano.

Área	Sección mano	R^2	R^2 ajustado
Lijado	Dorso	88.36%	79.05%
Lijado	Palma	97.37%	94.75%
Tolex	Palma	96.67%	91.34%

En la presente tabla se condensan los valores de los coeficientes de determinación R^2 y R^2 ajustado, obtenidos para las ecuaciones generadas para cada área y las regiones correspondientes.

5.2.9 Superficies de respuesta

De acuerdo con los resultados generados por medio de los modelos de regresión mostrados en la sección anterior, se originaron las superficies de respuesta con los factores y las diferencias de temperaturas significativas, cuyas gráficas se muestran a continuación.

Área de lijado dorso

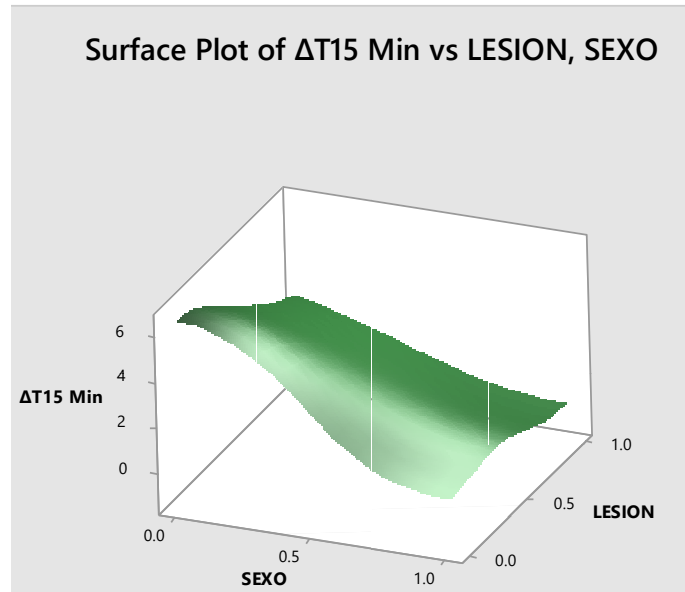


Figura 52 Superficie de para el área de Lijado en diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Sexo y Lesión.

respuesta generada
Dorso para la

La diferencia de temperatura mínima en el T15 alcanzó su valor más elevado de 6.5° en el sexo femenino (única mujer en el área), mientras que las lesiones alrededor de 2° en la diferencia de temperatura sólo se presentan en el sexo masculino.

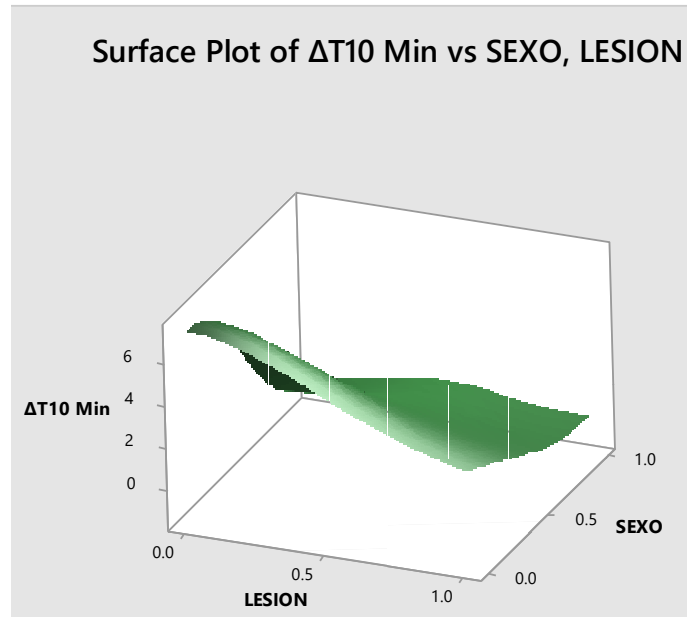


Figura 53 Superficie de respuesta generada para el área de Lijado en Palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 10 y los factores Sexo y Lesión.

Respecto a la diferencia de temperatura mínima presente en el tiempo 10, su valor más elevado se observa en los participantes que no presentan lesión. Todos los participantes con lesión corresponden al sexo masculino.

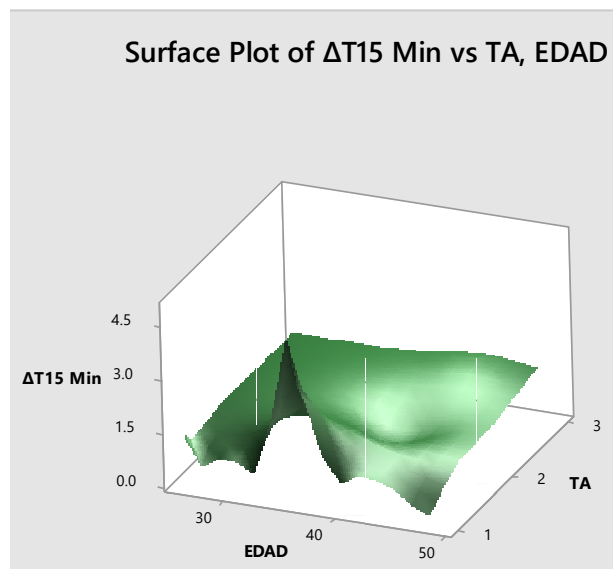


Figura 54 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Edad y Tensión arterial.

Los valores mayormente elevados para la diferencia mínima de temperatura en el tiempo 15, se presentó cerca de la edad media en los trabajadores del área de Tolex, con una T/A normal.

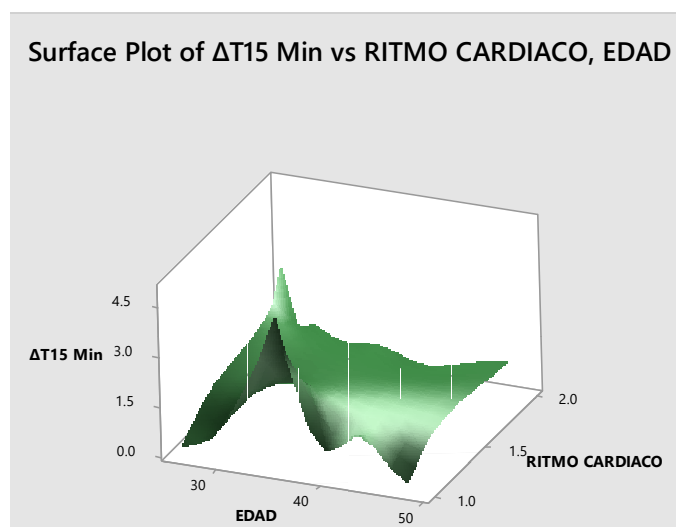


Figura 55 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores Edad y Ritmo cardiaco.

Es posible observar que para las edades entre 30 y 40 años se presenta la mayor diferencia de temperatura en este tiempo, con un ritmo cardiaco normal. Mientras que los valores más bajos surgen para la edad menor y ritmo cardiaco normal.

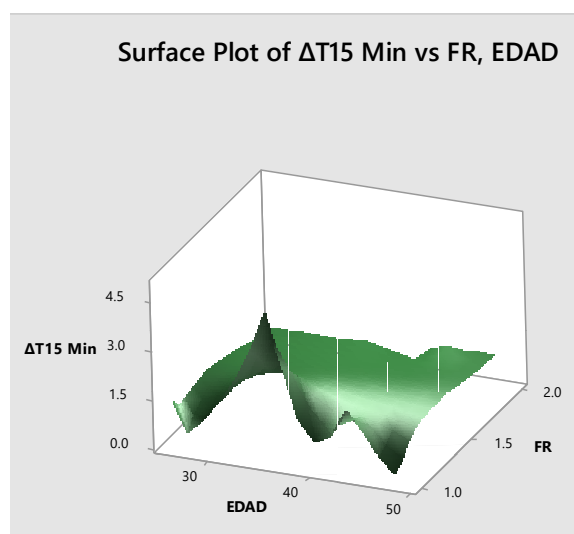


Figura 56 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores Edad y Frecuencia respiratoria.

En esta gráfica se determina que, para diferencia de temperatura mayor, la frecuencia respiratoria es normal, así como para diferencia de temperatura baja.

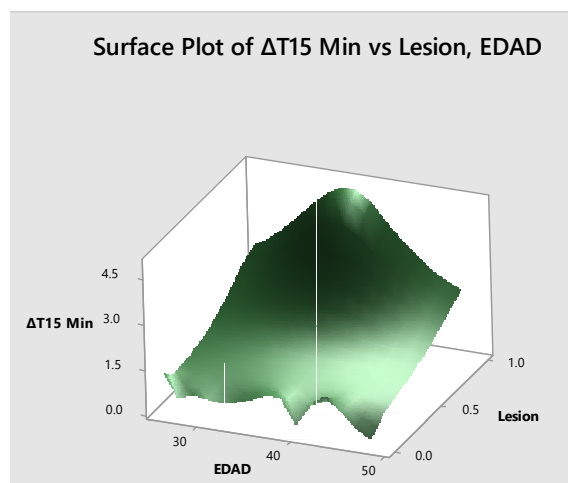


Figura 57 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores Edad y Lesión.

