



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS EN EL AREA DE LA MUÑECA DEBIDO A LA
REALIZACIÓN DE UN MOVIMIENTO REPETITIVO
UTILIZANDO LA TERMOGRAFÍA SENSORIAL**

TESIS

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

MAESTRO EN INGENIERÍA
PRESENTA

JAVIER ORDORICA VILLALVAZO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, AGOSTO 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD ENSENADA

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS EN EL ÁREA DE LA MUÑECA DEBIDO A LA REALIZACIÓN
DE UN MOVIMIENTO REPETITIVO UTILIZANDO
LA TERMOGRAFÍA SENSORIAL**

TESIS

Que para obtener el grado de Maestría en Ingeniería presenta:

JAVIER ORDORICA VILLALVAZO

Aprobada por:



M.C. CLAUDIA CAMARGO WILSON
Director de tesis



DR. ENRIQUE JAVIER DE LA VEGA BUSTILLOS
Co-director de tesis



M.C. JESÚS EVERARDO OLGUÍN TIZNADO
Miembro del comité



M.C. JORGE LIMÓN ROMERO
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Julio 2010.

RESUMEN

Actualmente todos alrededor del mundo están hablando acerca de la calidad, la manufactura, altos niveles de producción, seis sigma, manufactura esbelta y otras muchas herramientas de calidad y técnicas que podrían ayudar a muchas plantas y pequeños negocios a resolver sus problemas para mejorar la forma en que hace el trabajo día a día. Pero con la calidad vienen muchos elementos que debemos de tomar en consideración. Mejorar los niveles de producción puede involucrar el hacer el trabajo más rápido de lo que antes lo hacíamos. La alta gerencia se preocupa más por la producción pero no consideran que incrementar los niveles de producción tan rápido como lo desean puede acarrear problemas a los operadores en la línea de producción. Estos podrían desarrollar problemas de postura e incluso un desorden de trauma acumulado. El problema que se enfrenta es como hacer que comprendan que la seguridad y la salud son importantes. Este estudio resalta que monitorear el trabajo que hacemos al día a día podría llevarnos a la prevención de futuras incapacidades. Debemos de considerar que como una temperatura corporal que se eleva por encima de los 37 grados significa una fiebre, una temperatura del nervio mediano por encima de los 32 grados podría llevarnos a información acerca de la fatiga del nervio. Muchos estudios recientes acerca del estudio del nervio medio se han hecho a lo ancho del mundo. Los científicos han usado la termografía infrarroja para estudiar problemas de cáncer, síndrome del túnel del carpo del túnel de carpo y otros. Como una tecnología alternativa este estudio propone la aplicación de la termografía sensorial. Básicamente persigue el mismo objetivo que la termografía infrarroja pero con la distinción de que funciona a base de sensores colocados directamente sobre la piel humana. El objetivo de esta investigación era el estudiar la tendencia de la temperatura durante el tiempo y averiguar si los datos provenían de una distribución normal, para este se llevo a cabo la prueba de normalidad de Anderson Darling en cada caso. Además de averiguar si se seguían patrones similares de temperatura en todos los casos. Al final se pudieron analizar los comportamientos de la temperatura y se pudo ajustar un polinomio de tercer orden en muchos de los casos, así de igual manera se pudo conocer que la distribución Weibull se apega muchos a los datos cuando se realiza una tarea repetitiva de este tipo por una persona saludable.

Palabras clave: Termografía sensorial, desorden de trauma acumulado, síndrome del túnel del carpo

ABSTRACT

Nowadays everyone around the world talks about quality, manufacturing, higher production levels, six sigma, lean manufacturing and other many quality tools and techniques that could help many facilities and small companies to solve their problems in order to improve the way they do work everyday. But with quality come many elements that we have to take care of. Improving production levels may involve to do work faster than the way we used to do it. Managers care about more production but they are not considering that increasing production levels as fast as they want could bring problems to operators in a production line. They could develop posture problems and even a cumulative disorder trauma. The problem we face is how to make managers understand how important is to take care about safety and health. This research points out that monitoring the work we do everyday could lead us to prevention of futures disabilities. We should consider that studying temperature could be an interesting indicator to study. We believe that like a common body temperature that rises up to 37 degrees means something is going wrong with the person, a median nerve temperature up to 32 degrees could lead us to find information about the nerve fatigue. Many recent studies have taken place in many but many countries worldwide. The scientists have used infrared thermography to study cancer problems, carpal tunnel syndrome and others. As an alternative technology this study proposes the application of the sensorial thermography. Basically it follows the same goal that the other one collect data, but as a difference with IR, sensorial thermography works by using sensors directly put on human skin. The objective on this first research was to study temperature tendency during time and find out if data that were collected followed a normal distribution, an Anderson darling test was executed to prove this on each case. At the end of the study as a matter of fact we found out that we could analyze temperature behavior , that we could adjusted a polinomial third order equation and that a Weibull distribution could fits very well the temperature behavior while a repetitive task is being played by a healthy person.

Keywords: Sensorial thermography, cumulative disorder trauma, Carpal tunnel syndrome.

DEDICTORIA

Le agradezco a Cristo Jesús por haberme dado la fuerza y la fortaleza para llegar a este punto y tener un logro más.

Agradezco a mi familia por todo su apoyo, comprensión, y amor incondicional durante mis estudios. Además les pido perdón por todos aquellos momentos que por estar estudiando o investigando no estuve con ellos, pero esto se lo dedico a ellos.

A mi esposa Lourdes por todo su amor, por creer en mí por sobre todas las cosas, porque lo que hago es por ella y por hacerla feliz. Te amo mi vida gracias por llenarte de tanta paciencia amor.

A mi hija Camila Nicole por sus besos y caricias para animarme en mis días de cansancio y cuando pensé que no lo lograría. Por haberme acompañado a clases y darle una alegría a mi vida.

A mi madre y mi abuela, porque si ustedes la vida sería una escuela sin nadie que me enseñara una lección.

A mi Suegro Israel por todo su apoyo y sus consejos, por creer en mí y abrirse conmigo para conocerme a fondo y aceptarme calurosamente como parte de su familia.

A mi amigo Walter por su paciencia para escuchar la misma canción, pero por eso eres mi amigo.

