



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



**MODELOS DE PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS
MÁXIMAS EN EL ÁREA DE LA MUÑECA A
TRAVÉS DE TERMOGRAFÍA SENSORIAL**

TESIS

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

DOCTORA EN CIENCIAS

PRESENTA:

CLAUDIA CAMARGO WILSON

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ENRIQUE JAVIER DE LA VEGA BUSTILLOS

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, 31 DE ENERO DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

MODELOS DE PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS MÁXIMAS EN EL ÁREA DE LA MUÑECA A TRAVÉS DE TERMOGRAFÍA SENSORIAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS PRESENTA:

CLAUDIA CAMARGO WILSON

Y aprobada por el siguiente comité:



Dr. Enrique Javier de la Vega Bustillos

Director del comité



Dr. Jaime Sánchez Leal

Miembro del comité



Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Miembro del comité



Dr. Rafael García Martínez

Miembro del comité



Dra. Blanca Rosa García Rivera

Miembro del comité

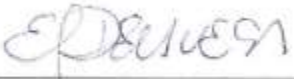
Enero de 2013

RESUMEN

Resumen de la tesis de **CLAUDIA CAMARGO WILSON**, presentada como requisito parcial para obtener el grado DOCTORA EN CIENCIAS en INGENIERÍA INDUSTRIAL, del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México a 11 de Enero de 2013.

MODELOS DE PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS MÁXIMAS EN EL ÁREA DE LA MUÑECA A TRAVÉS DE TERMOGRAFÍA SENSORIAL

Resumen aprobado por:



Dr. Enrique Javier de la Vega Bustillos
Director del comité

En esta investigación se analizan las temperaturas de los sujetos de estudio sólo en el área de la muñeca durante la ejecución de Movimientos Altamente Repetitivos (MAR) en diversas actividades en estaciones de trabajo de la industria maquiladora, ello a través de la termografía sensorial, y analizando las actividades operativas de las estaciones de trabajo que hayan presentado Desórdenes de Trauma Acumulado (DTA's) en el área de la muñeca, siendo el Síndrome del Túnel del Carpo (STC) el más recurrente. Esta investigación se realiza en dos fases: la primera, es la fase de experimentación o pruebas emuladas, esto es, la emulación de la actividad desarrollada en la industria en la que ya se han detectado incapacidades por el STC, en esta fase se hicieron pruebas intermitentes y pruebas continuas, las pruebas intermitentes

consistían en que a cada sujeto de estudio se le hicieron 4 pruebas en el día lunes y las pruebas continuas consistían en que a cada sujeto de estudio se le hicieron 4 pruebas del día lunes al día jueves; en las pruebas emuladas se analizó a 3 mujeres y a 6 hombres; la segunda, es la fase final, de validación en la industria en la que se tomo una sola medición por sujeto de estudio, analizando a 15 mujeres y a 7 hombres, en donde se tuvo como objetivo de medición las temperaturas de los sujetos a través del uso del termógrafo digital Sköll de 7 sensores colocado específicamente en el área de la muñeca. Los resultados obtenidos para estas dos fases son los siguientes, para las pruebas emuladas se obtuvieron temperaturas máximas de 34.16°C a las 2 h 6 min en hombres y de 34.565°C en 55 min en mujeres. Y para las pruebas de validación se obtuvieron temperaturas máximas de 35.848°C a los 38 min en hombres y de 35.512°C a los 28 min en mujeres. Las cuales rebasan el cambio de los 2° C lo cual podría llevarnos a información acerca de la fatiga de la(s) extremidad(es).

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran cómo la variable de temperatura a medida que transcurre el tiempo de la actividad sufre incrementos y decrementos, con lo que marcan una tendencia en su comportamiento, lo cual hace posible predicciones. Por ello, se analizaron los datos de manera experimental para lograr formular modelos que representen el comportamiento de las temperaturas recolectadas, y poder predecir el comportamiento de las temperaturas de las muñecas en áreas de trabajo con MAR similares. Además, se analizaron las tendencias de las temperaturas durante 2 h 30 min, y así poder detectar los patrones de temperatura en todos los casos y sus similitudes.

Palabras clave: Temperatura, Termografía, DTA's, MAR, STC.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos para la Universidad Autónoma de Baja California, al personal directivo, administrativo y académico de la FIAD, por el apoyo que me brindaron para lograr este objetivo de desarrollo personal. Agradezco especialmente al Dr. Óscar Roberto López Bonilla quién diseño y elaboró los termógrafos sensoriales digitales utilizados en esta tesis

Asimismo, mis agradecimientos para el Sistema de Institutos Tecnológicos, en especial al Instituto Tecnológico de Hermosillo y Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, por el apoyo que nos brindaron al permitir a algunos de los integrantes del claustro doctoral para trasladarse estos 5 años a UABC, para lograr este objetivo de desarrollo personal.

Agradezco muy especialmente a mi director de tesis el Dr. Enrique Javier de la Vega Bustillos por el apoyo y la confianza recibida durante mi formación doctoral y el desarrollo de esta tesis. También, quiero agradecer al claustro doctoral: Dr. Jaime Sánchez Leal, Dr. Rafael García Martínez, Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina y a la Dra. Blanca Rosa García Rivera por sus valiosas aportaciones que enriquecieron el contenido de esta tesis.

Además, agradezco el apoyo brindado por parte del personal de las distintas empresas donde me permitieron realizar las pruebas de validación y demás experimentos de esta tesis.

Finalmente, agradezco a todos los alumnos que colaboraron de distintas formas en esta tesis: Javier Ordorica, Ramón López, Flor Osorio, Manuel Navarro, David Gaspar, Vilma Martínez, Lourdes Gutierrez, Lluvia Meza, Nubia Torres, Roberto Cruz, José González, Emmanuel Salido, Mayte Monarrez, Mitzy Pory, Arely Murillo, Alejandra Hernández y Yomara Campillo por su ayuda y soporte sobretodo al realizar las pruebas emuladas y de validación de esta tesis.

DEDICATORIA

Una dedicatoria muy especial a:

- mi *Dios* por todo lo brindado, sobretodo por darme la vida, el tiempo y las energías que necesito para alcanzar mis metas tanto profesionales como personales y darme su valiosa guía y amor.
- mi amado *esposo*, compañero y amigo *Jesús Everardo Olguín Tiznado* por su constante apoyo, ejemplo y amor.
- mis queridos *padres Arnoldo Camargo Álvarez y María E. Wilson Aragón* quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento.
- mis *hermanos Marcela y Arnoldo*, mis *sobrinas Michelle, Marian y Yoselin* y mi *prima María Gpe.* porque fueron una fuente de motivación para terminar este proceso.
- mis *amigas* por brindarme su amistad, por darme buenos consejos y sus palabras de aliento que me han ayudado a seguir adelante, en especial a *Socorro Cruz, Blanca Rosa García, Rosa Martha López y Liliana Cardoza.*

TABLA DE CONTENIDO

ACTA	1
RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 La Industria Maquiladora en México	2
1.2 Definición de Desorden de Trauma Acumulado	6
1.3 Estadísticas sobre los DTA'S en México	6
1.4 Interacción entre los DTA'S y la Termografía	9
1.5 Interacción entre Flujo Sanguíneo y Temperatura.....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2.1 Definición del Problema.....	11
2.2 Preguntas de Investigación	13
2.3 Hipótesis	14
2. 4 Objetivos	14
2.4.1 Objetivo General.....	14
2.4.2 Objetivos Específicos	14
2.5 Justificación	15
2.6 Delimitaciones de la Investigación.	16
2.7 Organización de la Tesis.....	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1 Termografía	18
3.2 Desórdenes de Trauma Acumulado.....	42
3.2.1 Síndrome del Túnel del Carpo.....	42
3.3Sistemas de Medición	55
3.3.1 Precisión y Exactitud	55
3.3.2 Repetibilidad y Reproducibilidad.....	57
3.3.3 Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad	58
3.3.4 Estudio Largo con Análisis de Medias y Rangos	59
3.4 Ajuste Polinomial	61
3.5 Prueba de Normalidad Anderson-Darling	61

3.6 Distribución Weibull	62
4. MATERIALES Y MÉTODOS	63
4.1 Pruebas	63
4.1.1 Pruebas Emuladas	63
4.1.2 Pruebas de Validación en la Industria.	64
4.1.3 Equipo de Captura y Análisis de Datos	65
4.1.4 Protocolo.....	65
4.1.4.1 Protocolo de las Pruebas Emuladas	65
4.1.4.2 Protocolo de las Pruebas de Validación en la Industria.....	67
4.1.5 Sujetos de Estudio.....	68
4.1.5.1 Sujetos de Estudio de las Pruebas Emuladas	68
4.1.5.2 Sujetos de Estudio de las Pruebas de Validación en la Industria	68
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	71
5.1. El Termógrafo Digital Sköll	71
5.1.1 Calibración del Termógrafo Digital Sköll	71
5.1.1.1 Simulación del Horno	72
5.1.1.2 Constantes de Calibración	73
5.1.2 Validación del Sistema de Medición	76
5.1.2.1 Estudio Repetitividad y Reproducibilidad.....	76
5.1.2.2 Prueba T-Pareada entre el Termógrafo Digital Sköll y la Cámara Termográfica	77
5.2 Pruebas Emuladas	78
5.2.1 Pruebas Emuladas Intermitentes.....	78
5.2.1.1 Individuo 1	78
5.2.1.1.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva	78
5.2.1.1.2 Pruebas de Normalidad.....	80
5.2.1.1.3 Ajustes de Distribución.....	82
5.2.1.2. Resumen de Temperaturas Máximas de los Hombres en las Pruebas Intermitentes.....	85
5.2.1.3 Individuo 4.....	86
5.2.1.3.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva.	86
5.2.1.3.2 Prueba de Normalidad	88
5.2.1.3.3 Ajustes de Distribución.....	89
5.2.1.4. Resumen de Temperaturas Máximas de las Mujeres en las Pruebas Intermitentes.....	93
5.2.2 Pruebas Emuladas Continuas.....	94
5.2.2.1 Individuo 7.....	95
5.2.2.1.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva	95
5.2.2.1.2 Prueba de Normalidad	97
5.2.2.1.3 Ajustes de Distribución.....	98
5.2.2.2. Resumen de Temperaturas Máximas de los hombres en las Pruebas Continuas	101
5.3 Pruebas de Validación en la Industria	102
5.3.1 Individuo H1-David Bernal	102

5.3.1.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva	103
5.3.1.2 Pruebas de Normalidad.....	105
5.3.1.3 Ajustes de Distribución.....	106
5.3.2 Resumen de Temperaturas Máximas de los Hombres en la Validación	107
5.3.3 Individuo M1-Karla Ahumada	108
5.3.3.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva	108
5.3.3.2 Pruebas de Normalidad.....	110
5.3.3.3 Ajustes de Distribución.....	112
5.3.4 Resumen de Temperaturas Máximas de las Mujeres en la Validación	112
5.3.5 Modelos de Regresión Propuestos.....	114
5.3.5.1 Análisis de Temperaturas Máximas.....	117
5.3.5.1.1 Análisis Experimental Completo de 2h 30 min de Trabajo.....	118
5.3.5.1.1.1 Experimento A (Hombre-Izquierdo-Con fractura).....	118
5.3.5.1.1.2 Experimento B (Hombre-Derecho- Con Fractura).....	120
5.3.5.1.1.3 Experimento C (Hombre-Izquierdo- Sin fractura)	122
5.3.5.1.1.4 Experimento D (Hombre- Derecho- Sin fractura).....	124
5.3.5.1.1.5 Experimento E (Mujer- Izquierda-Con fractura).....	127
5.3.5.1.1.6 Experimento F (Mujer- Derecha- Con fractura).....	129
5.3.5.1.1.7 Experimento G (Mujer- Izquierdo- Sin fractura).....	132
5.3.5.1.1.8 Experimento H (Mujer- Derecha- Sin fractura).....	134
5.3.5.1.2 Análisis Experimental de 60 min y de 30 min de Trabajo	136
5.3.5.1.2.1 Experimento Y60a (Todas las Muestras de 60 Minutos) ..	137
5.3.5.1.2.2 Experimento Y60b (Todas las Muestras de 60 Minutos) ..	138
5.3.5.1.2.3 Experimento Y30a (Todas las Muestras de 30 Minutos) ..	140
5.3.5.1.2.4 Experimento Y30b (Todas las Muestras de 30 Minutos) ...	141
5.3.5.1.3 Análisis Experimental Completo de 30 min de Trabajo.....	142
5.3.5.1.3.1 Experimento A30a (Hombre- Izquierdo- Con fractura de 30 Minutos).....	143
5.3.5.1.3.2 Experimento A30b (Hombre- Izquierdo-Con fractura de 30 minutos).....	144
5.3.5.1.3.3 Experimento B30a (Hombre- Derecha- Con fractura de 30 minutos).....	145
5.3.5.1.3.4 Experimento B30b (Hombre- Derecha- Con fractura de 30 minutos).....	147
5.3.5.1.3.5 Experimento C30 (Hombre- Izquierdo- Sin fractura de 30 minutos).....	148
5.3.5.1.3.6 Experimento D30a (Hombre-Derecha- Sin fractura de 30 minutos).....	149
5.3.5.1.3.7 Experimento D30b (Hombre-Derecha- Sin fractura de 30 minutos).....	150
5.3.5.1.3.8 Experimento E30a (Mujer-Izquierda- Con fractura de 30 minutos).....	151
5.3.5.1.3.9 Experimento E30b (Mujer-Izquierda- Con fractura de 30 minutos).....	152
5.3.5.1.3.10 Experimento F30 (Mujer- Derecha- Con fractura de 30 minutos).....	153

5.3.5.1.3.11 Experimento G30a (Mujer- Izquierda- Sin fractura de 30 minutos)	154
5.3.5.1.3.12 Experimento G30b (Mujer- Izquierda- Sin fractura de 30 minutos)	156
5.3.5.1.3.13 Experimento H30a (Mujer- Derecha- Sin fractura de 30 minutos)	157
5.3.5.1.3.14 Experimento H30b (Mujer- Derecha- Sin fractura de 30 minutos)	158
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
6.1 Conclusiones.....	160
6.2 Recomendaciones	164
7. REFERENCIAS	165
APÉNDICE	170

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Personal Empleado en los Estados Fronterizos.	3
Tabla 2. Datos de Enfermedades de Trabajo.	7
Tabla 3. Datos Acerca de Enfermedades Probables de Trabajo 2007	8
Tabla 4. Características Antropométricas de los Sujetos de las Pruebas Emuladas	68
Tabla 5. Características Antropométricas de los Operarios	69
Tabla 6. Observaciones de Sujetos de las Pruebas de Validación.	70
Tabla 7. Temperaturas y Lecturas Codificadas de Temperaturas	74
Tabla 8. Lecturas de Temperaturas Codificadas	75
Tabla 9. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 1 Mano Izquierda. Prueba 1	82
Tabla 10. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 1 Mano Derecha. Prueba 1	83
Tabla 11. Resumen de Resultados de Individuo 1, Hombre	85
Tabla 12. Resumen de Resultados de Individuo 2, Hombre.	85
Tabla 13. Resumen de Resultados de Individuo 3, Hombre.	86
Tabla 14. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 4 Mano Izquierda. Prueba 1	90
Tabla 15. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 4 Mano Derecha. Prueba 1	91
Tabla 16. Resumen de Resultados de Individuo 4, Mujer	93
Tabla 17. Resumen de Resultados de Individuo 5, Mujer	94
Tabla 18. Resumen de Resultados de Individuo 6, Mujer	94
Tabla 19. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 7 Mano Derecha. Prueba 1.	99
Tabla 20. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 7 Mano Izquierda. Prueba 1	100
Tabla 21. Resumen de Resultados de Individuo 7, Hombre.	101
Tabla 22. Resumen de Resultados de Individuo 8, Hombre.	102
Tabla 23. Resumen de Resultados de Individuo 9, Hombre.	102
Tabla 24. Distribuciones de Probabilidad Individuo H1, Mano Derecha	106
Tabla 25. Resumen de Temperaturas Máximas en los Hombres en la Validación	107

Tabla 26. Distribuciones de Probabilidad Individuo1, Mano Izquierda, Prueba 1	112
Tabla 27. Resumen de Temperaturas Máximas en los Mujeres en la Validación	113
Tabla 28. Resumen de Factores Significativos	114
Tabla 29. ANOVA para la Tmax	115
Tabla 30. ANOVA para la Tmax-Tini	116
Tabla 31. ANOVA para el Tpo (Tmax-Tini)	116
Tabla 32. Diseño Particularizando por la Caracterización	117
Tabla 33. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A	118
Tabla 34. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A en Unidades Codificadas	119
Tabla 35. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento	121
Tabla 36. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B en Unidades Codificadas	121
Tabla 37. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C	122
Tabla 38. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C en Unidades Codificadas	123
Tabla 39. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D	124
Tabla 40. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D en Unidades Codificadas	125
Tabla 41. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E	127
Tabla 42. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E en Unidades Codificadas	128
Tabla 43. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F	130
Tabla 44. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F en Unidades Codificadas	130
Tabla 45. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G	132
Tabla 46. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G en Unidades Codificadas	133
Tabla 47. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H	135
Tabla 48. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H en Unidades Codificadas	135
Tabla 49. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60a	137
Tabla 50. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60a en Unidades Codificadas ..	138
Tabla 51. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60b	139

Tabla 52. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60b en Unidades Codificadas..	139
Tabla 53. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30a.....	140
Tabla 54. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30a en Unidades Codificadas ..	141
Tabla 55. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30b.....	141
Tabla 56. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30b en Unidades Codificadas..	142
Tabla 57. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30a.....	143
Tabla 58. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30a en Unidades Codificadas ..	144
Tabla 59. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30b.....	145
Tabla 60. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30b en Unidades Codificadas ..	145
Tabla 61. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30a	146
Tabla 62. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30a en Unidades Codificadas ..	146
Tabla 63. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30b.....	147
Tabla 64. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30b en Unidades Codificadas ..	147
Tabla 65. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C30.....	148
Tabla 66. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C30 en Unidades Codificadas	148
Tabla 67. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30a.....	149
Tabla 68. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30a en Unidades Codificadas ..	150
Tabla 69. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30b.....	150
Tabla 70. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30b en Unidades Codificadas..	151
Tabla 71. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30a	151
Tabla 72. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30a en Unidades Codificadas ..	152
Tabla 73. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30b	153
Tabla 74. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30b en Unidades Codificadas ..	153
Tabla 75. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F30	154
Tabla 76. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F30 en Unidades Codificadas	154
Tabla 77. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30a.....	155

Tabla 78. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30a en Unidades Codificadas ..	155
Tabla 79. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30b.....	156
Tabla 80 Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30b en Unidades Codificada ..	1577
Tabla 81. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30a.....	157
Tabla 82. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30a en Unidades Codificadas ..	158
Tabla 83. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30b.....	159
Tabla 84. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30b en Unidades Codificadas..	159

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Información sobre Riesgos de Trabajo	4
Figura 2. Incapacidades Registradas del 2000 al 2007.	5
Figura 3. Precisión y Exactitud.....	56
Figura 4. Ajuste a una Curva de Tercer Orden Mediante la Opción Trendline	74
Figura 5. Individuo 1. Prueba 1. Mano Derecha. Ajuste de Curva	80
Figura 6. Individuo 1. Prueba 1. Mano Izquierda. Ajuste de Curva	80
Figura 7. Individuo 1. Prueba 1. Mano Derecha. Prueba de Normalidad	81
Figura 8. Individuo 1. Prueba 1. Mano Izquierda. Prueba de Normalidad	81
Figura 9. Mejores Ajustes de Distribuciones. Individuo1 Mano Izquierda	83
Figura 10. Mejores Distribuciones. Individuo 1	84
Figura 11. Individuo 4. Prueba 1. Mano Izquierda. Ajuste de Curva.	87
Figura 12. Individuo 4. Prueba 1. Mano Derecha. Ajuste de Curva	88
Figura 13. Individuo 4. Prueba 1. Mano Izquierda. Prueba de Normalidad	89
Figura 14. Individuo 4. Prueba 1. Mano Derecha. Prueba de Normalidad	89
Figura 15. Mejores Distribuciones. Individuo 4 Mano Izquierda.....	91
Figura 16. Mejores Distribuciones. Individuo 4 Mano Derecha.....	93
Figura 17. Individuo 7. Prueba 1 Mano Derecha. Ajuste de Curva	96
Figura 18. Individuo 7. Prueba 1 Mano Izquierda. Ajuste de Curva	96
Figura 19. Individuo 7. Prueba 1 Mano Derecha. Prueba de Normalidad	97
Figura 20. Individuo 7. Prueba 1 Mano Izquierda. Prueba de Normalidad	98
Figura 21. Mejores Distribuciones. Individuo 7 Mano Derecha.....	99
Figura 22. Mejores Distribuciones. Individuo 8	101
Figura 23. Individuo H1. Mano Derecha. Ajuste de Curva	104
Figura 24. Individuo H1. Mano Izquierda. Ajuste de Curva	104

Figura 25. Individuo H1. Mano Derecha. Prueba de Normalidad	105
Figura 26. Individuo H1. Mano Izquierda. Prueba de Normalidad	105
Figura 27. Mejores Distribuciones Individuo H1	106
Figura 28. Individuo M1. Mano Derecha Ajuste de Curva.....	109
Figura 29. Individuo M1. Prueba Izquierda. Ajuste de Curva	110
Figura 30. Individuo M1. Mano Derecha. Prueba de Normalidad.....	111
Figura 31. Individuo M1. Mano Izquierda. Prueba de Normalidad.....	111
Figura 32. Superficie de Respuesta del Experimento A	120
Figura 33. Superficie de Respuesta del Experimento B.....	122
Figura 34. Superficie de Respuesta del Experimento C.....	124
Figura 35. Superficie de Respuesta del Experimento D	126
Figura 36. Superficie de Respuesta del Experimento E.....	129
Figura 37. Superficie de Respuesta del Experimento F.....	131
Figura 38. Superficie de Respuesta del Experimento G	134
Figura 39. Superficie de Respuesta del Experimento H	136

1. INTRODUCCIÓN

Entre los principales objetivos de la ingeniería industrial se encuentra el optimizar las variables de respuesta o características de calidad de los procesos productivos, para los cuales, esta optimización representa una condición necesaria para incrementar su productividad. Esto a su vez trae como consecuencia un mejoramiento en las condiciones de vida para la sociedad (Konz, 1992). Para lograr lo anterior, y basándose en el lema de la Sociedad de Ergonomistas de México A.C. (SEMAC, 2009), el cual dice lo siguiente “Trabajo para Optimizar el Trabajo”, donde la primer palabra “Trabajo” debe leerse como verbo y sustantivo: como verbo en primer persona del singular: "yo trabajo" para mejorar el trabajo y a su vez como sustantivo haciendo ver que el conjunto de nuestros esfuerzos es: "trabajo" que mejora el trabajo; es un lema que: no tan sólo se escribe sino también se vive plenamente. Y es de ahí, que se tiene la necesidad de proteger a los trabajadores contra las causas de enfermedades profesionales y accidentes de trabajo, la cual es una cuestión indudable.

Toda fuente de trabajo debe realizar actividades tendientes a la prevención de riesgos laborales con las consecuentes ventajas de la producción y la productividad, alcanzando así un mayor bienestar social, que se refleja en la economía de toda empresa. El planteamiento ergonómico consiste en diseñar los productos y los trabajos de manera que éstos puedan adaptarse a las personas y no al contrario. La lógica que utiliza la ergonomía se basa en el principio de que las personas son más importantes que los objetos o que los procesos productivos; por lo tanto, en aquellos casos en los que se plantee cualquier tipo de conflicto de intereses entre personas y cosas, deben prevalecer los de las personas.

Los principios ergonómicos se fundamentan en que el diseño de productos o de trabajos debe enfocarse a partir del conocimiento de las capacidades y habilidades, así como las limitaciones de las personas, diseñando los elementos que estos utilizan teniendo en cuenta estas características (Tortosa et al, 1999). Para llevar a cabo un buen diseño del puesto de trabajo es imprescindible determinar los espacios necesarios para desarrollar la actividad requerida; en segundo lugar, se necesita conocer la postura adoptada que junto con la repetición de movimiento y la fuerza necesaria para ejecutar las tareas, nos indicará cuál es el puesto con el menor riesgo de lesiones. Bajo este contexto, la Ergonomía ha encontrado en la Biomecánica un importante apoyo, ya que las mediciones objetivas determinan eficientemente si el puesto de trabajo, o el trabajo realizado por un sujeto es seguro o puede causar lesión. Además, la información permitirá disponer de unos criterios de referencia que pueden ser de utilidad en el diseño del puesto así como justificar si estos puestos pueden ser desempeñados sin riesgo por aquellos trabajadores que, por cualquier circunstancia, se encuentran limitados en sus capacidades físicas, ya sea de forma temporal o permanente, ya que introducen un nuevo concepto “Biomecánica” (Tortosa et al, 1999). Este estudio, tiene el objetivo de desarrollar modelos de predicción de temperaturas a través de la Termografía sensorial sobre los movimientos que se realizan repetitivamente con la muñeca en áreas de trabajo de la industria maquiladora, lo que genera el planteamiento del problema que se define en el siguiente capítulo.

1.1 La Industria Maquiladora en México

Actualmente, el estar en un nivel de alta competitividad laboral, se ha convertido en un tema de gran preocupación para los empresarios de México; éste es un país que ha demostrado, por sus propios méritos, que puede desarrollar productos de alta calidad y garantía que se exporten a todo el mundo. Por tal motivo, México forma parte activa del Tratado de Libre

Comercio firmado con Estados Unidos y Canadá. Por lo que el analizar algunas de sus principales actividades económicas es primordial. Todos los giros laborales en México aportan un porcentaje de crecimiento importante al Producto Interno Bruto (PIB), como lo es el caso de la industria de la manufactura. La industria maquiladora de exportación emplea a un amplio número de personas en México. Tan sólo en los estados fronterizos del país del 2005 al 2006, empleo a 12'051,334 personas para el desempeño de sus actividades económicas tal y como se muestra en la tabla 1 (INEGI, 2009).

Tabla 1. Personal Empleado en los Estados Fronterizos.

Año	Cantidad de Personal
2006-07	944809
2006-06	943554
2006-08	943453
2006-05	941512
2006-09	934514
2006-10	934380
2006-03	927801
2006-11	927480
2006-04	927224
2006-02	914480
2006-01	911876
2006-12	905097
2005-12	895154

Con una gran cantidad de personas empleándose de manera activa en la industria, es de suma importancia el prevenir el desarrollo de enfermedades laborales como los Desórdenes de Trauma Acumulado (DTA's). Se sabe que el recurso humano (mano de obra o personas), es el principal recurso del cual miles y millones de empresas hacen uso para poder desarrollar sus actividades laborales y producir un bien o servicio. Las personas significan la primera y más grande estructura de soporte de la productividad y la calidad, pero para ello, se debe prestar más

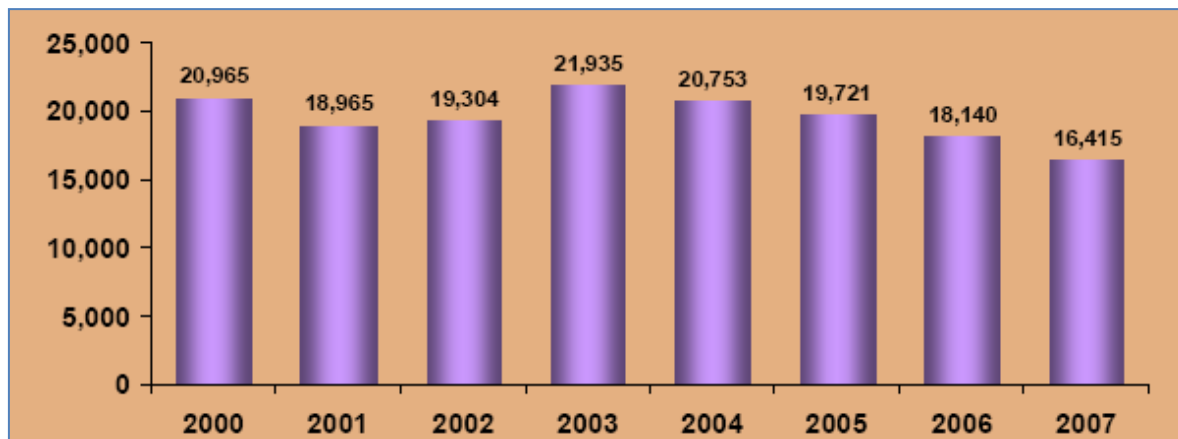
atención a su salud, por lo que debe ser cuidada y atendida en tiempos y formas oportunos para de esta forma evitar altas tasas de incapacidades y fatalidades que mermen el funcionamiento de las organizaciones y de la misma vida de las masas sociales. En 2007 se reportaron según la Secretaria del Trabajo y Previsión Social 450,102 casos de riesgos de trabajo que incluyen accidentes dentro del entorno laboral, accidentes en trayecto, y enfermedades laborales; en la figura 1 muestra la información (IMSS, 2007).



Figura 1. Información sobre Riesgos de Trabajo.

Aunado a esto y tomando en cuenta los riesgos de trabajo, cabe destacarse que al igual que las enfermedades de trabajo las incapacidades disminuyeron considerablemente para el 2007, según las estadísticas concentradas por el IMSS. Sin embargo, se debe de considerar que una gran parte de la población económicamente activa no cuenta con un seguro social, y por lo tanto, estas personas no conforman parte de las estadísticas mostradas en esta investigación. Por tal motivo, se sabe que es la fuerza de trabajo cautiva y que podría resultar en un efecto de aumento

de los índices de diversas enfermedades laborales. Un estadístico sobre esto es proporcionado más adelante. Por otra parte, la figura 2 muestra información gráfica acerca de las incidencias de incapacidades laborales (IMSS, 2007).



Figura

2. Incapacidades Registradas del 2000 al 2007.

Tomando en cuenta las estadísticas como base, y enfocándose como se mencionaba anteriormente en las enfermedades de trabajo, el DTA conocido también como Síndrome del Túnel del Carpo (STC), es uno de los temas a tratar en esta investigación. Se puede enfatizar energicamente que éste es un tema que debe preocupar actualmente a todas las empresas y organizaciones de México, con el objetivo primordial y medular de comprender el por qué del desarrollo y nacimiento de este tipo de patologías, con el fin de reducir sus cuotas por incapacidades laborales surgidas como resultado de un DTA. Las empresas deben reconocer que la salud es primero y que no hay mejor método para garantizarla que la prevención. Pero para saber cómo prevenir habrá que conocer, y el conocer determinará acciones futuras. Además, deberán reconocer que las personas son recursos biodegradables y que hay que cuidarlos en aras de que éstos operen en condiciones óptimas de trabajo, pero sobre todo, en condiciones humanas.

1.2 Definición de Desórden de Trauma Acumulado

Un DTA puede ser definido en forma general, como el desarrollo de una lesión física que se desarrolla gradualmente sobre un periodo de tiempo, como resultado de repetidos esfuerzos (de un movimiento repetitivo) sobre una parte específica del sistema músculo- esquelético, causando daño en coyunturas o tejidos sobre una parte del cuerpo (Putz, 1988). La Ley Federal del Trabajo en su artículo 513 apartado 157, clasifica y define a un DTA como una enfermedad endógena, aquella que es derivada de la fatiga industrial generada por los periodos de tiempo de exposición de la persona a la repetición de movimientos. Entendiendo la fatiga como la reducción en la habilidad muscular para continuar realizando un esfuerzo (Kroemer et al., 2001).

1.3 Estadísticas sobre los DTA'S en México

Uno de los principales problemas que influye notablemente en lograr establecer una adecuada estadística que explique el proceso de desarrollo de DTA's, es debido a que un gran porcentaje de la población activa en alguna actividad laboral no se cuenta con el seguro médico. En una encuesta nacional de empleo del IMSS, se encontró que de 42'068,550 personas de la población ocupada, tan sólo 16'051,994 cuentan con el seguro, lo que representa el 38.15% del total contabilizado (Borja, 2009). En la tabla 2 muestra los índices que de 1997 al 2005 han mostrado un desarrollo de DTA's. Tomando en cuenta los datos de los DTA's anteriores se puede observar si existe una tendencia al aumento paulatino de enfermedades laborales de este tipo, enfatizando el hecho que en 2002 hubo un disparo de casos, aunque las causas no fueron descritas en el informe. Además, aunado a lo anterior, otro factor que impide que se contabilicen de manera eficiente los desarrollos de DTA's, es la falta de conocimiento de las mismas personas que las padecen para poder identificarlos y no confundirlos con otros tipos de padecimientos. La tabla 3 muestra una serie de padecimientos detectados en 2007 (Borja, 2009) dentro de los cuales

se encuentran los DTA's y que para ese mismo año quedaron pendientes de analizarse. Los resultados finales no son mencionados en el informe de la tabla 3 (IMSS, 2007).

Tabla 2. Datos de Enfermedades de Trabajo.

Eventos	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Enfermedades de trabajo									
1. Trauma acústico crónico	0.89	0.83	1.23	2	2.15	1.67	2.85	2.73	2.46
2. Bronquitis química	0.26	0.15	0.56	1.17	1.03	0.97	2.01	1.97	1.79
3. Neumoconiosis	0.53	0.47	0.59	0.64	0.81	0.6	0.87	0.53	0.79
4. Dermatitis	0.12	0.11	0.11	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0
5. Neurosis	0	0	0	0	0	0.05	0.09	0.08	0.05
6. Síndrome de trauma acumulativo	0.026	0.024	0.029	0.028	0.036	0.37	0.026	0.035	0.038
7. Intoxicación por plomo	0.026	0.023	0.009	0.01	0.008	0.01	0.019	0	0
8. Trastorno de nervios craneanos	0.032	0.003	0.009	0.02	0.034	0.007	0	0	0
Enfermedades Invalidantes									
1. Enfermedad articulo degenerative	3.33	1.66	2.02	2.41	2.38	2.5	2.37	2.21	1.85
2. Complicaciones de diabetes	1.78	1.55	1.41	1.59	1.65	1.85	1.85	1.89	1.75
3. Cáncer	1.02	1.05	1.03	1.24	1.3	1.46	1.46	1.49	1.38
4. Insuficiencia renal crónica	0.71	0.66	0.56	0.64	0.65	0.86	0.86	0.83	0.79
5. Oftalmopatías	0.91	0.76	0.67	0.76	0.7	0.79	0.79	0.42	0.42
6. Cardiopatías	0.6	0.56	0.45	0.52	0.5	0.52	0.52	0.64	0.55
7. Enfermedad vascular cerebral	0.53	0.57	0.49	0.4	0.36	0.42	0.42	0.92	0.85
8. Sida	0.44	0.38	0.23	0.24	0.26	0.26	0.26	0.2	0.14
9. Enfermedades mentales	0.23	0.1	0.14	0.15	0.13	0.13	0.18	0.23	0.2

Tabla 3. Datos Acerca de Enfermedades Probables de Trabajo 2007

Diagnóstico	Casos
Tendinitis	1804
Bursitis	229
Sinovitis	77
Tenosinovitis	86
Fascitis	68
Epicondilitis	63
Síndrome de Túnel del Carpo	31
Enfermedad de Quervain	7
Enfermedades por trauma acumulativo	2365
Dermatitis Alérgica	164
Dermatitis	55
Asma	422
Bronquitis	54
Hipoacusia	18
Enfermedad de descompresión	17
Otras de frecuencia menor	5
Total de probables enfermedades de trabajo	31
	2912

1.4 Interacción entre los DTA'S y la Termografía

Los DTA's son lesiones o daños a los tejidos corporales por fuerzas externas que se han desarrollado por periodos con el paso del tiempo. Además, la NIOSH menciona: "En la actualidad, tanto en el ámbito nacional como internacional, uno de los motivos más frecuentes por el cual los trabajadores de la industria acuden a consultas médicas es el desarrollo de DTA's. Al mismo tiempo, se ha mencionado que los DTA's son considerados la nueva epidemia industrial. Por tales motivos, la propuesta de esta tesis es la de estudiar y analizar específicamente áreas de trabajo en las que ya se hayan presentado DTA's en el área de las muñecas. La propuesta comprende, el llevar a cabo simulaciones sobre los MAR ejecutados en una industria de la región que íntegramente afectaría la movilidad de las muñecas.