Los participantes con lesiones presentan diferencias de temperatura elevadas, mientras que para los valores más bajos, no presentan lesión. La edad para la diferencia de temperatura mayor se encuentra entre 30 y 40 años.

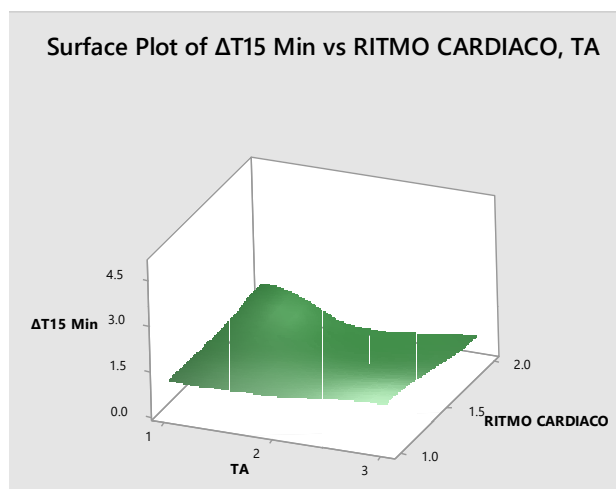


Figura 58 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores T/A y Ritmo cardiaco.

El ritmo cardiaco es elevado para la mayor diferencia de temperatura, pero con T/A normal.

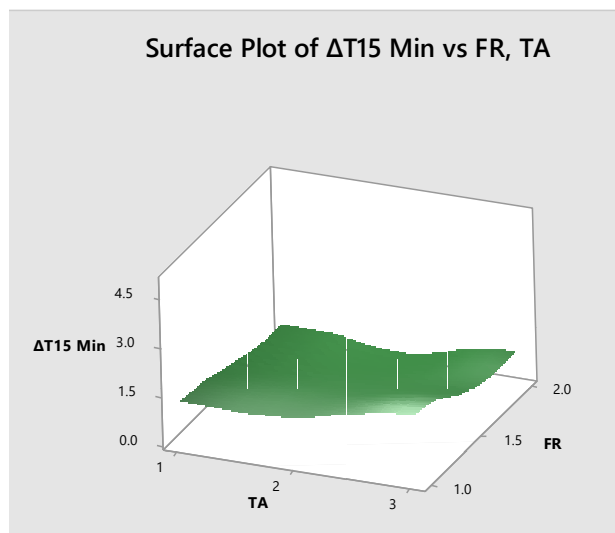


Figura 59 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores T/A y FR.

Nótese que en esta gráfica la diferencia de temperatura más elevada presenta una FR alta y una T/A normal.

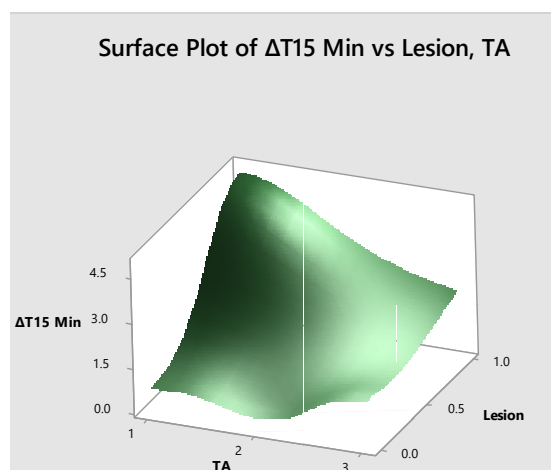


Figura 60 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores T/A y Lesión.

Acorde con el criterio de asimetría, el participante lesionado presenta la mayor diferencia de temperatura y T/A normal.

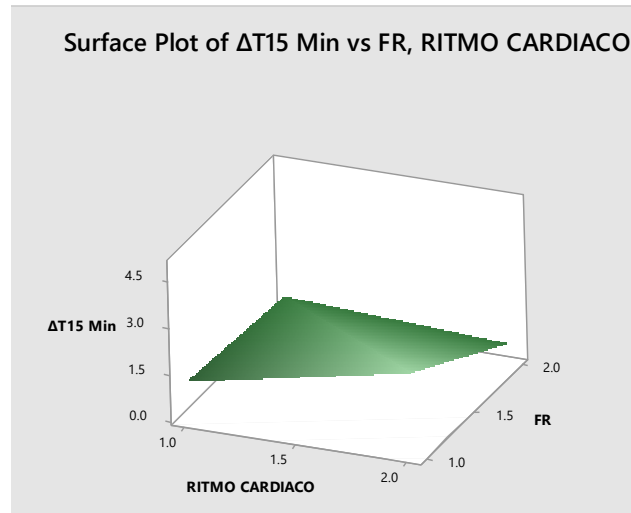


Figura 61 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores Ritmo cardiaco y FR.

La mayor diferencia de temperatura observada en este gráfico, registra una FR alta y un ritmo cardiaco normal.

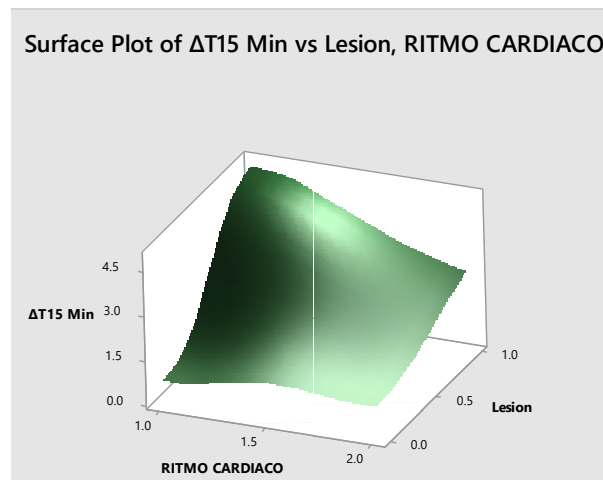


Figura 62 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo15 y los factores Ritmo cardiaco y Lesión.

Se comprueba la asimetría a través de esta gráfica, pues la mayor diferencia de temperatura muestra lesión en el sujeto con ritmo cardiaco normal.

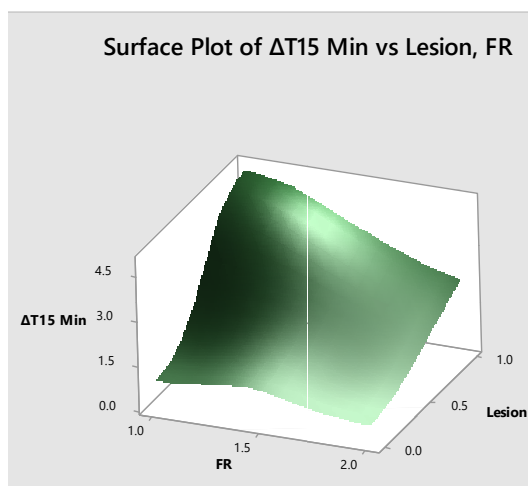


Figura 63 Superficie de respuesta generada para el área de Tolex en palma para la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 15 y los factores FR y Lesión.

A través de este gráfico, se comprueba la asimetría, con FR normal.

6 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado de movimientos altamente repetitivos en la industria maquiladora, se comprueba la utilidad de la TI en la detección de posibles lesiones, que conllevan a desarrollar DTA's en los trabajadores. Puesto que este estudio se centra en el comportamiento de la temperatura por periodos de tiempo, se determina una propensión en las diferencias de temperatura que con el paso del tiempo presentan incrementos y decrementos en ambas áreas de manera que es permisible efectuar predicciones. Sin embargo, el área de Lijado registra valores mayores para las asimetrías y esto tiene sentido puesto que en esta área existe un mayor número de trabajadores con problemas en sus muñecas, e incluso se han generado incapacidades, mientras que en el área de Tolex se identificó sólo una persona. Por lo tanto se infiere que fue posible cumplir con el objetivo principal; esto a través de la generación de modelos cuantitativos que describen el comportamiento de las diferencias de temperaturas, a partir de los modelos de regresión cuadráticos y que por consiguiente, contribuye con la mejora de las condiciones laborales prediciendo DTA's en la realización de actividades altamente repetitivas.

En lo referente a los objetivos específicos, se identificaron los factores que mayormente influyen sobre las diferencias de temperaturas mínimas y máximas en diversos lapsos de tiempo para cada área de producción. En el área de Lijado los factores T/A, FR, ritmo cardiaco, y sexo presentaron significancia, mientras que en el área de Tolex influyen FR, T/A, ritmo cardiaco y edad.