AGRADECIMIENTOS

A la M.C Claudia Camargo Wilson, directora de esta tesis, por su valiosa orientación y paciencia hacia mi persona, por transmitir sus conocimientos y por defender conmigo este proyecto de tesis, muchas gracias.

Al M.C. Jorge Romero, por su amistad incondicional y por ser un ejemplo de que las personas se crecen ante la presión.

Al M.I. Diego Alfredo Tlapa, por sus críticas y consejos durante todos mis seminarios, por permitirme convivir con usted como un compañero de trabajo y como su estudiante.

Al M.C. Jesús Everardo Olguín, por todos sus consejos, paciencia y ejemplo de perseverancia. Gracias.

Al director de la FIE Oscar López Bonilla por su disponibilidad para colaborar en el proyecto de esta tesis, y por la creación de la tecnología que hizo esta investigación posible y con miras hacia un futuro.

A mi amigo Guillermo Amaya por su amistad y compañerismo durante nuestros estudios de maestría en UABC, por su apoyo, gracias.

A todas la personas que conforman la FIE por su apoyo para poder desarrollar mis estudios de maestría, muchas gracias a todos. A todos mis compañeros de la maestría por sus porras y buenos deseos, muchas gracias.

INDICE GENERAL

RELACIÓN DE CUADROS	VI
RELACIÓN DE FIGURAS	VII
RELACIÓN DE GRÁFICAS	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INDUSTRIA TEXTIL.....	1
<i>1.1.1 Industria y mano de obra</i>	3
<i>1.1.2 Desorden de Trauma Acumulado (DTA)</i>	6
<i>1.1.3 Estadísticas sobre Desordenes de Trauma Acumulado (DTA's)</i>	6
<i>1.1.4 Desordenes de Trauma Acumulativo y termografía</i>	8
1.2 FLUJO SANGUÍNEO Y TEMPERATURA	9
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.4 JUSTIFICACIÓN	10
1.5 HIPÓTESIS	11
1.6 OBJETIVO GENERAL	12
<i>1.6.1 Objetivos Específicos</i>	12
1.7 DELIMITACIONES PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 TERMOGRAFÍA.....	14
2.2 DESORDENES DE TRAUMA ACUMULADO.....	36
<i>2.2.1 Síndrome del túnel del Carpo</i>	36
2.3 SISTEMAS DE MEDICIÓN.....	48
<i>2.3.1 Precisión y exactitud</i>	48
<i>2.3.2 Repetibilidad y Reproducibilidad</i>	49
<i>2.3.3 Estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R)</i>	50
<i>2.3.4 Estudio largo con análisis de medias y rangos (método largo)</i>	51
2.4 AJUSTE POLINOMIAL	53
2.5 PRUEBA DE NORMALIDAD ANDERSON DARLING.....	53
2.6 HISTOGRAMAS	53
2.7 DISTRIBUCIÓN WEIBULL	54
2.8 DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL	55
3. MATERIALES Y MÉTODOS	56
3.1. OPERATIVIDAD DEL TERMÓGRAFO	56
3.2. CALIBRACIÓN DEL TERMÓGRAFO	57
<i>3.2.1 Simulación del horno</i>	57
<i>3.2.2 Constantes de calibración</i>	58
3.4 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	61
3.5 PRUEBAS PRELIMINARES	62
<i>3.5.1 Equipo de captura y análisis de datos</i>	63
<i>3.5.2 Protocolo</i>	63
<i>3.5.3 Sujetos de estudio</i>	65
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	66
4.1 PRUEBAS INTERMITENTES.....	67
<i>4.1.1 Individuo 1</i>	67

4.1.2 Individuo 2	91
4.1.3 Individuo 3	113
4.1.4 Individuo 4	135
4.1.5 Individuo 5	156
4.1.6 Individuo 6	177
4.2 PRUEBAS CONTINUAS	198
4.2.1 Individuo 7	198
4.2.2 Individuo 8	224
4.2.3 Individuo 9	245
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	267
5.1 CONCLUSIONES.....	267
5.2 RECOMENDACIONES	269
REFERENCIAS	270

RELACIÓN DE CUADROS

TABLA 1. FABRICACIÓN DE PRENDAS DE VESTIR. INDUSTRIA MANUFACTURERA. FRECUENCIA TRIMESTRAL. MILLONES DE PESOS A PRECIOS DE 2003.	1
TABLA 2. PERSONAL OCUPADO EN LOS ESTADOS FRONTERIZOS.	3
TABLA 3. DATOS DE ENFERMEDADES DE TRABAJO.	7
TABLA 4. DATOS ACERCA DE ENFERMEDADES PROBABLES DE TRABAJO 2007	8
TABLA 5. TEMPERATURAS Y LECTURAS CODIFICADAS DE TEMPERATURAS	59
TABLA 6. LECTURAS DE TEMPERATURAS CODIFICADAS	60
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DE LOS SUJETOS	66
TABLA 8. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	84
TABLA 9. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	84
TABLA 10. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	84
TABLA 11. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	85
TABLA 12. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO DERECHA PRUEBA 1	88
TABLA 13. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO DERECHA PRUEBA 2	88
TABLA 14. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO DERECHA PRUEBA 3	88
TABLA 15. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO1 MANO DERECHA PRUEBA 4	89
TABLA 16. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	106
TABLA 17. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	106
TABLA 18. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	106
TABLA 19. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	107
TABLA 20. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO DERECHA PRUEBA 1	110
TABLA 21. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO2 MANO DERECHA PRUEBA 2	110
TABLA 22. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO DERECHA PRUEBA 3	110
TABLA 23. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 2 MANO DERECHA PRUEBA 4	111
TABLA 24. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	129
TABLA 25. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	129
TABLA 26. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	130
TABLA 27. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	130
TABLA 28. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO DERECHA PRUEBA 1	132
TABLA 29. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO DERECHA PRUEBA 2	132
TABLA 30. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO DERECHA PRUEBA 3	133
TABLA 31. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 3 MANO DERECHA PRUEBA 4	133
TABLA 32. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	149
TABLA 33. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	150
TABLA 34. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	150
TABLA 35. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	150
TABLA 36. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO DERECHA PRUEBA 1	153
TABLA 37. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO DERECHA PRUEBA 2	153
TABLA 38. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO DERECHA PRUEBA 3	153
TABLA 39. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 4 MANO DERECHA PRUEBA 4	154
TABLA 40. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	171
TABLA 41. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	171
TABLA 42. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	171
TABLA 43. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	172
TABLA 44. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO DERECHA PRUEBA 1	174
TABLA 45. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO DERECHA PRUEBA 2	175
TABLA 46. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO DERECHA PRUEBA 3	175
TABLA 47. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 5 MANO DERECHA PRUEBA 4	175
TABLA 48. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	192
TABLA 49. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	192
TABLA 50. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	192