Se sabe que muchos de los estudios y propuestos a través del tiempo sobre el análisis sobre los DTA's, han involucrado sólo el diseño de modelos que incluyen lista de evolución de posturas, condiciones en las estaciones de trabajo, manipulación de herramientas, máquinas entre otros. Sin embargo, estos modelos aunque eficientes y aceptados, únicamente tienen una base subjetiva, es decir, los resultados estarán ligados en un 100% al criterio del evaluador. Es debido a esto que surgió la necesidad de buscar nuevas vías que nos puedan dar una idea más contundente del posible desarrollo de los DTA's. Entonces, partiendo del punto que los DTA's en general se desarrollan por el movimiento altamente repetitivo, y un movimiento repetitivo genera calor, la propuesta es entonces el análisis del calor en los nervios del cuerpo que sufren fatiga a raíz de la ejercitación de los mismos, e integrando a esto también la parte subjetiva de la que mencionábamos utilizada en estudios e investigaciones previas.

Se tiene entonces la hipótesis que al igual que en una fiebre, el calor pueda ser un indicador determinante que proporcione información acerca de cambios y fluctuaciones en las

temperaturas corporales de los nervios estresados, y se puedan hacer predicciones sobre posibles efectos en el cuerpo humano. Tal análisis, se plantea sea realizado a través de la termografía digital sensorial. La termografía digital sensorial a diferencia de la infrarroja, es utilizada ampliamente para visualizar los patrones de temperatura en las superficies de la piel por medio de la toma de fotografías (Zontak et al., 1998), y basa su funcionamiento como su nombre lo dice, en sensores. Esta tecnología tiene su base histórica de nacimiento en el desarrollo de termógrafos digitales submarinos utilizados para medir la temperatura bajo el agua en ambientes naturales, y con posibles aplicaciones en áreas como la oceanografía, ecología marina, industria, entre otras (López, 1992).

1.5 Interacción entre Flujo Sanguíneo y Temperatura

El flujo sanguíneo es como un sistema inteligente funcionando dentro de un cuerpo humano, ya que salvaguarda la buena operatividad del individuo suministrando a través de su torrente las demandas necesarias de sangre por cada órgano. Aún cuando se realice un ejercicio tan pesado, el flujo de sangre está tan controlado que la presión arterial es suficiente para suministrar sangre al cerebro, corazón y otros órganos vitales. Como causa de estos sucesos, el centro regulador de temperatura en el hipotálamo puede afectar la vasodilatación en la piel si es necesario para mantener la temperatura del cuerpo, aunque esto signifique una reducción en el flujo de sangre hacia los músculos que están siendo ejercitados.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Definición del Problema

Teniendo en cuenta los conceptos básicos de ergonomía y partiendo de la idea que el hombre es el principal objeto de estudio de la ergonomía, es muy importante conocer y comprender los factores de riesgo que pueden presentarse en el trabajo. La accidentabilidad laboral y las enfermedades de origen profesional constituyen en el mundo entero, uno de los principales problemas de la población laboral por su alto costo en vidas humanas y las secuelas que usualmente produce, ya que además de disminuir la capacidad laboral, determina consecuencias graves en la calidad de vida de los trabajadores y sus familias. El 10 de noviembre del 2008, la coordinación de comunicación social del IMSS expide el comunicado 439, en donde menciona que en el 2007, los accidentes de trabajo son la primera causa de ausentismo laboral y por este simple hecho, se expiden más de 40% de incapacidades.

En 2007 se registraron cerca de 450 mil accidentes en el ámbito laboral, lo que significa que de cada 100 trabajadores, 2.5 sufrieron una lesión por incidentes de trabajo. Las industrias, talleres, tortillerías y carnicerías son los lugares con mayor índice de accidentes. Las afectaciones de músculos, ligamentos, tendones, articulaciones, huesos y arterias son las lesiones que predominan en estos acontecimientos imprevistos que interrumpen la actividad laboral.

Los trabajadores con menos de seis meses de antigüedad son lo que más percances tienen. En el IMSS, para el año 2006, se presentaron más de 143 mil casos por traumatismo en el ámbito laboral. Las personas entre 20 y 40 años de edad son quienes más se lastiman, principalmente, muñeca, mano, tobillo, pie, abdomen y columna. Como resultado de esta situación, se estima que cada año ocurren en el mundo 120 millones de accidentes de trabajo y 200 mil muertes. Los

costos médicos y sociales y las pérdidas en productividad de estas lesiones se estiman en más de 500 millones de dólares cada año.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) menciona que en 1993, más del 27% de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales no fatales que produjeron días de ausentismo laboral en los Estados Unidos se debieron a problemas de espalda. Según estudios realizados por el gobierno, los costos sociales totales producidos por los dolores lumbares se sitúan anualmente entre los 50,000 y los 100,000 millones de dólares Americanos. Además, un 30% de los trabajadores norteamericanos realizan habitualmente actividades que implican un incremento del riesgo de sufrir dolores lumbares, y un 50% ocupan puestos de trabajo que pueden producirles trastornos traumáticos acumulativos.

En marzo de 1997, el Departamento de Trabajo de ese país informó que en 1995 se habían registrado oficialmente en los Estados Unidos un total de 6.6 millones de lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo, y que los costos anuales asociados con estos desórdenes habían sido muy significativos; Más de 2.1 billones de dólares por compensación de trabajadores y 90 millones por costos indirectos (contratación temporal, entrenamiento, tiempo extra y costos administrativos). Las empresas no tienen presupuesto para amortizar los costos derivados de estas lesiones, es decir, las empresas por lo general no presupuestan las probables lesiones de los trabajadores, pero al momento de ocurrirles una lesión, y al no haber presupuesto, el dinero sale de los recursos destinados para otros proyectos o de las utilidades de la empresa. Y como se mencionó previamente, si bien es cierto que el IMSS absorbe el costo directo del ausentismo por motivos de salud, también es cierto que las lesiones ocurridas por problemas ergonómicos pueden incidir en la prima de riesgo IMSS y generar incrementos en el pago de

cuotas. Lo anterior se verá reflejado en la disminución de los riesgos laborales a los que frecuentemente están expuestos los trabajadores, y por ende, disminuirá el ausentismo laboral y el sujeto incrementará su bienestar físico y mental. El IMSS (2004), considera como enfermedades generales y no laborales, a los siguientes síndromes: de la tendinitis, de la bursitis y del túnel del carpo (DTA's); éstas son consideradas enfermedades laborales en otros países, incluyendo a Los E.U.A. (BLS, 2004). Y a pesar de que el IMSS persiste en dicho error, para la industria siempre es importante la salud de los trabajadores, ya que si se evitan los DTA's en ésta, se reducen sus costos por incapacidades, ausentismo, y lo más importante, para los inversionistas, se reducen las cuotas del IMSS por parte de la empresa (IMSS, 2004). Por lo anterior, y para brindarle una alternativa de detección temprana a la empresa en áreas de trabajo donde se realizan operaciones altamente repetitivas, se desarrollara el análisis en aquellas áreas de trabajo en las que ya haya presentado problemas de DTA's en la muñeca de sus trabajadores.

2.2 Preguntas de Investigación

¿Cuáles variables nos permiten desarrollar modelos de predicción de temperaturas máximas del área de la muñeca al realizar movimientos altamente repetitivos (MAR) analizados a través de la termografía sensorial?

¿Cómo será posible que las temperaturas máximas del área de la muñeca superen los 34°C?

¿A que tipos de distribución se apegan en su mayoría el conjunto de datos de las pruebas realizadas?

2.3 Hipótesis

Para esta investigación se plantean las tres siguientes hipótesis:

Los modelos de predicción nos permiten detectar las temperaturas máximas del área de la muñeca a través del estudio con la termografía sensorial al llevar a cabo MAR en áreas de trabajo en la industria maquiladora.

Las temperaturas máximas rebasan los 34°C considerando un nivel de confianza del 90%.

Los datos de las pruebas siguen una distribución normal considerando un nivel de significancia del 5%.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General

Desarrollar modelos de Predicción que nos permitan detectar las temperaturas máximas del área de la muñeca a través del estudio de la termografía sensorial en los movimientos que se realizan repetitivamente con la muñeca en áreas de trabajo de la industria maquiladora.

2.4.2 Objetivos Específicos

Se pretende alcanzar los siguientes objetivos particulares:

Corroborar la respuesta y precisión del termógrafo digital Sköll propuesto con respecto al termógrafo infrarrojo (cámara termográfica).

Validar en condiciones de trabajo emuladas los cambios en los patrones de temperatura generados.

Comprobar en condiciones de trabajo reales los cambios en los patrones de temperatura generados.

Demostrar el planteamiento de modelos de predicción de las temperaturas máximas en condiciones de trabajo reales.

2.5 Justificación

El beneficio de la presente investigación es que tendrá un impacto tanto tecnológico como social y económico:

a) *El impacto tecnológico:* La termografía sensorial (digital) como una nueva tecnología de bajo costo, programable y totalmente enfocada a las necesidades del estudio (López, 1992), la cual facilita la manipulación de las temperaturas resultantes tomadas del operador, pudiendo con esto exportarse a programas tanto ergonómicos como estadísticos; lo cual hasta ahora no ha sido utilizada para hacer lo mencionado anteriormente en cada uno de los trabajadores, esto, debido a que consideraremos variables laborales y variables no laborales.

b) *El impacto social:* Permitirá analizar el comportamiento de las temperaturas de los trabajadores detectadas sobre la muñeca, tomando acción futura haciendo posibles propuestas de descanso buscando estabilizar y suavizar el comportamiento de las temperaturas. Esto es debido a que el cuerpo humano necesita intervalos de descanso tras realizar actividades que implican repetición constante con la meta de repararse a sí mismo, si los intervalos de tiempo son insuficientes y con una tasa alta de repeticiones, además de aunado a una postura inadecuada de trabajo, esto podría ocasionar el desarrollo de un DTA (Salvendy, 2006). En síntesis, se busca el lograr evitar lesiones en el trabajador y que éste sea productivo en su área de trabajo; y

c) *El impacto económico:* Se deberá a que si se evitan los DTA's en las áreas de trabajo, se reducirán las cuotas del IMSS por parte de la empresa, es decir, aquellas relacionadas con

lesiones por realizar operaciones repetitivas como la que se analizan en esta tesis. Además, con esto se busca cuidar la calidad de la empresa vía productividad del empleado protegiendo su salud ocupacional. Cabe recalcar que todos los métodos ergonómicos son métodos subjetivos, es decir, lo dejan al criterio del evaluador, y además, algunos de éstos si realizan la medición de la muñeca (PLIBEL y REBA). Aunque existen algunos métodos biomecánicos (3D® y Jack®) los cuales son métodos objetivos, por ser muy costosos, su uso es demasiado restrictivo y requieren de una capacitación especializada, siendo esta también de igual manera, muy cara. Por lo tanto, se busca cambiar un método subjetivo por un objetivo a través de la medición termográfica, y también se busca con ello, la optimización del recurso monetario (\$), siendo económica su implementación en las áreas de trabajo.

2.6 Delimitaciones de la Investigación.

Para lograr el objetivo de esta investigación, fue necesario llevar a cabo la fase final (denominada pruebas de validación en la industria), en una empresa de ensamblado de cableado (específicamente en un área de trabajo donde ya se ha presentado el STC), en donde la muestra de los operarios oscilaban en un rango de edad de 21 a 38 años, este se realizó tanto para la mano dominante como para la no dominante. Y ésta se realizó en un periodo de dos horas (h) y media por cada trabajador, ello debido a que es el mayor tiempo en que realizan la actividad en dicha empresa de forma continua. Además, de que se respeto el criterio de la empresa de la muestra del tamaño de 15 mujeres y 7 hombres, debido a que eran el total de los operarios que trabaja en dicha estación de trabajo donde ya se ha presentado el STC.

Además de que en la fase preliminar denominada pruebas emuladas, la muestra de los individuos oscilaban en un rango de edad de 20 a 29 años, este se realizó tanto para la mano dominante

como para la no dominante. Y ésta se realizó en un periodo de dos horas (h) y media por cada trabajador. Además de que se respetó el criterio de la empresa de la muestra del tamaño de 3 mujeres y 6 hombres. Por disponibilidad de voluntarios para la prueba que en total duraba 3 horas.

2.7 Organización de la Tesis.

En el capítulo 3, se menciona el marco teórico o estado del arte de la termografía y de los DTA's, el cual consiste en la información más reciente relacionada con esta investigación. En el capítulo 4, se muestran los materiales y métodos acerca de esta investigación; y que es considerado dicho termógrafo como parte del material de trabajo utilizado. En el capítulo 5, se muestran los resultados y discusiones de las pruebas emuladas y de las pruebas de validación en la industria desarrolladas en la presente investigación. Además de la operatividad, calibración y validación del termógrafo digital Sköll utilizado. En el capítulo 6, se muestran las conclusiones de las pruebas emuladas y de las pruebas de validación en la industria. En el capítulo 7, se encuentra la referencia y/o bibliografía utilizada en esta tesis.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Termografía

Se sabe que el síndrome de las manos frías es, y forma parte integral de la acrosteolisis en trabajadores de la industria de los termoplásticos, cuyos trabajadores están expuestos al *cloruro de vinilo*. Se realiza un trabajo tomando en cuenta a 143 trabajadores, además de 56 personas como grupo de control (personas sanas y ajenas a la industria de los termoplásticos). El estudio fue realizado para evaluar la factibilidad de usar la termografía en la mano, con el objetivo de detectar cambios en los patrones vasculares.

La acrosteolisis ocupacional está descrita como un síntoma complejo parecido al síndrome de las manos frías que incluye a las manos, cambios en la piel, simula esclerosis sistémica de las manos y antebrazos, además de lesiones osteolíticas y escleróticas de los huesos, particularmente en manos y pies (Markowitz et al., 1972). La incidencia de la enfermedad no es bien conocida. Wilson observó 31 casos en 3,000 trabajadores expuestos al cloruro de vinilo y a la polimerización en la industria (Wilson et al., 1967); además, se reportaron 25 casos confirmados en 5,011 empleados alrededor de Los E.U.A. y Canadá, y otros 16 casos considerados como potenciales más no confirmados (Dinman et al., 1971). Además, parece ser que el síndrome de las manos frías es la primera complejidad en aparecer y eso es irreversible aún cuando el paciente o la persona sea removida de la exposición al cloruro de vinilo, probablemente los cambios en la piel sean también irreversibles. Cabe mencionar que se han reportado mejorías en las lesiones de los huesos (Markowitz et al., 1972).

De ahí la importancia del fenómeno de Raynaud como precursor de la acrosteolisis ocupacional. Se han tomado radiografías en trabajadores limpiadores de polímeros y otros

trabajadores de producción, los cuales están expuestos al cloruro de vinilo regularmente desde 1971 en la fábrica que produce anualmente más de 130,000 toneladas de PVC. Fue decidido en adición a la sesión de radiografías en mayo de 1975, que también se tomarían fotos termográficas de las manos, eligiendo a aquellas personas (voluntarios) de acuerdo a su historial de exposición al cloruro de vinilo. En total, se eligieron 176 hombres de esos 169 voluntarios. Debido a complicaciones por enfermedad sólo se tomaron en cuenta a 143 personas. A cada persona se le entregó con anticipación 2 cuestionarios perfectamente detallados. Uno consistía en recabar información acerca de la presencia de síntomas acerca de insuficiencia vascular en las manos, y si el paciente tenía conocimiento acerca de esto en su familia inmediata. El segundo cuestionario consistía acerca de hábitos de fumar, y en caso de ser afirmativo, se les pidió abstinencia sólo el día de la evaluación. Las sesiones fueron llevadas a cabo en un laboratorio de investigación donde la temperatura podía ser regulada. Durante las sesiones, la temperatura se mantuvo en el rango de 19 a 22 °C. El clima de los 4 días del experimento estuvo estable. A todos se les tomaron primero las placas de radiografía, y enseguida, fueron puestos en resguardo dentro del edificio por 10 minutos (min) antes de iniciado el proceso de la termografía.

La termografía graba las variaciones de temperatura emitidas por el cuerpo humano por sí mismo. Para el experimento se utilizó un equipo de termografía infrarroja, básicamente constituido por una cámara y una unidad de despliegue, la cual permite desplegar la temperatura emitida por el cuerpo y almacenarla. La mano derecha de cada trabajador fue colocada en un descanso de brazo. Después, la mano completa se sumergió en un contenedor de agua termostáticamente controlada a una temperatura de 19 °C por 10 segundos.

Se ha demostrado que es suficiente tiempo estimado para poder encontrar cambios en las temperaturas corporales de sujetos normales (Lewis et al., 1946). La mano entonces debía

sacarse rápidamente del contenedor y secarse al instante, después, debía permanecer en reposo para su visualización a través de una cámara termográfica. Inmediatamente fue detectado el regreso de calor en alguna región de la mano o dedos. El tiempo también fue grabado como T1 y activado en alguno de los tres relojes para control, inmediatamente cuando la mano fue removida del agua, el siguiente retorno fue grabado como T2. El retorno final de temperatura fue grabado cuando pudieron visualizarse todas las huellas de los dedos o al paso de transcurridos 10 min. Se seleccionaron dos tipos de termogramas, uno denominado como normal y otro como anormal. La temperatura media de los trabajadores expuestos fue de 3.33 min. Con esto pudo realizarse un análisis de 10 pacientes/hora.

De acuerdo a datos por parte de la fábrica, fue posible clasificar a las personas por grupos de acuerdo a su tiempo de exposición al cloruro de vinilo. De acuerdo a algunos resultados se pudo obtener que existe un incremento en la incidencia de Raynaud en la población estudiada en general de acuerdo al aumento de edad y tabaquismo (Williams et al., 1977). La información más relevante sobre la utilización de la termografía como técnica para la investigación de los análisis clínicos de pacientes se discute a continuación. La piel es el mayor de los órganos para la regulación de la piel en el cuerpo humano. Existe una amplia variación y un cambio constante asociado a diferentes sitios de la piel. La variabilidad se debe a un balance de leyes físicas, así como a factores internos y a los resultados en el mantenimiento de temperaturas constantes de los órganos esenciales para la vida. Una piel normal actúa como un cuerpo negro, y el uso del calor por radiación (emisión de calor) depende de la radiación en la superficie además de otros factores de la piel y el ambiente. A menos que el paciente este sudando, la temperatura actual de la piel es el factor más importante en la pérdida de calor radiante.

Cuando la temperatura ambiente es controlada y se permite que la piel se ajuste por 20 min, las emisiones infrarrojas en un sitio en particular, serán proporcionales a la temperatura de la piel. Por otra parte, se menciona que en un día muy frío, se requiere más de 20 min para estabilizar la temperatura del paciente. La radiación en la superficie de la piel es afectada por pequeños incrementos de movimientos y por anomalías dermatológicas en la superficie de la piel. Además, distintas áreas de la piel reaccionan de manera diferente a diferentes velocidades. Dichas áreas son las manos, los dedos, los brazos, las piernas, la cabeza y el tronco; las manos y los pies reaccionan rápidamente a los cambios de temperaturas debido a su amplio volumen de sangre en relación con las pequeñas superficies de piel. Los vasos sanguíneos están constantemente influenciados por impulsos simpáticos que funcionan para mantener la fuerza y frecuencia normales del latido cardíaco los cuales, en condiciones normales, mantienen una vasoconstricción básica y permiten de manera casi al instante la pérdida de calor cuando esta es necesaria.

Es importante recalcar que las diferencias de temperatura en un área del cuerpo pudieran afectar las temperaturas en otras áreas debido a la vasoconstricción o a la vasodilatación. La termografía es un estudio no invasivo que mide las temperaturas de la piel. Existen bases fisiológicas para la estimulación del nervio simpático causando una vasoconstricción, lo cual influye cambios en la temperatura de la piel. Muchos investigadores y físicos consideran a la termografía en el estudio del dolor, DTA's, radioculopatía y su relación a los cambios en la piel en tiempo real.

Como conclusión discuten el hecho de que es prematuro ofrecer al público estudios basados en este tipo de tecnologías, dado que en ese tiempo sólo se estaban presentando fases experimentales de la termografía. (Edeiken et al., 1986). La termografía es una técnica que no

representa ningún daño biológico; detecta, mide y convierte el calor invisible de la superficie de un cuerpo en imágenes visibles que pueden ser fotografiadas y filmadas para poder analizarse. Esta técnica representa gradientes de temperatura de la superficie del cuerpo en un tiempo dado, y ha sido utilizada para el estudio de anormalidades biológicas termoreguladas influenciadas directa o indirectamente por la temperatura en la piel. Además, ha sido utilizada en numerosas ocasiones para evaluar los cambios térmicos en las superficies del cuerpo bajo una variedad de condiciones. Esto ha incluido el análisis de desórdenes de la espina dorsal, el STC, el dolor postraumático, las anomalías vasculares incluyendo la trombosis, las lesiones de tejido óseo y la artritis.

Los cambios en las temperaturas del cuerpo humano han interesado a los científicos desde los tiempos de Hipócrates. Ha sido de gran utilidad en los diagnósticos médicos en modelos de animales y en gran variedad de circunstancias clínicas. Existen estándares básicos para llevar a cabo las pruebas con termografía, esto es, valores ya definidos; además, se han mejorado las técnicas y se ha desarrollado equipo para dichos estudios.

La homeostasis termal del cuerpo y el control central de temperatura de la superficie del mismo son mantenidos por un centro operativo regulatorio en el hipotálamo. Ambas partes del cuerpo son afectadas de manera simultánea y de manera uniforme. De esta manera, la simetría termal es la señal de normalidad, mientras que en la asimetría, la temperatura de la piel señala una anormalidad. La piel es uno de los jefes reguladores de la temperatura en el cuerpo humano debido a su gran red vascular y a su asociada complejidad de fibras nerviosas que juntas controlan el flujo de sangre dentro de milímetros de la superficie del cuerpo. La perfusión superficial es ampliamente influenciada por el sistema nervioso simpático y cuando es estimulada por la raíz del nervio o la irritación del nervio periférico, el sistema nervioso

simpático causa una compresión del bazo y baja la temperatura de la piel, mientras que su interrupción total, causa una dilatación del bazo y eleva la temperatura.

A la fecha, existen dos técnicas para los sistemas de detección del calor: la termografía infrarroja y la termografía por contacto de cristal líquido (Feldman, 1991). La termografía mide las temperaturas infrarrojas emitidas por el cuerpo humano a distancia, y las convierte en señales eléctricas que son transmitidas hacia una computadora. Después de procesarse las señales, los patrones de calor pueden ser grabados o fotografiados a través de un tubo de rayos catódicos. Los patrones pueden ser de colores blanco y negro con tonos grises o multicoloreados, diferenciado así los grados de temperatura de acuerdo a tales colores. La termografía computarizada puede calcular cambios de temperatura en pequeñas partes de la superficie del cuerpo. (Feldman, 1991).

La temperatura de la piel es determinada por una compleja interacción entre el calor conducido a través de las áreas centrales más calientes, la perfusión de la sangre (es decir la fuente sanguínea) en las capas superficiales y profundas, y los cambios de temperatura relacionados con el ambiente en la superficie de la piel. El efecto del ejercicio sobre el flujo sanguíneo en la piel y la temperatura, ha sido estudiado previamente (Johnson et al., 1992) y (Kenney et al., 1992). Algunos de estos investigadores durante sus estudios, notaron una reducción del flujo sanguíneo en la piel de la mano durante la fase inicial de ejercicios con la pierna, lo cual se reversificó con la continuidad de los ejercicios. De manera alterna a esto, se obtuvieron resultados similares y se reportaron resultados de cambios en el flujo sanguíneo más pronunciados en sujetos involucrados en el desarrollo de algún tipo de deporte (Kirsis et al., 1975). En contraste, otros datos reportaron un incremento significativo en la temperatura en dedo y mano, debido a un moderado-pesado ejercicio de pierna (Lowenthal et al., 1952). Por otra

parte, se demostró un considerable decremento en la temperatura en el flujo sanguíneo en los dedos de sujetos haciendo ejercicio sobre una bicicleta ergonómica (Christensen et al., 1942). Esta reducción en el flujo sanguíneo es trascendental, excepto por exposición del individuo a ejercicios estresantes o pesados. Un decremento inicial en la temperatura, seguido después de un incremento en ella, ha sido también un dato observado previamente. De acuerdo a estudios realizados al inicio del ejercicio, la demanda del flujo sanguíneo hacia los músculos resulta en una vasoconstricción de la piel, sin embargo, a medida que aumenta la temperatura del cuerpo, los procesos de regulación termal predominan, y los vasos sanguíneos de la piel se dilatan incrementando con ello el flujo sanguíneo y la conducción de calor a la piel.

La termografía infrarroja ha sido ampliamente utilizada para visualizar los patrones de temperatura en las superficies de la piel. Con la ventaja de la imagen termográfica, ahora es posible tomar mediciones continuas de las temperaturas en la superficie de la piel y sus cambios con un alto grado de precisión o exactitud. El objetivo de este estudio era entonces el caracterizar el efecto del ejercicio y las respuestas en las temperaturas de la piel, debido a niveles de ejercicios controlados y a condiciones de temperaturas, mientras que se tomaban muestras termográficas. La hipótesis del estudio era que los ejercicios de pierna tienen influencia en la dinámica de la temperatura de la piel y que el grado de este efecto depende de la carga de trabajo del ejercicio.

El estudio fue diseñado para medir la temperatura de la mano bajo condiciones de descanso, diferentes niveles de carga de trabajo (bicicleta ergonómica), y recuperación del ejercicio. Cada sesión del estudio fue desarrollada en un ambiente de temperatura (23 ± 1 °C) y una humedad ($60 \pm 10\%$). Participaron en el estudio 10 hombres voluntarios (edad= 25.8 ± 0.7 años; peso= 70.1 ± 2.5 kg; altura= 175.3 ± 1.8 cm). Los sujetos descansaron en una posición de sentado

en el cuarto de pruebas durante 15 min previo al inicio del ejercicio. Transcurrido el tiempo, el ejercicio fue llevado a cabo en una bicicleta ergonómica calibrada (MONARK Ergomédica 818 E). Se tomaron imágenes termográficas de la parte frontal de las manos, las cuales fueron colocadas en una superficie de madera en la posición de sentado.

Se determinaron las cargas de trabajo debido al análisis de las pruebas evaluadas del ejercicio en combinación con el análisis de respiración. Las muestras de exhalación durante las pruebas de ejercicio fueron grabadas cada 30 segundos durante el ejercicio usando un sistema comercial disponible (Sistema 4400 para el diagnóstico respiratorio y metabólico). Las variables incluidas fueron el consumo de oxígeno, la producción de dióxido de carbono y la proporción de intercambio respiratorio.

La cantidad en el consumo de oxígeno fue evaluado al final de cada carga de trabajo (del ejercicio) y al máximo esfuerzo. El momento físico exhaustivo fue considerado como un momento en el logro de consumo del nivel máximo de oxígeno. Para este caso, se utilizó un análisis de regresión lineal para relacionar el consumo de oxígeno al nivel de la carga. Los valores del consumo del oxígeno iguales al 50%, 70% y 90% del consumo máximo de oxígeno fueron calculados y las cargas correspondientes a estos valores de consumo fueron seleccionados.

Todos los resultados en el experimento fueron presentados como una media y un error estándar de la media. La prueba t-student fue aplicada para comparar dos conjuntos de observaciones. La regresión lineal y la correlación fueron usadas para estudiar la relación entre las variables. Un nivel p de 0.05 fue aceptado como un valor significativo.

Durante el experimento del ejercicio para determinar el consumo máximo de oxígeno, se tomaron imágenes termográficas durante los primeros 720 segundos del ejercicio, lo cual fue común para todos los sujetos. Se pudo notar en los resultados de la temperatura en las yemas de los dedos, así como la temperatura de la mano entera durante el experimento. De igual manera, se presentaron los datos de la temperatura de 10 sujetos obtenidas de la yema del dedo medio de la mano izquierda. La mayoría de las curvas analizadas mostraban una tendencia continua en el decremento de la temperatura. El rango de decremento de la temperatura fue calculado usando la regresión lineal para cada sujeto y fue de -0.0049 ± 0.0032 °C/s.

El ejercicio en sí, es una actividad que está asociada a largos cambios hemodinámicos que involucran múltiples procesos regulatorios. Partiendo de que el ejercicio está estrechamente ligado a los cambios hemodinámicos y la generación de calor dentro del cuerpo, alteraciones notables en los procesos regulatorios durante el ejercicio son aceptadas. Estos procesos regulatorios pueden ser reflejados en la dinámica de la temperatura de la piel durante el ejercicio. La piel juega un papel muy importante en el mantenimiento constante de la temperatura corporal. La entrega de calor desde las profundas partes del cuerpo hacia la piel es primariamente debido al flujo sanguíneo. En este estudio que es el primero en proveer imágenes termográficas durante el ejercicio, se mostró que la dinámica de respuesta de la temperatura de la piel va a depender del tipo de ejercicio. Cuando se va aumentando el grado o nivel del ejercicio, se va causando una demanda mayor en el trabajo de los órganos del cuerpo, la temperatura de los dedos de la mano continuamente va en decremento a lo largo del periodo de ejercicio. Partiendo de que la presión sanguínea incrementa constantemente durante el ejercicio, es de esperarse que el continuo decremento en la temperatura de los dedos es causada por una continua respuesta de

vasoconstricción de la piel, ello debido a un incremento de hormonas de vasoconstricción, al tiempo que la intensidad del ejercicio aumenta. (Zontak et al., 1998).

La termografía cuenta con amplios campos de aplicación. El nado por ejemplo como cualquier deporte, induce un complejo proceso de termoregulación donde parte de ese calor es emitido por la piel del nadador. Ya que no todo el calor producido puede ser totalmente emitido, resulta en un calentamiento muscular. El siguiente estudio surgió básicamente de las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo es la temperatura del nadador durante la actividad y qué tanto influye un cierto tipo de nado en la distribución del calor?

De acuerdo a la literatura revisada por los investigadores de este artículo, se mostró que ningún estudio de este tipo se había llevado a cabo. En un experimento similar, se determinó que la temperatura de un nadador sería de 33 °C después del ejercicio, pero esto sólo fue una medida local, es decir sólo parcial. (Brandt 1995). Para mitigar esta falta de datos, se optó por el uso de la termografía infrarroja con el fin de analizar las distribuciones de temperatura. Mientras que esta técnica es usada bajo condiciones termales de vida (Jansky et al., 2003), no se menciona en la literatura ninguna aplicación a la actividad de la natación.

El estudio fue llevado a cabo en una piscina, tomando en cuenta la temperatura de la piscina como un parámetro importante, lo cual condiciona la evolución o progreso de la producción de los latidos del corazón (Mougious et al., 1993), lo cual tiene gran influencia con el proceso de termoregulación. Otro estudio llevado a cabo mostró que en la actividad de nado, la temperatura óptima del agua para 20 min de nado libre debe oscilar entre los 21 y los 33 °C (Robinson et al., 1971). Cabe resaltar que este estudio no puede considerarse de tipo estadístico, debido a que sólo un sujeto fue considerado como objeto de estudio para la experimentación. Los

objetivos de este estudio eran mostrar la aplicación de la termografía infrarroja y el otro, era el mostrar qué puntos del cuerpo del nadador son mayormente influenciados en incrementos de temperatura.

El nadador era un atleta de alto rendimiento acostumbrado a entrenar en promedio de 10 a 12 horas/semana. Factores como la edad, la altura, el peso y la grasa corporal fueron recabados del sujeto de estudio. Para contar con un mejor estudio como parte del método se dividieron a las partes corporales del sujeto en superficies poligonales (A-J). Además, se utilizó una cámara termal infrarroja para captar las distribuciones de temperatura. El experimento se llevo a cabo en una piscina durante la mañana, con el agua a una temperatura de 27 °C y una temperatura ambiente de 24 °C. Al principio, el nadador es inmerso en la piscina hasta la altura del cuello en una posición estática por 10 min. Al término de tal periodo, el nadador sale rápidamente de la piscina y se seca. La tarea siguiente consistía en la grabación de las temperaturas de las superficies termales, lo cual constituía el nivel de referencia termal del nadador en descanso. En seguida, este ejecuta los primeros 100 metros estilo mariposa y después, el nadador deja el agua de nuevo. Esto proporcionara la cartografía de las temperaturas de la superficie corporal después del ejercicio. Después de obtenidas estas muestras, el nadador es inmerso en el agua de nuevo.

La duración entre series de nado es suficientemente larga (10 min) para permitir un retorno de balance termal del nadador. Esto seguido de los otros tres estilo de nado, mariposa, pecho y dorso. Se encontró a través del análisis de las temperaturas por medio de la termografía infrarroja y graficadas por un histograma que las temperaturas más altas correspondían a las zonas cerca a los órganos vitales del nadador (abdomen, tórax y espalda). De manera alterna, se encontró que se puede predecir una influencia considerable en las distribuciones de las temperaturas de acuerdo al tipo de nado que sincroniza el nadador. En realidad, se determinó que las

temperaturas más altas son alcanzadas en las partes altas del cuerpo (frontal y espalda) durante el nado de espalda, mientras que en las extremidades bajas, es el nado estilo pecho que genera los incrementos más altos de temperaturas en la piel. Por el contrario, el estilo libre induce las variaciones más débiles de temperatura en las extremidades inferiores.

En particular, este estudio muestra variaciones significantes de temperaturas de la piel de acuerdo a los estilos de nado que se ejecutan. Para el experimento, se determinó a través de la termografía infrarroja que la temperatura promediada sobre toda la superficie del cuerpo es respectivamente incrementada por 2.16 °C en el nado estilo mariposa, 2.56 °C para el estilo de brazada de espalda, 1.78 °C para el de pecho y de 2 °C para el estilo libre, después de practicada la actividad de nado. De acuerdo a estas conclusiones, se hace pensar en el desarrollo estadístico del experimento ya que debido a que este fue desarrollado por un sólo sujeto, los resultados no pueden representar a un universo como tal (Zaidi et al., 2007).