Respecto a la interacción entre los factores significativos, se derivó para el área de Lijado que los valores más elevados en las diferencias de temperatura (asimetrías), presentaron una T/A baja. En cambio en el área de Tolex, el 80% de las diferencias de temperatura que son asimétricas tenían T/A normal. Para el ritmo cardiaco se observó en Lijado-Palma 1 de 3 asimetrías detectadas con ritmo cardiaco alto (el valor más elevado) para el tiempo 10, mientras que en el tiempo 15, 2 de 3 asimetrías presentaron un ritmo cardiaco elevado. En Tolex, el 80% de las asimetrías contenían ritmos cardiacos normales. Para la FR, ambas áreas se encontraron con FR normal para las asimetrías detectadas. En el caso de edad en Tolex 100% presentaron edad joven, ambos para el tiempo 10. Para el factor sexo, sólo resultó significativo para el área de Lijado, a pesar de que sólo labora una mujer en esta área. En dorso, 4 de 5 asimetrías corresponden al sexo masculino (tiempo 15), en tanto que en palma, 2 de 3 asimetrías pertenecen al sexo masculino para el tiempo 10. Sin embargo, los valores mayores se registraron en el sexo femenino (única mujer en el área).

A través de los coeficientes de determinación R^2 y R^2 ajustado, fue posible evaluar y comparar los modelos de regresión cuadráticos y de este modo fue posible identificar los modelos cuyas estimaciones se ajustaron adecuadamente a la variable (R^2 y R^2 ajustado $>70\%$); es decir, que mejor explican nuestra variable de estudio. Para esto se incluyeron cada uno de los factores, puesto que al considerar únicamente los factores significativos, los coeficientes de determinación se reducían considerablemente.

En adición fue posible detectar mediante TI, un 75% de los casos que indicaron lesión o molestia en el área de Lijado, mientras que en Tolex se identificó el único caso existente. Esto mediante las asimetrías detectadas por la diferencia de temperatura entre la muñeca

derecha e izquierda. Por consiguiente, se discurre que la TI es efectiva en la detección de asimetrías, que se traduce en lesión.

Se infiere que los participantes con niveles fuera del rango normal en al menos uno de los factores significativos tienen altas probabilidades de presentar asimetrías de nivel de alarma o gravedad en sus muñecas.

****Conclusiones para el área de Lijado:**

- Las diferencias de temperatura alcanzaron su valor más elevado (6.5° de diferencia entre dorso derecho e izquierdo) en los valores mínimos de temperatura, en un tiempo de 15 minutos en la sección del dorso.
- Respecto a la sección de las palmas, su valor máximo fue de 7.3° de diferencia de temperatura mínima entre palma derecha e izquierda, registrado en un tiempo de 10 minutos.
- Las diferencias de temperaturas mínimas presentaron valores mayores que las diferencias de temperaturas máximas, tanto en las secciones del dorso como palma.
- Los factores edad, IMC, ritmo cardiaco y FR tienen datos con distribución normal, mientras que los factores sexo, mano dominante y T/A tienen datos con distribución no normal.
- Los factores que influyen respecto a las diferencias de temperaturas mínimas en dorso son: T/A en el tiempo 15, ritmo cardiaco en los tiempos 10 y 15 y FR en tiempo 20. Para las diferencias de temperaturas máximas se identificó relación con T/A en el tiempo 10.
- Los factores que influyen respecto a las diferencias de temperaturas mínimas en palma son: T/A en el tiempo 10, ritmo cardiaco en los tiempos 10 y 15 y FR en el tiempo 20. No se encontró relación de influencia en las diferencias de temperaturas máximas.
- Los tiempos que resultaron relevantes fueron T10 y T15, para diferencias de temperaturas mínimas. T10 se relaciona con las diferencias de temperatura mínima en la sección de palmas, debido a que se detectó su valor más elevado en la diferencia de temperatura mínima (7.3°).

- El 90% de los participantes presentó asimetrías. De los 17 sujetos con asimetrías, el 76% presentaba un nivel alto en al menos uno de los factores de estudio (edad, IMC, T/A, ritmo cardiaco o FR).
- Se discurre que el 76% de los participantes con al menos un nivel fuera del rango normal respecto a los factores de estudio, presenta asimetrías de niveles de alarma o gravedad.
- Al efectuar las pruebas no paramétricas para el dorso, se comprobó la influencia de la T/A sobre la diferencia de temperatura máxima en el tiempo 10.
- En cuanto a las pruebas no paramétricas para la sección palmar, se identificó la relación entre las diferencias de temperaturas mínimas y T/A en el tiempo 10, ritmo cardiaco en los tiempos 10 y 15, y por último, FR en la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 20.
- Al efectuar análisis de varianza, sexo y lesión resultaron ser factores significativos para el dorso en el tiempo 15 para diferencias de temperatura mínima, con los cuales se generaron los modelos de regresión cuadrática, obteniendo un coeficiente de determinación de 88.36% y un coeficiente de determinación ajustado de 79.05%. Por otra parte, en palma se identificó significancia entre los factores sexo y lesión para diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 10, cuya ecuación de regresión cuadrática obtuvo un coeficiente de determinación de 97.37% y un coeficiente de determinación ajustado de 94.75%. Cabe mencionar que para alcanzar dichos porcentajes, se incluyen en las ecuaciones el resto de los factores, puesto que al omitirse se reducían los coeficientes de determinación.
- Respecto a las lesiones o molestias indicadas por los participantes a través de la entrevista, se registraron 8 personas. Sin embargo, se identificaron 6 sujetos por asimetrías; es decir, se detectaron lesiones en un 75% de los casos por TI.

****Conclusiones para el área de Tolex:**

- La diferencia de temperatura mínima con el mayor valor en el dorso se presentó en el tiempo 10 (2.6°). Respecto a la diferencia de temperatura máxima, su mayor valor (1.6°) se registró en el tiempo 15.

- Para la región palmar, el valor más elevado fue en el tiempo 15 con 5° para la diferencia de temperatura mínima. Por otro lado, para la diferencia de temperatura máxima su mayor valor fue de 1.1° en el tiempo 20.
- Al realizar las pruebas de normalidad se identificaron la edad e IMC, como datos con distribución normal, mientras que los factores sexo, T/A, lesión, ritmo cardiaco, y FR, mostraron una distribución no normal.
- Respecto a las pruebas no paramétricas, en la sección del dorso, se encontró una relación de influencia entre FR y las diferencias de temperaturas máximas en el tiempo 15. En la sección palmar se identificó influencia entre la edad y las diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 10.
- De acuerdo con el análisis de varianza se encontró que la edad, T/A, ritmo cardiaco, FR y lesión influyen sobre las diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 15 en la sección palmar. El modelo de regresión cuadrático generado alcanzó un coeficiente de determinación de 96.67% y un coeficiente de determinación ajustado de 91.34%, los cuales además incluyen los factores de estudio no significativos, debido a que al eliminarse se reducían los porcentajes de los coeficientes.
- Un solo trabajador indicó presentar molestias en su extremidad y fue identificado por TI.
- 79% de los participantes presentaron asimetrías con niveles de alarma o gravedad. De los 11 sujetos con asimetrías, el 73% tenía nivel elevado en al menos uno de los factores de estudio que incluyen edad, IMC, T/A, ritmo cardiaco y FR.
- Se discurre que el 73% de los participantes con al menos un nivel fuera del rango normal respecto a los factores de estudio, presenta asimetrías de niveles de alarma o gravedad.
- En el área de Tolex, el 36% de los participantes con asimetrías son mujeres, mientras que el 64% hombres.

7. DISCUSIONES

Tal y como se esperaba, en nuestro estudio fue posible detectar mediante TI, un 75% de los casos que indicaron lesión o molestia en el área de Lijado, mientras que para el área de Tolex se identificó el único caso existente. Esto fue posible mediante las asimetrías detectadas (diferencias de temperatura entre la muñeca derecha e izquierda). Por consiguiente, se discurre que la TI es efectiva en la detección de asimetrías, para lo cual sabemos que son indicadores de enfermedad. En este caso tenemos sospecha de patología de STC, coincidiendo con otros estudios (Palfy & Papež, 2007, Papež et al., 2009, Tkáčová et al., 2010, Živčák et al., 2011, Papež et al., 2008, Tchou et al., 1992). El 90% de los participantes del área de Lijado presentaron asimetrías con grado de atención de alarma o gravedad. De los 17 sujetos con asimetrías, el 76% presentaba niveles fuera del rango normal en al menos uno de los factores de estudio (edad, IMC, T/A, ritmo cardíaco o FR). En tanto que el 79% de los participantes en el área de Tolex presentaron asimetrías con niveles de alarma o gravedad. De los 11 sujetos con asimetrías, el 73% tenían niveles fuera del rango normal en al menos uno de los factores de estudio. En el área de Lijado, el 94% de los participantes con asimetrías son hombres (con menos de un año laborando en el área) y el 6% corresponde a la única operadora del área. En el área de Tolex, el 36% de los participantes con asimetrías son mujeres, mientras que el 64% hombres (los sujetos tienen de 2 a 8 años laborando en el área). Es de suponerse que el área de Lijado presente mayor porcentaje de lesiones, debido a que las actividades de producción que se realizan exigen mayor movimiento en las muñecas que en el área de Tolex. Además, otras de las hipótesis radican en el ritmo de producción que ha ido incrementando en un 50%, lo que conlleva a realizar movimientos con mayor velocidad en las muñecas, y dado que 7 de 8 personas con lesión en el área de Lijado tienen poco tiempo laborando (menos de un año), realizan movimientos bruscos y veloces, dañando así su muñeca. De hecho, un operador fue incapacitado por tendinitis durante el estudio, quien tenía laborando en el área apenas 6 meses. Por el contrario, en el área de Tolex, los participantes tienen al menos 2 años de experiencia hasta 8 años los de mayor periodo.