TABLA 51. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	193
TABLA 52. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO DERECHA PRUEBA 1	195
TABLA 53. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO DERECHA PRUEBA 2	195
TABLA 54. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO DERECHA PRUEBA 3	195
TABLA 55. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 6 MANO DERECHA PRUEBA 4	196
TABLA 56. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO DERECHA PRUEBA 1.	203
TABLA 57. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	204
TABLA 58. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	217
TABLA 59. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	217
TABLA 60. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	218
TABLA 61. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO DERECHA PRUEBA 2	220
TABLA 62. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO DERECHA PRUEBA 3	221
TABLA 63. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 7 MANO DERECHA PRUEBA 4	221
TABLA 64. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	238
TABLA 65. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	239
TABLA 66. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	239
TABLA 67. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	239
TABLA 68. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO DERECHA PRUEBA 1	242
TABLA 69. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO DERECHA PRUEBA 2	242
TABLA 70. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO DERECHA PRUEBA 3	243
TABLA 71. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 8 MANO DERECHA PRUEBA 4	243
TABLA 72. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA PRUEBA 1	259
TABLA 73. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA PRUEBA 2	260
TABLA 74. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA PRUEBA 3	260
TABLA 75. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA PRUEBA 4	260
TABLA 76. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO DERECHA PRUEBA 1	263
TABLA 77. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO DERECHA PRUEBA 2	263
TABLA 78. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO DERECHA PRUEBA 3	264
TABLA 79. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD INDIVIDUO 9 MANO DERECHA PRUEBA 4	264

RELACIÓN DE FIGURAS

FIGURA 1. PRINCIPALES ESTADOS EXPORTADORES DE PRENDAS DE VESTIR EN MÉXICO.	2
FIGURA 2. INFORMACIÓN SOBRE RIESGOS DE TRABAJO.	4
FIGURA 3. INCAPACIDADES REGISTRADAS DE 2000 A 2007.	5
FIGURA 4. PRECISIÓN Y EXACTITUD	49
FIGURA 5. AJUSTE A UNA CURVA DE TERCER ORDEN MEDIANTE LA OPCIÓN TRENDLINE	60

RELACIÓN DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. INDIVIDUO 1 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	68
GRÁFICA 2. INDIVIDUO 1 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	69
GRÁFICA 3. INDIVIDUO 1 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	70
GRÁFICA 4. INDIVIDUO 1 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	70
GRÁFICA 5. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 1 MANO DERECHA	71
GRÁFICA 6. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	71
GRÁFICA 7. INDIVIDUO 1 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	73
GRÁFICA 8. INDIVIDUO 1 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	73
GRÁFICA 9. INDIVIDUO 1 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	74
GRÁFICA 10. INDIVIDUO 1 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	74
GRÁFICA 11. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	75
GRÁFICA 12. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 2 MANO DERECHA	75
GRÁFICA 13. INDIVIDUO 1 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	76

GRÁFICA 14. INDIVIDUO 1 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	77
GRÁFICA 15. INDIVIDUO 1 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	78
GRÁFICA 16. INDIVIDUO 1 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	78
GRÁFICA 17. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	79
GRÁFICA 18. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 3 MANO DERECHA	79
GRÁFICA 19. INDIVIDUO 1 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	80
GRÁFICA 20. INDIVIDUO 1 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	81
GRÁFICA 21. INDIVIDUO 1 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	82
GRÁFICA 22. INDIVIDUO 1 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	82
GRÁFICA 23. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	83
GRÁFICA 24. HISTOGRAMA INDIVIDUO 1 PRUEBA 4 MANO DERECHA	83
GRÁFICA 25. MEJORES AJUSTES DE DISTRIBUCIONES INDIVIDUO1 MANO IZQUIERDA	86
GRÁFICA 26. MEJORES DE DISTRIBUCIONES INDIVIDUO1 MANO IZQUIERDA	87
GRÁFICA 27. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 1 MANO IZQUIERDA	87
GRÁFICA 28. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 1 MANO DERECHA	90
GRÁFICA 29. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 1 MANO DERECHA	90
GRÁFICA 30. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 1 MANO DERECHA	91
GRÁFICA 31. INDIVIDUO 2 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	92
GRÁFICA 32. INDIVIDUO 2 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	92
GRÁFICA 33. INDIVIDUO 2 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	93
GRÁFICA 34. INDIVIDUO 2 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	94
GRÁFICA 35. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	94
GRÁFICA 36. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 1 MANO DERECHA	95
GRÁFICA 37. INDIVIDUO 2 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	96
GRÁFICA 38. INDIVIDUO 2 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	96
GRÁFICA 39. INDIVIDUO 2 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	97
GRÁFICA 40. INDIVIDUO 2 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	97
GRÁFICA 41. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	98
GRÁFICA 42. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 2 MANO DERECHA	98
GRÁFICA 43. INDIVIDUO 2 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	99
GRÁFICA 44. INDIVIDUO 2 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	100
GRÁFICA 45. INDIVIDUO 2 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	100
GRÁFICA 46. INDIVIDUO 2 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	101
GRÁFICA 47. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 3 MANO DERECHA	101
GRÁFICA 48. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 3 MANO DERECHA	102
GRÁFICA 49. INDIVIDUO 2 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	103
GRÁFICA 50. INDIVIDUO 2 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	103
GRÁFICA 51. INDIVIDUO 2 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	104
GRÁFICA 52. INDIVIDUO 2 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	104
GRÁFICA 53. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	105
GRÁFICA 54. HISTOGRAMA INDIVIDUO 2 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	105
GRÁFICA 55. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA	108
GRÁFICA 56. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA	109
GRÁFICA 57. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 2 MANO IZQUIERDA	109
GRÁFICA 58. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 2 MANO DERECHA	112
GRÁFICA 59. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 2 MANO DERECHA	113
GRÁFICA 60. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 2 MANO DERECHA	113
GRÁFICA 61. INDIVIDUO 3 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	115
GRÁFICA 62. INDIVIDUO 3 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	115
GRÁFICA 63. INDIVIDUO 3 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	116
GRÁFICA 64. INDIVIDUO 3 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	116
GRÁFICA 65. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	117
GRÁFICA 66. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 1 MANO DERECHA	117
GRÁFICA 67. INDIVIDUO 3 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	118
GRÁFICA 68. INDIVIDUO 3 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	119