La termografía tiene diversos campos de aplicación debido a que es una técnica no invasiva, y es utilizada en campos como la medicina de una manera muy extensiva. Se realizó un estudio usando técnicas avanzadas para la detección del cáncer de mama, tratando con esto, de integrarlo a la termografía. A través de diversas técnicas integradas de estadística como la regresión lineal, el objetivo era el evaluar aquellas variables que pudieran influir y tener una correlación, de tal manera que pudieran determinarse si la termografía pudiera ser una herramienta importante en la detección de este tipo de cáncer.

El uso de la regresión permite una correlación entre las variables y el estado de salud actual del sujeto, lo cual es decidido a través de otros medios tradicionales como los estándares dorados de la termografía en la detección del cáncer de mama. Para este caso en particular, la termografía

busca identificar la presencia de algún tumor debido a la elevada temperatura asociada con un incremento en el flujo sanguíneo y la actividad a nivel celular. Para la detección de este cáncer, la termografía se ha vuelto una herramienta poderosa conjuntamente con la mamografía para propósitos de diagnóstico.

El cáncer de mama es uno de los males más comunes entre las mujeres alrededor del mundo en estas épocas, y es causado por la células epiteliales (Dixon et al., 1999). En general, el cáncer de mama puede ser categorizado como invasivo o no invasivo basándose en el patrón de características. El crecimiento anormal de las células epiteliales puede llevar a la formación de un tumor (Hirshaut et al., 1996). Si el crecimiento es restringido, el tumor es clasificado como benigno. Si el crecimiento es rápido o tiene la habilidad por sí mismo de progresar hacia otras regiones del cuerpo, es clasificado como maligno. De manera general, una glándula mamaria maligna puede identificarse debido a su dureza o forma irregular, sin embargo, la confirmación sólo puede llegar después de practicada una mamografía y una examinación clínica, es decir, una biopsia.

La termografía, como se ha mencionado, es una técnica no invasiva o no destructiva, es decir, que no puede afectar al ser humano. Es un método de escaneo, el cual, es muy económico, además que no produce ningún tipo de dolor en el paciente. Es un método muy utilizado en los campos de la medicina que detecta las variaciones de la temperatura en las superficies de la piel de una persona. Cabe mencionar que la termografía como tal, no justifica un diagnóstico en este tipo de casos, sino que es un complemento que aunado a otras técnicas ayuda a realizarlo.

La termografía en la detección del cáncer de mama involucra la aplicación de imágenes termales para detectar patrones de calor en la superficie de la glándula mamaria. La termografía

mamaria tiene una gran potencialidad para la detección temprana de anomalías en las mamas. Ha sido probado que la termografía podría detectar un cáncer de mama con una anticipación de 10 años, lo cual resulta aún más eficiente que la técnica tradicionalista que es la mamografía (Dixon et al., 1999).

La termografía infrarroja también conocida por sus siglas en inglés “IR”, fue originalmente desarrollada con fines militares. En tiempos recientes, sus aplicaciones se han extendido a campos como la ingeniería y en particular a la medicina (Ng et al., 2005). Es pasiva en naturaleza y debido a eso, no emitirá ningún tipo de radiación que pudiera dañar al paciente o ponerlo en algún tipo de riesgo.

Otras ventajas de la termografía incluyen alta portabilidad y toma de imágenes en tiempo real, lo cual hace posible el grabar datos para su procesamiento y su interpretación en las computadoras. Las imágenes termales de energía son convertidas a señales eléctricas, las cuales contienen las franjas y números de colores indicando las diferencias entre las temperaturas capturadas. La temperatura ambiente ideal para la toma de imágenes termográficas oscila entre los 20 °C y los 25 °C, y en cuanto al porcentaje de humedad este, debe de oscilar entre el 40% y el 60%.

Varios métodos bioestadísticos fueron llevados a cabo en este estudio, uno de ellos fue un análisis de regresión lineal. El análisis de regresión lineal también conocido como la regresión de los mínimos cuadrados, es una técnica estadística para determinar la curva o línea única que mejor se ajuste a los datos. El objetivo principal de este análisis es minimizar el cuadrado de la distancia entre cada dato y la línea de regresión. En el análisis de regresión existen dos tipos de variables, la variable dependiente y la variable independiente. La variable dependiente viene a

ser la variable que queremos predecir o estimar. El resultado más importante de este análisis es obtener R^2 . Este último, es un indicador de que tan apegados o separados están los valores, además, oscila en un rango de entre 0 y 1. En otras palabras, es una correlación entre los dos tipos de variables. La correlación se refiere a la predictibilidad del cambio de la variable dependiente provocando un cambio en la variable independiente.

Sin embargo, se asumen algunos factores acerca de la regresión. Primeramente, se asume una relación lineal entre las dos variables, pero este no siempre será el caso. Segundo, se asume que la variable dependiente tiene una distribución normal con la misma varianza como su valor correspondiente de variable independiente. Los datos para este estudio fueron colectados del hospital general de Singapur, donde se eligieron al azar a 90 pacientes. El procedimiento para la toma de las imágenes termales fue el siguiente:

Se requirió que los pacientes se abstuvieran de cualquier actividad física durante 20 min previo a la prueba (Ng et al., 2001). Esto con la finalidad de reducir el rango de metabolismo del cuerpo, pudiendo entonces estabilizar la totalidad de la temperatura del cuerpo. Durante la examinación termográfica, se requirió que los pacientes se abstuvieran de quitarse la ropa de la parte frontal del cuerpo de la cintura hacia arriba colocando al final ambos brazos por detrás de la nuca, tomándose entonces, dos tipos de imágenes, una frontal y dos laterales. Cada imagen al final fue mejorada digitalmente para tener una resolución eficiente. Después, fue llevado a cabo el análisis de regresión pertinente, esto con el fin de identificar las variables de entrada para otro tipo de análisis realizado en este estudio (tipo médico). Las variables serían usadas como de entrada sólo si tenían una correlación fuerte con el resultado, lo que se conoce en ingles como el input y el outcome.

Los siguientes datos fueron compilados y colectados de cada sujeto (Ng et al., 2001): Temperatura promedio (media) del seno izquierdo, Temperatura promedio (media) del seno derecho, Temperatura mediana del seno izquierdo, Temperatura mediana del seno derecho, Temperatura modal del seno izquierdo y del seno derecho. Además, se realizó un cuestionario igualmente a cada uno de ellos preguntándose lo siguiente: Edad del paciente, Historia familiar acerca de cáncer, Terapia de reemplazamiento de hormonas, Presencia de anomalías palpables en el seno (hinchazones), Biopsias de seno previas, Dolor en el seno, Presencia de secreción de pezón, Menopausia a más de los 50 años de edad, Primer hijo a más de los 30 años de edad. Los resultados de acuerdo a la información recabada mostraron que el coeficiente de determinación fue bajo para los datos relacionados con las temperaturas y los datos del cuestionario, partiendo del punto que la relación entre las variables y el estatus de salud del paciente (saludable o no saludable) no es obvio. Sin embargo, es de notarse que el coeficiente de determinación para los datos relacionados con la temperatura fue relativamente alto comparado con el coeficiente de determinación de los datos del cuestionario. Esto refuerza el hecho de que la termografía puede ser usada como una herramienta adjunta, debido a que sugiere una fuerte correlación entre las temperaturas de la superficie de la piel de las glándulas mamarias y el estatus de salud del paciente.

De acuerdo a las técnicas tanto médicas como estadísticas utilizadas en este estudio, se concluyó que las mediciones por medio de la termografía permiten evaluar los cambios en los tumores y puede servir como asistencia en el monitoreo de terapias dinámicas. Además, el objetivo no es buscar el reemplazamiento de la mamografía por la termografía, sino de proveer una herramienta adjunta científicamente válida a los servicios de cáncer de mama. (Ng et al., 2008). En el siguiente estudio se realizó un análisis de las temperaturas del dorso medio, (mano)

antes y después de desempeñar una tarea de escritura por un periodo corto de tiempo, como un indicador de detección de Desórdenes de las extremidades superiores (UEMSD's) por medio del uso de la termografía infrarroja.

Los UEMSD's como lo es el STC en la muñeca y la tendinitis en el antebrazo, causan una incapacidad física. Estos comprometieron un 29% de un aproximado de un total de 1.2 millones de enfermedades y lesiones ubicadas en 2007 en Los E.U.A. (BLS, 2003). En la actualidad, los aspectos que engloban a la patofisiología de los UEMSD's no están totalmente claros. Se ha pensado que la reducción de un flujo sanguíneo, podría formar parte como un aspecto importante para determinar tendinitis (Benjamín et al., 1994), síndromes de compresión de nervios (Lundborg et al., 1988) y algunos otros tipos de desórdenes.

En adición a posibles cambios en los flujos sanguíneos, múltiples alteraciones en el sistema nervioso simpático han sido detectadas en diversos casos de estudio. El uso de la termografía ha sido utilizada con el fin de identificar tales alteraciones y como una herramienta en diversos experimentos. En uno de ellos, se detectó un decremento en las temperaturas en falanges proximales en pacientes recientemente diagnosticados con presencia de dolor no especificado de brazo, comparado con pacientes sanos después de realizar un reto de escritura por un periodo de 5 min (Sharma et al., 1997). Algunos de los principales objetivos que se perseguían en esta investigación, era el de determinar la reproducibilidad del valor de referencia de la temperatura de la mano, antes y después del proceso de escritura respecto a la temperatura relativa de la mano en un ambiente termoneutral.

Otro de ellos, incluía el determinar si aquellos que con signos y síntomas de UEMSD's tenían diferentes valores de referencia de temperatura de la mano con respecto a los sujetos

controlados o sanos. Por otra parte, también era el de determinar si el valor de referencia de la temperatura de la mano estaba asociada con la severidad de los UEMSD's caracterizados por el número de sitios con síntomas marcados en un diagrama de la mano y brazo; y el número de casos asertivos derivados de exanimación física y reporte de síntomas. El último objetivo consistía en determinar si las temperaturas relativas de la mano después de haber realizado la ejercitación estaba asociada con la severidad de los UEMSD's.

Los sujetos de estudio fueron reclutados por el centro de salud de la Universidad de Connecticut sobre estudios de extremidades superiores vía internet y a través de anuncios colocados en el periódico. Una serie de preguntas fueron hechas por teléfono para descartar a los posibles candidatos. Los sujetos reclutados eran personas que habían usado el teclado de la computadora por más de 4 horas o por 5 días a la semana por lo menos durante 5 años. Se excluyeron aquellos casos que presentaban el síndrome de las manos frías, además de casos severos de STC.

Las mediciones de las temperaturas de la piel de las manos fueron capturadas con una cámara termográfica Thermo Cam AM 40, resolución 1.3 mrad y una sensibilidad de 0.08 a 30 °C. Las imágenes después fueron enviadas para su análisis futuro en una computadora personal. Como parte del protocolo a los sujetos se les pidió que se abstuvieran de hacer ejercicios extenuantes o usar el teclado de la computadora, o de fumar, por lo menos 60 min previos a los inicios de cada experimento para evitar confusiones en las mediciones de las temperaturas debido a estos factores asociados con el flujo sanguíneo. El fumar produce descensos considerables en las temperaturas corporales (Puig, 1993). Además, aunado a lo anterior, se les pidió abstenerse de ingerir bebidas alcohólicas, ya que el alcohol a diferencia del cigarro produce un aumento en las temperaturas corporales (<http://polaris.unisabana.edu.co>).

Ya avanzada la experimentación, todos los sujetos seleccionados para el estudio fueron sometidos a un proceso de tres etapas para descartar el síndrome de las manos frías. El proceso incluía tres etapas: la aplicación de un cuestionario a los sujetos acerca de síntomas previos, un escaneo general, y finalmente, una prueba física. Para concluir y someterlos a la prueba, se les tomó las temperaturas a todos los participantes con la finalidad de comprobar que no presentaban fiebre previo a la prueba llevada a cabo en un cuarto de temperaturas controladas.

Cada sujeto desarrolló el experimento en un cuarto simulado como oficina a temperaturas controladas de 18, 22 y 26 °C. Esto representaba rangos de temperatura que pudieran encontrar en un ambiente propio de una oficina. A continuación, después de mostrar y enseñar a los participantes a ajustar su estación de trabajo en parámetros propiamente ergonómicos, se les pidió quedar en reposo por espacio de 20 min para el proceso de termalización (cuando el cuerpo de una persona se aclimata a la temperatura ambiente) mientras leían una revista para pasar el tiempo. Cabe mencionar que la estación de trabajo incluía una silla ergonómica sin brazos de descanso y un teclado ajustable. Los valores de referencia de la temperatura de la mano fueron tomados durante 1 min previo al ejercicio de escritura no técnica por espacio de 9 min. Durante un espacio de 10 min después de terminada la prueba, 3 imágenes fueron secuencialmente tomadas. Estas secuencias fueron referidas a un periodo 1 (0-2 min después de la escritura), un periodo 2 (3-5 min después de la escritura) y un último periodo 3 (8-10 min después de la escritura).

Por otra parte, se realizó un cuestionario con el fin de recolectar información acerca del día de aparición de los síntomas. Duración usual del episodio (Fase 1= “<1 hora”, Fase 2= “<1 día”, Fase 3= “< 1 semana”, Fase 4= “< 1 mes”, Fase 5= “< Fase 6 meses”, 7= “durante el último año”), intensidad actual del dolor, y el mayor dolor en la última semana. Con respecto al análisis

de los datos correspondientes, estos incluían análisis estadísticos como el manejo de una prueba t de dos muestras, con el fin de comparar variables continuas incluyendo la velocidad de escritura y las temperaturas de referencia de la mano (esto por grupos: sujetos controlados vs los casos). Otro análisis estadístico incluyó una prueba de análisis de varianzas ANOVA de un sólo factor, con el fin de comparar las temperaturas de referencia de la mano y cada temperatura media relativa del dorso de la mano.

Dentro de los resultados, finalmente, se reclutaron 48 sujetos para el estudio. De todos los sujetos elegibles hubo que descartar a 2 durante la primer visita (réplica de dos) debido a que presentaban señales de DTA's. Esto llevo a tomar en cuenta sólo a 45 sujetos. 10 fueron los sujetos clasificados como asintomáticos y 35 como sujetos que presentaron síntomas sobre los UEMSD's. La mayoría de los sujetos fueron mujeres (87%) con una media de edad de 40, en un rango de 23 a 61 años de edad. Se determinó de acuerdo a la prueba t y un nivel de significación más bajo ($p \leq 0.05$) que los sujetos controlados escribían tan rápido como los sujetos que presentaban síntomas sobre UEMSD's, es decir, un rango medio de 47 palabras por min contra 39 palabras por min, respectivamente. El estudio demostró que, a través del uso de la termografía, es posible medir las temperaturas de la mano bajo condiciones controladas de temperatura ambiente (Gold et al., 2009).

Otro estudio acerca de la termografía se llevo a cabo con personas mayores y personas jóvenes con el fin de demostrar que en ambos grupos existían cambios termográficos asociados a ejercicios físicos. Se siguió un protocolo para el ejercicio usando una carga de 1 kilogramo durante un periodo de 3 min a la flexión de la rodilla. Esto se realizó con 14 personas de 67 años en promedio y con 15 personas de 23 años en promedio. Cabe mencionar que las personas seleccionadas fueron personas en condiciones físicas y de salud aparentemente normales. Se

midieron las temperaturas de la piel del muslo posterior del miembro ejercitado y del miembro contralateral ejercitado con la ayuda de la termografía infrarroja en el periodo previo al ejercicio, inmediatamente posterior al ejercicio y durante un periodo de 10 min posterior al ejercicio. Se detectaron diferencias entre las temperaturas de los dos grupos durante el periodo del pre ejercicio. Aunque no se detectaron diferencias entre el periodo previo al ejercicio y el periodo posterior al ejercicio en el área del miembro ejercitado, se desplegó un perfil termográfico de concentración de calor en las áreas ejercitadas en los miembros de ambos grupos de estudio. Resultó en una reducción de temperatura en el grupo de los jóvenes a los 10 min posteriores (en ese periodo) al ejercicio en el miembro ejercitado. En contraste, hubo una reducción de temperatura posterior al ejercicio en el miembro contralateral en ambos grupos. Estos resultados mostraron nueva evidencia que hace asumir que las personas jóvenes y las personas adultas, presentan capacidades similares para producir calor. Sin embargo, las personas adultas presentaron una menor estabilidad de temperatura y una menor disipación del calor.

El trabajo realizado contribuye a mejorar la comprensión acerca de los cambios de temperatura en ambos grupos de estudio y provee implicaciones importantes a tomar en cuenta en el área de los deportes y programas de rehabilitación. El suministro de sangre para los músculos durante la etapa inicial de ejercicios está acompañada por una vasoconstricción cuando una respuesta del vasodilatador termo regulatorio ocurre y cuando la temperatura del cuerpo aumenta, determinando la pérdida del calor a través de la superficie de la piel (Zontak et al., 1998). La termografía infrarroja provee de un mecanismo no invasivo que registra la distribución de la temperatura con una cámara termal que recibe y procesa la radiación infrarroja emitida por la superficie del cuerpo. Este mecanismo ha sido ampliamente utilizado para caracterizar los patrones de temperatura en la superficie del cuerpo en el diagnóstico de distintas enfermedades,

y podría representar un instrumento sumamente valioso para el análisis de tejidos e investigaciones psicológicas concernientes al estudio de la producción y disipación de calor durante y después de un ejercicio (Vainer et al., 2005). Se han realizado pocos estudios acerca de la alteraciones en los patrones termográficos después de realizado un ejercicio, y ninguno de ellos evaluaba un perfil de los posibles cambios termográficos en ejercicio en personas adultas. Es bien conocido que el envejecimiento está relacionado a la pérdida de masa muscular y a una reducción en el metabolismo, lo cual limita la producción de calor y los ajustes termorregulatorios. Aunque existen diferentes estudios acerca de los efectos de un entrenamiento fuerte en personas adultas, las posibles diferencias en las respuestas termográficas de grupos de personas adultas y jóvenes no ha sido clarificada del todo.

Una explicación un poco más detallada del estudio realizado se menciona en los párrafos siguientes de esta tesis. Para el estudio en mención, se eligieron 29 voluntarios, 14 personas mayores o adultas y 15 personas jóvenes. El grupo de las personas adultas estaba conformado por 12 mujeres y 2 hombres de aproximadamente 67 años de edad (± 5), 158 cm. de altura (± 7.6), un peso de 67.4 kg. El grupo de los jóvenes estaba conformado por 10 mujeres y 5 hombres de aproximadamente 23 años (± 2), una altura de 168 cm (± 10.5) y un peso de 63.3 kg (± 13). Todos los sujetos fueron seleccionados bajo el criterio de personas físicamente saludables y en condiciones de someterse a actividad física de acuerdo al protocolo del experimento. El criterio principal de exclusión incluía a las personas fumadoras, con cirugías y dolor previos en miembros bajos, problemas cardiacos o vasculares, que pudieran afectar las temperaturas del cuerpo. A todos los sujetos incluidos en el estudio se les instruyó para que no comieran por 2 horas previas a la evaluación, además de no ingerir bebidas alcohólicas y no realizar ejercicios vigorosos 24 horas previas al estudio. Además, se les recomendó no aplicar soluciones

hidratantes de la piel en las extremidades inferiores. En lo que se refiere a la aplicación de la termografía, se le pidió a los sujetos que vistieran pantalones cortos con el fin de que se tuviera al descubierto en las extremidades inferiores. Antes de comenzar a grabar las temperaturas, los sujetos fueron colocados de pie durante 10 min con el fin de llevar a cabo el proceso de termalización de acuerdo a la temperatura del cuarto.

La primera foto fue tomada después de los 10 min de termalización durante la condición de pre ejercicio. Sólo entonces los sujetos fueron sometidos a ejercicios. La extremidad inferior dominante fue definida como el miembro preferencialmente utilizado para patear un balón. Resultó que en todos los sujetos del estudio la extremidad inferior derecha fue la dominante, entonces, se les pidió que el ejercicio fuera llevado a cabo con ese miembro.

Se tomaron 6 imágenes termográficas inmediatamente en el periodo posterior al ejercicio. Las imágenes se tomaron en intervalos de 2 min, es decir, inmediatamente posterior al ejercicio, esto es, al minuto 2, 4, 6, 8 y 10 subsecuentemente. Los intervalos de medición fueron determinados en un estudio piloto previo donde se identificaron cambios en las temperaturas posteriormente al ejercicio realizado. Se colocó para el ejercicio justo arriba del tobillo una carga de 1 kg y se les pidió a los sujetos que se ejercitaran por un espacio de 3 min continuamente a movimientos máximos de extensión y flexión. Los ejercicios fueron desempeñados en un rango de repeticiones de 20/min y se tomaron los tiempos y los latidos del corazón. La prueba se interrumpía si las personas mostraban algún tipo de dolor o anomalía que impidiera terminarla.

Los resultados fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de las varianzas (prueba Levene). Se llevó a cabo una ANOVA (de 2 pruebas) para comparar las temperaturas entre el miembro ejercitado y los miembros contra laterales dentro de cada grupo para los

periodos previos y posteriores al ejercicio. Para todas las pruebas estadísticas realizadas se consideró un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$).

En cuanto a los resultados, se encontró que no existió una diferencia entre los miembros izquierdos y derecho de ambos grupos antes del ejercicio. Sin embargo, las temperaturas de los miembros de los jóvenes fueron más altas que las temperaturas de los miembros de los adultos. Por otra parte, no hubo una diferencia entre las temperaturas medidas en el miembro ejercitado después del ejercicio en ambos grupos cuando se compararon con las temperaturas previas al ejercicio. Sin embargo, la temperatura en el periodo posterior al ejercicio fue más grande en el miembro ejercitado cuando fue comparado con los miembros contra laterales de ambos grupos. Además, se encontró un patrón en los incrementos de temperatura en los miembros ejercitados tras el ejercicio. Es importante denotar que sólo en el grupo de los jóvenes existió un decremento en la temperatura del miembro ejercitado en el periodo posterior al ejercicio a los 10 min.

Las temperaturas de los miembros contra laterales decrecieron en ambos grupos comparadas con las del periodo del pre ejercicio. Los miembros ejercitados de ambos grupos mostraron diferencias de variación de temperaturas. Los jóvenes presentaron una variación de temperaturas positivas en el miembro ejercitado inmediatamente posterior al ejercicio (0 min), seguido después de una variación negativa hasta los 4 min en el periodo posterior al ejercicio, alcanzando una estabilidad relativa después de eso. El miembro ejercitado en los sujetos mayores presentó inicialmente una variación positiva inmediatamente posterior al ejercicio (0 min). Sin embargo, la variación negativa se presentó pero con un retraso hasta los 6 min, alcanzando una estabilidad relativa después de eso.

De esta manera, la variación de la temperatura parece ser más pequeña en los sujetos mayores, comparada con el grupo de las personas jóvenes. En lo que respecta a los miembros contra laterales de ambos grupos, una intensa variación de temperatura negativa ocurrió inmediatamente al minuto 0 posterior al ejercicio, y estabilizándose al minuto 2 durante el mismo periodo (Ferreira et al., 2008). Como antes se mencionó, este estudio presentó evidencias que la disipación de calor en las personas mayores es más lenta que en que los jóvenes. Tales alteraciones fueron atribuidas a las limitaciones en el flujo sanguíneo (Petrofsy et al., 2006). Por otra parte, es de destacarse que un decremento en la temperatura de un miembro ejercitado es seguido de un proceso de recuperación y periodo de estabilización en ejercicios con carga (Zontak et al., 1998).

3.2 Desórdenes de Trauma Acumulado

3.2.1 Síndrome del Túnel del Carpo

El síndrome del túnel del carpo (STC) es el tipo de lesión o daño neuropático más común. El diagnóstico del STC está basado usualmente en un historial clínico, en un examen físico o en un electrodiagnóstico. Se realizó un estudio basándose en un diagnóstico termográfico del STC unilateral. Para el estudio se eligieron a 61 personas con un diagnóstico clínico del STC unilateral y confirmado por un electrodiagnóstico. Además, también fueron seleccionados 40 voluntarios, libres de algún síntoma por efectos del STC. Las imágenes termográficas fueron tomadas de manera aleatoria y fueron interpretadas por experimentados físicos en el área. 57 de los 61 pacientes diagnosticados con el síndrome presentaron algún tipo de anormalidad, mientras que sólo uno de los pacientes controlados presentó alguna anormalidad.

Los 61 pacientes antes mencionados fueron referidos para el estudio bajo su consentimiento. Este fue realizado en el periodo comprendido de febrero de 1989 a junio de 1990 por la división de cirugía ortopédica de la Universidad de Kentucky. Con respecto a los 40 voluntarios, el grupo consistía de 20 hombres y 20 mujeres; sus edades oscilaban entre los 22 y los 45 años de edad. Tales voluntarios no contaban con historial clínico previo de alguna cirugía de extremidad o algún síntoma por causa del STC.

Como punto importante de enfatizar, es que todos los exámenes termográficos fueron ejecutados por el mismo técnico certificado en termografía utilizando una unidad de termografía infrarroja con 1 °C de variación (Agema 870). Entonces, todos los pacientes seleccionados fueron examinados por termografía después de 15 min de equilibrio, durante los cuales las manos estuvieron aisladas de todo tipo de contacto. Las vistas del área dorsal y palmar de ambas manos fueron tomadas 3 veces a intervalos de 15 min para controlar trascendentales cambios de temperatura. 3 áreas de ambas manos fueron seleccionadas para el estudio; el área dorsal, el área palmar y el área de la superficie interior de la mano (desde la muñeca hasta la base de los dedos). Una anormalidad fue identificada cuando al medir más del 25% del área, esta representaba un incremento de al menos 1 °C, comparados con las manos de las personas libres de síntomas del STC. Hallazgos negativos en ambos grupos fueron confirmados después de la aplicación de pruebas de stress. Se analizaron 101 pares de imágenes en el estudio.

En 39 de los 40 pacientes voluntarios sanos en el estudio, resultaron libres del STC. El único caso detectado involucraba el área dorsal de la mano, pero al efectuarle un electrodiagnóstico, el caso dio negativo para el STC. De los 61 pacientes que presentaron el síndrome, 57 desplegaron anormalidades termográficas en al menos una de las tres áreas del

diagnóstico. 29 pacientes tuvieron hallazgos de anormalidades termográficas en dos áreas de las 3 medidas, mientras que 11 pacientes tuvieron anormalidades en las 3 áreas.

Cuando las áreas individuales del diagnóstico fueron evaluadas para detectar el STC, la sensibilidad fue más alta (79%) para el área dorsal. La especificidad fue igualmente muy alta sin ninguna diferencia significativa en las 3 áreas. La sensibilidad se incrementó entonces hasta un 89% cuando las áreas palmar y dorsal u otras áreas fueron combinadas. La sensibilidad combinada para las tres áreas fue 93%. La especificidad combinada para las 3 áreas fue de 98%.

Hace más de 20 años se notó que ciertos cambios vasocomotores pueden ser anticipados después de la compresión o irritación del nervio medio, debido a que el nervio carga con la mayoría del suministro del nervio simpático de la mano (Phanlen et al., 1966). Estudios recientes confirman que el nervio medio carga con la mayoría de estas fibras y que estas a su vez, suministran a los músculos suaves continuando en las paredes de los vasos sanguíneos (Brelsford et al., 1985). Partiendo del punto que se sabe que los nervios vasoconstrictores pertenecen al sistema simpático, la temperatura de la piel es una medida indirecta de la actividad simpática. Además, se han documentado cambios simpáticos y un incremento de la temperatura en los dedos índices afectados de pacientes con el STC. Tal documento ha presentado más evidencia concreta del potencial y valor del diagnóstico del STC a través del uso de la termografía (Jordan y Greider et al., 1987).

Muchos estudios también han documentado que con la excepción de los antebrazos, las extremidades y tronco despliegan una simetría termográfica dentro de un 0.3 °C, mientras que los antebrazos no diferencian más de 0.9 °C. En este estudio la mayoría de los 61 pacientes confirmados con el STC tuvieron significantes incrementos de temperatura en las regiones

definidas para diagnóstico. Cuando los resultados de estos se obtuvieron, fueron comparados con los resultados de los 40 voluntarios. La termografía mostró un grado satisfactorio en la sensibilidad y en la especificidad. Aunque la sensibilidad fue más alta cuando el área dorsal fue usada como única zona de diagnóstico, el uso adicional de otras áreas de diagnóstico incrementó la sensibilidad.

Resultados de estudios termográficos acerca del STC pueden ser fácilmente diferenciados de aquellas otras enfermedades que afectan las temperaturas de la piel en extremidades superiores. Aunque este estudio apoya el valor de la termografía en el estudio del STC unilateral, su utilidad está limitada a los desórdenes bilaterales, debido a que la interpretación de los resultados de la prueba es generalmente dependiente de las diferencias entre las extremidades sanas y dañadas (Tchou et al., 1992). Una de las lesiones más comunes que se presentan por la ejecución de tareas repetitivas es el llamado STC.

Se habla que en este tipo de síndromes existe un 10% de riesgo de padecerlo de por vida en la población en general. En la actualidad, se está volviendo más común en aquellas personas que desarrollan actividades con la computadora como el escribir continuamente. Ocurre cuando el nervio medio el cual corre del antebrazo hacia la mano, se encuentra contraído en el túnel de la muñeca. El fondo y las paredes de este túnel están formados por los huesos de la muñeca y su techo, por un fuerte ligamento. El nervio medio está conformado por 9 tendones. Estos tendones están cubiertos por una membrana lubricante llamada “sinovium”, la cual tiende a engrandecer o hincharse bajo ciertas circunstancias. Si la hinchazón es suficiente, ésta puede causar una compresión del nervio medio contra este fuerte ligamento. El nervio medio abarca aquellas fibras motoras, sensoriales y simpáticas. La compresión del nervio medio eventualmente causará tendinitis y debilidad en la mano sobre el área de la distribución del nervio medio.

Se llevó a cabo un estudio en el cual fue usada la termografía digital infrarroja utilizada para capturar los datos de las temperaturas instantáneamente en una memoria de computadora. Todos los sujetos fueron mantenidos en un cuarto a una temperatura entre 22 y 24 °C por un periodo de más de 15 min. Después, fueron tomadas una serie de fotos usando la cámara infrarroja la cual provee imágenes y datos acerca de las temperaturas sin tocar al sujeto de estudio. Después, dos miembros del grupo de estudio analizaron todas las fotografías con la ayuda de un software especial sin antes conocer los resultados de la electromiografía.

Fueron elegidos 22 voluntarios sanos (8 hombres y 14 mujeres con un promedio de edad de 49.2 años de edad, en un rango entre 22 y 64). Fueron investigadas 41 manos, y aquellas con inflamación en los dedos fueron excluidas del estudio. También pacientes con problemas del STC fueron incluidos en el estudio (11 hombres y 9 mujeres con un promedio de edad de 49.8 años de edad, en un rango entre 16 y 76); Los pacientes con historial clínico de desórdenes neuromusculares que no fueran por el STC, como la diabetes, la artritis reumatoide y otros, fueron excluidos del estudio.

Todos los sujetos fueron mantenidos en un cuarto a una temperatura de entre 22 y 24 °C por más de 15 min. Entonces, una serie de fotos sobre las manos fueron tomadas con el uso de la cámara de video digital infrarroja, la cual toma imágenes de las temperatura corporal sin necesidad de tocar al sujeto de estudio. Todos los datos fueron colectados en la computadora. Después de esto, dos miembros del grupo de estudio analizaron las diferencias de temperatura por medio de un software. Si la imagen de la temperatura en el área de distribución del nervio medio de la mano mostraba diferencia con respecto al área de distribución ulnar, entonces, la mano de estudio era considerada anormal. También, por medio del software pudieron tomarse las temperaturas de cada una de las yemas de los dedos y además del centro del área ulnar y el área

de distribución de nervio medio. De modo que fueron calculadas las diferencias absolutas de las temperaturas de estos 7 puntos.

El objetivo principal del estudio era el clarificar la patología simpática en el STC y el uso de la termografía digital computarizada como un medio para llevar a cabo un diagnóstico. Se encontró que en los pacientes con el STC las temperaturas en el área de distribución del nervio medio en la mano mostraban anomalías. Las temperaturas entre los dos grupos seleccionados fueron significativamente diferentes. En los pacientes con el síndrome, fueron significativamente diferentes comparadas con otras áreas de distribución del nervio. La temperatura del cuerpo es afectada por la actividad vasomotora y regulada por el sistema nervioso simpático. En los pacientes con el síndrome, las funciones sensoriales y motoras fueron claramente afectadas (datos confirmados por la electromiografía). Al tiempo que la lesión progresa, esta puede causar la primera vasodilatación parálitica e incrementar la temperatura en el área afectada. En este estudio, fue utilizado un equipo con una sensibilidad mínima de 0.05 °C, además de las pruebas estadísticas (prueba t-student y prueba chi-cuadrada) para el análisis de los datos obtenidos (Ming et al. 2005).

El STC es una enfermedad común. Su epidemiología ha sido evaluada previamente, aunque se ha efectuado mayormente en poblaciones regionales o en grupos de trabajo, con una incidencia de entre 1,500 y 3,500 (personas por año). La compresión del nervio medio en la muñeca va comúnmente acompañado de síntomas como hormigueo y dolor en extremidades superiores (Cranford et al., 2007). Las mujeres son más propensas a ser afectadas que los hombres, y factores de riesgo asociados al STC, incluyen la obesidad, el uso de herramientas vibratorias, la diabetes, y la artritis reumatoide. El STC además, se encuentra asociado a una constelación variada de síntomas que incluyen a la presencia de debilidad.

La epidemiología del STC ha sido reportada en poblaciones generales, principalmente en grupos o poblaciones de trabajo relacionados con demandas para obtener compensación. Estudios en Holanda (Wolf et al., 2009), Italia (Lalumandier JA et al., 2000) y Estados Unidos (Nordstrom DL et al., 1998) se han enfocado en ciudades o regiones sencillas notando rangos de incidencia de entre 1,300 a 3,500 (personas por año). Otros estudios demográficos han mostrado una mayor incidencia del STC en poblaciones de trabajadores (Atroshi et al., 1999), consistente en datos que muestran que el movimiento repetitivo en la muñeca pudiera contribuir al desarrollo de síntomas del STC (Nordstrom DL et al., 1998). Sin embargo, recientemente se ha demostrado que un alto uso del teclado de computadora en el trabajo no está asociado a un grado más alto de incidencia del STC (Atroshi et al., 1999).