Asimismo, otro de los participantes también fue diagnosticado con tendinitis. Sin embargo, no fue detectado por TI.

Al analizar el comportamiento de las diferencias de temperatura mínimas y máximas por tiempo, se identificó para el área de Lijado su valor más elevado de 6.5°C (diferencia de temperatura entre dorso derecho e izquierdo) en los valores mínimos de temperatura, en un tiempo de 15 minutos para la sección del dorso. Para el área de Tolex, las diferencias de temperatura mínima con el mayor valor en el dorso se presentó en el tiempo 10 (2.6°). Respecto a las diferencias de temperatura máxima, su mayor valor (1.6°) se registró en el tiempo 15. En la sección de las palmas, su valor máximo en el área de Lijado fue de 7.3° para la diferencia de temperatura mínima entre palma derecha e izquierda, registrado en un tiempo de 10 minutos. En el caso del área de Tolex, para la región palmar, el valor más elevado fue en el tiempo 15 con 5° para la diferencia de temperatura mínima. Por otro lado, para la diferencia de temperatura máxima su mayor valor fue de 1.1° en el tiempo 20.

Los factores edad, IMC, ritmo cardíaco y FR tienen datos con distribución normal, mientras que los factores sexo, mano dominante y T/A mostraron distribución no normal para el área de Lijado. En el área de Tolex, las pruebas de normalidad identificaron la edad e IMC, como datos con distribución normal, y los factores sexo, T/A, lesión, ritmo cardíaco, y FR, mostraron una distribución no normal.

Al efectuar las pruebas no paramétricas para el dorso, se comprobó la influencia de la T/A sobre la diferencia de temperatura máxima en el tiempo 10 para el área de Lijado. Para la sección palmar, se identificó la relación entre las diferencias de temperaturas mínimas y T/A en el tiempo 10, ritmo cardíaco en los tiempos 10 y 15, y por último, FR en la diferencia de temperatura mínima en el tiempo 20. En la sección del dorso, se encontró una relación de influencia entre FR y las diferencias de temperaturas máximas en el tiempo 15. En cuanto al área de Tolex en la sección del dorso, se encontró una relación de influencia entre FR y las diferencias de temperaturas máximas en el tiempo 15. En la región palmar no se presentó relación de influencia.

Los factores que influyen respecto a las diferencias de temperaturas mínimas en el dorso para el área de Lijado son: T/A en el tiempo 15, ritmo cardiaco en los tiempos 10 y 15 y FR en tiempo 20. Para las diferencias de temperaturas máximas se identificó relación con T/A en el tiempo 10. Respecto a las pruebas no paramétricas en el área de Tolex, en la sección del dorso, se encontró una relación de influencia entre FR y las diferencias de temperaturas máximas en el tiempo 15. En la sección palmar se identificó influencia entre la edad y las diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 10. Respecto a los factores que influyen sobre las diferencias de temperatura mínimas en palma para el área de Lijado son: T/A en el tiempo 10, ritmo cardiaco en los tiempos 10 y 15 y FR en el tiempo 20. No se encontró relación de influencia en las diferencias de temperaturas máximas.

Nuestro estudio muestra que la interacción entre los factores significativos para el área de Lijado y las asimetrías mayores presentaron una T/A baja. En cambio en el área de Tolex, el 80% de las asimetrías tenían T/A normal. Para el ritmo cardiaco se observó en el área de Lijado-Palma 1 de 3 asimetrías detectadas con ritmo cardiaco alto (el valor más elevado) para el tiempo 10, mientras que en el tiempo 15, 2 de 3 asimetrías presentaron un ritmo cardiaco elevado. En el área de Tolex, el 80% de las asimetrías contenían ritmos cardiacos normales. Para la FR, ambas áreas se encontraron con FR normal para las asimetrías detectadas. En el caso de la edad en el área de Tolex, 100% presentaron edad joven, ambos para el tiempo 10. En cambio, otras investigaciones (Law et al., 2015, Wolf et al., 2009, Arslan et al., 2017, Haghighat et al., 2012, Zambelis et al., 2010), determinaron que el STC incrementa con el paso de la edad, mientras que diversos estudios establecen que la edad está asociada con la prevalencia del STC (Harris-Adamson et al., 2013, Cosgrove et al., 2002, Castro et al., 2015, Komurcu and Anlar, 2014, Rosecrance et al., 2002, Sousa et al., 2015, Iwuagwu et al., 2007). Para el factor sexo, sólo resultó significativo para el área de Lijado, a pesar de que sólo labora una mujer en esta área. En dorso, 4 de 5 asimetrías corresponden al sexo masculino (tiempo 15), en tanto que en palma, 2 de 3 asimetrías pertenecen al sexo masculino para el tiempo 10. Sin embargo, los valores mayores se registraron en el sexo femenino (única mujer en el área). Otros estudios (Harris-Adamson et al., 2013, Nathan et al., 2002, El-Helaly et al., 2017, Zhang et al., 2017, Arslan et al., 2017, Zambelis et al., 2010), encontraron de igual modo asociación entre STC y el sexo femenino. Pero también hay investigaciones que no

encontraron relación entre el sexo y STC (Sassi & Giddins, 2016). Respecto al IMC, en nuestros resultados, no se determinó como un factor de riesgo estadísticamente significativo en ninguna de las dos áreas de estudio, como ha sucedido en otras investigaciones que confirman una fuerte asociación entre dicho factor y el STC (Harris-Adamson et al., 2013, Arslan et al., 2017, Cosgrove et al., 2002, Komurcu et al., 2014, Kouyoumdjian et al., 2002, Rosecrance et al., 2002, Zambelis et al., 2010, Geoghegan et al., 2004, Sousa et al., 2015, Aygul et al., 2009, Kouyoumdjian et al., 2000, Landau et al., 2005, Mansoor et al., 2017, Mohammad et al., 2019, Oscakir et al., 2018, Sharifi-Mollayousef et al., 2008, Ünalı et al., 2015).

Al efectuar análisis de varianza en Lijado, el sexo resultó ser factor significativo para el dorso en el tiempo 15 para diferencias de temperatura mínima, con los cuales se generaron los modelos de regresión cuadrática, obteniendo un coeficiente de determinación de 88.36% y un coeficiente de determinación ajustado de 79.05%. Del mismo modo, en la región palmar se identificó significancia en el factor sexo pero con diferencias de temperatura mínimas en el tiempo 10, cuya ecuación de regresión cuadrática obtuvo un coeficiente de determinación de 97.37% y un coeficiente de determinación ajustado de 94.75%. Cabe mencionar que para alcanzar dichos porcentajes, se incluyen en las ecuaciones todos los factores de estudio, puesto que al omitirse se reducían considerablemente los coeficientes de determinación. De acuerdo con el análisis de varianza en el área de Tolex se encontró que la edad, T/A, ritmo cardiaco, y FR influyen sobre las diferencias de temperaturas mínimas en el tiempo 15 en la sección palmar. El modelo de regresión cuadrático generado alcanzó un coeficiente de determinación de 96.67% y un coeficiente de determinación ajustado de 91.34%, los cuales además incluyen los factores de estudio no significativos, debido a que al eliminarse se reducían los porcentajes de los coeficientes, tal y como sucedió para la otra área.

8. RECOMENDACIONES

- Efectuar estudios de la temperatura en las muñecas, comparando las temperaturas antes de iniciar actividades con respecto al tiempo pico de la actividad laboral. De este modo, es posible evaluar con mayor precisión las diferencias de temperaturas respecto al tiempo.
- Llevar a cabo estudios futuros que consideren otros factores que pudieran ser significativos, como es el tiempo laborado en el área, por ejemplo. Revisar el historial clínico de los trabajadores.
- Realizar estudios de las diferencias de temperatura considerando un número de muestra mayor. Sólo se identificaron 9 sujetos con lesiones, en un área sólo una persona presentaba mano dominante izquierda, mientras que en la otra área ninguno era zurdo. Una de las áreas de producción sólo tiene un trabajador del sexo femenino.
- Extender el estudio a otras extremidades superiores para analizar el comportamiento de las diferencias de temperatura.