GRÁFICA 69. INDIVIDUO 3 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	120
GRÁFICA 70. INDIVIDUO 3 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	120
GRÁFICA 71. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	121
GRÁFICA 72. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 2 MANO DERECHA	121
GRÁFICA 73. INDIVIDUO 3 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	122
GRÁFICA 74. INDIVIDUO 3 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	123
GRÁFICA 75. INDIVIDUO 3 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	123
GRÁFICA 76. INDIVIDUO 3 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	124
GRÁFICA 77. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	124
GRÁFICA 78. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 3 MANO DERECHA	125
GRÁFICA 79. INDIVIDUO 3 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	126
GRÁFICA 80. INDIVIDUO 3 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	126
GRÁFICA 81. INDIVIDUO 3 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	127
GRÁFICA 82. INDIVIDUO 3 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	127
GRÁFICA 83. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	128
GRÁFICA 84. HISTOGRAMA INDIVIDUO 3 PRUEBA 4 MANO DERECHA	128
GRÁFICA 85. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 3 MANO IZQUIERDA	131
GRÁFICA 86. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 3 MANO IZQUIERDA	132
GRÁFICA 87. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 3 MANO DERECHA	134
GRÁFICA 88. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 3 MANO DERECHA	134
GRÁFICA 89. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 3 MANO DERECHA	135
GRÁFICA 90. INDIVIDUO 4 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	136
GRÁFICA 91. INDIVIDUO 4 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	136
GRÁFICA 92. INDIVIDUO 4 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	137
GRÁFICA 93. INDIVIDUO 4 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	137
GRÁFICA 94. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	138
GRÁFICA 95. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 1 MANO DERECHA	138
GRÁFICA 96. INDIVIDUO 4 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	139
GRÁFICA 97. INDIVIDUO 4 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	140
GRÁFICA 98. INDIVIDUO 4 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	140
GRÁFICA 99. INDIVIDUO 4 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	141
GRÁFICA 100. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	141
GRÁFICA 101. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 2 MANO DERECHA	142
GRÁFICA 102. INDIVIDUO 4 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	143
GRÁFICA 103. INDIVIDUO 4 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	143
GRÁFICA 104. INDIVIDUO 4 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	144
GRÁFICA 105. INDIVIDUO 4 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	144
GRÁFICA 106. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	145
GRÁFICA 107. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 3 MANO DERECHA	145
GRÁFICA 108. INDIVIDUO 4 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	146
GRÁFICA 109. INDIVIDUO 4 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	147
GRÁFICA 110. INDIVIDUO 4 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	147
GRÁFICA 111. INDIVIDUO 4 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	148
GRÁFICA 112. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	148
GRÁFICA 113. HISTOGRAMA INDIVIDUO 4 PRUEBA 4 MANO DERECHA	149
GRÁFICA 114. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA	151
GRÁFICA 115. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA	152
GRÁFICA 116. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 4 MANO IZQUIERDA	152
GRÁFICA 117. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 4 MANO DERECHA	155
GRÁFICA 118. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 4 MANO DERECHA	155
GRÁFICA 119. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 4 MANO DERECHA	156
GRÁFICA 120. INDIVIDUO 5 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	157
GRÁFICA 121. INDIVIDUO 5 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	158
GRÁFICA 122. INDIVIDUO 5 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	158
GRÁFICA 123. INDIVIDUO 5 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	159

GRÁFICA 124. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 1 MANO DERECHA	159
GRÁFICA 125. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	160
GRÁFICA 126. INDIVIDUO 5 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	161
GRÁFICA 127. INDIVIDUO 5 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	161
GRÁFICA 128. INDIVIDUO 5 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	162
GRÁFICA 129. INDIVIDUO 5 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	162
GRÁFICA 130. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	163
GRÁFICA 131. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	163
GRÁFICA 132. INDIVIDUO 5 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	164
GRÁFICA 133. INDIVIDUO 5 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	165
GRÁFICA 134. INDIVIDUO 5 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	165
GRÁFICA 135. INDIVIDUO 5 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	166
GRÁFICA 136. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	166
GRÁFICA 137. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 3 MANO DERECHA	167
GRÁFICA 138. INDIVIDUO 5 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	168
GRÁFICA 139. INDIVIDUO 5 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	168
GRÁFICA 140. INDIVIDUO 5 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	169
GRÁFICA 141. INDIVIDUO 5 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	169
GRÁFICA 142. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	170
GRÁFICA 143. HISTOGRAMA INDIVIDUO 5 PRUEBA 4 MANO DERECHA	170
GRÁFICA 144. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA	173
GRÁFICA 145. GRÁFICA 145. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA	173
GRÁFICA 146. GRÁFICA 146. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 5 MANO IZQUIERDA	174
GRÁFICA 147. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 5 MANO DERECHA	177
GRÁFICA 148. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 5 MANO DERECHA	177
GRÁFICA 149. INDIVIDUO 6 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	178
GRÁFICA 150. INDIVIDUO 6 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	179
GRÁFICA 151. INDIVIDUO 6 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	179
GRÁFICA 152. INDIVIDUO 6 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	180
GRÁFICA 153. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	180
GRÁFICA 154. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 1 MANO DERECHA	181
GRÁFICA 155. INDIVIDUO 6 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	182
GRÁFICA 156. INDIVIDUO 6 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	182
GRÁFICA 157. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	183
GRÁFICA 158. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 2 MANO DERECHA	183
GRÁFICA 159. INDIVIDUO 6 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	184
GRÁFICA 160. INDIVIDUO 6 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	184
GRÁFICA 161. INDIVIDUO 6 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	185
GRÁFICA 162. INDIVIDUO 6 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	186
GRÁFICA 163. INDIVIDUO 6 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	186
GRÁFICA 164. INDIVIDUO 6 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	187
GRÁFICA 165. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	187
GRÁFICA 166. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 3 MANO DERECHA	188
GRÁFICA 167. INDIVIDUO 6 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	189
GRÁFICA 168. INDIVIDUO 6 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	189
GRÁFICA 169. INDIVIDUO 6 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	190
GRÁFICA 170. INDIVIDUO 6 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	190
GRÁFICA 171. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	191
GRÁFICA 172. HISTOGRAMA INDIVIDUO 6 PRUEBA 4 MANO DERECHA	191
GRÁFICA 173. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA	194
GRÁFICA 174. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA	194
GRÁFICA 175. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 6 MANO IZQUIERDA	194
GRÁFICA 176. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 6 MANO DERECHA	197
GRÁFICA 177. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 6 MANO DERECHA	197
GRÁFICA 178. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 6 MANO DERECHA	198