En este estudio se evaluó la incidencia del STC a través del uso de un código de diagnóstico en una base de datos que incluye a todo el personal militar de Los E.U.A. Esta población incluye todas las regiones geográficas de Los E.U.A., incluyendo aquellos miembros del personal militar sobre océanos, proporcionando con esto un denominador más amplio para el análisis epidemiológico. La hipótesis estuvo basada en el hecho de que esta población joven y activa de militares tendría una incidencia más baja del STC de la que se ha notado en los análisis de poblaciones generales.

Para este estudio, se utilizó la base epidemiológica médica del departamento de defensa, además de archivos clínicos de los pacientes que recibieron atención médica en cualquier instalación médica militar. Esto último, con el fin de mantener el número de soldados americanos en servicio activo cada año. Además, esta base de datos cuenta con datos demográficos y militares muy específicos que pudieran ser usados para propuestas epidemiológicas.

Además, se realizó la clasificación de acuerdo al género, servicio militar, rango y edad, para los años de entre 1998-2006. Se utilizaron como herramientas estadísticas la regresión de Poisson Multivariada para estimar el rango del STC (1,000 personas por año). Un total de 48,957 casos de STC fueron documentados en la población de riesgo de 12'298,088 personas (realizada en un año). El rango de índice no ajustado para el diagnóstico del STC fue de 3,980 personas por año. En la evaluación de diferencias de género, las mujeres tuvieron una incidencia más alta del STC comparado con los hombres en la población militar. El índice no ajustado para los hombres fue de 3,090 y para las mujeres, de 8,690 personas por año.

Además, se detectó a la edad como un factor muy importante de incidencia del STC, ya que las personas mayores tienen un rango mayor de incidencia con el STC. El rango de incidencia más grande se detectó en el grupo de personas mayor de 40 años tomando en cuenta al grupo más bajo de edad como factor de referencia, con un 11.63. Otro factor importante a medir fue el rango del personal militar, debido a que el personal de menor rango se asume que desarrolla más trabajos manuales que aquellos con un mayor rango. El análisis estadístico mostró que este factor fue significativo en el efecto de incidencia en el STC, independientemente de la edad y del género. Los rangos más altos de incidencia se dieron en aquel personal mayor enlistado y oficiales mayores con un índice de 5,560 y 4,980 personas por año. En la población más joven se dieron los resultados más bajos con respecto a los rangos de incidencia.

Se determinó entonces un rango de incidencia de 3,980 casos por año en la población militar de los Estados Unidos. Dicho rango es mayor de aquellos obtenidos en reportes anteriores. Esto desaprueba la hipótesis planteada de que una población militar predominantemente joven, tendría un menor rango de incidencia en el STC que las observadas en poblaciones civiles.

La evaluación por factor de edad de la incidencia en el STC en poblaciones generales ha mostrado un pico en el intervalo de 40-59 años. Se han desarrollado pocos estudios del STC en poblaciones jóvenes. Cabe destacar que los investigadores han notado que los rangos de diagnóstico del STC aumentan con la edad y el consumo de tabaco (Vessey M.P. et al., 1990). Otro grupo de investigadores notó que los diagnósticos clínicos y las pruebas electrofisiológicas fueron negativas en la mayoría del grupo de pacientes menores de 35 años con síntomas clínicos del STC y respuesta a cirugía, comparado con aquel grupo de personas mayores de 35 años, sugiriendo que este grupo está bajo diagnóstico y tratado por STC (Polykandriotis E. et al., 2007).

En resumen, el análisis del STC desarrollado en la población militar de los Estados Unidos mostró una incidencia de 3,980 casos por año, predominante significativa en el grupo de mujeres militares. La incidencia en el STC incremento casi linealmente con la edad en la población joven, el personal y los oficiales enlistados con rangos más altos con un riesgo más alto para el STC. El próximo paso es un análisis por ocupación dentro de este grupo estudiado para identificar personas con un riesgo más alto de acuerdo a las tareas que desempeñan (Wolf et al., 2009). Cabe mencionar además que el flujo de la presión sanguínea en las actividades repetitivas es un factor de vital importancia.

La baja presión sanguínea puede contribuir en la patofisiología de los UEMSD's como la tendinitis y el STC. El objetivo del estudio era el poder caracterizar las diferencias en las temperaturas de la piel de entre tres grupos de trabajadores de oficina evaluadas por termografía dinámica, seguida por un reto de escritura de 9 min. Los tres grupos conformados por personas con desórdenes musculares incluían: aquellos que no presentaban el síndrome de las manos frías,

personas con desórdenes musculares con presencia del STC de las manos frías y sujetos controlados.

En cuanto a los métodos, se eligieron a 12 sujetos controlados y 17 casos por desórdenes musculares. Los participantes eran principalmente pacientes potencialmente afectados por el síndrome de Raynaud en grado 1 o grado 2. Aquellos pacientes con problemas cardiacos o problemas de alta presión fueron excluidos del estudio. El grupo de 17 pacientes fue obtenido del centro de salud de la Universidad de Connecticut, y fueron diagnosticados con UEMSD's por el uso de la computadora. Esto es, todos los casos con los siguientes síntomas: dolor, ardor, hormigueo e hinchazón.

Todos los síntomas anteriores se presentaban en las áreas de antebrazo, muñeca o mano relacionados a una lesión traumática. 7 de los 17 casos respondieron afirmando presentar el síndrome de las manos frías inducido por el uso de la computadora, mientras que los 10 restantes respondieron negativamente a la interrogante. Los sujetos controlados del estudio eran principalmente trabajadores de oficina que habían usado la computadora por más de 5 horas diarias por un periodo mayor de 5 años. Ninguno había sido tratado por problemas en los últimos 5 años. Los 3 grupos de estudio fueron clasificados de acuerdo a su edad, genero y temperatura media del dorso.

La media de la edad de los sujetos era de 42 años (en un rango de 31 a 66 años). Fueron incluidos en el estudio 21 mujeres y 7 hombres. Después de haber visto una descripción escrita del estudio, los participantes informaron su consentimiento para someterse al procedimiento. Se le pidió a los sujetos que se abstuvieran de efectuar ejercicios intensos, de usar el teclado del computador, de usar herramientas, de beber cafeína, de beber alcohol y de fumar previamente al

experimento. Se les pidió a los pacientes que se sentaran en una silla ajustable frente al escritorio con la repisa del teclado colocada por debajo o a la altura del codo. Los participantes fueron invitados a ajustar su silla y repisa del teclado previo al experimento. La cámara infrarroja fue ajustada a una altura de 1.2 m por encima del escritorio. Después, los participantes se sentaron frente al escritorio y colocaron sus manos y brazos sobre el mismo en una posición relajante durante 20 min previos al experimento de escritura.

Una imagen termográfica de inicio fue tomada 1 min antes del experimento, mientras que los participantes permanecían en la posición de descanso. Entonces, se les pidió a los participantes que efectuaran el ejercicio de escritura no técnica durante 9 min. Después de 10 min de escritura, se tomaron 3 imágenes al periodo de 0-2 min (temprano), de 3-5 min (medio) y de 8-10 min (tarde), mientras que las manos descansaban sobre el escritorio. Además, se hicieron un conjunto de preguntas a manera de cuestionario antes, durante y al término de la prueba. Preguntas como las siguientes: ¿Te duelen las muñecas?, ¿Te duelen los hombros?, ¿Sientes hormigueo?, ¿Te duelen los codos?

Sólo hubo una persona de los participantes que reportó exacerbación por el uso del teclado antes y no durante el estudio. Dicha persona fue excluida del estudio. Los estudios fueron llevados a cabo en una oficina a un ambiente de entre 18 °C y 25 °C. La región del metacarpo de la mano derecha fue identificada como el punto principal para llevar a cabo el análisis, debido a que es el área más factible para detectar respuesta vascular y anomalías de la mano. Aunado a lo anterior, la prueba t-pareada fue utilizada como principal herramienta estadística para determinar diferencias en la temperatura del dorso medio (mano) de la piel.

La temperatura del dorso medio (mano) fue similar en todos los grupos. La temperatura en los sujetos controlados se incrementó en el periodo de 0-2 min por arriba de la temperatura

media en 0.7 °C y de 0.4 °C en el grupo combinado de desórdenes musculares. En el grupo de sujetos controlados existieron 3 diferencias de temperaturas en los 3 periodos después de la escritura, mientras que el grupo con desórdenes musculares no presentaban el síndrome de manos frías y no existió una diferencia significativa entre los periodos.

La temperatura ambiente también causo efecto durante el ejercicio de escritura y se presentó aparentemente en sujetos controlados y en casos de personal que reportaban el síndrome de las manos frías o el síndrome de Raynaud. En los sujetos controlados, es decir en aquellos estudiados debajo de la media de la temperatura ambiente (23.8 °C), se elevo su temperatura del dorso medio (mano) después de la escritura, mientras que en aquellos (excepto uno), estudiados arriba de la temperatura ambiente media, redujeron su temperatura en la parte del dorso después de la escritura. En aquellos que presentaron el síndrome de las manos frías ocurrió el efecto alterno. Esto es, aquellos estudiados a temperaturas ambiente más altas, incrementaron la temperatura de la mano antes de bajarla a la temperatura media base. Mientras que aquellos estudiados a temperaturas más bajas respondieron de manera más similar al caso de los sujetos controlados estudiados a altas temperaturas.

Aparentemente aquellos casos con UEMSD e inducidos por el uso del teclado y que presentaban el síndrome de las manos frías, demostraron una reducción en su habilidad a regular la temperatura de la mano en respuesta a la temperatura ambiente. La temperatura base del dorso medio (mano) fue marginalmente más baja cuando la temperatura ambiente del cuarto de estudio estaba por debajo de los 23.8°C. Para investigar más acerca del efecto de la temperatura ambiente, sería deseable el estudiar a los sujetos controlados en diferentes ambientes de temperatura del aire usando un cuarto de temperaturas controladas.

Tres distintos patrones de temperatura aparecieron después de un periodo de observación de 10 min. Terminado el reto de escritura de 9 min, aquellos sujetos con desórdenes musculares mostraron tener anomalías en las temperaturas. Sería muy bueno el repetir el experimento varias veces dentro de un periodo corto de tiempo con una pequeña muestra de gente para determinar la reproductividad de los datos vistos en este estudio. (Gold et al., 2004). Los DTA's pueden presentarse en un sinnúmero de tareas que son repetitivas.

Se realizó un estudio con 157 trabajadores procesadores de carne de ave, el cual reveló que el 50% presentaban 3 o más anomalías en extremidades superiores de 22 posibilidades de estas. El promedio por trabajador oscilaba entre 5 y 6 anomalías. De los trabajadores que mostraban señales, el 25% no reportó síntomas, mientras que el 8% reportó síntomas pero no mostró señales. Los investigadores concluyeron que el método utilizado en la investigación tiene utilidad para evaluar poblaciones de trabajadores con el fin de determinar la prevalencia de los DTA's, y potencialmente, para detectar su presentación de manera temprana, y así, reducir los costos por atención médica y minimizar incapacidades.

Los DTA's afectan el incremento del número de trabajadores con graves problemas de salud que no hacen más que aumentar las tasas de compensación y bajar la productividad (Chapnik et al., 1987). Aunque un número de condiciones y factores personales predisponen a las personas a desarrollar los DTA's, parece ser que los factores ocupacionales o laborales precipitan del 30 al 80% de los casos observados en los trabajadores. Estos factores incluyen: fuerza excesiva, alta repetitividad de operaciones, factores combinados de fuerza y repetitividad, posturas sostenidas, malas posturas de las extremidades superiores y vibración (Silverstein et al., 1987). Ha sido difícil determinar la prevalencia de los distintos tipos de DTA's en ocupaciones específicas. El uso de diferentes métodos de clasificación de los DTA's hace difícil comparar la

prevalencia de acuerdo a los datos entre estudios realizados (exámenes físicos, cuestionarios, entre otros). Cabe destacar que se menciona que para que un DTA pueda ser detectado, este debe de haberse desarrollado bien con anterioridad. Así, de este modo, un criterio clínico tiene uso limitado en el desarrollo de modelos de prevención, en detección temprana, y en la minimización de días perdidos debido a una incapacidad (Young et al., 1995).

3.3 Sistemas de Medición

3.3.1 Precisión y Exactitud

La precisión y la exactitud son dos manifestaciones de la variabilidad en cualquier proceso de medición como se puede apreciar en la figura 3. La precisión es la variación que presentan los resultados al medir varias veces una misma magnitud o mensurando con el mismo equipo (sus componentes principales son la repetitividad y la reproducibilidad). En otras palabras, la precisión es la habilidad de un instrumento de medición para repetir y reproducir su propia medición, con independencia de si dicha medición es correcta o incorrecta. La exactitud o sesgo se refiere al desfase o desplazamiento que tienen las mediciones en relación al estándar o verdadero valor que se supone conocido: la exactitud se estima mediante la diferencia entre la media observada y el verdadero valor (N) del mensurando. Para poder estudiar la exactitud se requiere contar con un estándar o patrón de modo que se pueda suponer conocida la magnitud verdadera a medir. Por ejemplo, si en una balanza se miden varias veces a lo largo de un mes un objeto patrón que pesa un kilogramo (1 kg) y el promedio de los datos es 1 kg, entonces se dice que la balanza es exacta. La variabilidad que muestran las mediciones alrededor de 1 kg es la precisión de la báscula.

Es más fácil entender lo que es precisión y exactitud a partir de las imágenes presentadas en la figura 3. La primera representa el tiro al blanco, en el cual el objetivo o patrón a medir es el centro y los puntos son resultados observados en el proceso de medición mientras que en la curva normal se representa el proceso de medición y se debe apreciar la dispersión y que tan desfasada esta respecto al valor nominal (N). En el caso “a”, se trata de un tirador o proceso de medición impreciso, ya que sus disparos o mediciones están dispersos y tampoco es exacto porque en promedio sus disparos están desfasados respecto al centro. El proceso “b” tiene una exactitud adecuada, porque en promedio le pega al centro o valor nominal (N), pero es impreciso por su alta dispersión. En el inciso “c” las mediciones tienen buena precisión (poca variabilidad), pero su exactitud es mala (están desfasados del centro), y el inciso “d” tiene un proceso de medición que es preciso y exacto, ya que en promedio le pega a la magnitud verdadera (el centro) con poca variabilidad. Lo más deseable es que el proceso de medición sea preciso y exacto (caso d), es decir, que cuando mida el mismo objeto arroje resultados similares (poca dispersión) y que el promedio de dichos resultados sea la magnitud verdadera del objeto. (Gutiérrez de la Vara, 2004).

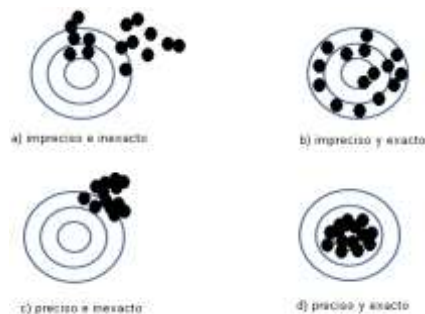


Figura 3. Precisión y Exactitud

3.3.2 Repetibilidad y Reproducibilidad

Ambos son los componentes clave de la precisión. La repetibilidad de un instrumento de medición se refiere a la precisión o variabilidad de sus mediciones cuando se obtienen varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares (mismo operador) y la *reproducibilidad* es la precisión o variabilidad de las mediciones del mismo objeto pero en condiciones variables (diferentes operadores). El objetivo de un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) es cuantificar a la variabilidad que aportan a los datos el instrumento de medición (repetibilidad) y la que aportan los operadores (reproducibilidad). Así, la repetibilidad se refiere a la variabilidad de las mediciones sucesivas del mismo objeto con un instrumento y el mismo operador, mientras que la reproducibilidad es la variabilidad de las mediciones que es atribuible a los diferentes operadores que miden una misma pieza.

Los estudios de R&R se aplican cuando en un tiempo dado se quiere tener una evaluación o reporte del estado de un proceso de medición, y se analizan dos métodos para *monitorear* en forma permanente el desempeño del proceso de medición. De acuerdo con esto, es importante decidir si lo que interesa es tener un diagnóstico único sobre el estado actual del proceso de medición, o diseñar un monitoreo continuo de la calidad de las mediciones. Cabe mencionar que algunas situaciones en las que se recomienda realizar un estudio R&R son: cada vez que se compra un equipo nuevo, cuando hay evidencia de que algo anda mal con el proceso de medición, o bien, antes de un proyecto especial en el cual se obtendrán muchas mediciones, como puede ser un proyecto Seis Sigma.

3.3.3 Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad

En los estudios R&R se trata de evaluar en forma experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y cuantificar si este error es mucho o poco, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide. Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio de repetibilidad y reproducibilidad son: variabilidad del producto, del instrumento y de los operadores. Sean la variabilidad total, la varianza atribuible al producto (partes o piezas), la variabilidad del instrumento de medición y la varianza debida a operadores. Se cumple la siguiente relación:

$$\sigma^2 = \sigma^2_{produ} + \sigma^2_{oper} + \sigma^2_{inst} \dots\dots\dots(1)$$

Donde

$$\sigma^2_{inst} = \sigma^2_{repeti} \text{ y } \sigma^2_{oper} = \sigma^2_{reprod} \dots\dots\dots(2)$$

Por tanto,

$$\sigma^2_{R\&R} = \sigma^2_{repeti} + \sigma^2_{reprod} \dots\dots\dots(3)$$

Existen dos tipos de estudios R&R, el corto y el largo. El estudio R&R largo es el más completo, y por ende, el más recomendable, debido a que permite tener una evaluación para cada una de las tres fuentes de variabilidad referidas antes, en particular de la repetibilidad y de la reproducibilidad. Mientras que en el estudio R&R corto, que es menos recomendable, sólo se logra evaluar la variabilidad atribuible al proceso de medición sin distinguir que parte se debe al instrumento y cual a operadores.

3.3.4 Estudio Largo con Análisis de Medias y Rangos

Este método para realizar estudios R&R permite separar de manera explícita la repetibilidad y la reproducibilidad, y es el más usual. Los pasos que deben de seguirse para llevarlo a cabo son:

- Seleccionar dos o más operadores para conducir el estudio sobre el instrumento de interés.
- Seleccionar al azar de la producción un conjunto de 10 partes o piezas que serán medidas varias veces por cada operador.
- Decidir el número de ensayos o veces que cada operador medirá la misma pieza. En este método se deben hacer por lo menos dos ensayos, aunque lo recomendado es que sean tres.
- Etiquetar cada parte y aleatorizar el orden en el cual las partes se dan a los operadores. Identificar la zona o punto en la parte en donde la medición será tomada y el método o técnica que deberá aplicarse.
- Obtener en orden aleatorio la primera medición (o ensayo) del operador A para todas las piezas seleccionadas.
- Volver aleatorizar las piezas y obtener la primera medición del operador B.
- Continuar hasta que todos los operadores hayan realizado la primera medición sobre todas las piezas.
- Repetir los tres pasos anteriores hasta completar el número de ensayos elegidos. Asegurarse que los resultados previos de un ensayo no son conocidos por los operadores. Es decir, en cada medición realizada, el operador no debe conocer cual pieza está

midiendo, ni cuáles fueron sus mediciones anteriores sobre ella, mucho menos las reportadas por los demás operadores.

¿Qué hacer cuando los resultados son inaceptables ($P/T > 30\%$)? Si los resultados del estudio R&R son inaceptables, es necesario analizar su origen, porque en primera instancia, puede ser el instrumento, los operadores o ambos. De acuerdo a esto, se tiene las siguientes posibilidades de acción:

- Si la fuente dominante de variación es la repetibilidad, se deben investigar las posibles causas, algunas de las cuales pudieran ser: la suciedad del instrumento, componentes gastados, variabilidad dentro del mensurando, instrumento mal diseñado, funcionamiento inadecuado, método inadecuado y condiciones ambientales. Otra posibilidad para mejorar la precisión es hacer más de una medición sobre la misma pieza y reportar el promedio de estas mediciones como la magnitud de la misma.
- Cuando la reproducibilidad es la fuente principal de variabilidad, los esfuerzos se deben enfocar a estandarizar los procedimientos de medición y entrenar a los operadores para que se apeguen a ellos. Esto se debe a que por lo general, resulta que los operadores usan métodos distintos, carecen de entrenamiento en el uso del equipo o se tiene un diseño inapropiado del instrumento que permite evaluaciones subjetivas.
- Con independencia de la fuente dominante, se debe cuestionar si las especificaciones son realistas y averiguar si el consumidor en realidad requiere especificaciones tan estrechas.
- Si a pesar de la mala calidad de las mediciones la capacidad del proceso de producción es adecuada ($cp > 1.33$ y centrado en el valor nominal), entonces el desempeño inadecuado del sistema de medición no necesariamente es problema crítico, pero en caso de mejorar la

precisión se observaría aun todavía mejor. Por el contrario, si el proceso de producción es incapaz ($cp < 1$), los resultados inaceptables del estudio R&R pueden ser la diferencia entre reportar o no el proceso como capaz.

3.4 Ajuste Polinomial

La regresión polinomial es uno de los métodos de modelar una curvatura y presentar la relación entre una variable de respuesta y la variable regresora mediante la extensión de modelos de regresión lineal simple para incluir a la variable X^2 y X^3 como predictores (Minitab® 16).

3.5 Prueba de Normalidad Anderson-Darling

Las pruebas de normalidad se usan bajo el planteamiento de la hipótesis nula (H_0), esto es, de que una población de datos proviene de una distribución normal, o una hipótesis alternativa (H_1), esto es, de que los datos provienen de una distribución no normal. A través de una gráfica sencilla se puede evaluar si los datos se ajustan a la recta de normalidad. Si los datos no están tan ajustados, podremos hablar de una distribución que no sigue una normalidad.

La prueba AD compara la función de distribución acumulada de los datos con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si la diferencia que se observa es suficientemente grande, entonces, la H_0 de normalidad de datos deberá de rechazarse. Si el valor de p es menor que el nivel de alfa seleccionado, se puede rechazar la H_0 y declarar que los datos siguen una distribución no normal (Robin, 2006).

3.6 Distribución Weibull

La distribución de Weibull se usa con frecuencia para modelar el tiempo hasta que ocurra una falla en muchos sistemas físicos diferentes. Los parámetros de la distribución confieren una gran flexibilidad para modelar sistemas en los que el número de fallas aumenta con el tiempo (desgaste de rodamientos), disminuye con el tiempo (algunos semiconductores) o permanece constante con el tiempo (fallas causadas por interferencias externas al sistema) (Montgomery y Runger, 2006). La variable aleatoria X con una función de densidad de probabilidad,

$$f(x) = (\beta / \delta)(x / \delta)^{\beta-1} e^{-(x/\delta)^\beta}, \text{ para } x > 0. \dots\dots\dots (4)$$

Tiene una **distribución Weibull** con parámetro de escala $\delta > 0$ y parámetro de forma $\beta > 0$

Es común usar la función de distribución acumulada para calcular las probabilidades. Puede llegarse al siguiente resultado:

Si X tiene una distribución Weibull con parámetros δ y β , entonces la función de distribución acumulada de X es,

$$F(x) = 1 - e^{-(x/\delta)^\beta} \dots\dots\dots (5)$$

También puede obtenerse el siguiente resultado:

Si X tiene una distribución de Weibull con parámetros δ y β entonces la media y la varianza de x son,

$$\mu = \delta\gamma(1 + (1/\beta)) \text{ y } \sigma^2 = \delta^2\gamma(1 + (2/\beta)) - \delta^2(\gamma(1 + (1/\beta)))^2 \dots\dots\dots(6)$$

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Pruebas

En esta investigación se desarrollaron pruebas emuladas y pruebas de validación en la industria.

4.1.1 Pruebas Emuladas

Para el desarrollo de las pruebas emuladas se seleccionaron a 6 estudiantes, específicamente a 3 hombres y a 3 mujeres (todos estudiantes de ingeniería industrial de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño). Estos estudiantes seleccionados fueron voluntarios que accedieron a participar en el desarrollo de dicho estudio, el cual los involucro como participantes importantes activos del proyecto ya que simulaban los movimientos durante el mismo periodo de operación que los operadores de una industria maquiladora. Se convocó a junta con todos los estudiantes para explicarles en qué consistía el proyecto y para pedirles su colaboración y compromiso con el mismo, esto con el fin de obtener confiabilidad en los datos y desarrollo del experimento.

Se definió un protocolo para dar seguimiento a la experimentación en la fase preliminar, la cual se define más adelante. Por otra parte, cabe mencionar que un análisis subjetivo de la experimentación fue llevado a cabo con el fin de relacionar la información recabada con los diferentes comportamientos de las temperaturas corporales. Además, se planteó un biocuestionario permitiendo al analista recolectar información acerca del operador. Este mismo biocuestionario se planea contemplarlo para la recolección de información de los operadores de la industria y tomarla en cuenta para futuros análisis e investigaciones. Además, todas y cada una

de las pruebas emuladas se llevaron a cabo dentro de un cubículo del edificio E1 de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

4.1.2 Pruebas de Validación en la Industria.

Para el desarrollo de las pruebas emuladas se seleccionaron a 22 operarios, específicamente a 7 hombres y a 15 mujeres, los cuales son todos operarios que laboran desarrollando la operación que tiene una gran cantidad de MAR algunos de los cuales ya presentan lesión en la muñeca. Se convocó a junta a la cual asistieron la mayoría de los supervisores y operarios, ello para explicarles en qué consistía el proyecto, pedirles su colaboración y compromiso con el mismo con el fin de obtener confiabilidad en los datos. Para la etapa de las pruebas emuladas se definieron dos variables importantes a estudiar, la temperatura y el número de ciclos, entendiendo el número de ciclos como la cantidad de piezas que puede hacer el operador en un tiempo determinado.

Se definió un protocolo para dar seguimiento a esta fase, la cual se define más adelante. Por otra parte, cabe mencionar que un análisis subjetivo de la experimentación fue llevado a cabo con el fin de relacionar la información recabada con los diferentes comportamientos de las temperaturas corporales. Se recolectó información acerca de los operadores de la industria a través del mismo biocuestionario aplicado anteriormente.

4.1.3 Equipo de Captura y Análisis de Datos

Para llevar a cabo todas las pruebas, se utilizó lo siguiente: termógrafo digital Sköll de 7 sensores con un alcance de 0 °C – 40 °C, exactitud ± 0.3 °C, y una resolución de 0.1°C (López, 1992); cinta micro porosa (Marca 3M); cinta adhesiva; reloj cronómetro (Marca Casio); computadora personal (Marca TOSHIBA) y calentón de casa (sólo en el caso de las pruebas emuladas). Aunado a esto, para la programación de los termógrafos Sköll se utilizó el programa Akela. Por otro lado, también se utilizó paquetería de análisis estadístico como Minitab®16 y Microsoft® Office Excel 2007.

4.1.4 Protocolo

4.1.4.1 Protocolo de las Pruebas Emuladas

Las pruebas emuladas se desarrollaron en un cubículo de la FIAD; con 9 estudiantes de la licenciatura en ingeniería industrial. Durante 2 meses, para esta fase del estudio y dado las limitantes en cuanto al horario de los estudiantes y la disponibilidad de los termógrafos Sköll, se estableció tomar la muestra de cada individuo sólo un día a la semana, es decir, asignando un día en específico a cada individuo. El protocolo a seguir fue el siguiente:

1. Programar los termógrafos Sköll usando el programa Akela.
2. Se le(s) pidió a la persona (s) que previo a la prueba, se abstuvieran de hacer cualquier tipo de ejercicio por un periodo de 20 min (Gold et al., 2004) y (Gold et al., 2009), ya que según estudios previos, se ha determinado que el periodo estimado para que la temperatura corporal de un ser humano se estabilice después de haber realizado un ejercicio determinado, es de 20 min debido a una reducción en el rango del metabolismo del cuerpo (Ng et al., 2001).

3. Además, se les solicito abstenerse de ingerir alcohol o fumar previo a la prueba (Gold et al., 2009), ya que el fumar produce una disminución en la temperatura corporal (Puig, 1993), y el tomar alcohol un aumento en la misma.

http://polaris.unisabana.edu.co/prevencion/adicciones/alcohol/alcohol_3.html

4. Previo a la prueba, la aplicación de un biocuestionario a la(s) persona(s) con el fin de recabar información acerca de su edad, peso corporal, problemas de presión arterial, problemas de traumas como fracturas, hábitos como el fumar o beber, tiempo acumulado de exposición al desarrollo de la operación, entre otros.

5. Una vez recabada la información pertinente, se tomo la temperatura ambiente del cuarto o cubículo con el fin de mantenerla en un rango ideal de 20–25 °C. (Ng et al., 2001) con la ayuda de un calentón de casa.

6. Pasado el tiempo de estabilización, se le pidió al operador sentarse en una silla y en seguida colocarle los termógrafo Sköll en ambas manos, específicamente sobre el área de la muñeca (en la región del nervio medio). Ya colocados los t termógrafo Sköll se le pidió al operador que descansará sus brazos sobre una mesa totalmente plana a la altura de las costillas (Kroemer et al., 2001) por un espacio de 20 min y con un ángulo pélvico de 90° (Gold et al., 2009), esto, al inicio y al final de la prueba.

7. Colocación de los termógrafos Sköll sobre el área de la muñeca (en la izquierda y derecha).

8. Emulación del ensamblado de puño de una camiseta, operación altamente repetitiva que se realiza en la compañía por 2 h 30 min y que representa el periodo más largo de la jornada laboral de estos trabajadores.

9. Identificación durante la prueba acerca de anomalías o dolores presentados por los operadores (estudiantes).

10. Retiro de los termógrafos Sköll y concentrado de los datos obtenidos en Microsoft® Office Excel 2007 para su manipulación e interpretación en programas estadísticos como Minitab® 16.

4.1.4.2 Protocolo de las Pruebas de Validación en la Industria.

Las pruebas de validación se desarrollaron en una empresa de cableado ubicada en Hermosillo, Sonora. Se realizaron pruebas a 22 operarios (7 hombres y 15 mujeres) durante 3 Semanas. Para esta validación se tomó la muestra de cada individuo sólo en una ocasión (debido a políticas de la empresa). Se llevaron a cabo los mismos 10 pasos, sólo que con pequeñas diferencias las cuales mencionó a continuación:

- En el paso 5, se tomó la temperatura ambiente del lugar de trabajo, el ideal es que se mantuviera la temperatura ambiente en un rango de 20–25 °C. (Ng et al., 2001), y se tiene registro de las temperaturas durante todas las pruebas.
- En el paso 6, sólo se le pidió al operador sentarse en una silla y en seguida colocarle los termógrafos Sköll en ambas manos, específicamente sobre el área de la muñeca (en la región del nervio medio). Ya colocados los termógrafos Sköll, el operario ingresa a su estación de trabajo, es decir, no se le pidió al operador que descansará sus brazos sobre una mesa (ni al inicio ni al final de la prueba).
- En el Paso 8, desarrolló su actividad de ensamblado de cables, la cual es la operación altamente repetitiva que se realiza en la compañía por 2 h 30 min, lo que representa el periodo más largo de la jornada laboral de estos trabajadores.

4.1.5 Sujetos de Estudio

4.1.5.1 Sujetos de Estudio de las Pruebas Emuladas

A continuación, se muestra la tabla 6 con la información acerca de las características antropométricas de los sujetos de estudio de las pruebas emuladas. Además de las observaciones importantes que pudieran tomarse en cuenta en el proceso de esta investigación. En estas pruebas emuladas se tomaron a 6 hombres y 3 mujeres, con un rango de edades entre 20 y 29 años, con un rango de IMC entre 18.91 y 29.36. Es importante mencionar que ninguno de los sujetos de estudio presentó problemas lumbares o problemas de presión arterial, ni reportó tener problemas por adicciones (alcohol y/o tabaco).

Tabla 4. Características Antropométricas de los Sujetos de las Pruebas Emuladas

Individuo	Edad	Genero	Peso (kg)	Altura (m)	IMC	Mano dominante	Fracturas previas	Observaciones
1	22	M	54	1.69	18.91	Izquierda	N	No hubo
2	23	M	78	1.63	29.36	Derecha	N	Este laboro en donde efectuaba MAR (1 año)
3	25	M	64	1.63	24.09	Izquierda	S	Fractura en muñeca izquierda (15 años)
4	20	F	54	1.60	21.09	Derecha	N	No hubo
5	20	F	53	1.64	19.71	Izquierda	S	Fractura en muñeca derecha (15 años)
6	27	F	59	1.54	24.88	Derecha	N	No hubo
7	29	M	60	1.60	23.44	Derecha	S	Fractura en muñeca derecha (10 años)
8	25	M	70	1.73	23.39	Derecha	N	No hubo
9	23	M	60	1.57	24.34	Derecha	N	No hubo

4.1.5.2 Sujetos de Estudio de las Pruebas de Validación en la Industria

En la tabla 7 se muestra la información acerca de las características antropométricas y algunos antecedentes de los sujetos de estudio de las pruebas de validación en la industria. se tomaron a 7 hombres y 15 mujeres, con un rango de edades entre 21 y 38 años, con un rango de IMC entre 17.58 y 35.92. Además en la tabla 8 se muestran las observaciones de los sujetos de estudio de las pruebas de validación en la industria.

Tabla 5. Características Antropométricas de los Operarios

Individuo	Edad	Genero	IMC	Lado	Fractura	Antigüedad
1	26	M	26.18	d	1	5
2	21	M	23.57	d	1	1.5
3	26	M	27.78	d	1	5
4	23	M	17.58	d	2	2.3
5	38	M	23.14	d	1	4.5
6	36	M	24.15	d	1	2
7	32	M	35.92	d	2	0.2
8	28	F	27.89	d	1	3
9	27	F	35.92	d	1	11
10	27	F	27.41	d	2	1
11	28	F	41.62	d	2	12
12	23	F	20.94	d	2	5
13	34	F	29.52	d	2	2
14	22	F	27.48	d	2	2
15	28	F	27.34	d	1	1
16	27	F	27.72	d	2	0.8
17	29	F	24.97	d	2	0.6
18	29	F	28.28	d	2	0.8
19	27	F	26.49	d	2	12
20	21	F	22.22	d	1	0.5
21	24	F	25.15	d	1	0.6
22	33	F	27.83	d	2	2

Tabla 6. Observaciones de Sujetos de las Pruebas de Validación.