Para dar seguimiento a la investigación, a continuación se proporciona el cronograma de actividades que dará la pauta para la realización ordenada y secuencial de cada una de ellas.

Figura 62: Cronograma de actividades.

10. ANEXO

CUESTIONARIO

1. NOMBRE: _____
2. SEXO: _____ EDAD: _____
3. ÁREA DE DESEMPEÑO: _____ PROCESO: _____
4. TIEMPO LABORANDO EN MAQUILADORA: _____
5. MANO DOMINANTE: _____
6. ¿CONSUME CAFÉ O TÉ? CAFÉ TÉ ALCOHOL NINGUNO
7. ¿CON QUÉ FRECUENCIA LO CONSUMES?
CAFÉ _____
TÉ _____
ALCOHOL _____
8. ¿FUMAS? SI NO
9. ¿CON QUÉ FRECUENCIA FUMAS? _____
10. ¿ESTÁS INGERIENDO ALGÚN MEDICAMENTO? SI NO
11. SI ERES MUJER ¿ESTÁS EN TU PERIODO MENSTRUAL? SI NO
12. FRACTURA EN BRAZO O MUÑECA? SI NO

SOMATOMETRÍA Y SIGNOS VITALES

PESO _____

ESTATURA _____

TENSIÓN ARTERIAL _____

RITMO CARDIACO _____

FRECUENCIA RESPIRATORIA _____

11. REFERENCIAS

1. Abellán Guillén, J. F. (2010). *Terminología y clasificación de las tendinopatías*. XX Jornadas Internacionales de Traumatología del Deporte, Tendón y Deporte. Murcia, España.
2. Aguirre Galindo, R. (2000). Ergonomía aplicada a las operaciones de soldadura para mejorar la calidad y la productividad. Saltillo, Coahuila.
3. Ammer, K. (1999). DIAGNOSIS OF NERVE ENTRAPMENT SYNDROMES BY THERMAL IMAGING. Proceedings of the First Joint BMES/EMBS Conference, 1117.
4. Ammer, K., Engelbert, B., & Kern, E. (2002). The Determination of Normal Temperature Values of Finger Joints. *Thermology international*, 23-33.
5. Arslan Y., Bülbül I., Öcek L., Şener U., Zorlu Y., Effect of hand volume and other anthropometric measurements on carpal tunnel syndrome, *Neurological Sciences Journal* 38 (2017) 605-610.
6. Attwood, D., J. Deed, and M. Danz, *Ergonomic solutions for the process industries*. 2004, Burlington, USA: Elsevier Inc.
7. Aygül R., Ulvi H., Kotan D., Kuyucu M., Demir R., Sensitivities of conventional and new electrophysiological techniques in carpal tunnel syndrome and their relationship to body mass index. *Journal of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury* 4 (2009) 1-7.
8. Bae J. Y., Kim J. K., Yoon J. O., Kim J. H., Ho B. C., Preoperative predictors of patient satisfaction after carpal tunnel release, *Rev. Chir. Orthop. Traumatol.* 104 (2018) 613.
9. Baic, A., Kasprzyk, T., Rżany, M., Stanek, A., Sieroń, K., Suszyński, K., ... & Cholewka, A. Can we use thermal imaging to evaluate the effects of carpal tunnel syndrome surgical decompression?. *Medicine* 96(39) (2017) 1-5.
10. Battini, D., Faccio, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2011). New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30 - 42.
11. Bautista, J., Batalla, C., Alfaro, R., & Cano, A. (2013). Extended Models for TSALBP with Ergonomic Risk Constraints. *7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control*, 839-844.
12. Becker J., Nora D. B., Gomes I., Stringari F. F., Seitensus R., Panosso J. S., Ehlers J. A. C., An evaluation of gender, obesity, age and diabetes mellitus as risk factors for carpal tunnel syndrome, *Clin. Neurophysiol.* 113 (2002) 1429–1434.

13. Becker Jean Paul. "Ergonomía y Factores Humanos". Prevención de Lesiones Traumáticas Acumulativas. Material recopilado en curso - Compendio de lecturas participantes.
14. Berry, S. L., Susitaival, P., Ahmadi, A., & Schenker, M. B. (2012). Cumulative Trauma Disorders Among California Veterinarians. *American Journal of Industrial Medicine*, 855-861.
15. Bertmaring, I. **(2006)**. Using Termography to Evaluate the Effects to Arm Flexion and Loading on the anterior Deltoid during a Simulated Overhead Task. Thesis for the degree if Master of Science in Industrial and Systems Engineering. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
16. Berz, R. & Sauer, H. **(2007)**. The Medical Use of Infrared-Thermography History and Recent Applications. Thermografic Kolloquiun. Asociación Alemana de Termografía y Regulaciones Médicas.
17. Bland, J.D.; Rudolfer, S.M. Ultrasound imaging of the median nerve as a prognostic factor for carpal tunnel decompression. *Muscle Nerve* **2014**, 49, 741-744.
18. Bodavula V. K. R., Burke F. D., Dubin N. H., Bradley M. J., Wilgis E. F. S., A prospective, longitudinal outcome study of patients with carpal tunnel surgery and the relationship of body mass index, Hand. 2 (2007) 27–33.
19. Boenzi, F., Digiesi, S., Facchini, F., & Mummolo, G. (2016). Ergonomic improvement through job rotations in repetitive manual tasks in case of limited specialization and differentiated ergonomic requirements. *IFAC Papers on Line*, 1667-1672.
20. Bongers F. J. M., Schellevis F. G., van den Bosch W. J. H. M., van der Zee J., Carpal tunnel syndrome in general practice (1987 and 2001): Incidence and the role of occupational and non-occupational factors, Br. J. Gen. Pract. 57 (2007) 36–39.
21. Boz C., Ozmenoglu M., Altunayoglu V., Velioglu S., Alioglu Z., Individual risk factors for carpal tunnel syndrome: An evaluation of body mass index, wrist index and hand anthropometric measurements, Clin. Neurol. Neurosurg. 106 (2004) 294–299.
22. Campillo, Y. D., & De la Vega Bustillos, E. J. (2012). Modelo de Predicción de Desorden de Trauma Acumulado por medio de Termografía. En *Avances de Investigación de Ingeniería en el Estado de Sonora* (págs. 141-147). Hermosillo, Sonora.
23. Castro do Amaral A., Larocca T. S., Nunes P. A., Kaue S. A., Haese Barros W., Sonographic diagnosis of carpal tunnel syndrome: a study in 200 hospital workers, Radiologia Brasileira 2015; 48 (5): 287-291.

24. Chan L., Turner J. A., Comstock B. A., Levenson L. M., Hollingworth W., Heagerty P. J., Kliot M., Jarvik J. G., The Relationship Between Electrodiagnostic Findings and Patient Symptoms and Function in Carpal Tunnel Syndrome, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 88 (2007) 19–24.
25. Chattopadhyay, R., Fan, W., Davidson, I., Panchanathan, S., & Ye, J. (2012). Multisource Domain Adapation and Its Application to Early Detection of Fatigue. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 1-26.
26. Chim, J. M. (2014). The FITS model office ergonomics program: A model for best practice. *IOS Press*, 495-501.
27. Çiraklı A., Ulusoy E. K., Ekinci Y., The Role of Electrophysiological Examination in the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome: Analysis of 2516 Patients, *Nigerian Journal of Clinical Practice*, (2018) 731-734.
28. Cosgrove JL, Chase PM, Mast NU, Reeves R., Carpal tunnel syndrome in railroad workers, *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 2002; 81:101-107.
29. Day C. S., Makhni E. C., Mejia E. Lage D. E., Rozental T. D., Carpal and cubital tunnel syndrome: Who gets surgery?, *Clin. Orthop. Relat. Res.* 468 (2010) 1796–1803.
30. De Grado, J. (1998). Termografía Infrarroja. Una Valiosa Herramienta. *Revista Energía*.
31. de Saboya Lenzi L.G., Fernandes C. H., Myiamoto Meirelles L., Baptista Gomes dos Santos J., Faloppa F., Raduan Neto J., Triggering of Carpal Tunnel Syndrome Symptoms in Patients Using Urban Public Transportation, *Hand.* 11 (2016) 257–261.
32. Diakides, N. & Bronzino, J. (2008). *Medical Infrared Imaging*. Boca Raton: CRC Press, pp:1–13.
33. Dode, P. (Greig, M., Zolfaghari, S., & Neumann, P. W., 2016). Integrating human factors into discrete event simulation: a proactive approach to simultaneously design for system performance and employees' well being. *International Journal of Production Research*, 1-14.
34. Dreischarf, M., Shirazi-Adl, A., Arjmand, N., & Rohlmann, A. (2016). Estimation of loads on human lumbar spine: A review of in vivo computational model studies. *Journal of Biomechanics*, 833-845.
35. Eapen, C., Bhaskaranand, K., & Bhat, A. K. (2010). Prevalence of cumulative trauma disorders in cell phone users. *Journal of Musculoskeletal Research*, 137-145.
36. El-Helaly M., Hannan H. Balkhy , Vallenius L., Carpal Tunnel Syndrome among

Laboratory Technicians in Relation to Personal and Ergonomic Factors at Work, *Journal of Occupational Health*, (2017).