GRÁFICA 179. INDIVIDUO 7 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	200
GRÁFICA 180. INDIVIDUO 7 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	200
GRÁFICA 181. INDIVIDUO 7 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	201
GRÁFICA 182. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 1 MANO DERECHA	201
GRÁFICA 183. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	202
GRÁFICA 184. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	202
GRÁFICA 185. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO DERECHA	204
GRÁFICA 186. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA	205
GRÁFICA 187. INDIVIDUO 7 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	206
GRÁFICA 188. INDIVIDUO 7 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	206
GRÁFICA 189. INDIVIDUO 7 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	207
GRÁFICA 190. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	207
GRÁFICA 191. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 2 MANO DERECHA	208
GRÁFICA 192. INDIVIDUO 7 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	208
GRÁFICA 193. INDIVIDUO 7 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	210
GRÁFICA 194. INDIVIDUO 7 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	210
GRÁFICA 195. INDIVIDUO 7 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	211
GRÁFICA 196. INDIVIDUO 7 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	211
GRÁFICA 197. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 3 MANO DERECHA	212
GRÁFICA 198. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	212
GRÁFICA 199. INDIVIDUO 7 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	214
GRÁFICA 200. INDIVIDUO 7 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	214
GRÁFICA 201. INDIVIDUO 7 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	215
GRÁFICA 202. INDIVIDUO 7 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	215
GRÁFICA 203. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 4 MANO DERECHA	216
GRÁFICA 204. HISTOGRAMA INDIVIDUO 7 PRUEBA 4 MANO DERECHA	216
GRÁFICA 205. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA	219
GRÁFICA 206. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA	219
GRÁFICA 207. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO IZQUIERDA	220
GRÁFICA 208. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO DERECHA	222
GRÁFICA 209. GRÁFICA 209. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 7 MANO DERECHA	223
GRÁFICA 210. INDIVIDUO 8 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	225
GRÁFICA 211. INDIVIDUO 8 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	225
GRÁFICA 212. INDIVIDUO 8 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	226
GRÁFICA 213. INDIVIDUO 8 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	226
GRÁFICA 214. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	227
GRÁFICA 215. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 1 MANO DERECHA	227
GRÁFICA 216. INDIVIDUO 8 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	228
GRÁFICA 217. INDIVIDUO 8 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	229
GRÁFICA 218. INDIVIDUO 8 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	229
GRÁFICA 219. INDIVIDUO 8 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	230
GRÁFICA 220. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	230
GRÁFICA 221. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 2 MANO DERECHA	231
GRÁFICA 222. INDIVIDUO 8 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	232
GRÁFICA 223. INDIVIDUO 8 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	232
GRÁFICA 224. INDIVIDUO 8 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	233
GRÁFICA 225. INDIVIDUO 8 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	233
GRÁFICA 226. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	234
GRÁFICA 227. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 3 MANO DERECHA	234
GRÁFICA 228. INDIVIDUO 8 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	235
GRÁFICA 229. INDIVIDUO 8 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	236
GRÁFICA 230. INDIVIDUO 8 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	236
GRÁFICA 231. INDIVIDUO 8 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	237
GRÁFICA 232. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	237
GRÁFICA 233. HISTOGRAMA INDIVIDUO 8 PRUEBA 4 MANO DERECHA	238

GRÁFICA 234. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA	241
GRÁFICA 235. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA	241
GRÁFICA 236. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 8 MANO IZQUIERDA	241
GRÁFICA 237. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 8 MANO DERECHA	244
GRÁFICA 238. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 8 MANO DERECHA	244
GRÁFICA 239. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 8 MANO DERECHA	245
GRÁFICA 240. INDIVIDUO 9 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	246
GRÁFICA 241. INDIVIDUO 9 PRUEBA 1 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	246
GRÁFICA 242. INDIVIDUO 9 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	247
GRÁFICA 243. INDIVIDUO 9 PRUEBA 1 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	247
GRÁFICA 244. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 1 MANO IZQUIERDA	248
GRÁFICA 245. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 1 MANO DERECHA	248
GRÁFICA 246. INDIVIDUO 9 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	249
GRÁFICA 247. INDIVIDUO 9 PRUEBA 2 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	250
GRÁFICA 248. INDIVIDUO 9 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	250
GRÁFICA 249. INDIVIDUO 9 PRUEBA 2 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	251
GRÁFICA 250. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 2 MANO IZQUIERDA	251
GRÁFICA 251. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 2 MANO DERECHA	252
GRÁFICA 252. INDIVIDUO 9 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	253
GRÁFICA 253. INDIVIDUO 9 PRUEBA 3 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	253
GRÁFICA 254. INDIVIDUO 9 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	254
GRÁFICA 255. INDIVIDUO 9 PRUEBA 3 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	254
GRÁFICA 256. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 3 MANO IZQUIERDA	255
GRÁFICA 257. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 3 MANO DERECHA	255
GRÁFICA 258. INDIVIDUO 9 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA AJUSTE DE CURVA	256
GRÁFICA 259. INDIVIDUO 9 PRUEBA 4 MANO DERECHA AJUSTE DE CURVA	257
GRÁFICA 260. INDIVIDUO 9 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA PRUEBA DE NORMALIDAD	257
GRÁFICA 261. INDIVIDUO 9 PRUEBA 4 MANO DERECHA PRUEBA DE NORMALIDAD	258
GRÁFICA 262. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 4 MANO IZQUIERDA	258
GRÁFICA 263. HISTOGRAMA INDIVIDUO 9 PRUEBA 4 MANO DERECHA	259
GRÁFICA 264. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA	262
GRÁFICA 265. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA	262
GRÁFICA 266. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 9 MANO IZQUIERDA	262
GRÁFICA 267. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 9 MANO DERECHA	265
GRÁFICA 268. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 9 MANO DERECHA	266
GRÁFICA 269. MEJORES DISTRIBUCIONES INDIVIDUO 9 MANO DERECHA	266