Individuo	Observaciones
1	Frecuentemente siente dolor en muñecas, sobretodo en pulgar por la operación y en hombros (derechas). En ocasiones, siente pulsaciones en antebrazo derecho. Diestro
2	Fractura muñeca derecha (15 días), fuma 2 cigarros a la semana. Diestro
3	Fractura de dedo índice derecho (15 años). Diestro
4	No hubo. Diestro
5	Fractura de dedo índice izq y Lumbagia por esfuerzo (2 años). Diestro
6	Fractura muñeca derecha (22 años) . Bebe alcohol cada 7 días . Diestro
7	No hubo. Diestro
8	Fractura muñeca derecha (1 año), problemas por mala postura (6meses), frecuentemente siente dolor en muñecas y hombros (derechas). Ingiere alcohol cada 15 días, Diestra
9	Fractura muñeca derecha (3 años), problemas de presión arterial (6meses), frecuentemente siente dolor en muñecas (derecho). Diestra
10	Fuma frecuentemente y toma alcohol cada 7 días . Diestra
11	Esguince cuello (8 años). Frecuentemente siente dolor en espalda. Diestra
12	No hubo. Diestra
13	No hubo. Diestra
14	Frecuentemente siente dolor en muñecas. Diestra
15	Fractura brazo izquierdo (6 años). Frecuentemente siente dolor en brazo Diestra
16	Cuando ya están trabajando y encienden el AA o el abanico siente dolor en muñecas y codos (tendones y articulaciones). Diestra
17	Lastimada de los tendones y cintura. Fuma 3 cigarros al día. Diestra
18	Dolores de espalda y problemas por mala postura (5 años). Frecuentemente siente dolor en muñecas, codos y hombros (derecho). Toma alcohol cada 7 días. Diestra
19	No hubo. Diestra
20	Fractura de brazo (10 años). Diestra
21	No hubo. Diestra
22	No hubo. Diestra

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con el fin de obtener un seguimiento en el análisis de los datos obtenidos de cada individuo, se analizaron cada una de las pruebas de cada individuo. La primera etapa fue verificar si los patrones de temperatura cambiaban o se repetían con el paso del tiempo (intercalado de pruebas), y además, verificar si los patrones en caso de cambiar, se modificaban en ambas muñecas o eran iguales independientemente de la mano dominante del sujeto. La segunda etapa, era verificar si los datos seguían una distribución normal con el fin de poder plantear en el futuro de la investigación pruebas de hipótesis paramétricas. De modo alternativo, si las pruebas mostraban que no se seguía una distribución normal a través del análisis mostrado más adelante usando diversas herramientas, entonces, nos referiríamos a distribuciones llamadas *libres* y estos podrían llevarnos al planteamiento de pruebas de hipótesis no paramétricas.

5.1. El Termógrafo Digital Sköll

Básicamente, la función del termógrafo digital Sköll de 7 sensores es capturar una serie de temperaturas sobre la superficie de prueba, recolectarlas y grabarlas en su memoria interna. Es programable a través del programa de computo Akela para la captura de las temperaturas y en los periodos que se desee estudiar. Además de su funcionalidad para descargar y exportar los datos a otro programa como Microsoft® Office Excel 2007 ó Minitab®16 para su futuro análisis.

5.1.1 Calibración del Termógrafo Digital Sköll

La calibración del termógrafo Sköll involucra la realización de dos etapas en el proceso. La primera incluye la simulación de un pequeño horno, y la segunda, la aplicación de una ecuación polinomial para ajustar los datos y obtener las constantes de calibración. El objetivo de la calibración es el de obtener precisión a la hora de tomar las mediciones de las temperaturas.

5.1.1.1 Simulación del Horno

Para la primera etapa se preparó la simulación de un pequeño horno, construido con una caja de cartón forrada totalmente de aluminio en su exterior y en su interior; además, en el interior albergando dos diminutas capas de foamy, de manera que al final tuviéramos un hueco con espacio reducido donde pudiéramos controlar calor y que éste se escapara lo menos posible, con el fin de regularlo facilitando la calibración. La utilización de la simulación de un horno se hizo debido a su semejanza a la utilización para el caso de los termógrafos submarinos de un tanque de agua con temperaturas reguladas (López, 1992). Para poner a funcionar un horno teníamos que tener algo que generara el calor requerido, para lo cual se construyó un generador de energía; éste constaba de una perilla y un foco de 60 watts, que funcionaban interconectados. La perilla con el fin de poder regular las emisiones de watts y a su vez de calor dentro de la caja.

El siguiente paso dentro de esta etapa, consistía en colocar dentro de la caja un termómetro digital de platino con una precisión determinada y el sensor del termógrafo Sköll. Debido a que estamos haciendo pruebas con seres humanos y partiendo del punto que la temperatura normal del cuerpo oscila en un rango de temperatura de 36.5 °C y 37 °C, se determinó tomar lecturas de 30 a 40 °C. Para lo anterior, habría que generar dentro del horno estas temperaturas y controlarlas. El proceso consiste en generar emisiones de calor de tal manera que se pudiéran obtener dos lecturas, una del termómetro digital, y otra del termógrafo Sköll. Las temperaturas del termógrafo Sköll eran capturadas minuto a minuto ó segundo a segundo, según su programación. En cuanto a las lecturas del termómetro digital, estas tenían que ser anotadas por el analista.

El objetivo era estabilizar la temperatura por espacio de 4 min en el intervalo de temperatura del valor nominal a medir. Por ejemplo: si estábamos midiendo a 30°C y manejando una tolerancia de $\pm 0.05^\circ\text{C}$, el intervalo sería 29.95°C y 30.05°C, de manera que cualquier valor oscilando entre este rango por un espacio de 4 min se consideraba aceptable para el proceso de calibración. La lectura tomada por el termómetro digital era anotada por el analista con sus 3 dígitos después del punto con la finalidad de hacer la diferencia con las temperaturas reales del sensor y verificar su precisión.

5.1.1.2 Constantes de Calibración

El termógrafo Sköll da una lectura que es un número entero entre 0 y 65 536 (16 bits). Esta lectura por sí sola no sirve de nada si no existe la forma de relacionarla con la temperatura a la que se encuentra el sensor. El proceso de calibración consiste en encontrar la relación entre la lectura y la temperatura del sensor. Para esto se utilizó la simulación del horno y el termómetro digital antes mencionado. El siguiente paso en esta etapa era el de aplicar una ecuación polinomial (de 3er. orden) a las lecturas codificadas por el termógrafo Sköll, y de esta manera, obtener un métrico en grados Celsius, ya que se demostró que la mejor forma de ajustar las diferencias de precisión (cercanas a 0) entre el termómetro digital y el termógrafo Sköll es una ecuación de 3er. orden (López, 1992). Matemáticamente tenemos en la ecuación 7:

$$T_3 = a_3 + b_3 L + c_3 L^2 + d_3 L^3 \dots\dots\dots(7)$$

Donde T_3 es el ajuste a curvas de 3er. orden, L es la lectura reportada por el termógrafo Sköll y las constantes de calibración son a_3 , b_3 , c_3 , d_3 . En la tabla 4 se muestran las temperaturas y sus respectivos horarios de recolección.

Tabla 7. Temperaturas y Lecturas Codificadas de Temperaturas

Temperatura termógrafo Sköll	Temperatura termómetro	Hora	Lecturas codificadas
74 728	30	10 h 19 min 20	
50 380	31.047	10 h 35 min 34	
51 519	32.035	10 h 43 min 58	
	32.952	11 h 00 min 26	
53 215	34.034	11 h 09 min 04	
54 519	34.988	11 h 18 min 26	
56 016	36.009	11 h 25 min 13	
57 209	37.001	11 h 36 min 44	
59 177	38.027	11 h 41 min 19	
60 172	39.034	11 h 49 min 07	
61 467	39.999	11 h 57 min 28	

Las lecturas codificadas en la tabla 7 fueron buscadas en una base de datos que genera el termógrafo Sköll al estar operando, en un rango de 30 a 40 °C. Graficando los datos capturados por el termómetro digital contra cada una de las lecturas codificadas y ajustando una ecuación de 3er. orden a través de Microsoft® Office Excel 2007 mediante la opción *add trendline* tenemos la figura 4:

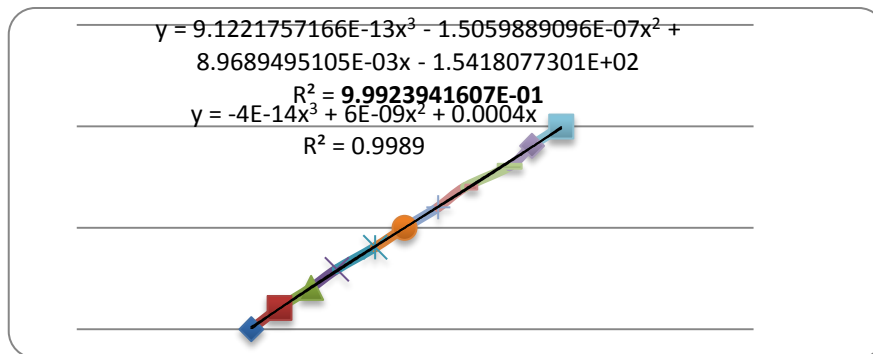


Figura 4. Ajuste a una Curva de Tercer Orden Mediante la Opción Trendline

Tenemos entonces la ecuación con las constantes de calibración;

$$y = 9.1221757166E-13x^3 - 1.5059889096E-07x^2 + 8.9689495105E-03x - 1.5418077301E+02 \dots(8)$$

Donde: $a_3 = 1.5418077301E+02$, $b_3 = + 8.9689495105E-03$, $c_3 = - 1.5059889096E-07$,

$$d_3 = 9.1221757166E^{-13}$$

Después, aplicando la ecuación completa a las lecturas codificadas podremos obtener las temperaturas en tiempo real que midió el termógrafo Sköll al momento de estar operando como lo muestra la tabla 5. Además, se puede observar una diferencia muy poco significativa entre los valores medidos por el termógrafo Sköll en tiempo real y el termómetro digital. Para este caso, el termógrafo Sköll parece estar ofreciendo temperaturas confiables respecto a las del termómetro digital. Además, se ha realizado un prototipo que disminuye el tiempo de calibración en un 80% .

Tabla 8. Lecturas de Temperaturas Codificadas

Temperatura termo	Temperatura Medidor	Hora	Temperatura Codificada	Diferencia
47 728	30.000	10 h 19 min 20	30.00933919	-0.009339188
48 974	31.047	10 h 35 min 34	31.01098473	0.036015270
50 380	32.035	10 h 43 min 58	32.07999682	-0.044996817
51 519	32.952	11 h 00 min 26	32.90840652	0.043593479
53 215	34.034	11 h 09 min 04	34.09816976	-0.064169759
54 519	34.988	11 h 18 min 26	34.99210717	-0.004107171
56 016	36.009	11 h 25 min 13	36.01322354	-0.004223541
57 209	37.001	11 h 36 min 44	36.83474556	0.166254442
59 177	38.027	11 h 41 min 19	38.23143535	-0.204435353
60 172	39.034	11 h 49 min 07	38.9684262	0.065573798
61 467	39.990	11 h 57 min 28	39.9701651	0.019834901
			Sumatoria	0.0000005932

5.1.2 Validación del Sistema de Medición

5.1.2.1 Estudio Repetitividad y Reproducibilidad

Es importante recalcar que en cualquier inicio de un proyecto de investigación, existe cierta incertidumbre con respecto a los datos que se están obteniendo, y los cuales serán sujetos de manipulaciones futuras, y a partir de los cuales también se plantearán nuevas hipótesis y nuevas líneas de investigación, por lo cual, contar con datos válidos y confiables es importante en el futuro de la investigación y nuevos hallazgos que pudieran encontrarse. Es por eso, que para fines de esta investigación, se decidió diseñar un experimento con el fin de que pudiéramos validar nuestro sistema de medición y tener una confiabilidad aceptable con los datos que estábamos obteniendo. Para esto, se corrieron dos experimentos.

El primero fue diseñado para correrlo bajo ciertas condiciones de operación definidas en el protocolo del experimento, y en el cual tomábamos en cuenta de acuerdo a la literatura establecida la participación de dos operadores con 10 personas participantes fungiendo como las partes del experimento R&R, y obteniendo cada uno de los operadores 2 réplicas por persona, que cabe mencionar, es lo mínimo que pide la literatura, más no lo más recomendable. Tal experimento fue presentado como avance de esta tesis en un congreso nacional de la localidad. Los resultados del experimento arrojaron que no había una diferencia significativa en la forma de realizar las mediciones de un operador a otro, es decir, en su método de medición, además, la mayor parte de la variabilidad del experimento fue expresada por la variación entre partes, lo cual es óptimo. El porcentaje final del experimento arrojó un 21.66% con 6 categorías distintas, lo cual era aceptable pero con reservas. Por tal motivo, era necesario hacer un replanteamiento del experimento y llevar a cabo ciertas modificaciones que nos llevaría hipotéticamente a una reducción más prolongada del porcentaje del estudio de R&R y una reducción de la

incertidumbre en el comportamiento del sistema de medición en general. Los cambios que se hicieron radicaban básicamente en el aumento del número de operadores y del número de réplicas, es decir, 3 y 3 respectivamente, manteniendo las mismas condiciones del protocolo establecido en el experimento anterior. Como era de suponerse y dado que la literatura asume que lo recomendable es tomar en cuenta a 3 operadores y obtener 3 réplicas cada uno de ellos, el porcentaje de R&R se redujo más del 100% llegando a un 10.19% casi en el nivel de un excelente sistema de medición y aumentando el número de categorías distintas a 13. Por lo anterior, se puede asumir que los datos obtenidos para ser manipulados en esta tesis, hacer comparaciones en los comportamientos de las temperaturas, hacer ajustes de curvas, histogramas, ajustes de distribuciones, y lo que resulte, son confiables. El 1er. experimento de la validación del sistema de medición fue con 2 operadores y 2 réplicas.

5.1.2.2 Prueba T-Pareada entre el Termógrafo Digital Sköll y la Cámara Termográfica

Para fines de esta investigación, se decidió realizar además la prueba T-pareada entre el termógrafo Sköll y la cámara termográfica con el fin de que pudiéramos validar nuestro sistema de medición, y así, tener una confiabilidad aceptable con los datos que estábamos obteniendo. Para esto, se llevo a cabo el experimento en la planta Ford de Hermosillo, utilizando la ayuda de una persona que ejecutaba sus actividades de las cuales se tomo una muestra de 30 mediciones. El resultado del experimento fue un valor de P de 0.394 y un valor de t de 0.0087, por lo que se puede concluir que no hay una diferencia significativa entre las temperaturas del termógrafo Sköll y la de cámara termográfica. Por lo anterior, se puede asumir que los datos obtenidos del termógrafo Sköll son confiables.

5.2 Pruebas Emuladas

5.2.1 Pruebas Emuladas Intermitentes

Para el desarrollo de las pruebas emuladas de forma intermitente como su nombre lo indica, se dejó pasar un lapso de tiempo considerable entre prueba y prueba, lapsos de una semana hablando específicamente del parámetro establecido, con el fin de verificar si había algún cambio en su comportamiento o se mantenía de la misma manera que en las pruebas anteriores. A continuación, se mostrarán sólo la del 1er. hombre (individuo 1) y de la 1era. Mujer (individuo 4). Cabe mencionar que del individuo 1 al 3 son hombres, y del individuo 4 al 6 son mujeres; al final de cada una de estas pruebas se mencionará un breve resumen de las mismas.

5.2.1.1 Individuo 1

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo 1, el cual es hombre y en esta solo se muestra la prueba 1 desarrollada de 3 mas desarrolladas en el mismo individuo, los resultados de los mismos se muestran en el resumen 5.2.1.2. Esto se desarrolla en el lapso más largo de la jornada laboral de 2 h 30 min, y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo, se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación.

5.2.1.1.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva

En las figuras 1 y 2 se muestra y se destaca los siguientes resultados: en ambas manos fue posible llevar a cabo un ajuste de curva de tercer orden y se repiten los patrones de temperatura (asemejándose sus comportamientos). Para la mano derecha fue posible hacer el ajuste de la curva obteniendo un coeficiente de determinación del 99.3%; y para la mano izquierda, fue posible el ajuste de la curva obteniendo un coeficiente de determinación del 94.1%. En ambas manos se puede apreciar que durante la primera hora de prueba existe un ascenso gradual de la

temperatura, llegando a un proceso de estabilización pasando dicha hora y con ligeros cambios en el lapso restante de la prueba. Las temperaturas máximas alcanzadas durante el experimento fueron: a las 18 h 59 min 52 para la mano derecha, transcurriendo 2 h 17 min 00 desde iniciada la prueba; a las 19 h 48 min 47 para la mano izquierda respectivamente, transcurriendo 2 h 6 min 47 y alcanzando temperaturas de 33.81 °C para la mano derecha; y de 34.16 °C para la mano izquierda con incrementos de 4.85 °C y de 6.48 °C respectivamente. Para esta primer prueba y con respecto a las pruebas realizadas en el primer individuo del experimento, los tiempos de alcance de las máximas temperaturas no coincidieron, más sin embargo, las temperaturas muestran una ligera aproximación una de otra. Aunado a lo anterior, el operador muestra haber sentido molestias en espalda baja durante los inicios de la prueba, es decir y de acuerdo a los gráficos, cuando empieza una etapa de ascenso progresivo de la temperatura. Cabe mencionar que este dolor se mantuvo durante toda la prueba en un nivel constante y fue de poco a moderado, sólo este empezó a decrecer durante el período de descanso al finalizar la prueba como lo muestra el protocolo. Además, pasada 1 hora de iniciada la prueba, el operador comenzó a sentir una hinchazón en sus dedos de grado moderado y disminuyendo con el paso de continuidad de la prueba. Los ajustes a las curvas se muestran en las figuras 5 y 6.

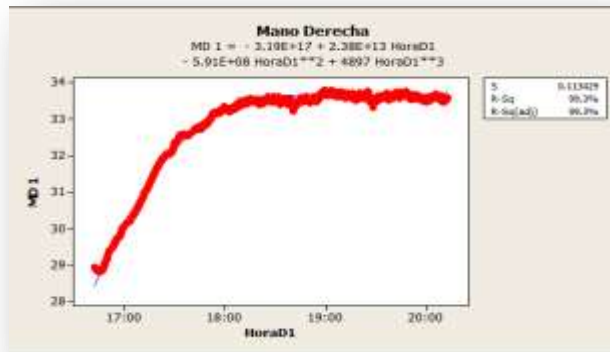


Figura 5. Individuo 1. Prueba 1 Mano Derecha. Ajuste de Curva

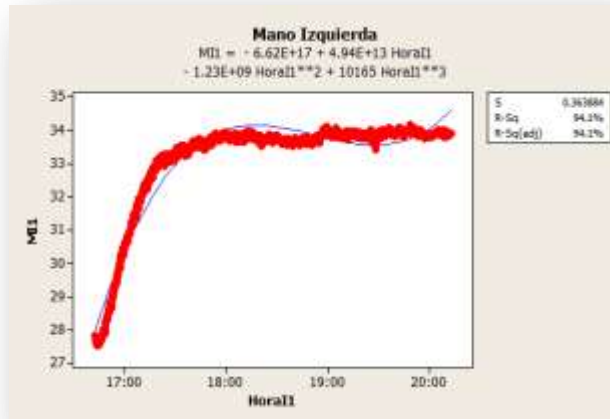


Figura 6. Individuo 1. Prueba 1 Mano Izquierda. Ajuste de Curva

5.2.1.1.2 Pruebas de Normalidad

Para todas y cada una de las pruebas de normalidad realizadas en la experimentación se siguió la siguiente 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

A continuación se muestran las figuras 7 y 8 resultantes de la ejecución de la prueba AD, a partir de las cuales y al igual que las ya recabadas, se puede apreciar que el valor **p** indica

claramente ser menor que el nivel de significancia establecido de 0.05. Que se debe de rechazar la H_0 de que los datos siguen una distribución normal, y para lo cual como en las figuras anteriores, habrá que buscar la distribución que represente con mayor claridad el comportamiento de las temperaturas. Además, aunado a lo anterior, se puede mencionar que en ambas pruebas de AD los valores del estadístico son bastante grandes 1 617.32 y de 2 274.08.

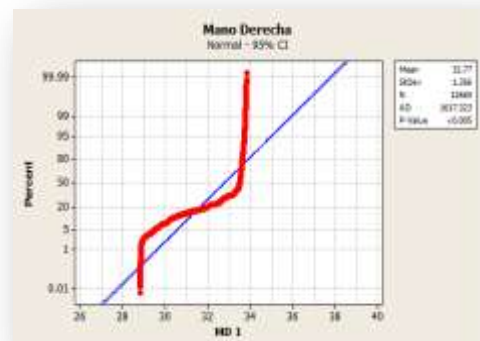


Figura 7. Individuo 1. Prueba 1 Mano Derecha. Prueba de Normalidad



Figura 8. Individuo 1. Prueba 1 Mano Izquierda. Prueba de Normalidad

5.2.1.1.3 Ajustes de Distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad, el siguiente paso consistió en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación, se muestra la tabla 9 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano izquierda.

Tabla 9. Distribuciones de Probabilidad. Individuo1 Mano Izquierda. Prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1808.616	0.860
Lognormal	2752.228	0.742
3-Parameter Weibull	1738.011	0.865
3-Parameter Lognormal	2672.660	0.750
Smallest Extreme Value	1737.867	0.865
Normal	2672.524	0.750

Respecto a las tablas anteriores de las pruebas hechas sobre la muñeca de la mano izquierda se puede decir que:

- Para la prueba 1 se puede decir que los mejores ajustes se dan para las distribuciones Weibull y 3 parámetros Weibull con coeficientes de correlación de 86% y 86.5% respectivamente, y con el estadístico AD representando un valor de 1 808.616 y 1 738.011 respectivamente. Se puede apreciar también que otra distribución que ajusta de acuerdo al coeficiente de correlación bastante bien a los datos en esta prueba 1 es el valor extremo más pequeño.
- A continuación se presenta la Figura 9 en la que se corrobora la información presentada en las tablas anteriores.

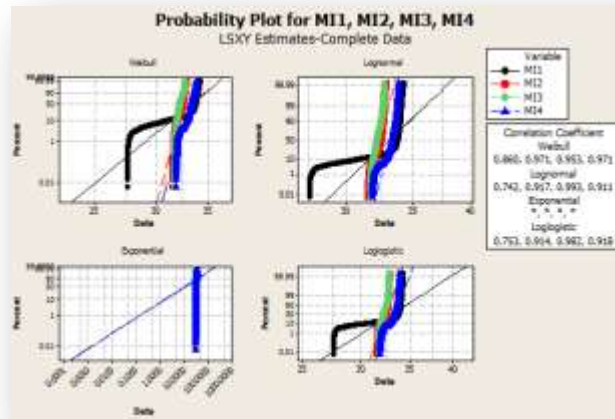


Figura 9. Mejores Ajustes de Distribuciones. Individuo1 Mano Izquierda

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad, el siguiente paso consistió en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos.

A continuación se muestra la tabla 10 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano derecha.

Tabla 10. Distribuciones de Probabilidad. Individuo1 Mano Derecha. Prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1260.703	0.913
Lognormal	1995.439	0.829
3-Parameter Weibull	1226.004	0.915
3-Parameter Lognormal	1949.157	0.834
Smallest Extreme Value	1225.962	0.915
Normal	1949.076	0.834

Respecto a las tablas presentadas anteriormente se puede establecer lo siguiente:

- Para la prueba 1, las distribuciones que mejor se ajustan son la distribución Weibull, la 3 parámetros Weibull, y la valor extremo más pequeño con un 91.3% para la primera, y de un 91.5% para las últimas dos. Además, los coeficientes de AD fueron de 1 260.703; 1 226.004 y de 1 225.962 respectivamente.
- Se puede también mencionar que hasta ahora las pruebas realizadas de ajustes de distribución en ambas manos han mostrado que las distribuciones que más tienden a repetirse son la Weibull, la 3 parámetros Weibull, y la de valor extremo más pequeño, por lo que podríamos asumir que cualquiera de las 3 podría explicar en un gran porcentaje el comportamiento de las temperaturas recolectadas de la experimentación. La Figura 10, muestra información que respalda lo anterior descrito en la tabla.

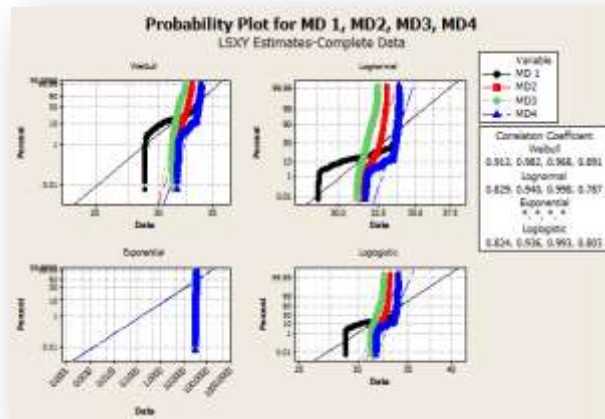


Figura 10. Mejores Distribuciones. Individuo 1

5.2.1.2. Resumen de Temperaturas Máximas de los Hombres en las Pruebas Intermitentes

Enseguida, se muestra en la tabla 11 el resumen de los resultados del individuo 1 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 11. Resumen de Resultados de Individuo 1, Hombre

Prueba	Mano	Tiempo en llegar a temp. Max	temp. Max. °C	R ² %
1	d	02:17:00	33.81	99.30
2	d	02:01:21	33.02	56.60
3	d	02:08:40	32.4	8.90
4	d	01:06:24	33.84	77.10
5	i	02:06:47	34.16	94.10
6	i	02:06:00	32.87	83.30
7	i	01:53:10	32.71	21.00
8	i	01:28:33	33.90	68.30

Enseguida se muestra en la tabla 12 el resumen los resultados del individuo 2 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 12. Resumen de Resultados de Individuo 2, Hombre.

Prueba	Mano	Tiempo en llegar a Temp. Max	Temp. Max. °C	R ² %
1	d	00:25:56	32.647	80.40
2	d	02:30:59	33.86	36.40
3	d	00:56:22	33.46	83.30
4	d	00:47:54	33.5	85.70
5	i	00:24:40	33.36	91.30
6	i	03:19:10	33.59	40.80
7	i	00:56:27	33.26	65.10
8	i	00:49:30	33.49	69.00

Enseguida se muestra en la tabla 13 el resumen los resultados del individuo 3 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 13. Resumen de Resultados de Individuo 3, Hombre.

Prueba	Mano	Tiempo en llegar a temp. Max	temp. Max. °C	R ² %
1	d	00:54:47	33.54	91.80
2	d	00:54:47	33.13	81.80
3	d	00:37:55	33.48	87.40
4	d	00:51:20	33.59	55.90
5	i	00:25:10	33.06	77.70
6	i	01:08:21	33.36	71.70
7	i	00:58:38	33.59	77.25
8	I	00:01:10	33.92	28.70

5.2.1.3 Individuo 4

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo 4-mujer (prueba 1) en el lapso más largo de la jornada laboral (2 h 30 min), y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo, se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación.

5.2.1.3.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva.

De las figuras 11 y 12 que se presentan a continuación, se puede mencionar lo siguiente:

- Para este caso se puede ver que los patrones de temperatura tienden a ser muy similares, pero debemos de decir que no fue posible ajustar con un alto porcentaje modelos polinomial de tercer orden a los datos representados por temperaturas. Para el caso de la mano izquierda, se determinó un estadístico R² de 69.7%, y de 59.7% para la mano derecha. Se puede mencionar que para ambas manos desde inicio de la prueba y durante la primera hora de realización del

MAR, existe un ascenso importante y prolongado seguido de una apreciable estabilización en el comportamiento de las temperaturas. Las temperaturas máximas alcanzadas se dieron a las 17 h 12 min 13 y a las 17 h 49 min 19. respectivamente. Además, las temperaturas en esos momentos fueron de 32.864 °C y 32.762 °C., transcurriendo 47 min 13 y 1 h 24 min 19 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 2.579 °C y de 2.578 °C.

- Con respecto a las anomalías presentadas, las más presentes fueron dolor de cuello, de hombros y permanentemente, de espalda. 1 hora después de iniciada la prueba comenzó un dolor en cuello y espalda, intensificándose y pasando de un nivel de ligero a moderado. Al final de la prueba se detectó dolor moderado en ambos hombros.

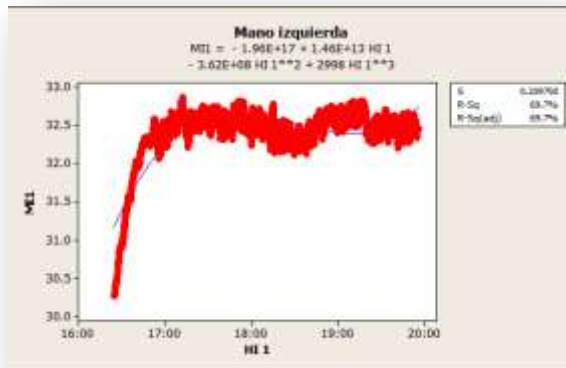


Figura 11. Individuo 4. Prueba 1 Mano Izquierda. Ajuste de Curva.

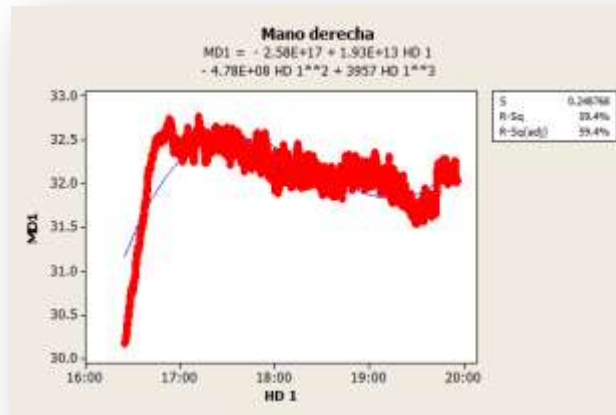


Figura 12. Individuo 4. Prueba 1 Mano Derecha. Ajuste de Curva

5.2.1.3.2 Prueba de Normalidad

Respecto a la prueba de normalidad, se puede decir como en los otros casos que debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Esto, debido a que claramente se puede ver que el valor de p es menor de 0.005 y no mayor que el nivel de significancia de 0.05. Se puede observar que los valores del estadístico AD son grandes. Para el caso de la mano izquierda con un valor de AD de 1 424.224, y para la mano derecha de 414.725. Las figuras 13 y 14 muestran la información antes descrita.



Figura 13. Individuo 4. Prueba 1 Mano Izquierda. Prueba de Normalidad

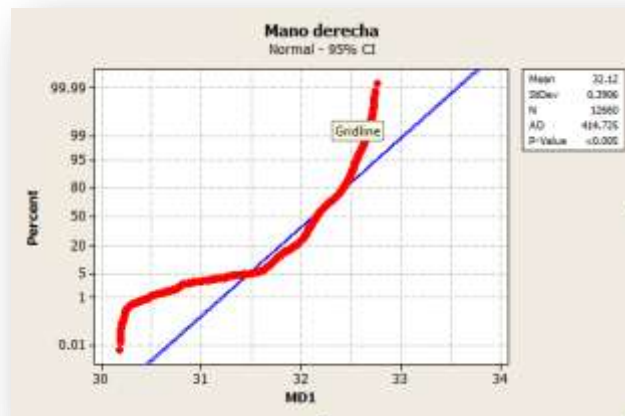


Figura 14. Individuo 4. Prueba 1 Mano Derecha. Prueba de Normalidad

5.2.1.3.3 Ajustes de Distribución

Como resultado de no tener ajustes a la distribución normal. El siguiente paso era entonces buscar aquellas distribuciones a las que mejor se ajustarán los datos obtenidos durante la experimentación. A continuación se muestran la tabla 14 de las distribuciones obtenidas después del análisis para la mano izquierda.

Tabla 14. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 4 Mano Izquierda. Prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	778.614	0.891
Lognormal	1320.689	0.782
3-Parameter Weibull	746.104	0.895
3-Parameter Lognormal	1283.226	0.788
Smallest Extreme Value	746.038	0.895
Normal	1283.201	0.788

De acuerdo a los datos presentados en las tablas anteriores para el ajuste de las distribuciones se puede decir que:

- Las 3 mejores distribuciones a la cual los datos pudieron ser ajustados fueron la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull, y la del valor extremo más pequeño. Para la distribución Weibull los valores en las pruebas 1, 2, 3 y 4 del coeficiente de correlación fueron de 89.1%, 89.5%, 89.5% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 778.614, 746.104, 746.038.
- Para la distribución 3 parámetros Weibull los valores en las pruebas 1, 2, 3 y 4 del coeficiente de correlación fueron de 97.1%, 97.3%, 97.3% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 118.815, 108.682, 108.661.
- La información anteriormente descrita puede ser validada mediante la Figura 15 de las distribuciones seleccionadas como representativas.

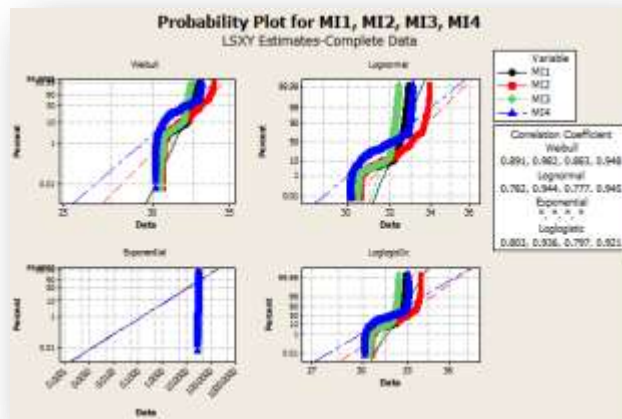


Figura 15. Mejores Distribuciones. Individuo 4 Mano Izquierda

Como resultado de no tener ajustes a la distribución normal, el siguiente paso era entonces buscar aquellas distribuciones a las que mejor se ajustarán los datos obtenidos durante la experimentación. A continuación se muestra la tabla 15 de las distribuciones obtenidas después del análisis para la mano derecha.

Tabla 15. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 4 Mano Derecha. Prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	118.815	0.971
Lognormal	371.617	0.908
3-Parameter Weibull	108.682	0.973
3-Parameter Lognormal	351.899	0.913
Smallest Extreme Value	108.661	0.973
Normal	351.864	0.913

De acuerdo a los datos presentados en las tablas anteriores para el ajuste de las distribuciones se puede decir que:

- Las 3 mejores distribuciones a la cual los datos pudieron ser ajustados fueron la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull, y la del valor extremo más pequeño. Esto sucedió para las primeras 3 pruebas, pero con respecto a la prueba 4, existió un cambio donde las mejores distribuciones fueron la 3 parámetros lognormal, la lognormal y la 3 parámetros Weibull. Para la distribución Weibull los valores en las pruebas 1, 2, 3 del coeficiente de correlación fueron de 97.1%, 97.4%, y 95.5% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 118.815, 289.710, y de 211.937.
- Para la distribución 3 parámetros Weibull los valores en las pruebas 1, 2, 3 del coeficiente de correlación fueron de 97.3%, 98.2%, y 95.7% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 108.682, 211.262, y de 197.973.
- Para la distribución de valor extremo más pequeño los valores en las pruebas 1, 2, y 3 del coeficiente de correlación fueron de 97.3%, 97.2%, 95.7% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 108.661, 307.836, 197.945.
- Para la prueba 4, las mejores distribuciones fueron la Lognormal, 3 parámetros Weibull y 3 parámetros lognormal. La 3 parámetros Weibull mostrando un coeficiente de correlación de 96.9% y un estadístico (ajustado) e AD de 429.368. Con respecto a la distribución Lognormal, el coeficiente de correlación resultante fue 94.8% y un estadístico (ajustado) de AD de 502.880. Respecto a la 3 parámetros lognormal, el coeficiente de correlación resultante fue 94.9% y un estadístico (ajustado) de AD de 496.279.
- La información anteriormente descrita puede ser validada mediante la Figura 16 de las distribuciones seleccionadas como representativas.