37. English J. H. J., Gwynne-Jones D. P., Incidence of carpal tunnel syndrome requiring surgical decompression: A 10.5-year review of 2,309 patients, *J. Hand Surg. Am.* 40 (2015) 2427–2434.
38. Erdil, M., & Dickerson, B. (1997). *Cumulative Trauma Disorders: Prevention, Evaluation and Treatment*. New York: Van Nostrand Reinhold.
39. Estrada Muñoz, J., Arbeláez Montoya, M. P., & Berrío, V. H. (s.f.). *Sistema de vigilancia epidemiológica para la prevención de los desórdenes acumulativos en la gerencia complejo de Barrancabermeja de Ecopetrol*. Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública, Centro de investigaciones. Colombia.
40. Fakhouri, F., Alsukhn, R. A., Altunbi, B., Hawoot, Z., & Dabbagh, R. (2017). Factors Correlated with Unfavorable Outcome after Carpal Tunnel Release Surgery. *Asian Journal of Neurosurgery*, 12, 670-673.
41. Fonseca, M. B., & Moraga López, A. (2010). Desórdenes del sistema musculoesquelético por trauma acumulativo en estudiantes universitarios de computación e informática. *Ciencia y Tecnología*, 1-18.
42. García, T., Costa, J., Lima, R., Durán-Zuazo, V., Muriel, J., & Chaves, M. (2014). Aplicaciones de la termografía de infrarrojos en la agricultura moderna. *Innovagri*, 1-3.
43. Ghasemi M., Rezaee M., Chavoshi F., Mojtahed M., Koushki E. S., Carpal tunnel syndrome: The role of occupational factors among 906 workers, *Trauma Mon.* 17 (2012) 296–300.
44. Geoghegan, J. M., Clark, D. I., Bainbridge, I. C., Smith, C., & Hubbard, R. (2004). Risk factors in carpal tunnel syndrome. *The journal of hand surgery*, 315-320.
45. Gholipour, A., & Arjmand, N. (2016). Artificial neural networks to predict 3D spinal posture in reaching and lifting activities; Applications in biomechanical models. *Journal of Biomechanics*, 1-7.
46. Giersiepen K., Eberle A., Pohlabein H., Gender differences in carpal tunnel syndrome? occupational and non-occupational risk factors in a population-based case-control study. *Annals of Epidemiology*, 2000; 10(7):481.
47. Goodman, G., Kovach, L., Fisher, A., Elsesser, E., Bobinski, D., & Hansen, J. (2012). Effective interventions for cumulative trauma disorders of the upper extremity in computer users: Practice models based on systematic review. *IOS Press*, 153-172.
48. Gruber, L.H., Gruber, T., Djurdjevic, P., Schullian, A. Loizides, Gender influence on

clinical presentation and high-resolution ultrasound findings in primary carpal tunnel syndrome: do women only differ in incidence?, *J. Med. Ultrason.* 43 (2016) 413–420.

49. Guerrero-Robles, Lozano Trenado, Uscanga Carmona, Ramírez Vilchis, Silva Escobedo, Sánchez Monroy, & González Díaz. (2015). Evaluación de Termografía Tisular Diferenciada en Mama como Potencial Técnica para Asistir la Detección de Cáncer. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 65-75.
50. Haghighat A., Khosrawi S., Kelishadi A., Sajadieh S., Badrian H., Prevalence of clinical findings of carpal tunnel syndrome in Isfahanian dentists, *Advanced Biomedical Research* (2012) 1-4.
51. Hansen T. B., Larsen K., Age Is an Important Predictor of Short-Term Outcome in Endoscopic Carpal Tunnel Release, *J. Hand Surgery-European Vol.* 34E (2009) 660–664.
52. Harada K., Nakashima H., Teramoto K., Nagai T., Hoshino S., Yonemitsu H., Trigger Digits-Associated Carpal Tunnel Syndrome: Relationship Between Carpal Tunnel Release and Trigger Digits, *Hand Surg.* 10 (2005) 205–208.
53. Harris-Adamson C., Eisen E. A., Dale A. M., Evanoff B., Hegmann K. T., Thiese M. S., Kapellusch J. M., Garg A., Burt S., Bao S., Silverstein B., Gerr F., Merlino L., Rempel D., Personal and Workplace psychosocial risk factors for carpal tunnel syndrome: A pooled study cohort, *Occup. Environ. Med.* 70 (2013) 529–537.
54. Hassan, M. M., & Al-Hawary , M. A. (2013). Body Mass Index and Motor Distal Latency as Independent Risk Factors for Recurrent Carpal Tunnel Syndrome Following an Open Release Surgery . *Egypt J Neurol Psychiat Neurosurg.* , 13-17.
55. Herrick, R. T. Thermography in the detection of carpal tunnel. *The Journal of hand surgery* (1987) 943-949.
56. Hess, J. A., Hecker, S., Weistein, M., & Lunger, M. (2004). A participatory ergonomics intervention to reduce risk factors for low-back disorders in concrete laborers. *Applied Ergonomics*, 427-441.
57. Hiebs S., Majhenic K., Vidmar G., Body mass index and anthropometric characteristics of the hand risk factorsfor carpal tuneel syndrome. *Coll Antropol.* 38 (1), (2014) 219-226.
58. Hobby J. L., Venkatesh R.and Motkur P., The effect of age and gender upon symptoms and surgical outcomes in carpal tunnel syndrome, *Journal of Hand Surgery*, 2005 6:599-604.
59. Ibrahim T., Majid I., Clarke M., Kershaw C.J., Outcome of carpal tunnel decompression: The influence of age, gender, and occupation, *Int. Orthop.* 33 (2009)

1305–1309.

60. Iwuagwu O. C., Bajalan A. A., Reese A., Drew P. J., Macromastia and carpal tunnel syndrome - Is there an association?, *British Society for Clinical Neurophysiology* (2007) 237.
61. Jerosch-Herold C., Houghton J., Blake J., Shaikh A., Wilson E. C. F., Shepstone L., Association of psychological distress, quality of life and costs with carpal tunnel syndrome severity: A cross-sectional analysis of the PALMS cohort, *BMJ Open*. 7 (2017) 1–10.
62. Karne S.S., Bhalerao N. S., Carpal tunnel syndrome in hypothyroidism, *J. Clin. Diagnostic Res.* 10 (2016) OC36–OC38.
63. Kim D. K., Kim B. S., Kim M. J., Kim K. H., Park B. K., Kim D. H.. Electrophysiologic and Ultrasonographic Assessment of Carpal Tunnel Syndrome in Wheelchair Basketball Athletes, *Annals of Rehabilitation Medicine* 2017;41(1):58-65.
64. Komurcu H. F., Kilic S., Anlar O., Relationship of Age, Body Mass Index, Wrist and Waist Circumferences to Carpal Tunnel Syndrome Severity, *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. 54 (2014) 395–400.
65. Kouyoumdjian J. A., Morita M. P. A., Roche P. R. F., Miranda R. C., Maciel G., Body Mass Index and Carpal Tunnel Syndrome, *Arq. Neuropsiquiatr.* 58 (2000) 52-256.
66. Kouyoumdjian J. A., Zanetta D. M. T., Morita M. P. A., Evaluation of age, body mass index, and wrist index as risk factors for carpal tunnel syndrome severity, *Muscle and Nerve*. 25 (2002) 93–97.
67. Kurt S., Kisacik B., Kaplan Y., Yildirim B., Etikan I., Karaer H., Obesity and carpal tunnel syndrome: Is there a causal relationship?, *Eur. Neurol.* 59 (2008) 253–257.
68. Kwon B. C., Jung K. I., Baek G. H., Comparison of Sonography and Electrodiagnostic Testing in the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome, *J. Hand Surg. Am.* 33 (2008) 65–71.
69. Landau M.E., Barner K. C., Campbell W. W., Effect of body mass index on ulnar nerve conduction velocity, ulnar neuropathy at the elbow, and carpal tunnel syndrome, *Muscle and Nerve*. 32 (2005) 360–363.
70. Lang, E., Claus, D., Neundörfer, B., & Handwerker, H. O. Parameters of thick and thin nerve-fiber functions as predictors of pain in carpal tunnel syndrome. *Pain* 60(3) (1994) 295-302.