1. INTRODUCCIÓN

I.I. Industria Textil

En los días que actualmente está viviendo el país el estar en un nivel de alta competitividad laboral ese ha convertido en un tema de gran preocupación de múltiples empresarios a lo largo y ancho de la República Mexicana. Es de remarcarse que México 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 tal motivo el analizar algunas de sus principales actividades económicas es primordial. Todos y cada uno de 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 y propiamente la industria dedicada a **la fabricación de prendas de vestir**, que durante el tercer trimestre de 2009 (PIB trimestral), aportó un total de 36 401 millones de pesos en este rubro de actividad económica como se muestra en la tabla 1, así como en la figura 1 los principales estados de la república exportadores de vestir.

Tabla 1. Fabricación de prendas de vestir. Industria manufacturera. Frecuencia trimestral. Millones de pesos a precios de 2003.

2009-03	36 401
2009-02	33 138
2009-01	31 421
2008-04	36 856
2008-03	39 164
2008-02	38 600
2008-01	35 477
2007-04	39 216
2007-03	41 815
2007-02	39 861
2007-01	39 114
2006-04	42 005
2006-03	44 127

Fuente: INEGI: Sistema de Cuentas Nacionales de México, 2009
<http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/SER157164> (2009-11-24)



Figura 1 Principales estados exportadores de prendas de vestir en México.

Fuente: <http://www.economia.gob.mx/> (2009-11-24)

Debido a lo anterior, México durante 2001 fue el cuarto exportador de prendas de vestir a nivel mundial y el primer abastecedor de EUA. Sin embargo, en la actualidad son muchos problemas que están impactando de manera paulatina el crecimiento, la eficiencia y el desarrollo de este tipo de industria.

Algunos de los problemas que se enfrentan son la pérdida paulatina del mercado en los Estados Unidos, la reducción del empleo, la disminución de exportaciones, demanda de tiempos más cortos de entrega y por ende de esta última causa mayor competencia externa. Obviamente podríamos adjudicar a la reducción del empleo y reducción de exportaciones, las fuertes crisis económicas que enfrentan los países industrializados. Por otra parte, el demandar tiempos más cortos de producción, de entrega de bienes y de prestación de servicios, es directamente proporcional en relación **al desempeño y desarrollo laboral de todas las personas en una empresa**. Para que una persona pueda desarrollar óptimamente todas sus capacidades en un trabajo, ésta ha de sentirse en confort para desarrollarlo; entendiéndose como **confort** significaría el que la persona trabaje bajo condiciones ergonómicas aceptables que puedan salvaguardarlo de tener accidentes o desarrollar enfermedades laborales con el tiempo debido a la naturaleza del propio

trabajo. El aumento de las **tasas de accidentes y enfermedades laborales**, generan consigo un gran porcentaje de ausentismo, lo cual ocasiona otro tipo de problemas como los antes mencionados. Es entonces, cuando la palabra clave es **prevención**. Pero la prevención no es algo que venga en una receta de cocina, sino que es un proceso de desarrollo de ideas que permitan atender y solucionar una problemática, en este caso, accidentes y enfermedades laborales.

Propiamente para este trabajo de tesis, el enfoque general de estudio serán las enfermedades laborales, y específicamente dentro de éstas, el desorden de trauma acumulado (**DTA**) llamado síndrome del túnel del Carpo, el cual se desarrolla en el área de la región del nervio medio de la muñeca acompañados de síntomas como hormigueo y dolor (Cranford et al., 2007).

I.I.I Industria y mano de obra

La industria maquiladora de exportación emplea a un amplio número de personas en todo México. Tan sólo en los estados fronterizos del país de 2005 a 2006 ocupó **12 051 334** personas para el desempeño de sus actividades económicas tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Personal ocupado en los estados fronterizos.

2006-07	944 809
2006-06	943 554
2006-08	943 453
2006-05	941 512
2006-09	934 514
2006-10	934 380
2006-03	927 801
2006-11	927 480
2006-04	927 224
2006-02	914 480
2006-01	911 876
2006-12	905 097
2005-12	895 154

Fuente: INEGI: Estadística de la Industria Maquiladora de Exportación, 2009
<http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieinti.exe/SER720> (2009-11-24).

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 desordenes de trauma acumulado (DTA's). Sabemos 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 su salud debe de 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 STPS 450 102 casos de riesgos de trabajo que incluyen accidentes dentro del entorno laboral, accidentes en trayecto, y enfermedades laborales. La figura 2 muestra la información.



Figura 2. Información sobre riesgos de trabajo.

Fuente: Memoria estadística del IMSS, 2007

<http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2008/bol021/vinculos/Información%20sobre%20Accidentes%20y%20Enfermedades%20de%20Trabajo%202000-2007.pdf> (2009-11-25).

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 debemos 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 tesis. Por tal motivo, sabemos que es 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 3 muestra información gráfica acerca de las incidencias de incapacidades laborales.