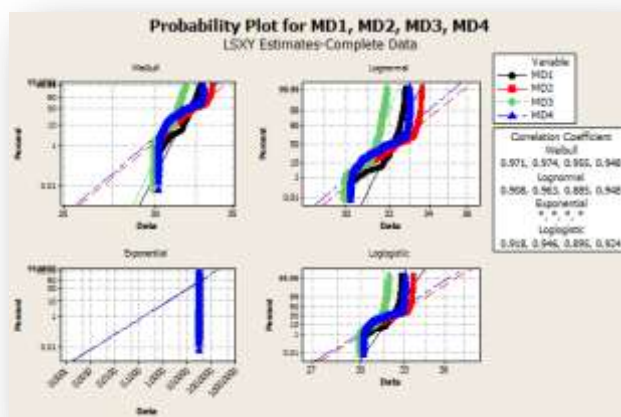


Figura 16. Mejores Distribuciones. Individuo 4 Mano Derecha

5.2.1.4. Resumen de Temperaturas Máximas de las Mujeres en las Pruebas Intermitentes

Enseguida se muestra en la tabla 16 el resumen los resultados del individuo 4 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 16. Resumen de Resultados de Individuo 4, Mujer

Prueba	Mano	Tiempo Max	Temp. Max. °C	R ² %
1	D	01:24:19	32.76	59.70
2	D	01:38:20	33.6	95.60
3	D	01:25:46	31.86	79.70
4	D	01:20:37	33.02	97.90
1	I	00:47:13	32.86	69.70
2	I	00:57:44	33.92	92.90
3	I	00:51:30	32.41	68.90
4	I	01:32:10	33.07	97.80

Enseguida se muestra en la tabla 17 el resumen los resultados del individuo 5 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 17. Resumen de Resultados de Individuo 5, Mujer

Prueba	Mano	Tiempo Max	Temp. Max. °C	R ² %
1	D	02:15:35	33.21	39.50
2	D	02:30:43	33.72	93.00
3	D	02:28:10	33.15	93.50
4	D	00:58:04	33.75	65.70
1	I	00:58:44	33.62	53.50
2	I	01:22:30	33.44	87.80
3	I	02:29:27	33.7	96.20
4	I	00:26:12	34.08	87.80

Enseguida se muestra en la tabla 18 el resumen los resultados del individuo 6 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 18. Resumen de Resultados de Individuo 6, Mujer

Prueba	Mano	Tiempo Max	Temp. Max. °C	R ² %
1	D	01:23:56	33.426	99
2	D	01:00:25	34.303	98.60
3	D	02:52:46	33.249	98.20
4	D	01:36:31	33.523	98.10
1	I	01:22:40	32.226	76.50
2	I	00:55:38	34.565	88.60
3	I	02:18:53	34.258	83.00

5.2.2 Pruebas Emuladas Continuas

Como su nombre lo menciona, las pruebas continuas fueron programadas para todas las pruebas de manera continua con la única finalidad de verificar que comportamiento había en los individuos con el paso de las pruebas, y el de verificar si existía alguna diferencia significativa en entre el grupo de los hombres inmersos en las pruebas continuas, en las pruebas intermitentes, y además comparando de manera alterna con el grupo de las féminas. En esta sección se mostrará sólo la del 1er. Individuo de las pruebas continuas (7), y las demás pruebas se resumen en las tablas 25 y 27.

5.2.2.1 Individuo 7

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo en el lapso más largo de la jornada laboral (2 h 30), y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo, se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación

5.2.2.1.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva

En las figuras 17 y 18 se puede apreciar los comportamientos de las temperaturas de ambas muñecas. Comparando ambas figuras se puede apreciar un comportamiento de las temperaturas muy similar de ambas muñecas. Tres similitudes importantes son las siguientes:

- Las temperaturas máximas (puntos máximos de estrés) de ambas muñecas fueron de 33.44°C y de 32.921°C respectivamente, y se alcanzaron en periodos de operación muy cercanos o similares, esto es, 11 h 41 min 14 y 11 h 49 min 28. Transcurriendo 1 h 20 min 14 y 1 h 28 min 28 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 2.795 °C y de 1.443 °C
- Las molestias presentadas sobre hombro derecho están detectadas en el rango donde se identifican las temperaturas más altas durante el proceso de la operación para ambas muñecas.
- La proyección de disparo más agresiva y prolongada de las temperaturas fueron alrededor de aproximadamente las 11 h 30 a las 12 h en ambas muñecas.
- En ambos casos, el individuo comenta haber superado problemas de molestias en el hombro derecho, esto sucede en el momento que la temperatura ha desarrollado su camino más agresivo o prolongado, aproximadamente a las 11 h 40, punto donde empieza a bajar. Por otra parte, fue posible ajustar modelos polinomial de tercer orden que representará el comportamiento de las

temperaturas del individuo y con un coeficiente de determinación (aproximación de la curva a los datos) del 87.8% para la muñeca de la mano derecha y de 91.1% para la muñeca izquierda.

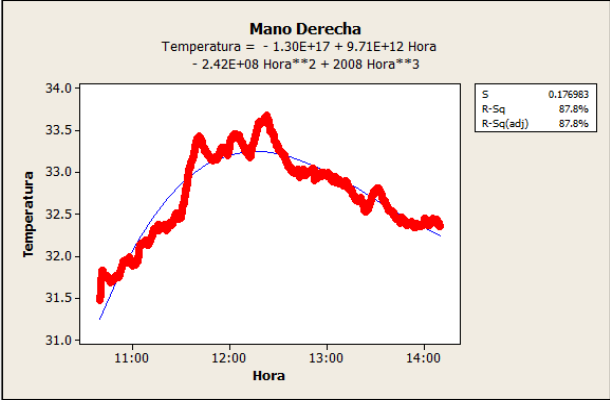


Figura 17. Individuo 7. Prueba 1 Mano Derecha. Ajuste de Curva

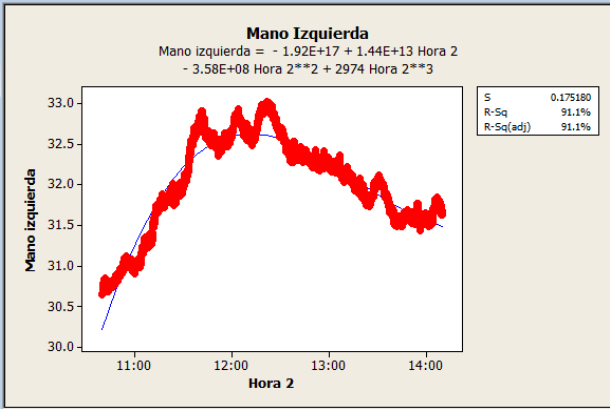


Figura 18. Individuo 7. Prueba 1 Mano Izquierda. Ajuste de Curva

5.2.2.1.2 Prueba de Normalidad

Se puede tener un indicio de que esperar de acuerdo a las figuras presentadas en los ajustes de las curvas anteriores, es decir, los datos no mostrarán una distribución normal, pero hay que validarlos estadísticamente a través de las pruebas de normalidad respectivas. Para evaluar si los datos se apegan a una distribución normal, se eligió de las pruebas de normalidad, la de AD. Un valor p menor al nivel de significancia establecido 0.05, indicará para este caso que los datos no siguen una distribución normal. Para que lo anterior fuera diferente, tendríamos que tener un valor p mayor al nivel de significancia establecido, además de un valor de AD muy pequeño. Entonces, para todas y cada una de las muestras obtenidas, se definió la H_0 y H_1 desde la primera prueba 5.2.1.1.2., ello tomando en cuenta la prueba de AD. Las figuras 19 y 20 muestran la información sobre la prueba de normalidad de mano derecha e izquierda.

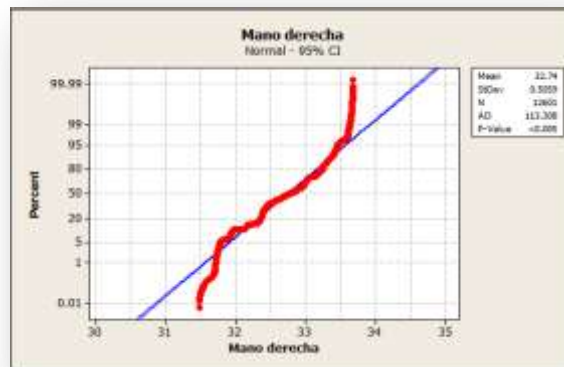


Figura 19. Individuo 7. Prueba 1 Mano Derecha. Prueba de Normalidad

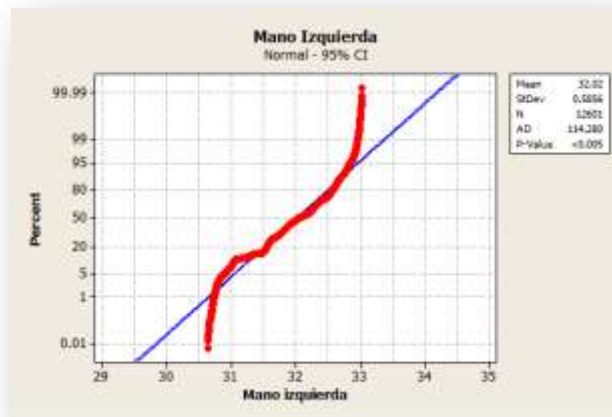


Figura 20. Individuo 7. Prueba 1 Mano Izquierda. Prueba de Normalidad

Como resultado de la prueba de normalidad, se puede afirmar que el coeficiente AD es muy alto, y aunado a eso, un valor p que para este caso es muy pequeño, menor de 0.005, y comparándolo con un nivel de significancia de 0.05, se debe rechazar la H_0 de que los datos siguen una distribución normal en las muñecas de ambas manos. Cabe mencionar que Minitab® 16 no siempre desplegara los valores del valor p en la prueba para evaluar normalidad de AD, debido a que matemáticamente podría no existir para ciertos casos Minitab® 16.

5.2.2.1.3 Ajustes de Distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad, ahora el siguiente paso consistió en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestra la tabla 19 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano derecha. De acuerdo a la tabla, se puede establecer que la mejor distribución a la cual se ajustan los datos es la 3 parámetros Weibull con un coeficiente de correlación de 98.4% lo cual es bastante significativo. De manera alternativa, se puede ver que la distribución de 3 parámetros lognormal también se ajusta bastante bien con un 98.4% de coeficiente de correlación, pero con

la diferencia que el coeficiente de AD en la distribución de 3 parámetros Weibull es menor, y este también es un criterio de aceptación que hay que tomar en cuenta a la hora de definirse por una distribución. Por lo tanto, los datos se apegan a una distribución Weibull. Por otra parte, a continuación se muestra evidencia visual en la Figura 21 que nos hace respaldar lo descrito anteriormente en la tabla.

Tabla 19. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 7 Mano Derecha. Prueba 1.

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	274.475	0.965
Lognormal	127.138	0.983
3-Parameter Weibull	111.303	0.984
3-Parameter Lognormal	123.283	0.984
Smallest Extreme Value	289.316	0.963
Normal	123.275	0.984

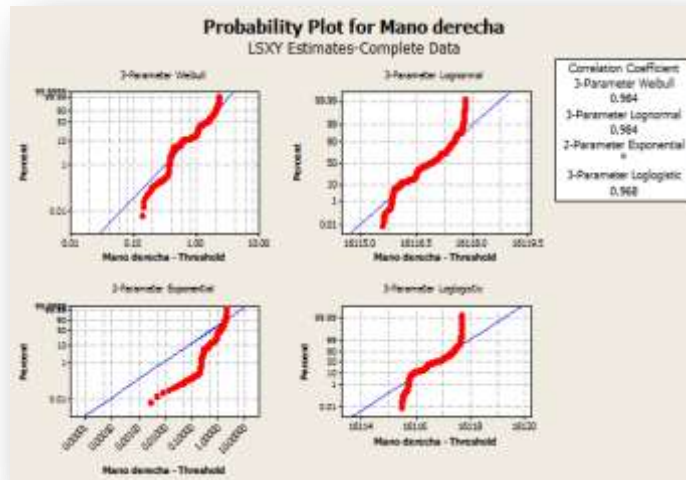


Figura 21. Mejores Distribuciones. Individuo 7 Mano Derecha

A continuación se muestra la tabla 20 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano Izquierda. De acuerdo a la tabla, se puede establecer que la mejor distribución a la cual se ajustan los datos es la 3 parámetros Weibull, con un coeficiente de correlación de 98.1% lo cual es bastante significativo. De manera alternativa, se puede ver que la distribución de 3 parámetros lognormal también se ajusta bastante bien con un 98.1%, pero con la diferencia que el coeficiente de AD en la distribución de 3 parámetros Weibull es menor, y este también es un criterio de aceptación que hay que tomar en cuenta a la hora de definirse por una distribución. De igual manera, los datos se acercan más a una distribución Weibull dado la información antes mencionada. Por otra parte, a continuación se muestra evidencia visual en la Figura 22 que nos hace respaldar lo descrito anteriormente en la tabla.

Tabla 20. Distribuciones de Probabilidad. Individuo 7 Mano Izquierda. Prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	159.484	0.973
Lognormal	132.830	0.980
3-Parameter Weibull	83.311	0.981
3-Parameter Lognormal	124.329	0.981
Smallest Extreme Value	172.663	0.972
Normal	124.313	0.981

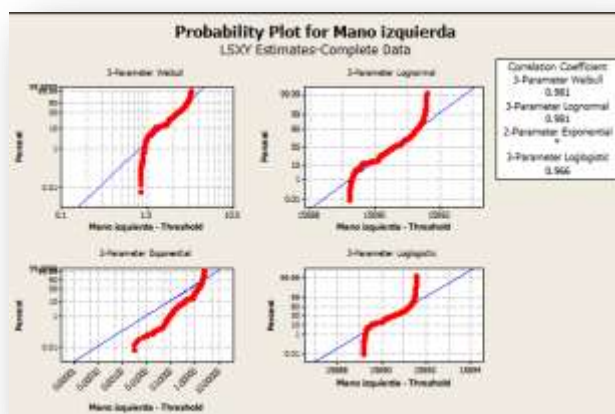


Figura 22. Mejores Distribuciones. Individuo 8

5.2.2.2. Resumen de Temperaturas Máximas de los hombres en las Pruebas Continuas

Enseguida se muestra en la tabla 21 el resumen los resultados del individuo 7 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 21. Resumen de Resultados de Individuo 7, Hombre.

Prueba	mano	tiempo max	temp. Max. °C	R ² %
1	d	01:28:28	32.921	87.80
2	d	02:28:39	34.154	86.80
3	d	01:53:22	33.313	90.80
4	d	00:23:53	33.114	95.60
1	i	01:20:14	33.44	91.10
2	i	02:28:24	34.276	80.50
3	I	01:51:40	33.481	94.50
4	I	00:12:14	33.686	97.30

Enseguida se muestra en la tabla 22 el resumen los resultados del individuo 7 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 22. Resumen de Resultados de Individuo 8, Hombre.

Prueba	Mano	tiempo max	temp. Max. °C	R ² %
1	D	0:45:12	33.802	78.80
2	D	00:26:52	34.018	78
3	D	00:52:31	34.214	68.40
4	D	00:34:03	34.134	48.70
1	I	00:44:01	33.764	86.70
2	I	00:25:30	34.021	86.70
3	I	01:04:38	34.453	71.20
4	I	00:48:26	34.438	57.50

Enseguida se muestra en la tabla 23 el resumen los resultados del individuo 9 (de las 4 pruebas realizadas en ambas manos).

Tabla 23. Resumen de Resultados de Individuo 9, Hombre.

Prueba	mano	tiempo max	temp. Max. °C	R ² %
1	d	02:34:20	34.76	57.70
2	d	02:41:00	35.062	88.40
3	d	01:41:52	35.078	97.20
4	d	00:23:54	34.452	94.90
1	i	02:46:05	34.196	68.30
2	i	02:42:50	34.663	92.71
3	i	01:40:06	34.586	96.90
4	i	00:15:32	34.076	94.80

5.3 Pruebas de Validación en la Industria

5.3.1 Individuo H1-David Bernal

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo en el lapso más largo de la jornada laboral (2 h 30 min), y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo, se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación.

5.3.1.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva

Partiendo de las figuras 23 y 24 que se muestran, se puede mencionar y destacar los siguientes puntos:

- En ambas manos fue posible llevar a cabo un ajuste de curva de tercer orden y se repiten los patrones de temperatura (asemejándose muy fuertemente en sus comportamientos). Para la mano derecha, fue posible hacer el ajuste de la curva obteniendo un coeficiente de determinación del 44.6%; y para la mano izquierda, fue posible el ajuste de la curva obteniendo un coeficiente de determinación del 58.3%.
- En ambas manos, se puede apreciar que durante la primera hora de prueba existe un ascenso gradual de la temperatura, llegando a un proceso de estabilización pasando dicha hora y con ligeros cambios en el lapso restante de la prueba.
- Las temperaturas máximas alcanzadas durante el experimento fueron a las 9 h 53 min 25 para la mano derecha, transcurriendo 38 min 25 desde iniciada la prueba; a las 9 h 31 min 24 para la mano izquierda respectivamente, transcurriendo 16 min 24; y alcanzando temperaturas de 35.848 °C para la mano derecha y de 33.775 °C para la mano izquierda con incrementos de 1.636 °C y de 0.882 °C respectivamente.
- Para esta primer prueba y con respecto a las pruebas realizadas en el primer individuo del experimento, los tiempos de alcance de las máximas temperaturas no coincidieron, más sin embargo, las temperaturas muestran una ligera aproximación una de otra.
- Aunado a lo anterior, el operador muestra haber sentido molestias en espalda baja durante los inicios de la prueba, es decir, y de acuerdo a los gráficos, cuando empieza una etapa de ascenso progresivo de la temperatura. Cabe mencionar que este dolor se mantuvo durante toda la prueba en un nivel constante y fue de poco a moderado, únicamente empezó a decrecer durante el

período de descanso al finalizar la prueba como lo muestra el protocolo. Además, pasada 1 hora de iniciada la prueba, el operador comenzó a sentir una hinchazón en sus dedos de grado moderado y disminuyendo con el paso de continuidad de la prueba. Los ajustes a las curvas se muestran en las figuras 23 y 24.



Figura 23. Individuo H1 Mano Derecha. Ajuste de Curva

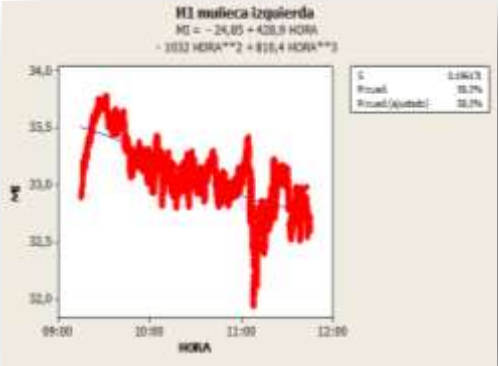


Figura 24. Individuo H1 Mano Izquierda. Ajuste de Curva

5.3.1.2 Pruebas de Normalidad

Para todas y cada una de las pruebas de normalidad realizadas en la experimentación se definió la H_0 y H_1 desde la primera prueba 5.2.1.1.2, ello tomando en cuenta la prueba de AD. A continuación se muestran las figuras 25 y 26 resultantes de la ejecución de la prueba AD, a partir de las cuales y al igual que las ya recabadas, se puede apreciar que el valor p indica claramente a ser menor que el nivel de significancia establecido de 0.05, por lo que se debe rechazar la H_0 de que los datos siguen una distribución normal, y para lo cual como en las figuras anteriores habrá que buscar la distribución que represente con mayor claridad el comportamiento de las temperaturas. Además, aunado a lo anterior, se puede mencionar que en ambas pruebas de AD los valores del estadístico son bastante grandes 412.859 y de 47.462.

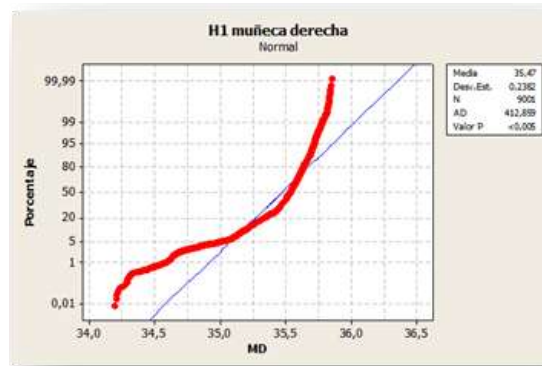


Figura 25. Individuo H1 Mano Derecha. Prueba de Normalidad

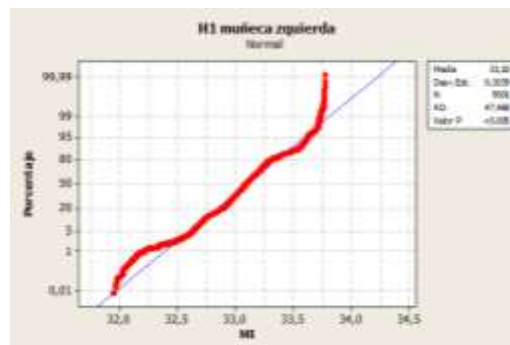


Figura 26. Individuo H1 Mano Izquierda. Prueba de Normalidad

A continuación se muestra la tabla 24 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano Izquierda.

Tabla 24. Distribuciones de Probabilidad Individuo H1, Mano Derecha

Distribución	Anderson-Darling (ajust.)	Coefficiente de Correlación
Weibull	140.471	0.977
Weibull de 3 parámetros	134.422	0.978
Lognormal	400.347	0.906
Lognormal de 3 parámetros	392.404	0.900

5.3.1.3 Ajustes de Distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad, ahora el siguiente paso consistió en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestra la Figura 27 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para H1.

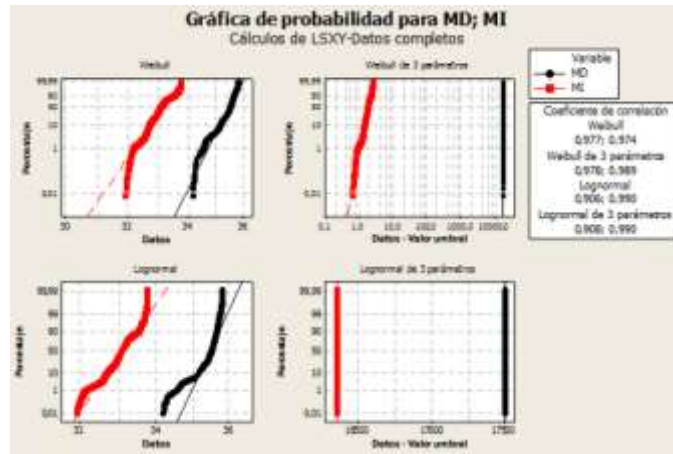


Figura 27. Mejores Distribuciones Individuo H1

Respecto a las tablas anteriores de las pruebas hechas sobre la muñeca de la mano izquierda se puede decir que para la prueba 1 los mejores ajustes se dan para las distribuciones Weibull y

3 parámetros Weibull con coeficientes de correlación de 97.7% y 97.8% respectivamente y con el estadístico AD representando un valor de 140.471 y 134.347 respectivamente.

5.3.2 Resumen de Temperaturas Máximas de los Hombres en la Validación

En la tabla 25 se muestra el resumen de temperaturas máximas en los hombres en la validación de la industria.

Tabla 25. Resumen de Temperaturas Máximas en los Hombres en la Validación

Hombre	Mano	Tiempo en llegar a temp. Max	temp. Max. °C
1	D	0:38:25	35.848
1	I	0:16:24	33.775
2	D	0:33:45	36.622
2	I	0:14:19	33.64
3	D	2:10:08	35.76
3	I	0:48:57	33.413
4	D	1:16:29	35.291
4	I	0:25:27	32.012
5	D	1:34:21	35.274
5	I	1:34:23	33.575
6	D	1:27:28	35.586
6	I	1:06:42	32.561
7	D	0:21:30	35.681
7	I	2:56:23	33.157

5.3.3 Individuo M1-Karla Ahumada

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo en el lapso más largo de la jornada laboral (2 h 30 min), y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo, se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación.

5.3.3.1 Patrones de Temperatura y Ajuste de Curva

Partiendo de las figuras 24 y 25 que se muestran, se puede mencionar y destacar los siguientes puntos:

- En ambas manos fue posible llevar a cabo un ajuste de curva de tercer orden, y se repiten los patrones de temperatura (asemejándose muy fuertemente en sus comportamientos). Para la mano derecha, fue posible hacer el ajuste de la curva obteniendo un coeficiente de determinación del 68.5%; y para la mano izquierda, fue posible el ajuste de la curva obteniendo un coeficiente de determinación del 42.9%.
- En ambas manos se puede apreciar que durante la primera hora de prueba existe un ascenso gradual de la temperatura, llegando a un proceso de estabilización pasando dicha hora y con ligeros cambios en el lapso restante de la prueba.
- Las temperaturas máximas alcanzadas durante el experimento fueron a las 13 h 08 min 04 para la mano derecha, transcurriendo 23 min 04 desde iniciada la prueba; a las 13 h 08 min 04 para la mano izquierda respectivamente, transcurriendo 23 min 04 y alcanzando temperaturas de

35.305 °C para la mano derecha; y de 34.328 °C para la mano izquierda con incrementos de 2.4 °C y de 2.423 °C respectivamente.

- Para esta primer prueba y con respecto a las pruebas realizadas en el primer individuo del experimento, los tiempos de alcance de las máximas temperaturas no coincidieron, más sin embargo, las temperaturas muestran una ligera aproximación una de otra.
- Aunado a lo anterior, el operador muestra haber sentido molestias en espalda baja durante los inicios de la prueba, es decir, y de acuerdo a los gráficos, cuando empieza una etapa de ascenso progresivo de la temperatura. Cabe mencionar que este dolor se mantuvo durante toda la prueba en un nivel constante y fue de poco a moderado, únicamente empezó a decrecer durante el período de descanso al finalizar la prueba como lo muestra el protocolo. Además, pasada 1 hora de iniciada la prueba, el operador comenzó a sentir una hinchazón en sus dedos de grado moderado y disminuyendo con el paso de continuidad de la prueba. Los ajustes a las curvas se muestran en las figuras 28 y 29.

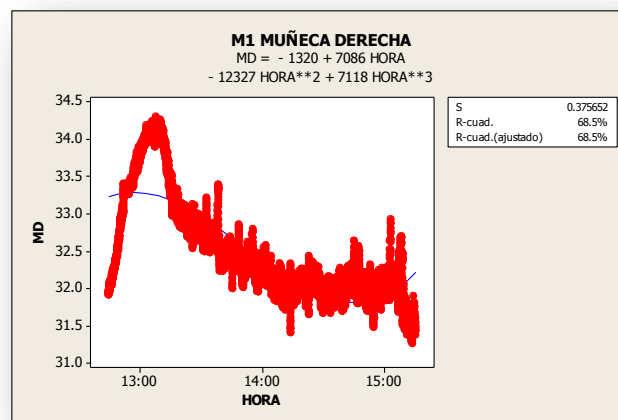


Figura 28. Individuo M1 Mano Derecha Ajuste de Curva

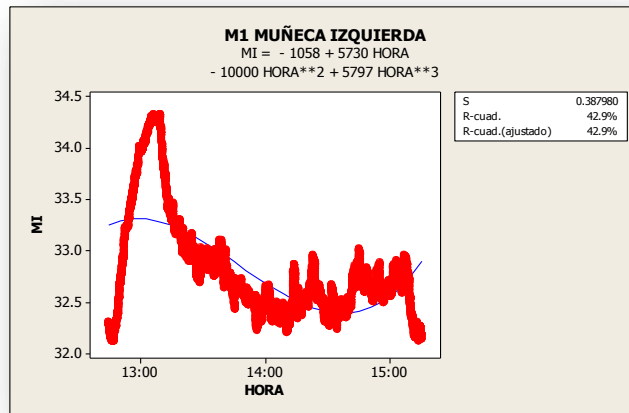


Figura 29. Individuo M1. Prueba Izquierda. Ajuste de Curva

5.3.3.2 Pruebas de Normalidad

Para todas y cada una de las pruebas de normalidad realizadas en la experimentación se definió la H_0 y H_1 desde la primera prueba 5.2.1.1.2, ello tomando en cuenta la prueba de AD. A continuación se muestran las figuras 30 y 31 resultantes de la ejecución de la prueba AD, a partir de las cuales y al igual que las ya recabadas, se puede apreciar que el valor p indica claramente a ser menor que el nivel de significancia establecido de 0.05, por lo que se debe rechazar la H_0 de que los datos siguen una distribución normal, y para lo cual, como en las figuras anteriores, habrá que buscar la distribución que represente con mayor claridad el comportamiento de las temperaturas. Además, aunado a lo anterior, se puede mencionar que en ambas pruebas de AD los valores del estadístico son bastante grandes 412.242 y de 465.055.

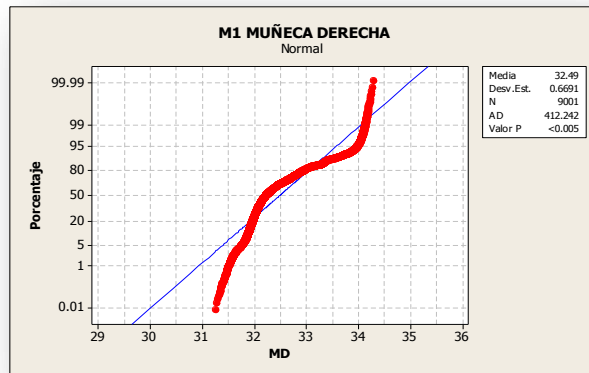


Figura 30. Individuo M1 Mano Derecha. Prueba de Normalidad

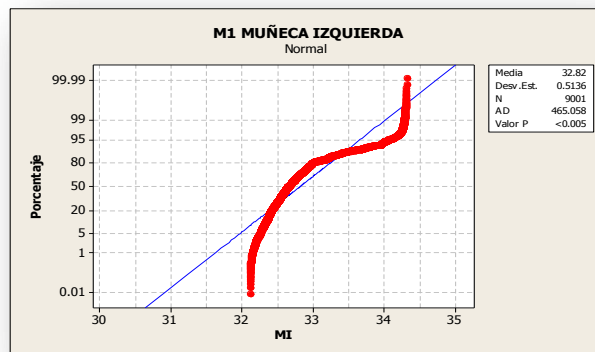


Figura 31. Individuo M1 Mano Izquierda. Prueba de Normalidad

5.3.3.3 Ajustes de Distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad, ahora el siguiente paso consistió en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación, se muestra la tabla 26 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano izquierda. Respecto a las tablas anteriores de las pruebas hechas sobre la muñeca izquierda se puede decir que: los mejores ajustes se dan para las distribuciones Weibull y 3 parámetros Weibull con coeficientes de correlación de 70.9% y 92.9% respectivamente, y con el estadístico AD representando un valor de 119.577 y 182.628 respectivamente.

Tabla 26. Distribuciones de Probabilidad Individuo1, Mano Izquierda, Prueba 1

Distribución	Anderson-Darling (ajust.)	Coefficiente de correlación
Weibull	119.577	0.709
Weibull de 3 parámetros	182.628	0.929
Lognormal	204.482	0.733
Lognormal de 3 parámetros	291.969	0.884

5.3.4 Resumen de Temperaturas Máximas de las Mujeres en la Validación

En la tabla 27 se muestra el resumen de temperaturas máximas en las mujeres en la validación de la industria.

Tabla 27. Resumen de Temperaturas Máximas en los Mujeres en la Validación

Mujer	Mano	Tiempo en llegar a temp. max	temp. Max. °C
1	D	0:23:04	34.305
1	I	0:23:04	34.328
2	D	0:03:42	34.606
2	I	0:00:32	34.359
3	D	1:50:13	34.828
3	I	1:49:58	34.39
4	D	1:44:15	34.45
4	I	2:18:43	34.983
5	D	0:15:07	34.725
5	I	0:49:09	34.592
6	D	0:26:03	35.238
6	I	1:48:18	34.986
7	D	2:26:56	34.267
7	I	2:27:19	35.179
8	D	0:30:00	35.566
8	I	0:33:36	33.674
9	D	1:55:01	35.153
9	I	1:54:47	34.677
10	D	0:37:15	35.334
10	I	0:41:19	35.364
11	D	2:29:33	32.97
11	I	2:28:20	32.207
12	D	1:32:20	31.999
12	I	2:18:15	33.438
13	D	1:09:08	34.593
13	I	1:29:00	35.039
14	D	0:26:43	34.855
14	I	0:28:50	35.512
15	D	1:08:13	34.574
15	I	0:34:56	34.633

5.3.5 Modelos de Regresión Propuestos

Para la generación de modelos de regresión, se realizó el análisis de los datos de: la Temperatura máxima (Tmax), la diferencia entre la Temperatura máxima y la Temperatura inicial (Tmax-Tini), el tiempo que existe en la diferencia entre la Temperatura máxima y la Temperatura inicial (Tpo (Tmax-Tini)) contra los factores de: masa corporal, edad, temperatura inicial (Tini), genero, antigüedad en estación, fractura (si presenta o no) y lado (derecho o izquierdo). En la tabla 28 se muestran los factores que resultaron ser significativos con un nivel de significancia del 5%. En los modelos de regresión, los factores significativos son los representados con *. En la tabla 29 se muestra el Análisis de Varianza (ANOVA) para la Tmax, usando las pruebas para SS ajustadas.

Tabla 28. Resumen de Factores Significativos

Factor	Tmax	Tmax-Tini	Tpo (Tmax-Tini)
Masa Corporal	*	*	
edad	*	*	*
Tini	*	*	
Genero			*
Antigüedad	*	*	*
Fractura			*
Lado	*	*	

*significativa al 5%

De acuerdo al estudio realizado se encontró que los factores que más influyen en la temperatura máxima son la temperatura inicial (p-value= 0) y la antigüedad en la estación de trabajo (p-value= 0.019), esto tiene sentido porque entre más alta sea la temperatura inicial será menor la distancia hacia el límite de temperatura máxima, trabajar en una estación de trabajo también incrementa gradualmente la temperatura interna a través del tiempo. La edad también influye en la temperatura máxima que el operario puede alcanzar (p-value= 0.034), ello puede deberse a diversos factores biológicos. La masa corporal (p-value= 0.047) y la mano dominante (p-value= 0.048) son factores debatibles, puede o no que influyan en la temperatura máxima, ya que se encuentran demasiado cerca al área de rechazo de 0.05, se tendrían que hacer más experimentos para despejar esta duda. El resto de los factores son estadísticamente insignificantes. Con una R^2 ajustada del 71.87% el modelo explica decentemente este fenómeno. En la tabla 30 se muestra el ANOVA para la Tmax-Tini, usando las pruebas para SS ajustadas.