71. Lang, E., Spitzer, A., Claus, D., Neundörfer, B., Pfannmüller, D., & Handwerker, H. O. Function of thick and thin nerve fibers in carpal tunnel syndrome before and after surgical treatment. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine* 18(2) (1995) 207-215.
72. Luring, W., Vedder, J., & Singleton, W. T. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Gestión.
73. Law H. Z., Amirlak B., Cheng J., Sammer D. M., An association between carpal tunnel syndrome and migraine headaches - National health interview survey, 2010, *Plast. Reconstr. Surg. - Glob. Open.* 3 (2015) 1–8.
74. Lowe, W. (1999). Orthopedic massage: a model fo alternative treatment of cumulative trauma disorders. *Official Journal of the American Association of Occupational Health Nurses*, 175-184.
75. Luttmann, A., Jager, M., Griefahn, B., Caffier, G., Liebers, F., & Steinberg, U. (2004). Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo. Francia: Organización Mundial de la Salud.
76. Mansoor S., Siddiqui M., Mateen F., Saadat S., Khan Z. H., Zahid M., Khan H. H., Malik S. A., Assad S., Prevalence of Obesity in Carpal Tunnel Syndrome Patients: A Cross-Sectional Survey, *Cureus.* 9 (2017) 3–9.
77. Marin, M. (2014). *Análisis descriptivo de los patrones térmicos en lesiones músculo-esqueléticas del miembro inferior diagnosticadas en un servicio de urgencias*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
78. Marins, J. C., Fernández-Cuevas, I., Arnaiz-Lastras, J., Fernandes, A., & Silero-Quintana, M. (2015). Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte una revisión. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 805-824.
79. Márquez Gómez, M. (2015). Modelos teóricos de la causalidad de los trastornos musculoesqueléticos. *Ingeniería Industrial, Actualidad y Nuevas Tendencias*, 85-102.
80. Martínez, Y. (8 de Junio de 2016). Registran más de 500 muertes por accidentes de trabajo en BC. *La Crónica*.
81. Mattioli, S.; Baldasseroni, A.; Curti, S.; Cooke, R.M.; Mandes, A.; Zanardi, F.; Farioli, A.; Buiatti, E.; Campo, G.; Violante, F.S. Incidence rates of surgically treated idiopathic carpal tunnel syndrome in blue- and white-collar workers and housewives in tuscany, italy. *Occup Environ Med* **2009**, 66, 299-304.
82. Maxel, X., J. L. Bodnar and L. Stubbe (2014). "Detection of carpal tunnel syndrome by infrared thermography." *Mechanics & Industry* **15**(5): 363-370.

83. McCabe, S.J.; Gupta, A.; Tate, D.E.; Myers, J. Preferred sleep position on the side is associated with carpal tunnel syndrome. *Hand (N Y)* **2011**, *6*, 132-137.
84. McDiarmid, M.; Oliver, M.; Ruser, J.; Gucer, P. Male and female rate differences in carpal tunnel syndrome injuries: Personal attributes or job tasks? *Environ Res* **2000**, *83*, 23-32.
85. Ming, Z., N. Zaproudina, J. Siivola, U. Nousiainen and S. Pietikainen (2005). "Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome." *Pathophysiology* **12**(2): 137-141.
86. Ming, Z., J. Siivola, S. Pietikainen, M. Narhi and O. Hanninen (2007). "Postoperative relieve of abnormal vasoregulation in carpal tunnel syndrome." *Clin Neurol Neurosurg* **109**(5): 413-417.
87. Moghtaderi, A.; Izadi, S.; Sharafadinzadeh, N. An evaluation of gender, body mass index, wrist circumference and wrist ratio as independent risk factors for carpal tunnel syndrome. *Acta Neurol Scand* **2005**, *112*, 375-379.
88. Mohammad, W.S. Work-related risk factors for carpal tunnel syndrome among majmaah university female touchscreen users. *Pak J Med Sci* **2019**, *35*, 1221-1226.
89. Mondelli M., A.I., Ballerini M., Ginanneschi F., Reale F., Romano C., Rossi S. and Padua L. Sex differences in carpal tunnel syndrome: Comparison of surgical and non-surgical populations. *European Journal of Neurology* **2005**, *12*, 976-983.
90. Mondelli, M.; Grippo, A.; Mariani, M.; Baldasseroni, A.; Ansuini, R.; Ballerini, M.; Bandinelli, C.; Graziani, M.; Luongo, F.; Mancini, R., *et al.* Carpal tunnel syndrome and ulnar neuropathy at the elbow in floor cleaners. *Neurophysiol Clin* **2006**, *36*, 245-253.
91. Mondelli, M.; Curti, S.; Mattioli, S.; Aretini, A.; Ginanneschi, F.; Greco, G.; Farioli, A. Associations between body anthropometric measures and severity of carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* **2016**, *97*, 1456-1464.
92. Morales, M. R., Medina Chacón, E., Carnevali Fernández, A., & Orozco Guillén, E. (2011). Termografía infrarroja y el estudio de riesgos de lesiones músculo-esqueléticas. *Ingeniería Industrial*, 55-67.
93. Moschovos C., Tsivgoulis G., Kyrozis A., Ghika A., Karachalia P., Voumvourakis K., Chroni E., The diagnostic accuracy of high-resolution ultrasound in screening for carpal tunnel syndrome and grading its severity is moderated by age, *Clinical Neurophysiology*, 2019, 3-19.
94. Mossa, G., Boenzi, F., Digiesi, S., Mummolo, G., & Romano, V. A. (2016). Productivity and ergonomic risk in human based production systems: A job-rotation scheduling model. *Int. Journal Production Economics*, 471-477.

95. Muggleton, J.M., R. Allen, and P.H. Chappell, *Hand and arm injuries associated with repetitive manual work in industry: a review of disorders, risk factors and preventive measures*. *Ergonomics*, 1999. 42(5): p. 714-39.
96. Muñoz, M. (2016). Termografía para la detección temprana cáncer de mama. *Conacyt Prensa*.
97. Nageeb R.S., Shehta N., Nageeb G.S., Omran A.A., Body mass index and vitamin D level in carpal tunnel syndrome patients, Egypt. *J. Neurol. Psychiatry Neurosurg*. 54 (2018) 14.
98. Nathan P.A., Meadows K.D., Istvan J.A., Predictors of carpal tunnel syndrome: An 11-year study of industrial workers, *J. Hand Surg. Am.* 27 (2002) 644–651.
99. Orlin, J. R., Strandén, E., & Slagsvold, C.-E. Effects of mechanical irritation on the autonomic part of the median nerve. *European Journal of Neurology* (2005) 144-149.
100. Olarte, W., Botero, M., & Cañón Zabaleta, B. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. *Scientia et Technica*, 253-256.
101. Ordoñez, C. A., Gómez, E., & Calvo, A. P. (2016). Desórdenes músculo esqueléticos relacionados con el trabajo. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 24-30.
102. Otto, A., & Scholl, A. (2013). Reducing ergonomic risk by job rotation scheduling. *OR Spectrum*, 711-733.
103. Ozcakir S., Sigirli D., Avsaroglu H., High wrist ratio is a risk factor for carpal tunnel syndrome, *Clinical Anatomy* 31 (2018) 698–701.
104. Palfy, M., & Papež, B. J. (2007). Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome from Thermal Images Using Artificial Neural Networks . *International Symposium on Computer-Based Medical Systems* , 1-6.
105. Papež, B., Jesenšek, Palfy, M., & Turk, Z. (2008). Infrared Thermography Based on. *The Journal of International Medical Research*, 1363 – 1370.
106. Papež, B., Jesenšek, Palfy, M., Mertik, M., & Turk, Z. Infrared thermography based on artificial intelligence as a screening method for carpal tunnel syndrome diagnosis. *The Journal of International Medical Research*, (2009) 779 – 790.
107. Park, D., Seung, N. H., Kim, J., Jeong, H., & Lee, S. (2008). Infrared thermography in the diagnosis of unilateral carpal tunnel syndrome. *American Association of Neuromuscular & Electrodiagnostic Medicine*, 47.
108. Pavlovic-Veselinovic, S., Hedge, A., & Veselinovic, M. (2016). An ergonomic expert system for risk assesment of work-related musculo-skeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 130-139.