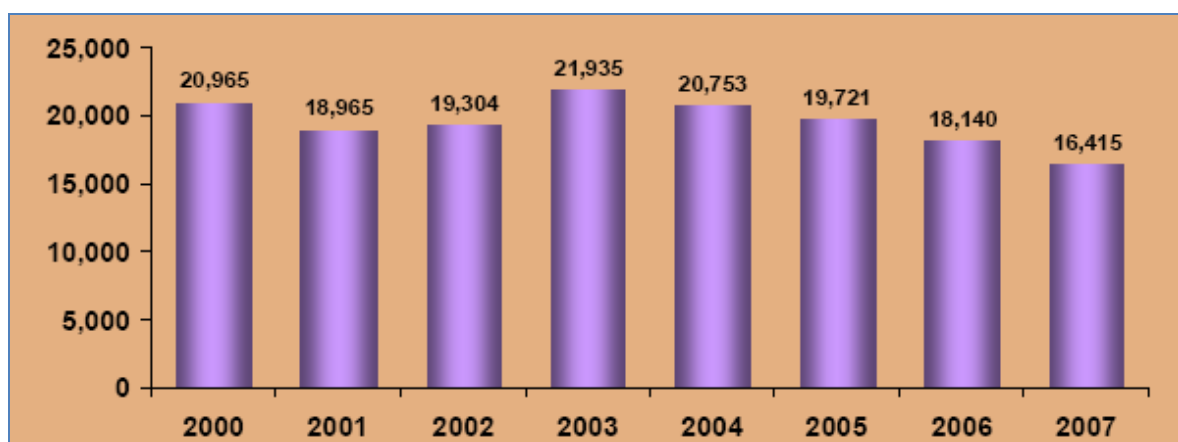


Figura 3. Incapacidades registradas de 2000 a 2007.

Fuente: Memoria estadística del IMSS, 2007.

<http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2008/bol021/vinculos/Información%20sobre%20Accidentes%20y%20Enfermedades%20de%20Trabajo%202000-2007.pdf> (2009-11-25)

Tomando en cuenta las estadísticas como base y enfocándonos como lo mencionábamos antes, en las **enfermedades de trabajo**, propiamente el **DTA conocido como síndrome del túnel del carpo** que es el tema central de esta tesis, podemos enfatizar enérgicamente 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 de 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 de 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.

I.I.2 Desorden de Trauma Acumulado (DTA)

Un desorden de trauma acumulado puede ser definido en forma general, como el desarrollo de una lesión que se da gradualmente en un periodo de tiempo debido a la realización de un movimiento repetitivo, causando daño en coyunturas o tejidos sobre una parte del cuerpo (Putz-Anderson, 1988).

La **ley federal del trabajo** en su artículo 513 apartado 157, clasifica y define a un **DTA** como una **enfermedad endógena** que es aquella 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).

A partir de esto otra definición es entonces que un DTA es una lesión física que se desarrolla gradualmente sobre un periodo de tiempo, como resultado de repetidos esfuerzos sobre una parte específica del sistema músculo- esquelético (Putz-Anderson ,1988).

I.I.3 Estadísticas sobre Desordenes de Trauma Acumulado (DTA's)

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 H. Víctor, 2009).

La tabla 3 muestra los índices que de 1997 a 2005 han mostrado un desarrollo de desordenes de trauma acumulado.

Tabla 3. Datos de enfermedades de trabajo.

Evento	Índice/10 mil trabajadores								
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Enfermedades de trabajo									
1. Trauma acústico crónico	0.89	0.83	1.23	2.0	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	0.60	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	0.019	0.010	0.008	0.010	0.019	0	0
8. Trastornos de nervios craneanos	0.032	0.003	0.009	0.020	0.034	0.007	0	0	0
Enfermedades invalidantes									
1. Enfermedad articular degenerativa	3.33	1.66	2.02	2.41	2.38	2.50	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	1.30	1.46	1.38	1.49	1.38
4. Insuficiencia renal crónica	0.71	0.66	0.56	0.64	0.65	0.86	0.78	0.83	0.79
5. Oftalmopatías	0.91	0.76	0.67	0.76	0.70	0.79	0.71	0.42	0.42
6. Cardiopatías	0.60	0.56	0.45	0.52	0.50	0.52	0.62	0.64	0.55
7. Enfermedad vascular cerebral	0.53	0.57	0.49	0.40	0.36	0.42	0.65	0.92	0.85
8. Sida	0.44	0.38	0.23	0.24	0.26	0.26	0.23	0.20	0.14
9. Enfermedades mentales	0.23	0.10	0.14	0.15	0.13	0.18	0.37	0.23	0.20

Fuente: Revista Médica Instituto Mexicano Seguro Social 2007; 45 (4): 403-412

Tomando en cuenta los datos de los DTA anteriores podemos observar en existe una tendencia al aumento paulatino de enfermedades laborales de este tipo, enfatizando el hecho que en 2002 hubo un disparo de casos, 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 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 4 muestra una serie de padecimientos detectados en 2007 (Borja H. Víctor, 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 4.

Tabla 4. Datos acerca de enfermedades probables de trabajo 2007

Diagnóstico	Casos
Tendinitis	1,804
Bursitis	229
Sinovitis	77
Tenosinovitis	86
Fascitis	68
Epicondilitis	63
Síndrome del Túnel del Carpo	31
Enfermedad de Quervain	7
<i>Enfermedades por trauma acumulativo</i>	<i>2,365</i>
Dermatitis de contacto	164
Dermatitis alérgica	55
<i>Dermatitis</i>	<i>422</i>
Asma	54
Bronquitis	18
Hipoacusia	17
Enfermedad por descompresión	5
Otras de frecuencia menor	31
<i>Total de probables enfermedades trabajo</i>	<i>2,912</i>

Fuente: Nuevo sistema de subsidios y ayudas (NSSA).

I.I.4 Desordenes de Trauma Acumulativo y 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 el de estudiar y analizar específicamente un DTA, el síndrome del túnel del carpo. La propuesta comprende el llevar a cabo simulaciones sobre movimientos repetitivos ejecutados en una industria textil de la localidad que íntegramente afectarían la movilidad de la muñeca.

Sabemos 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 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 desordenes de trauma acumulativos. Entonces partiendo del punto que los desordenes de trauma acumulativos en general se desarrollan por el movimiento 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 en una futura investigación, se puedan hacer predicciones sobre posibles efectos en el cuerpo humano.

Para tal análisis es planteado por medio del uso de la termografía digital sensorial.

La termografía digital sensorial a diferencia de la infrarroja, que es usada ampliamente para **visualizar** los patrones de temperatura en las superficies de la piel por medio de la toma de fotografías (Zontak et al., 1998), 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).