Tabla 29. ANOVA para la Tmax

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Masa corporal	1	0.1659	1.2914	1.2914	4.35	0.047
Edad	1	1.0477	1.4967	1.4967	5.04	0.034
Tini	1	24.7621	16.3809	16.3809	55.17	0.000
Genero	1	0.3299	0.0882	0.0882	0.30	0.590

Tabla 30. ANOVA para la Tmax-Tini

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Masa corporal	1	1.1893	1.2914	1.2914	4.35	0.047
Edad	1	1.9109	1.4967	1.4967	5.04	0.034
Tini	1	10.7593	5.7992	5.7992	19.53	0.000
Genero	1	0.3299	0.0882	0.0882	0.30	0.590

Como siempre los factores dominantes son la temperatura inicial (p-value= 0), la antigüedad en la estación (p-value= 0.019) y la edad (p-value= 0.034). La masa corporal (p-value= 0.047) y la mano dominante (p-value= 0.048) requieren más pruebas. El resto de los factores son estadísticamente insignificantes. En la tabla 31 se muestra el ANOVA para el Tpo (Tmax-Tini), usando las pruebas para SS ajustadas.

Tabla 31. ANOVA para el Tpo (Tmax-Tini)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Masa corporal	1	0.0019712	0.0006033	0.0006033	1.11	0.302
Edad	1	0.0003004	0.0043563	0.0043563	8.03	0.009
Tini	1	0.0089707	0.0007938	0.0007938	1.46	0.238
Genero	1	0.0000781	0.0034544	0.0034544	6.37	0.018

5.3.5.1 Análisis de Temperaturas Máximas

Aquí la mayoría de los factores son significativos, por orden de importancia tenemos la edad (P-value= 0.009), el género (p-value= 0.018), si han tenido fracturas (p-value= 0.028) y la antigüedad en la estación (p-value= 0.035). El resto de los factores son estadísticamente insignificantes. Las mujeres por lo general tardan más en alcanzar su temperatura máxima que los hombres. Basándose en los resultados obtenidos de los ANOVAS realizados, sería más fácil predecir fenómenos donde la Tmax esté involucrada. Por lo cual, se decidió poner énfasis en la masa corporal y tiempo laborado en la estación de trabajo. Para ello se realizó un diseño particularizando por la caracterización, el cual se muestra en la tabla 32:

Tabla 32. Diseño Particularizando por la Caracterización

Experimento	Genero	Lado	Fractura
A	1	I	1
B	1	D	1
C	1	I	2
D	1	D	2
E	2	I	1
F	2	D	1
G	2	I	2
H	2	D	2

En donde significa: 1 masculino y 2 femenino (en la columna de genero); I izquierdo y D derecho (en la columna de lado); y 1 con fractura y 2 sin fractura (en la columna de fractura). A partir de este diseño particularizando por la caracterización, se realizó el primer y el último análisis de Regresión de Superficie de Respuesta con todos los datos obtenidos durante el

experimento, los cuáles se denominaron Análisis experimental completo de 2h 30 min de trabajo y Análisis experimental completo de 30 min de trabajo.

5.3.5.1.1 Análisis Experimental Completo de 2h 30 min de Trabajo

En este análisis se realizaron los 8 experimentos (del experimento A al H) mencionados en la tabla 32 y se hizo la Regresión de Superficie de Respuesta de temperatura contra masa corporal (X_1) y tiempo en segundos (X_2).

5.3.5.1.1.1 Experimento A (Hombre-Izquierdo-Con fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento A se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 33. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. el modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 9. Además, se muestran en la tabla 34 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 10.

Tabla 33. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	32.8539	0.008429	3897.610	0.000
MasaCorp	-0.0638	0.004897	-13.038	0.000
Tpo en seg	-0.1403	0.006653	-21.088	0.000
MasaCorp*MasaCorp	-0.3427	0.010211	-33.560	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	-0.8475	0.012395	-68.375	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	0.1125	0.008478	13.270	0.000

$$Y = 32.8539 - 0.0638x_1 - 0.1403x_2 - 0.3427x_1^2 - 0.8475x_2^2 + 0.1125x_1x_2 \dots\dots\dots(9)$$

Tabla 34. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	-7.18581
MasaCorp	3.16576
Tpo en seg	7.11092E-05
MasaCorp*MasaCorp	-0.0636641
Tpo en seg*Tpo en seg	-4.18511E-08
MasaCorp*Tpo en seg	1.07767E-05

$$Y = -7.18581 + 3.16576x_1 + 0.00007x_2 - 0.06366x_1^2 - 0.00000004x_2^2 + 0.00001x_1x_2 \dots\dots\dots(10)$$

En la Figura 32 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento A. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 33 a 34°C, con un rango de IMC entre 24 y 26 unidades, con tiempos de entre 0 a 5000 seg. Además, se observa que teniendo en el factor de tiempo, valores minimos o máximos y una masa corporal máxima se obtienen temperaturas mínimas.

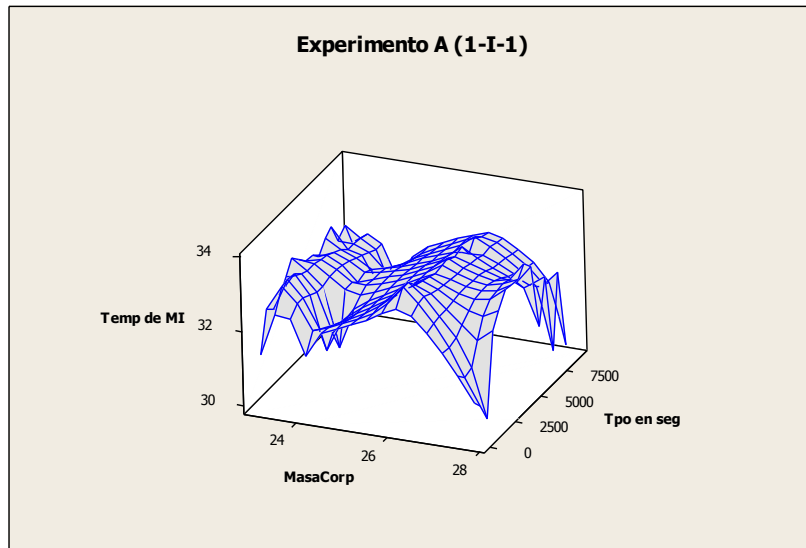


Figura 32. Superficie de Respuesta del Experimento A

5.3.5.1.1.2 Experimento B (Hombre-Derecho- Con Fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento B se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 35. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 11. Además, se muestran en la tabla 36 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 12.

Tabla 35. Coeficiente de Regresion Estimados del Experimento

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	35.5906	0.010289	3459.107	0.000
MasaCorp	-0.8283	0.005977	-138.583	0.000
Tpo en seg	0.3571	0.008121	43.978	0.000
MasaCorp*MasaCorp	-1.8401	0.012463	-147.644	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	-0.3593	0.015129	-23.750	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	0.5473	0.010349	52.890	0.000

$$Y = 35.5906 - 0.8283x_1 + 0.3571x_2 - 1.8401x_1^2 - 0.3593x_2^2 + 0.5473x_1x_2 \dots\dots\dots(11)$$

Tabla 36. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	-171.641
MasaCorp	16.8157
Tpo en seg	-0.00109575
MasaCorp*MasaCorp	-0.341882
Tpo en seg*Tpo en seg	-1.77442E-08
MasaCorp*Tpo en seg	5.24276E-05

$$Y = -171.641 - 16.8157x_1 - 0.0011x_2 - 0.3419x_1^2 - 0.000000017x_2^2 + 0.000052427x_1x_2 \dots\dots\dots(12)$$

En la Figura 33 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento B. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 35 y 36°C, con un rango de IMC entre 24 y 26 unidades, con tiempos de entre 0 y 2500 seg. La

temperatura alcanza sus mínimas en aproximadamente 32°C en un rango de IMC entre 0 y 24, con tiempos de entre 2500 y 5000 seg.

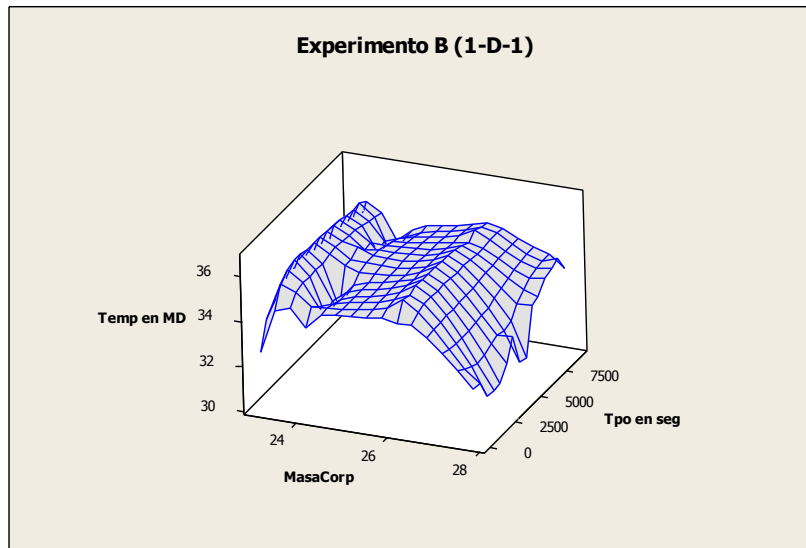


Figura 33. Superficie de Respuesta del Experimento B

5.3.5.1.1.3 Experimento C (Hombre-Izquierdo- Sin fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento C se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 37. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 13. Además, se muestran en la tabla 38 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 14.

Tabla 37. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31.7003	0.004339	7306.443	0.000
MasaCorp	0.4033	0.002892	139.445	0.000
Tpo en seg	0.1648	0.005009	32.897	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	0.2511	0.009699	25.886	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	0.1169	0.005009	23.328	0.000

$$Y = 31.7 + 0.4033x_1 + 0.1648x_2 + 0.2511x_2^2 + 0.1169x_1x_2 \dots\dots\dots(13)$$

Tabla 38. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	30.9509
MasaCorp	0.0312412
Tpo en seg	-1.50723E-04
Tpo en seg*Tpo en seg	1.23991E-08
MasaCorp*Tpo en seg	2.83182E-06

$$Y = 30.9509 + 0.0312412x_1 - 0.00015x_2 + 0.000000012x_2^2 + 0.0000028x_1x_2 \dots\dots\dots(14)$$

En la Figura 34 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento C. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 32.8 y 33°C, con un rango de IMC entre 34 y 36 unidades, con tiempos de entre 7000 y 8000 seg. La

temperatura alcanza sus mínimas en aproximadamente 31°C en un rango de IMC entre 0 y 24, con tiempos de entre 2500 y 5000 seg.

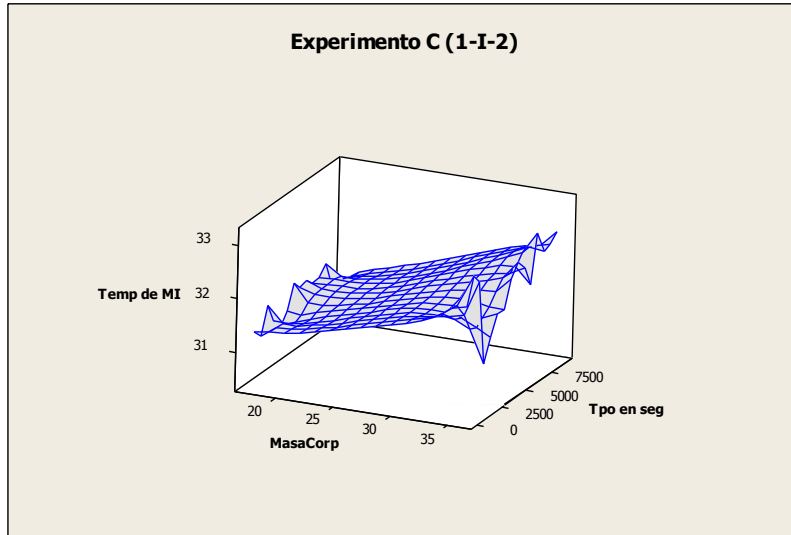


Figura 34. Superficie de Respuesta del Experimento C

5.3.5.1.1.4 Experimento D (Hombre- Derecho- Sin fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento D se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 39. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 15. Además, se muestran en la tabla 40 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 16.

Tabla 39. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	34.5132	0.004825	7153.052	0.000
MasaCorp	-0.2403	0.003217	-74.702	0.000
seg	0.1075	0.005571	19.298	0.000
seg*seg	-0.2833	0.010787	-26.268	0.000
MasaCorp*seg	-0.2058	0.005571	-36.940	0.000

$$Y = 34.5132 - 0.2403x_1 + 0.1075x_2 - 0.2833x_2^2 - 0.2058x_1x_2 \dots\dots\dots(15)$$

Tabla 40. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	34.2230
MasaCorp	-0.00376265
seg	0.000283220
seg*seg	-1.39922E-08
MasaCorp*seg	-4.98696E-06

$$Y = 34.223 - 0.00376x_1 + 0.00028322x_2 - 0.0000000139x_2^2 - 0.00000498x_1x_2 \dots\dots\dots(16)$$

En la Figura 35 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento D. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 35 y 35.5°C, con un rango de IMC entre 36 y 37 unidades, con tiempos de entre 2000 y 2500 seg. La temperatura alcanza sus mínimas entre 32.5°C y 33°C en un rango de IMC entre 36 y 37, con tiempos de entre 2000 y 2500 seg.

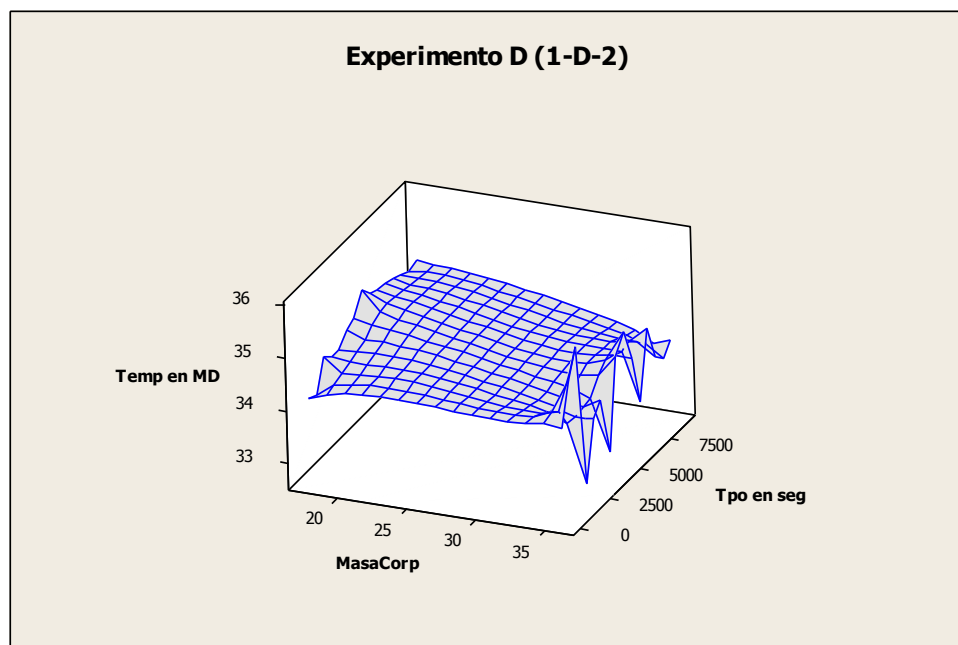


Figura 35. Superficie de Respuesta del Experimento D

5.3.5.1.1.5 Experimento E (Mujer- Izquierda-Con fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento E se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 41. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 17. Además, se muestran en la tabla 42 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 18.

Tabla 41. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	32.7266	0.006545	4999.974	0.000
MasaCorp	-1.0212	0.005152	-198.237	0.000
Tpo en seg	-0.2598	0.006095	-42.622	0.000
MasaCorp*MasaCorp	1.0744	0.007921	135.639	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	-0.0517	0.011308	-4.572	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	-0.8463	0.008760	-96.615	0.000

$$Y = 32.7266 - 1.0212x_1 - 0.2598x_2 + 1.0744x_1^2 - 0.0517x_2^2 - 0.8463x_1x_2 \dots\dots\dots(17)$$

Tabla 42. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	53.0259
MasaCorp	-1.35673
Tpo en seg	0.000763405
MasaCorp*MasaCorp	0.0228964
Tpo en seg*Tpo en seg	-2.55315E-09
MasaCorp*Tpo en seg	-2.74565E-05

$$Y = 53.0259 - 1.35673x_1 + 0.0007634x_2 + 0.0228964x_1^2 - 0.0000000025x_2^2 - 0.0000274x_1x_2 \dots(18)$$

En la Figura 36 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento E. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 35 y 35.5°C, con un rango de IMC entre 25 y 26 unidades, con tiempos de entre 7000 y 7500 seg. La temperatura alcanza sus mínimas entre 31.5°C y 32°C en un rango de IMC entre 35 y 37, con tiempos de más de 8000 seg.

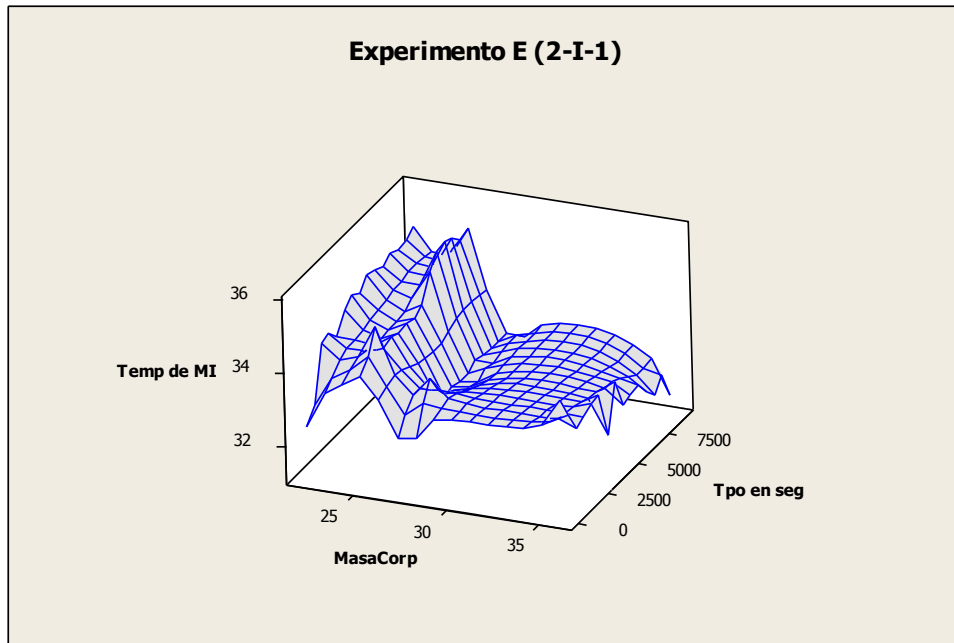


Figura 36. Superficie de Respuesta del Experimento E

Se observa que en el experimento E, la temperatura alcanza sus máximas (entre 35 y 35.5°C) alrededor de un IMC de entre un rango de 25 y 26, con tiempos de entre 7000 y 7500 seg. La temperatura alcanza sus mínimas entre 31.5°C y 32°C en un rango de IMC entre 35 y 37, con tiempos de más de 8000 seg.

5.3.5.1.1.6 Experimento F (Mujer- Derecha- Con fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento F se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 43. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 19. Además, se muestran en la tabla 44 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del

experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 20.

Tabla 43. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.3656	0.007287	4578.805	0.000
MasaCorp	-0.3041	0.005735	-53.017	0.000
Tpo en seg	-0.4576	0.006786	-67.433	0.000
MasaCorp*MasaCorp	0.4125	0.008818	46.774	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	-0.2475	0.012589	-19.664	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	-0.3782	0.009752	-38.781	0.000

$$Y = 33.3656 - 0.3041x_1 - 0.4576x_2 + 0.4125x_1^2 - 0.2475x_2^2 - 0.3782x_1x_2 \dots\dots\dots(19)$$

Tabla 44. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	40.6894
MasaCorp	-0.500247
Tpo en seg	0.000365009
MasaCorp*MasaCorp	0.00879033
Tpo en seg*Tpo en seg	-1.22246E-08
MasaCorp*Tpo en seg	-1.22697E-05

$$Y = 40.6894 - 0.5x_1 + 0.000365x_2 + 0.00879x_1^2 - 0.0000000122x_2^2 - 0.00001227x_1x_2 \dots\dots\dots(20)$$

En la Figura 37 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento F. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 34 y 35.5°C, con un rango de IMC entre 26 y 28 unidades, con tiempos de entre 500 y 2000 seg. La temperatura alcanza sus mínimas entre 31°C y 32°C en un rango de IMC entre 5 y 10, con tiempos entre 0 y 500 seg.

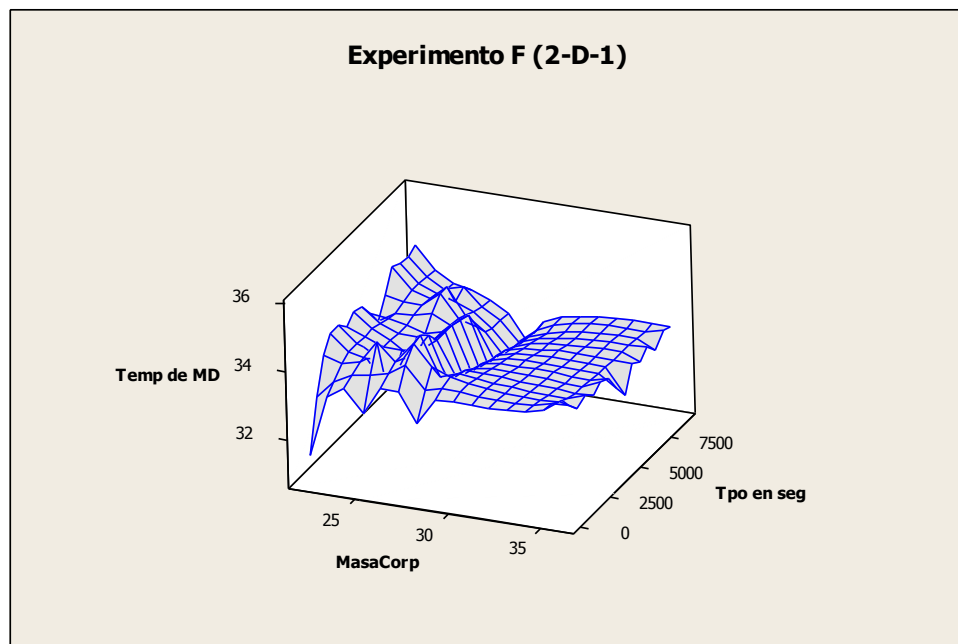


Figura 37. Superficie de Respuesta del Experimento F

5.3.5.1.1.7 Experimento G (Mujer- Izquierdo- Sin fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento G se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 45. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 21. Además, se muestran en la tabla 46 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 22.

Tabla 45. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.4876	0.006814	4914.253	0.000
MasaCorp	0.0810	0.007438	10.887	0.000
Tpo en seg	0.3524	0.007075	49.809	0.000
MasaCorp*MasaCorp	0.5304	0.010245	51.773	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	-0.1426	0.011687	-12.198	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	0.6313	0.012497	50.516	0.000

$$Y = 33.4876 + 0.081x_1 + 0.3524x_2 + 0.5304x_1^2 - 0.1426x_2^2 + 0.6313x_1x_2 \dots\dots\dots(21)$$

Tabla 46. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	39.5114
MasaCorp	-0.363575
Tpo en seg	-2.82721E-04
MasaCorp*MasaCorp	0.00496088
Tpo en seg*Tpo en seg	-7.04013E-09
MasaCorp*Tpo en seg	1.35676E-05

$$Y = 39.5114 - 0.3635x_1 - 0.000287x_2 + 0.00496x_1^2 - 0.000000007x_2^2 + 0.0000135x_1x_2 \dots\dots\dots(22)$$

En la Figura 38 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento G. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 34 y 35°C, con un rango de IMC entre 40 unidades, con tiempos de más de 8000 seg. La temperatura alcanza sus mínimas entre 30°C y 31°C en un rango de IMC entre 25 y 30, con tiempos entre 500 y 1000 seg.

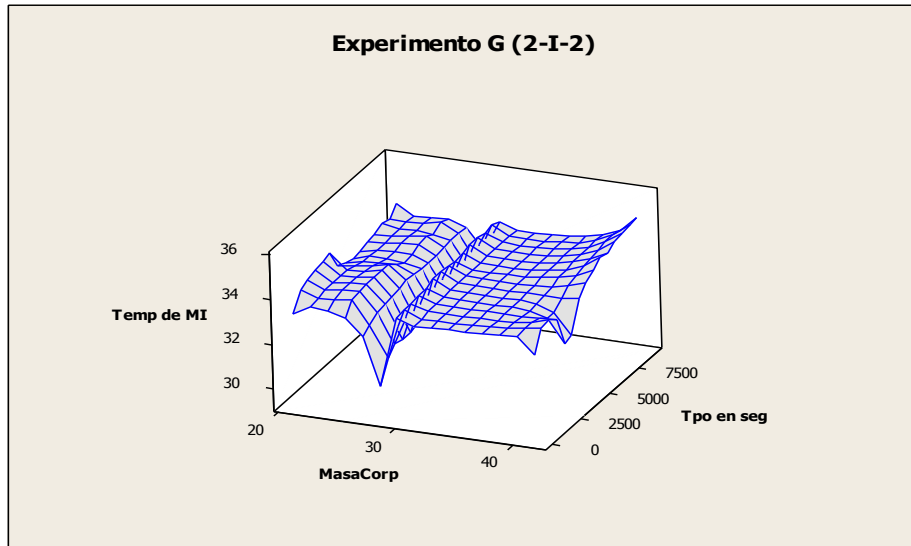


Figura 38. Superficie de Respuesta del Experimento G

5.3.5.1.1.8 Experimento H (Mujer- Derecha- Sin fractura)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento H se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 47. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 23. Además, se muestran en la tabla 48 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 24.

Tabla 47. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.4177	0.008978	3722.004	0.000
MasaCorp	0.1835	0.009800	18.723	0.000
Tpo en seg	0.0704	0.009322	7.549	0.000
MasaCorp*MasaCorp	0.5847	0.013498	43.318	0.000
Tpo en seg*Tpo en seg	-0.2843	0.015399	-18.462	0.000
MasaCorp*Tpo en seg	0.3378	0.016466	20.513	0.000

$$Y = 33.4177 + 0.1835x_1 + 0.0704x_2 + 0.5847x_1^2 - 0.2843x_2^2 + 0.3378x_1x_2 \dots\dots\dots(23)$$

Tabla 48. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	38.8806
MasaCorp	-0.357048
Tpo en seg	-8.50657E-05
MasaCorp*MasaCorp	0.00546879
Tpo en seg*Tpo en seg	-1.40393E-08
MasaCorp*Tpo en seg	7.25886E-06

$$Y = 38.88 - 0.357x_1 - 0.000085x_2 + 0.00547x_1^2 - 0.000000014x_2^2 + 0.00000725x_1x_2 \dots\dots\dots(24)$$

En la Figura 39 se muestra la Superficie de respuesta del Experimento H. En los resultados obtenidos se observa que la temperatura alcanza sus máximas entre un rango de 34 y 35°C, con un rango de IMC de mas de 40 unidades, con tiempos de entre 1000 y 2500 seg. La temperatura alcanza sus mínimas entre 30°C y 31°C en un rango de IMC entre 27 y 30, con tiempos entre 0 y 500 seg.

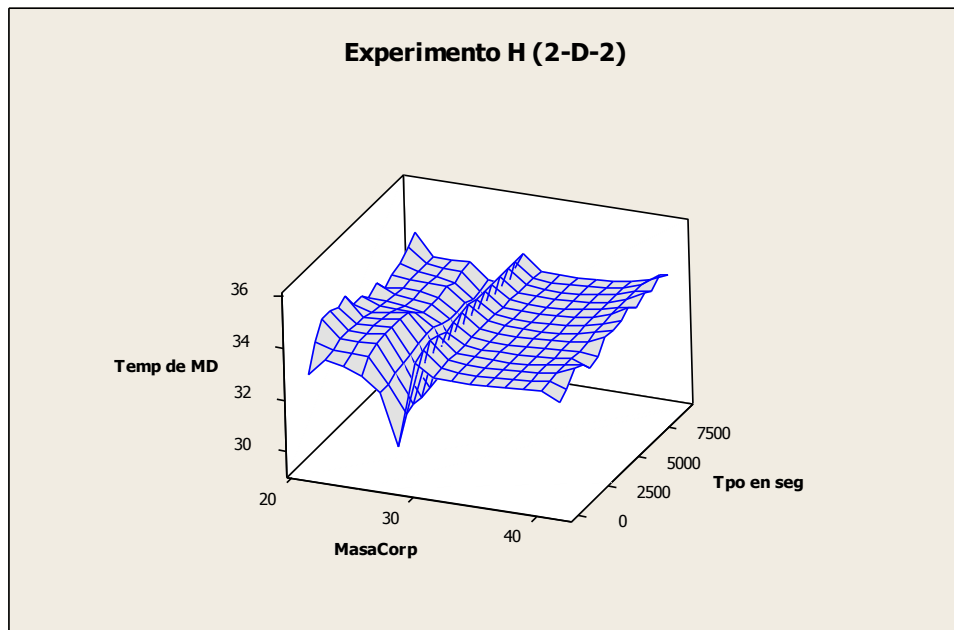


Figura 39. Superficie de Respuesta del Experimento H

5.3.5.1.2 Análisis Experimental de 60 min y de 30 min de Trabajo

En este análisis, se realizaron los 2 experimentos (Y60 y Y30); el Y60 consistía en tomar cada 5 min una muestra de 5 durante 60 min y el Y30 consistía en tomar cada 5 min una muestra de 5 durante 30 min; enseguida se hizo la Regresión de Superficie de Respuesta de temperatura contra masa corporal (X_1) y tiempo en minutos (X_2).

5.3.5.1.2.1 Experimento Y60a (Todas las Muestras de 60 Minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento Y60a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 49. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 25. Además, se muestran en la tabla 50 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 26.

Tabla 49. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.5200	0.09969	336.254	0.000
MasaCorp	-0.1406	0.13291	-1.058	0.290
Tiempo	0.0542	0.09981	0.543	0.587
MasaCorp*MasaCorp	0.1862	0.20029	0.930	0.353
Tiempo*Tiempo	-0.4490	0.16382	-2.741	0.006
MasaCorp*Tiempo	-0.5404	0.21303	-2.537	0.011

$$Y = 33.52 - 0.1406x_1 + 0.0542x_2 + 0.1862x_1^2 - 0.449x_2^2 - 0.5404x_1x_2 \dots\dots\dots(25)$$

Tabla 50. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	33.1614
MasaCorp	-0.0430269
Tiempo	0.0761018
MasaCorp*MasaCorp	0.00128863
Tiempo*Tiempo	-4.98901E-04
MasaCorp*Tiempo	-0.00149868

$$Y = 33.1614 - 0.0430269x_1 + 0.0761018x_2 - 0.00128863x_1^2 - 0.0004989x_2^2 - 0.00149868x_1x_2. \quad (26)$$

5.3.5.1.2.2 Experimento Y60b (Todas las Muestras de 60 Minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento Y60b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 51. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 27. Además, se muestran en la tabla 52 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 28.

Tabla 51. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.5616	0.08906	376.858	0.000
MasaCorp	-0.1368	0.13283	-1.030	0.303
Tiempo	0.0542	0.09980	0.543	0.587
Tiempo*Tiempo	-0.4490	0.16380	-2.741	0.006
MasaCorp*Tiempo	-0.5404	0.21300	-2.537	0.011

$$Y = 33.5616 - 0.1368x_1 + 0.0542x_2 - 0.449x_2^2 - 0.5404x_1x_2 \dots\dots\dots(27)$$

Tabla 52. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y60b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	32.0646
MasaCorp	0.0335753
Tiempo	0.0761018
Tiempo*Tiempo	-4.98901E-04
MasaCorp*Tiempo	-0.00149868

$$Y = 32.0646 + 0.0336x_1 + 0.0761x_2 - 0.0005x_2^2 - 0.0015x_1x_2 \dots\dots\dots(28)$$

5.3.5.1.2.3 Experimento Y30a (Todas las Muestras de 30 Minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento **Y30a** se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla **53**. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación **29**. Además, se muestran en la tabla **54** los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación **30**.

Tabla 53. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.5468	0.1386	241.993	0.000
MasaCorp	0.1061	0.1831	0.580	0.563
Tiempo	0.2930	0.1286	2.279	0.023
MasaCorp*MasaCorp	0.2990	0.2759	1.084	0.279
Tiempo*Tiempo	-0.4697	0.2021	-2.324	0.021
MasaCorp*Tiempo	-0.4350	0.2745	-1.585	0.114

$$Y = 33.5468 + 0.1061x_1 + 0.293x_2 + 0.299x_1^2 - 0.4697x_2^2 - 0.435x_1x_2 \dots\dots\dots(29)$$

Tabla 54. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	33.2649
MasaCorp	-0.0775026
Tiempo	0.153573
MasaCorp*MasaCorp	0.00206954
Tiempo*Tiempo	-0.00208754
MasaCorp*Tiempo	-0.00241256

$$Y = 33.2649 - 0.0775x_1 + 0.153573x_2 + 0.00206954x_1^2 - 0.00208754x_2^2 - 0.00241256x_1x_2 \dots(30)$$

5.3.5.1.2.4 Experimento Y30b (Todas las Muestras de 30 Minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento Y30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 55. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 31. Además, se muestran en la tabla 56 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 32.

Tabla 55. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.5916	0.1190	282.244	0.000
Tiempo	0.3787	0.1169	3.241	0.001
Tiempo*Tiempo	-0.4697	0.2024	-2.320	0.021

$$Y = 33.5916 + 0.3787x_2 - 0.4697x_2^2 \dots\dots\dots(31)$$

Tabla 56. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento Y30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	32.7432
Tiempo	0.0878747
Tiempo*Tiempo	-0.00208754

$$Y = 32.7432 + 0.08787x_2 - 0.00208754x_2^2 \dots\dots\dots(32)$$

5.3.5.1.3 Análisis Experimental Completo de 30 min de Trabajo

En este análisis se realizaron los 8 experimentos (del experimento A al H, se le agrego el 30, debido a que se realizó cada 5 min durante 30 min) mencionados en la tabla 32 y se hizo la Regresión de Superficie de Respuesta de temperatura contra masa corporal (X_1) y tiempo en minutos (X_2).

5.3.5.1.3.1 Experimento A30a (Hombre- Izquierdo- Con fractura de 30 Minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento A30a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 57. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 33. Además, se muestran en la tabla 58 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 34.