109. Pichot Y., (2001). Aplicación de la termografía en el dolor lumbar crónico. *Sociedad Española del Dolor*, 1-6.
110. Pinto, F. A. (2014). Anthropometric Thermal Assessment Method for Early Injuries in Athletes. Universidad Do Porto. Porto, Portugal.
111. Porter Medina José David. "Aplicación de la Ergonomía industrial a los Sistemas de Manufactura y análisis de su impacto en la productividad ". Maestro en ciencias, especialidad en Sistemas de Manufactura. ITESM. Campus Monterrey.
112. Porter P., Venkateswaran B., Stephenson H., Wray C.C., The influence of age on outcome after operation for the carpal tunnel syndrome, *The Journal of Bone & Joint Surgery* (2002) 688-691.
113. Prado, L., Ávila, R., Aceves, C., & González, E. (s.f.). *Trabajo con computadoras. Recomendaciones para la salud, comodidad y productividad*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
114. Putz, V. (1988). Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs, Taylor & Francis
115. Ramírez-Arbeláez, L., Jiménez-Díaz, K., Correa-Castañeda, A., Giraldo-Restrepo, J., & Fandiño-Toro, H. (2015). Protocolo de adquisición de imágenes diagnósticas por termografía infrarroja. *Medicina & Laboratorio*, 161-162.
116. Reilly, P., Clark, A. K., & Ring, E. F. Thermography in carpal tunnel syndrome (CTS). *British Journal of Rheumatology*, (1989) 553-554.
117. Revillas, S. M., & Center, I. T. (2011). Guía de la termografía infrarroja: Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética. *Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. Móstoles, Madrid, España*.
118. Roh Y.H., Chung M.S., Baek G.H., Lee Y.H., Rhee S.H., Gong H.S., Incidence of clinically diagnosed and surgically treated carpal tunnel syndrome in Korea, *J. Hand Surg. Am.* 35 (2010) 1410–1417.
119. Roquelaure, Y., Ha, C., Fouquet, N., Descath, A., Leclerc, A., Goldberg, M., & Imbernon, E. (2009). Attributable risk of carpal tunnel syndrome in the general population implications for intervention programs in the workplace. *Scand J Work Environ Health*, 342-348.
120. Rosecrance J.C., Cook T.M., Anton D.C., Merlino L.A., Carpal tunnel syndrome among apprentice construction workers, *Am. J. Ind. Med.* 42 (2002) 107–116.
121. Rosecrance, J. C., Cook, T. M., & Zimmermann, C. L. (1994). Active Surveillance for the Control of Cumulative Trauma Disorders: A working Model in

- the Newspaper Industry. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 267-276.
122. Salgado Benítez, J. (2002). *Higiene y Seguridad Industrial*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
 123. Sánchez, Gonzalo. www.fisioterapia-online.com/articulos/neuralgia-del-nervio-cubital-tratamiento-recomendado
 124. Sanz, A., Vicente, M., Barneto, A. & Sánchez J. (2008). Diagnóstico de Fibrosarcoma Felino por Imagen Termográfica. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*.
 125. Sassi S.A. and G. Giddins G., Gender differences in carpal tunnel relative cross-sectional area: a possible causative factor in idiopathic carpal tunnel syndrome, *The Journal of Hand Surgery* (2016) 2-5.
 126. Sharifi-Mollayousef, A., Yazdchi-Marand, M., Ayramlou, H., Heidar, P., Salavati, A., Zarrintan, S., & Sharifi-Mollayousefi, A. (2008). Assessment of body mass index and hand anthropométrie measurements as independent risk factors for carpal tunnel syndrome. *Folia Morphol.* , 36-42.
 127. Shiri, R., Heliövaara, M., Moilanen, L., Viikari, J., Liira, H., & Viikari-Juntura, E. (2011). Associations of cardiovascular risk factors, carotid intima-media thickness and manifest atherosclerotic vascular disease with carpal tunnel syndrome . *BMC Musculoskeletal Disorders* , 1-12.
 128. Solmaz V., Yavuz S., İnanır A., Aksoy D., Pektaş E., Tektaş A. and Kurtç S.G., Investigation of Nerve Conduction Studies of Carpal Tunnel Syndrome Cases With Different Risk Factors: An Electrodiagnostic, *Journal of Clinical Neurophysiology* (2017) 139-143.
 129. Sonne, M. W., & Potvin, J. R. (2015). A modified version of the three-compartment model to predict fatigue during submaximal tasks with complex force-time histories. *Ergonomics*, 1-14.
 130. Sousa Vasconcelos J.T., Freitas Paiva A.M., Cavalcanti M.F., De Carvalho J.F., Bonfá E., Borba E.F., Carpal tunnel syndrome and prediabetes: Is there a true association?, *Clin. Neurol. Neurosurg.* 137 (2015) 57–61.
 131. Stambolian, D., Eltoukhy, M., & Asfour, S. (2016). Development and validation of a three dimensional dynamic biomechanical lifting model for lower back evaluation for careful box placement. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10-18.
 132. Szyluk K., Koczy B., Jasinski A., Widuchowski J., Widuchowski W.,

Evaluation of results of single portal endoscopic carpal tunnel release, *Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja* (2006) 323-328.

133. Tang, Q. Y., Lai, W. H., & Tay, S. C. (2017). The Effect of Hand Dominance on Patient-Reported Outcomes of Carpal Tunnel Release in Patients with Bilateral Carpal Tunnel Syndrome. *The Journal of Hand Surgery (Asian-Pacific Volume)* , 304-308.
134. Tchou S., Costich, J., Burgess, R. C., KY, L., Wexler, C. E., & Calif, T. Thermographic observations in unilateral carpal. *The Journal of hand surgery*, (1992) 631-637.
135. Thiese, M. S., Merryweather, A., Koric, A., Ott, U., Wood, E. M., Kapellusch, J., The wistah study team . (2017). Association between wrist ratio and carpal tunnel syndrome: effect modification by body mass index . *Muscle & nerve*, 1047-1053.
136. Tkáčová, M., Foffová , P., Hudák , R., Švehlík , J., & Živčák , J. (2010). Medical Thermography Application in Neuro- Vascular Deseases Diagnostics . *International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics* , 293-296.
137. Ünaldı, H. K., Kurt, S., Çevik, B., Mumcuoğlu, İ., & Sümbül , O. (2015). The Relationship Between Waist Circumference, Wrist Circumference, and Body Mass Index in Carpal Tunnel Syndrome. *Journal o f Turgut Ozal Medical Center* , 152-157.
138. Vargas, J. I. (2017). PROPUESTA PARA LA PREVENCIÓN DEL SÍNDROME TÚNEL DEL CARPO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA. *Trabajo de grado para optar al título de*, 1-94.
139. Vargas, R. (2016). Más de medio millón de accidentes del trabajo. *Frecuencia Laboral*.
140. Varona, M. E., Torres, C. H., Díaz, S. M., Palma, R. M., Milena Checa, D., & Conde, J. V. (2012). Estado de la oferta técnica de servicios de higiene y seguridad industrial, Colombia 2010. *Biomédica*, 60-70.
141. Violante, Armstrong, T., & Kilbom, A. (2000). Occupational ergonomics: Work related musculoskeletal disorders of the upper limb and back. *Taylor and Francis*.
142. Wilgis E.F.S., Burke F.D., Dubin N.H., S. Sinha S.and Bradley M.J., A prospective assessment of Carpal tunnel surgery with respect to age, *The Journal of hand surgery*, (2006) 401-406.
143. Wolf J.M., Mountcastle S., Owens B.D., Incidence of carpal tunnel syndrome in the US military population, *Hand*. 4 (2009) 289–293.

144. Yuan, L., Buchholz, B., Punnett, L. & Kriebel, D. (2016). An integrated biomechanical modeling approach to the ergonomic evaluation of drywall installation. *Applied Ergonomics*, 52-63.
145. Zambelis T., Tsivgoulis G., Karandreas N., Carpal tunnel syndrome: Associations between risk factors and laterality, *Eur. Neurol.* 63 (2010) 43–47.
146. Zhang D., Collins J.E., Earp B.E., Blazar P., Surgical Demographics of Carpal Tunnel Syndrome and Cubital Tunnel Syndrome Over 5 Years at a Single Institution, *J. Hand Surg. Am.* 42 (2017) 929.e1–929.e8.
147. Živčák, J., Madarász, L., & Hudák, R. (2011). Application of Medical Thermography In The Diagnostics Of Carpal Tunnel Syndrome . *International Symposium on Computational Intelligence and Informatics* , 535-539.
148. <https://www.croem.es/prevergo/cd.html>
149. <http://www.fluke.com/fluke/eses/soluciones/mantenimiento-de-planta/mantenimiento-predictivo/termograf%C3%ADa>
150. <https://www.insst.es/documents/94886/518407/Lumbalgia.pdf/c9dcbeb8-22ee-400c-98f4-892849ed142f#:~:text=Lumbalgia%20aguda%20o%20cr%C3%B3nica,contractura%20es%20de%20etiolog%C3%ADa%20multicausal.>
151. <https://www.insst.es/documents/94886/518407/Sindrome Tension Cervical.pdf/33d88a96-683e-468c-8c05-386958a5f05f#:~:text=Definici%C3%B3n%3A,m%C3%BAsculo%20o%20a%20un%20grupo%20muscular.>
152. https://www.medigraphic.com/medicospostgraduadosimss/capitulos/Cap_MedTra/MT-act-16.htm
153. <https://ovacen.com/uso-y-aplicaciones-de-la-termografia/>
154. http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3675/Riesgo_Anyaipo_maTito_Yannet.pdf?sequence=1&isAllowed=y
155. <https://salud.ccm.net/faq/15507-periartritis-escapulo-humeral-definicion>
156. <https://salud.ccm.net/faq/9309-mialgias-sintomas>