Tabla 57. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.2460	0.3523	94.360	0.000
MasaCorp	-0.5712	0.2031	-2.813	0.009
Tiempo	0.0778	0.2389	0.326	0.747
MasaCorp*MasaCorp	-1.5605	0.4234	-3.685	0.001
Tiempo*Tiempo	-0.4577	0.3982	-1.149	0.260
MasaCorp*Tiempo	-0.2636	0.3045	-0.866	0.394

$$Y = 33.246 - 0.5712x_1 + 0.0778x_2 - 1.5606x_1^2 - 0.4577x_2^2 - 0.2636x_1x_2 \dots\dots\dots(33)$$

Tabla 58. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	-151.842
MasaCorp	14.6300
Tiempo	0.259049
MasaCorp*MasaCorp	-0.289918
Tiempo*Tiempo	-0.00203420
MasaCorp*Tiempo	-0.00757415

$$Y = -151.842 + 14.63x_1 + 0.259x_2 - 0.2899x_1^2 - 0.002x_2^2 - 0.0075x_1x_2 \dots\dots\dots(34)$$

5.3.5.1.3.2 Experimento A30b (Hombre- Izquierdo- Con fractura de 30 minutos).

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento A30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 59. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 35. Además, se muestran en la tabla 60 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 36.

Tabla 59. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.0425	0.3018	109.472	0.000
MasaCorp	-0.5712	0.2012	-2.839	0.008
MasaCorp*MasaCorp	-1.5605	0.4195	-3.720	0.001

$$Y = 33.0425 - 0.5712x_1 - 1.5605x_1^2 \dots\dots\dots(35)$$

Tabla 60. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento A30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	-148.617
MasaCorp	14.5164
MasaCorp*MasaCorp	-0.289918

$$Y = -148.617 + 14.5164x_1 - 0.289918x_1^2 \dots\dots\dots(36)$$

5.3.5.1.3.3 Experimento B30a (Hombre- Derecha- Con fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento B30a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 61. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 37. Además, se muestran en la tabla 62 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 38.

Tabla 61. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	34.2766	0.2393	143.238	0.000
MasaCorp	-0.5012	0.2446	-2.049	0.044
Tiempo	0.0793	0.2266	0.350	0.727
MasaCorp*MasaCorp	0.0935	0.3284	0.285	0.777
Tiempo*Tiempo	-0.2365	0.3980	-0.594	0.554
MasaCorp*Tiempo	-0.4980	0.3893	-1.279	0.204

$$Y = 34.2766 - 0.5012x_1 + 0.0793x_2 + 0.0935x_1^2 - 0.2365x_2^2 - 0.498x_1x_2 \dots\dots\dots(37)$$

Tabla 62. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	34.7657
MasaCorp	-0.0598344
Tiempo	0.0668387
MasaCorp*MasaCorp	0.00111196
Tiempo*Tiempo	-2.62829E-04
MasaCorp*Tiempo	-0.00181034

$$Y = 34.7657 - 0.0598344x_1 + 0.0668387x_2 + 0.00111196x_1^2 - 0.0002628x_2^2 - 0.00181x_1x_2 \dots\dots(38)$$

5.3.5.1.3.4 Experimento B30b (Hombre- Derecha- Con fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento B30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 63. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 39. Además, se muestran en la tabla 64 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 40.

Tabla 63. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	34.2175	0.1401	244.178	0.000
MasaCorp	-0.4926	0.2407	-2.046	0.044

$$Y = 34.2175 - 0.4926x_1 \dots\dots\dots(39)$$

Tabla 64. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento B30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	35.6544
MasaCorp	-0.0537172

$$Y = 35.6544 - 0.05371x_1 \dots\dots\dots(40)$$

5.3.5.1.3.5 Experimento C30 (Hombre- Izquierdo- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento C30 se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 65. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 41. Además, se muestran en la tabla 66 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 42.

Tabla 65. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C30

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	32.0685	0.10866	295.132	0.000
MasaCorp	0.4029	0.07113	5.664	0.000
Tiempo	-0.2955	0.10670	-2.769	0.022
Tiempo*Tiempo	-0.4791	0.18481	-2.593	0.029
MasaCorp*Tiempo	-0.3680	0.10670	-3.449	0.007

$$Y = 32.0685 + 0.4029x_1 - 0.2955x_2 - 0.4791x_2^2 - 0.368x_1x_2 \dots\dots\dots(41)$$

Tabla 66. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento C30 en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	29.6359
MasaCorp	0.0840716
Tiempo	0.115762
Tiempo*Tiempo	-0.00212951
MasaCorp*Tiempo	-0.00267573

$$Y = 29.6359 + 0.0840716x_1 + 0.115762x_2 - 0.00212951x_2^2 - 0.00267573x_1x_2 \dots\dots\dots(42)$$

5.3.5.1.3.6 Experimento D30a (Hombre-Derecha- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento D30a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 67. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 43. Además, se muestran en la tabla 68 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 44.

Tabla 67. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	34.5261	0.10042	343.814	0.000
MasaCorp	0.1602	0.06574	2.436	0.038
Tiempo	0.2696	0.09861	2.734	0.023
Tiempo*Tiempo	-0.0760	0.17080	-0.445	0.667
MasaCorp*Tiempo	-0.0237	0.09861	-0.240	0.815

$$Y = 34.5261 + 0.1602x_1 + 0.2696x_2 - 0.0760x_2^2 - 0.0237x_1x_2 \dots\dots\dots(43)$$

Tabla 68. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	33.6442
MasaCorp	0.0200504
Tiempo	0.0327124
Tiempo*Tiempo	-3.37587E-04
MasaCorp*Tiempo	-1.72301E-04

$$Y = 33.6442 + 0.0200504x_1 + 0.0327124x_2 - 0.000337587x_2^2 - 0.0001723x_1x_2 \dots\dots\dots(44)$$

5.3.5.1.3.7 Experimento D30b (Hombre-Derecha- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento D30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 69. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 45. Además, se muestran en la tabla 70 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 46.

Tabla 69. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	34.4923	0.06030	571.983	0.000
MasaCorp	0.1602	0.06030	2.656	0.022
Tiempo	0.2696	0.09045	2.981	0.012

$$Y = 34.4923 + 0.1602x_1 + 0.2696x_2 \dots\dots\dots(45)$$

Tabla 70. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento D30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	33.7555
MasaCorp	0.0174659
Tiempo	0.0179757

$$Y = 33.7555 + 0.0174659x_1 + 0.0179757x_2 \dots\dots\dots(46)$$

5.3.5.1.3.8 Experimento E30a (Mujer-Izquierda- Con fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento E30a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 71. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 47. Además, se muestran en la tabla 72 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 48.

Tabla 71. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.5690	0.2348	142.999	0.000
MasaCorp	-0.1700	0.1828	-0.930	0.360
Tiempo	0.2676	0.1873	1.429	0.164
MasaCorp*MasaCorp	0.2404	0.2810	0.855	0.399
Tiempo*Tiempo	-0.4289	0.3108	-1.380	0.178
MasaCorp*Tiempo	-0.8008	0.2692	-2.975	0.006

$$Y = 33.569 - 0.17x_1 + 0.2676x_2 + 0.2404x_1^2 - 0.4289x_2^2 - 0.8008x_1x_2 \dots\dots\dots(47)$$

Tabla 72. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	34.5244
MasaCorp	-0.205744
Tiempo	0.301593
MasaCorp*MasaCorp	0.00512268
Tiempo*Tiempo	-0.00190644
MasaCorp*Tiempo	-0.00779352

$$Y = 34.5244 - 0.205744x_1 + 0.301593x_2 + 0.00512268x_1^2 - 0.00190644x_2^2 - 0.00779352x_1x_2 \dots\dots(48)$$

5.3.5.1.3.9 Experimento E30b (Mujer-Izquierda- Con fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento E30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 73. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 49. Además, se muestran en la tabla 74 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 50.

Tabla 73. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.5007	0.1261	265.594	0.000
MasaCorp	-0.1403	0.1813	-0.774	0.445
Tiempo	0.2676	0.1892	1.415	0.167
MasaCorp*Tiempo	-0.8008	0.2719	-2.945	0.006

$$Y = 33.5007 - 0.1403x_1 + 0.2676x_2 - 0.8008x_1x_2 \dots\dots\dots(49)$$

Tabla 74. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento E30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	30.4302
MasaCorp	0.0964173
Tiempo	0.244400
MasaCorp*Tiempo	-0.00779352

$$Y = 30.4302 + 0.0964173x_1 + 0.2444x_2 - 0.00779352x_1x_2 \dots\dots\dots(50)$$

5.3.5.1.3.10 Experimento F30 (Mujer- Derecha- Con fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento F30 se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 75. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 51. Además, se muestran en la tabla 76 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 52.

Tabla 75. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F30

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	34.4335	0.2120	162.435	0.000
MasaCorp	0.2805	0.1650	1.699	0.100
Tiempo	0.5070	0.1691	2.998	0.006
MasaCorp*MasaCorp	-0.5970	0.2537	-2.353	0.026
Tiempo*Tiempo	-0.7283	0.2806	-2.595	0.015
MasaCorp*Tiempo	-0.8899	0.2431	-3.661	0.001

$$Y = 34.4335 + 0.2805x_1 + 0.507x_2 - 0.597x_1^2 - 0.7283x_2^2 - 0.8899x_1x_2 \dots\dots\dots(51)$$

Tabla 76. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento F30 en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	17.4791
MasaCorp	0.910620
Tiempo	0.382669
MasaCorp*MasaCorp	-0.0127239
Tiempo*Tiempo	-0.00323698
MasaCorp*Tiempo	-0.00866057

$$Y = 17.4791 + 0.91062x_1 + 0.382669x_2 - 0.0127239x_1^2 - 0.00323698x_2^2 - 0.00866057x_1x_2 \dots(52)$$

5.3.5.1.3.11 Experimento G30a (Mujer- Izquierda- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento G30a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 77. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas

como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 53. Además, se muestran en la tabla 78 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 54.

Tabla 77. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.2338	0.3120	106.516	0.000
MasaCorp	-0.1520	0.3369	-0.451	0.653
Tiempo	0.3924	0.2776	1.414	0.162
MasaCorp*MasaCorp	0.8806	0.4640	1.898	0.062
Tiempo*Tiempo	-0.3689	0.4101	-0.899	0.372
MasaCorp*Tiempo	-0.1553	0.4903	-0.317	0.752

$$Y = 33.2338 - 0.152x_1 + 0.3924x_2 + 0.8806x_1^2 - 0.3689x_2^2 - 0.1553x_1x_2 \dots\dots\dots(53)$$

Tabla 78. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	40.5214
MasaCorp	-0.514962
Tiempo	0.106665
MasaCorp*MasaCorp	0.00823667
Tiempo*Tiempo	-0.00163942
MasaCorp*Tiempo	-0.00100130

$$Y = 40.5214 - 0.514962x_1 + 0.106665x_2 + 0.00823667x_1^2 - 0.00163942x_2^2 - 0.0010013x_1x_2 \dots(54)$$

5.3.5.1.3.12 Experimento G30b (Mujer- Izquierda- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento G30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 79. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 55. Además, se muestran en la tabla 80 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 56.

Tabla 79. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.0699	0.2511	131.691	0.000
MasaCorp	-0.1520	0.3341	-0.455	0.651
Tiempo	0.4383	0.2348	1.866	0.066
MasaCorp*MasaCorp	0.8806	0.4602	1.914	0.060

$$Y = 33.0699 - 0.152x_1 + 0.4383x_2 + 0.8806x_1^2 \dots(55)$$

Tabla 80 Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento G30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	41.1503
MasaCorp	-0.529982
Tiempo	0.0292194
MasaCorp*MasaCorp	0.00823667

$$Y = 41.1503 - 0.529982x_1 + 0.0292194x_2 + 0.00823667x_1^2 \dots\dots\dots(56)$$

5.3.5.1.3.13 Experimento H30a (Mujer- Derecha- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento H30a se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 81. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 57. Además, se muestran en la tabla 82 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 58.

Tabla 81. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30a

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.2910	0.3666	90.812	0.000
MasaCorp	0.0072	0.3958	0.018	0.986
Tiempo	0.3671	0.3261	1.126	0.265
MasaCorp*MasaCorp	0.7553	0.5452	1.385	0.171
Tiempo*Tiempo	-0.3903	0.4819	-0.810	0.421
MasaCorp*Tiempo	-0.2018	0.5761	-0.350	0.727

$$Y = 33.291 + 0.0072x_1 + 0.3671x_2 + 0.7553x_1^2 - 0.3903x_2^2 - 0.2018x_1x_2 \dots\dots\dots(57)$$

Tabla 82. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30a en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	38.8140
MasaCorp	-0.421768
Tiempo	0.117216
MasaCorp*MasaCorp	0.00706491
Tiempo*Tiempo	-0.00173454
MasaCorp*Tiempo	-0.00130138

$$Y = 38.814 - 0.421768x_1 + 0.117216x_2 + 0.00706491x_1^2 - 0.00173454x_2^2 - 0.00130138x_1x_2 \dots(58)$$

5.3.5.1.3.14 Experimento H30b (Mujer- Derecha- Sin fractura de 30 minutos)

Los Coeficientes de Regresión Estimados del experimento H30b se muestran en la columna representada como “Coef” de la tabla 83. Así como los factores e interacciones que fueron significativas para este modelo, los cuales se muestran en las columnas representadas como “Term” y “P” respectivamente, con un nivel de significancia del 5%. El modelo de regresión de segundo orden obtenido para este experimento se muestra en la ecuación 59. Además, se muestran en la tabla 84 los Coeficientes de Regresión Estimados en unidades codificadas del experimento; representado por el modelo de regresión de segundo orden codificado como se muestra en la ecuación 60.

Tabla 83. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30b

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33.1176	0.2978	111.204	0.000
MasaCorp	0.0072	0.3962	0.018	0.986
MasaCorp*MasaCorp	0.7553	0.5457	1.384	0.171

$$Y = 33.1176 + 0.0072x_1 + 0.7553x_1^2 \dots\dots\dots(59)$$

Tabla 84. Coeficientes de Regresión Estimados del Experimento H30b en Unidades Codificadas

Term	Coef
Constant	40.0085
MasaCorp	-0.441288
MasaCorp*MasaCorp	0.00706491

$$Y = 40.0085 - 0.441288x_1 + 0.00706491x_1^2 \dots\dots\dots(60)$$

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones generales que se obtienen con el desarrollo de esta tesis, conclusiones que se generan de la verificación de las hipótesis, las preguntas de investigación y los objetivos establecidos en el capítulo 2. Además también se exponen las recomendaciones que constituyen propuestas de proyectos de investigación futuros.

6.1 Conclusiones

Después de haber analizado las pruebas emuladas y las pruebas de validación en la industria, se concluye que es factible analizar y validar el comportamiento de las temperaturas generadas en el área de la muñeca de los individuos tras realizar sus actividades en una estación de trabajo que involucra MAR, las cuales pueden generar un DTA en las muñecas. Lo anterior, fue analizado con el uso de la termografía sensorial como tecnología alternativa, debido a que ofrece un beneficio en lo que concierne al costo (en comparación con la termografía infrarroja), siendo una de las principales aportaciones de esta investigación, ya que hasta el momento no se ha encontrado literatura que haga referencia a la aplicación y análisis de termografía sensorial en humanos, principalmente en MAR de individuos que están trabajando continuamente en la industria. Los resultados muestran cómo la variable de temperatura a medida que transcurre el tiempo de la actividad sufre incrementos y decrementos, con lo que marcan una tendencia en su comportamiento, lo cual hace posible predicciones. Por lo anterior, se afirma que es posible el desarrollo de modelos de predicción que nos permitan detectar las temperaturas máximas del área de la muñeca al realizar MAR en áreas de trabajo de la industria maquiladora analizados a través de termografía sensorial.

Los objetivos particulares se alcanzaron de forma positiva, ya que a través del uso de la termografía sensorial se pudo estudiar a detalle cada uno de los casos de la experimentación con cada sujeto de estudio, estimando tiempos de alcance de fatiga máxima del nervio de la muñeca, así como la temperatura registrada en cada segundo, ello durante el tiempo establecido para el estudio que consistió en 2 h 30 min. Además, aunado a esto, se pudo comprobar que los patrones de temperatura de una muñeca a otra de un individuo, independientemente de su mano dominante, son similares en su tendencia de comportamiento a través del tiempo tanto en pruebas emuladas como en pruebas de validación en la industria. Por otro lado, se pudo también comprobar que en la mayoría de los casos, es posible ajustar un polinomio de tercer orden a este tipo de análisis de 2 h 30 min. También se puede concluir que con el uso de la termografía sensorial es posible analizar comportamientos de las temperaturas como indicio de una posible enfermedad laboral y recabar información importante con miras a continuar desarrollando esta investigación. Asimismo, si fue posible la validación de la respuesta y precisión del termógrafo Sköll propuesto con respecto al termógrafo infrarrojo (cámara termográfica), ello a través de la prueba t-pareada realizada.

Además se concluye que si fue posible el desarrollo de las pruebas emulando la operación ejecutada en la industria (donde existen DTA's detectados en la muñeca) y que involucran los MAR y el análisis de los cambios en los patrones de temperatura generados en la emulación. También se concluye que si fue posible la validación del experimento en la industria, en situación real de los operarios y el análisis de los cambios en los patrones de temperatura generados en la validación en la industria. Asimismo se comprobó que es posible encontrar un ajuste de una distribución de probabilidad que nos proporcione mayor información para la representación de un comportamiento específico de la temperatura de un individuo, encontrando

que las más representativas en la mayoría de los casos, fueron la distribución de Weibull y la 3 parámetros de Weibull con altos porcentajes en el coeficiente de correlación. Cabe mencionar que las anomalías presentadas por la persona en la mayoría se referían a problemas de mano, muñeca, antebrazo, hombro y espalda. En este caso, no se puede afirmar estadísticamente que exista una relación directa en estas anomalías con los puntos en donde se alcanzaron las temperaturas más altas en la región del nervio medio, sin embargo, se puede sospechar que esto fue debido a problemas generados por el diseño de la estación de trabajo. Aunado a lo anterior, se puede concluir lo siguiente:

- ✓ Se concluye que, fue posible validar un sistema de medición con la ayuda de la metodología de Reproducibilidad y Repetibilidad usando el método de medias y rangos, aplicado en un estudio de temperaturas cutáneas de seres humanos; del cual hasta el momento no se ha encontrado literatura que haga referencia a este tipo de experimentación y análisis.
- ✓ Se concluye que se demostró que el 67% de los casos analizados en ambas muñecas, fue posible ajustar a un polinomio de tercer orden, notando que el criterio de aceptación para el ajuste de la curva consistió en un 82% de R^2 (porcentaje de la variable de respuesta temperatura que puede ser explicado por el factor tiempo).
- ✓ Se concluye que en el 91% de los casos analizados de ambas muñecas, hubo similitud en los patrones de temperatura de una muñeca a otra, independientemente del genero del individuo, e independientemente de su mano dominante y también de si las pruebas eran emuladas (intermitentes o continuas) o de validación en la industria.
- ✓ Se concluye que la prueba de normalidad de AD utilizada en el 100% de los casos, demuestra que los datos no siguen una distribución normal.

- ✓ Se concluye que, una vez conocido que los datos no seguían una distribución normal, fue posible determinar una serie de distribuciones a las cuales podrían ajustarse los datos y hacer posibles inferencias sobre sus comportamientos futuros.
- ✓ Se concluye que fue posible el desarrollo de modelos de regresión que a partir de ello se obtuvo la siguiente información,:
 - En la caracterización realizada con todos los datos de 2 h 30 min, en esta todos los factores resultaron ser significativos (IMC, Tiempo y todas sus interacciones); además de que sus temperaturas máximas se encontraban: entre 34 y 36 °C (en el 75% de los casos); entre 34 y 40 unidades de IMC (en el 50% de los casos), el otro 50% entre 24 y 28 unidades, y; en menos de 5000 seg (en el 50% de los casos), el otro 50% en más de 7000 seg.
 - En la caracterización realizada con los datos de 30 min (tomando cada segundo), en esta sólo el IMC resultó ser significativa; además de que sus temperaturas máximas se encontraban entre 33 y 34.5 °C (en el 87.5% de los casos)
 - En la caracterización realizada con los datos de 60 min (tomando una muestra cada 5 min), en esta sólo el IMC^2 resulto no ser significativa.
 - En la caracterización realizada con los datos de 30 min (tomando una muestra cada 5 min), en esta sólo el Tpo y Tpo^2 resultaron ser significativas.

Por último, se concluye que las variables que nos permitieron desarrollar modelos de predicción de temperaturas máximas del área de la muñeca al realizar MAR fueron el IMC, el tiempo que se trabaja de forma continua en la estación de trabajo (por un tiempo máximo analizado de 2 h 30 min). Y que las temperaturas máximas del área de la muñeca superaban los 34°C en el 75% de los casos evaluados.

6.2 Recomendaciones

Se propone realizar pruebas en una mayor cantidad de empresas en las cuales ya se hayan detectado estaciones de trabajo en las que se presenten DTA's en las extremidades superiores; proponiendo el evaluar en ellas la correlación entre temperatura y ritmo cardiaco.

Se propone continuar con la realización de pruebas emuladas, en las cuales se puedan controlar diversas condiciones como los son: la temperatura ambiente (a las cuales este expuesta la persona que realiza la operación con MAR), la postura que adopta la persona en la estación de trabajo, la condición fisiológica del individuo y la situación fisiológica del individuo que pudieran analizarse más a detalle en futuras investigaciones.

A partir de las pruebas anteriormente mencionadas tanto las emuladas como las de las empresas se propone el desarrollo de modelos de predicción de temperaturas máximas en las extremidades superiores al realizar MAR.

Se propone la generación de un método ergonómico que incluya la termografía sensorial, para la detección de DTA's.

7. REFERENCIAS

- A.A., P. (1993). *Influencia del consume de tabaco en las variaciones diurnas de parámetros bioquímicos, fisiológicos y de performance (tesis doctoral)*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Atroshi I., G. C. (1999). Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *The Journal of the American Medical Association* , 282 (2), 153-158.
- B.R.O., L. (1992). Termógrafo digital submarino, Instrumentación y desarrollo. *Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California* , 3 (2).
- Benjamin M., R. J. (1994). Functional and developmental anatomy of tendons and ligaments. *American Academy of Orthopedic Surgeons* , 185-203.
- BLS, B. o. (2005). *Computer and internet use at work in 2003*. Washington.: 2005.
- BLS, B. o. (2008). *Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work, 2007, USDL 08-1716*. Washington: 2008.
- BRANDT R.A., P. M. (1995). Conservation of energy in competitive swimming. *Journal of Biomechanics* , 28, 925-933.
- Brandt, R. P. (1995). Conservation of energy in competitive swimming. *Journal of Biomechanics* , 28.
- Brelsford K.L., U. S. (1985). Thermographic presentation of cutaneous sensory and vasomotor activity in the injured peripheral nerve. *J. Neurosurgery* , 62, 711-715.
- Chapnik E, G. C. (1987). Office improvements can reduce VDT operator problems. *Occup Health & Safety* . , 56 (7), 34-37.
- Christensen, C. K. (1942). *Hormodendrum resinae (Lindau)*, an inhabitant of wood impregnated with creosote and coal tar. *Amer. J. Bot.* , 29, 552-558.
- Cranford C.S., H. J. (2007). Carpal tunnel syndrome. *Journal of American Academy Orthopedic Surgery* . , 15 (9), 537-548.
- Dinman B. D., C. W. (1971). Occupational acro-osteolysis. I. An epidemiological study. *Archives of Environmental Health* , 22-74.

- Dixon J. M., M. C. (1999). Risk of breast cancer in women with palpable breast cysts: a prospective study. *Lancet*, 353, 1742-1745.
- E.C., N. E.-K. (2008). Advanced integrated technique in breast cancer Thermography. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 32, 103-114.
- Edeiken J., S. G. (1985). Thermography: a reevaluation. *Skeletal Radiology*, 545-548.
- Ergonomics., H. C. (2000). Applied Ergonomics Seminal.
- F., F. (1991). Thermography of the hand and wrist: Practical applications. *Hand Clinics*, 7 (1).
- Ferreira J.A., M. L. (2008). Exercise Associated Thermographic Changes in Young and Elderly Subjects. *Annuals of Biomedical Engineering*, *Annuals of Biomedical Engineering*, 36, 1420-1427.
- Gold E.J., C. M. (2004). Infrared Thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand office workers. *Eur J. Apply Physiol*, 93, 245-251.
- Gold J., C. M. (2009). Skin temperature in dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders. *Int. Arch. Occup. Enviro. Health*, 82, 1281-1292.
- Gutiérrez P.H., D. I. (2004). Control estadístico del proceso calidad y seis sigma. *McGraw Hill Interamericana*, 332-334.
- Health, N. I. (1994). *Revised NIOSH Lifting Equation*. Ohio, E.U.A.
- Hirshaut Y., P. P. (1996). Breast cancer. *The complete guide*.
- I, A. (1999). *Rosen I. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population*.
- IMSS. (2007). Estadísticas IMSS 2007. *Revista Médica Instituto Mexicano del Seguro Social*, 45 (4), 403-412.
- IMSS. (2009 йил 05-Septiembre). *Instituto Mexicano del Seguro Social*. From www.edumed.imss.gob.mx.
- INEGI. (2009 йил 24-Noviembre). From www.dgcnesyp.inegi.gob.mx: <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/SER720>
- Instituto Mexicano del Seguro Social*. (n.d.). Retrieved from www.edumed.imss.gob.mx

- JANSKY I., V. V. (2003). Skin temperature changes in humans induced by local peripheral cooling. *Journal of Thermal Biology* , 28, 429-437.
- Johnson, J. M. (1992). Exercise and the cutaneous circulation. *Exercise Sport Sci.* , 20, 59-97.
- Jordan SE, G. J. (1987). Autonomic activity in the carpal tunnel syndrome. *Orthop Re* , 3, 65-9.
- Kenney, W. L. (1992). Control of skin blood flow during exercise. *Med. Sci.* , 24 (3), 303-312.
- Kirsis, F. (1975). Issledovanie kozhnogo krovotoka v nerabotaushchey konechnosti pri fizicheskoi nagruzke. . *Teor. Prakt. Fiz.* , 8, 29-31.
- Konz, S. (1992). *Diseño de Sistemas de Trabajo* (Vol. 1). México, D.F.
- Kroemer E., K. H. (2001). *"Ergonomics: How to design for ease and efficiency"* (Vol. 2). Prentice Hall.
- Lalumandier JA, M. S. (2000). Carpal tunnel syndrome: effect on army dental personnel. *Mil. Med* , 165 (5), 372-378.
- Lowenthal, M. K. (1952). Peripheral and visceral vascular effects of exercise and postprandial state in supine position. *J. Appl. Physiol.* , 4, 689.
- Lundborg G., R. B. (1998). Peripheral nerve: the physiology of injury and repair. *American Academy of Orthopaedic sur-geons* , 297-352.
- Markowitz S. S., M. C. (1971). Occupational acro-osteolysis. *Archives of Dermatology* , 106, 219.
- Ming Z., Z. N. (2005). Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome. *ISP Pathophysiology.* , 137-141.
- MOUGIOS V., D. A. (1993). Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity. *J. Sports Med. Phys, Fitness* , 33, 27-33.
- Ng, E.-K. a. (2005). IR scanner as fever monitoring devices: physics, physiology and clinical accuracy. *Biomedical Engineering Handbook* , Chapter 24.
- Ng, E.-K. U. (2001). Statical analysis of healthy and malignant breast thermography. *International Journal of Medical Engineering & Technology.*
- NIOSH. (2010 йил Enero). From www.edumed.imss.gob.mx.

Nordstrom D.L., D. F. (1998). Incidence of diagnosed carpal tunnel syndrome in a general population. *Epidemiology.* , 9 (3), 342-345.

Ocupation Safety Helth Association . (n.d.). Retrieved from www.edumed.imss.gob.mx

OSHA. (2010 йил 02-Febrero). *Ocupation Safety Helth Association*. From www.osha.gov.

Padua L., P. R. (1998). Natural History of carpal tunnel syndrome according to the neurophysiological classification. *The Journal of Neurology* , 19, 357-361.

Petrofsky, J. S. (2006). The effect of aging on conductive heat exchange in the skin at two environmental temperatures. *Med. Sci. Monit* , 12 (10).

Phalen, G. (1966). "the Carpal Tunnel Syndrome." . *Journal of Bond and Joint Surgery.* , 28 (1), 211-288.

Polykandriotis E., P. W. (2007). Carpal tunnel syndrome in young adults-an ultrasonographic and neurophysiological study. *Minim Invasive Neurosurg* , 6, 328-334.

Putz, A. (1988). *Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs*. Philadelphia.: Taylor & Francis.

ROBINSON S., S. A. (1971). Temperature regulation in swimming. *J. Physiol.* , 63, 406-409.

Runger., M. y. (2006). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería*. (Vol. 2). Limusa Wiley.

SEMAC. (2009 йил 03-Noviembre). *Sociedad de Ergonomistas de Mexico A.C*. From www.osha.gov.

Sharma S.D., S. E. (1997). Thermographic Changes in Keyboard Operators with Chronic Forearm pain. *Br Med J* , 314, 118.

Silverstein BA, F. L. (1987). Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *Am J Ind Med* , 11, 343-358.

STPS. (2009 йил 25-Noviembre). *Secretaría del Trabajo y Previsión Social*. From <http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2008/bol021/vinculos/Información%20sobre%20Accidentes%20y%20Enfermedades%20de%20Trabajo%202000-2007.pdf>

STPS. (2009 йил 25-Noviembre). *Secretaría del Trabajo y Previsión Social*. From www.trabajoseguro.stps.gob.mx:

<http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2008/bol021/v>

inculos/Información%20sobre%20Accidentes%20y%20Enfermedades%20de%20Trabajo%202000-2007.pdf

Tchou S., C. J. (1992). Thermographic observations in Unilateral Carpal tunnel syndrome: Report of 61 cases. *The Journal of the hand surgery*, 17A, 631-637.

Tortosa, L., Garcia Molina, C., Page, A., & Ferreras, A. (1999). Ergonomia y discapacidad. *Instituto de Biomecanica de Valencia (IBV), Valencia.*

V.H., B. (2009, Marzo). Vigilancia epidemiologica de las enfermedades del trabajo en Mexico. *Instituto Mexicano del Seguro Social* .

Vainer, B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. *Phys Med. Biol.* , 50, 63-94.

Vessey MP, V.-M. L. (1990). Epidemiology of carpal tunnel syndrome in women of childbearing age. *Int J Epidemiol* , 19 (3), 655-659.

Williams D.M.J, R. E. (1977). An Assessment of the Hand Thermography in Vinyl Chloride Workers. *J. Soc. Occup. Med* , 27, 57-62.

Wilson R. H., M. W. (1967). Occupational acro-osteolysis. . *Journal of the American* .

Wolf Moriatis Jennifer, M. S. (2009). *Hand: Incidence of Carpal Tunnel Syndrome in the US Military Population*. (Vols. ISSN 1558-9447). (S. N. York, Ed.)

Young V. L., S. M. (1995). detecting cumulative trauma disorders in workers performing repetitive tasks. *American Journal of Industrial Medicine* 27 , 419-431.

Zontak A., S. S. (1998.). Dynamic Thermography: Analysis of hand temperature. *Annals of Biomedical Engineering* , 26, 998-993.

APÉNDICE

Publicaciones derivadas del trabajo de tesis doctoral

Publicaciones en revistas indizadas

C. Camargo, J. Ordorica, E. J. de la Vega, J. E. Olguín, O. R. López and J. A. López, 2012. *Analysis of temperature on the surface of the wrist due to repetitive movements using sensory thermography*. WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation, Vol. 41, Número 1, pp. 2569-2575.

J. Ordorica , **C. Camargo**, J. E. Olguín Tiznado, J. E. Olguín, and J. A. López, 2012. *Application of Sensory Thermography as measuring method to study median nerve temperatures*. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 64, pp. 826-831.

J. Ordorica, **C. Camargo**, E. J. de la Vega, O. R. López, J. E. Olguín, J. A. López, 2011. *Validación de un sistema de medición aplicado a un estudio de termografía sensorial para la detección de desórdenes de traumas acumulados*. Revista Ingeniería Industrial, Vol. 10, No. 1, 2011. pp. 69-84.

Publicaciones en capítulo de libro

C. Camargo, A. Rivera, R. Rubio, E. J. de la Vega, O. R. López and J. E. Olgún, 2010. *Analysis of correlation between the variables of temperature, strength and cycles per minute to perform horizontal repetitive movements of the wrist*, en el libro titulado Ergonomía Ocupacional, Investigaciones y Aplicaciones, Vol. 3. Editado por la Sociedad de Ergonomistas de México, ISBN: 978-0-578-05757-6, pp. 98-113.

J. Ordorica, **C. Camargo**, E. J. de la Vega, O. R. López, J. E. Olgún, O. R. López, J. L. Romero, 2010. *Temperature analysis on wrist surface due repetitive movement task using sensorial thermography to find out a possible pathology for a ctd*, en el libro titulado Ergonomía Ocupacional, Investigaciones y Aplicaciones, Vol. 3. Editado por la Sociedad de Ergonomistas de México, ISBN: 978-0-578-05757-6, pp. 114-127.

Ponencias en Congresos Nacionales

C. Camargo, J. Ordorica, E. J. de la Vega, J. E. Olgún, O. R. López and J. A. López, 2010. *Patrones de temperaturas en el área de la muñeca al realizar movimiento altamente repetitivo analizados a través de la termografía sensorial para el estudio de una posible patología de un DTA*, en el XV Congreso Nacional de Salud en el Trabajo FENASTAC, realizado en Ixtapazihuatanejo, Guerrero.

C. Camargo, A. Rivera, R. Rubio, E. J. de la Vega, O. R. López and J. E. Olgún, 2010. *Análisis de correlación entre las variables de temperatura, fuerza y ciclos por minuto al realizar movimientos repetitivos horizontales de muñeca*, en el XII Congreso Internacional de Ergonomía SEMAC, realizado en Cd. Juárez Chihuahua.

J. Ordorica, **C. Camargo**, E. J. de la Vega, J. E. Olgúin, O. R. López and J. A. López, , 2010. *Análisis de temperatura superficial en la muñeca debido al movimiento repetitivo usando termografía sensorial para encontrar posibles patologías por DTA's*, en el XII Congreso Internacional de Ergonomía SEMAC, realizado en Cd. Juárez Chihuahua.

J. Ordorica, **C. Camargo**, J. E. Olgúin, J. L. Romero, E. J. de la Vega, O. R. López, G. Amaya, 2010. *R&R Aplicado a la Termografía Sensorial para la Detección de Desordenes de Trauma Acumulados (DTA's)*, Memorias del IV Congreso Internacional de Ingeniería Vértice 2010. pp. 24-33.