1.2 Flujo sanguíneo y temperatura

El flujo sanguíneo viene a ser como un sistema inteligente funcionando dentro de un cuerpo humano, este salvaguarda la buena operatividad del individuo, suministrando a través de su torrente las demandas necesarias de sangre por cada

órgano. Aún cuando se realiza un ejercicio tan pesado, el flujo de sangre esta 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 regulatorio de temperatura en el hipotálamo puede afectar la vasodilatación en la piel, si este es necesitado para mantener la temperatura del cuerpo, aún si esto significa una reducción en el flujo de sangre hacia los músculos que están siendo ejercitados.

I.3 Planteamiento del problema

El Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) considera como enfermedades generales y no laborales, tanto el síndrome de la tendinitis, como el síndrome del túnel del carpo; éstos son considerados enfermedades laborales en otros países, incluido E.U.A. Y a pesar de que se tiene dicho error en el IMSS, para la industria siempre es importante la salud de los trabajadores, debido a que si se evitan los Desordenes de Traumas Acumulados, se reducen sus costos por incapacidades, ausentismo y lo más importante para los inversionistas es que se reducen las cuotas del IMSS por parte de la empresa (IMSS, 2004).

Por lo anterior, la presente investigación está basada en análisis de manifestaciones de las temperaturas, fluctuaciones y variaciones, además de los rangos donde estas llegan a sus puntos máximos de fatiga de acuerdo a la simulación de una operación repetitiva que involucra varios movimientos de toda la extremidad superior en la operación de pegado de puño de una empresa textil de la localidad de Ensenada durante el periodo más largo de trabajo de la jornada laboral, es decir 3 h 30 min 00 continuas sin descansos.

I.4 Justificación

El estudio de las variaciones de las **temperaturas en el nervio medio de la muñeca** después de realizar un movimiento repetitivo por un amplio periodo de tiempo (3 h 30 min 00), a través de la termografía sensorial y análisis subjetivo del evaluador de acuerdo a la información proporcionada por el estudiante que simula la operación, que podría proporcionar una visión mucho más específica del nivel de desgaste que sufre una persona al estar realizando un trabajo repetitivo con

extremidades superiores. Así entonces se determinan 3 impactos importantes del desarrollo de la presente investigación:

- a) **Impacto tecnológico:** La termografía sensorial como nueva tecnología de bajo costo, programable y totalmente enfocada a las necesidades del estudio (López, 1992), facilita la manipulación de las temperaturas resultantes tomadas del operador, pudiendo con esto exportarse a programas tanto ergonómicos como estadísticos.

- b) **Impacto social:** Permitirá analizar el comportamiento de las temperaturas de los trabajadores detectadas sobre el nervio medio de 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 (Gavriel, 2006).

- c) **Impacto económico:** permitirá reducir la tasa por incapacidades en la empresa, es decir, aquellas relacionadas con lesiones por realizar operaciones repetitivas como la que se analiza en esta tesis. Además de que se busca cuidar la calidad de la empresa vía productividad del empleado protegiendo su salud ocupacional.

I.5 Hipótesis

A través del estudio de las variaciones de las temperaturas resultantes por el desarrollo de un movimiento repetitivo por parte de los estudiantes de ingeniería con la muñeca podrán identificarse los rangos máximos de fatiga en el nervio medio, así como sus tendencias y comportamientos en el periodo más largo de trabajo de la jornada laboral (3 h 30 min 00) en la operación emulada de pegado de puño de una empresa del ramo textil de la localidad de Ensenada.

Además:

- Existen patrones similares de temperatura de ambas muñecas de los estudiantes seleccionados de la Facultad de Ingeniería Ensenada, individuos en condiciones físicas aparentemente normales (sin antecedentes de fatigas musculares excesivas por haber desarrollado algún tipo de trabajo por largos periodos de tiempo) será muy similares.
- Es posible ajustar los patrones de temperatura a un modelo de ecuación de tercer orden.
- Es posible llevar a cabo un ajuste de distribuciones de probabilidad de acuerdo al comportamiento de los datos presentados en las pruebas.
- Las anomalías detectadas en la mayoría de las pruebas preliminares son muy similares.

I.6 Objetivo General

Analizar los diferentes patrones y comportamientos de temperaturas con el fin de identificar rangos de temperaturas máximas después de haber realizado un movimiento repetitivo con la muñeca durante el periodo más largo de la jornada laboral (3 h 30 min 00), ligando los resultados a información obtenida de los operadores durante la realización de la tarea.

I.6.1 Objetivos Específicos

- Simular experimentos en laboratorio con estudiantes de la FIE emulando la operación de pegado de puño de una empresa textil de Ensenada.
- Mostrar la aplicación de la termografía sensorial.
- Analizar cambios y comportamientos en los patrones de temperatura, relacionarlos con información subjetiva recolectada durante el periodo de operación (donde se efectúan movimientos repetitivos) y determinar si el comportamiento es continuo.
- Recabar información acerca de las variables no laborales (edad, género, peso, talla, adicciones al tabaco y alcohol, entre otras) y laborales (repetitividad, temperatura ambiente del área de trabajo, tiempo

desarrollando la misma tarea) de cada individuo pudieran determinarse como influyentes en futuras investigaciones.

1.7 Delimitaciones para el desarrollo de la investigación

El desarrollo de la presente investigación se realizó considerando las siguientes limitantes:

- a) Las personas que colaboraron en el desarrollo de pruebas preliminares incluían a estudiantes de posgrado y alumnos de licenciatura de la Universidad Autónoma de Baja California, específicamente de la Facultad de Ingeniería Ensenada (FIE) e ingenieros industriales.
- b) Las pruebas preliminares fueron llevadas a cabo dentro de un cubículo de la FIE.
- c) Sólo se contó con 3 termógrafos sensoriales para la realización de todas las pruebas.
- d) Sólo se contaron con 9 estudiantes de la FIE para el desarrollo de pruebas preliminares (6 hombres y 3 mujeres) durante un periodo de dos meses aproximadamente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 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, trabajadores expuestos al *cloruro de vinilo*. Se realiza un trabajo tomando en cuenta a 143 trabajadores y además a 56 personas como 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 de vasculares.

La acrosteolisis ocupacional esta 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 observo 31 casos en 3 000 trabajadores involucrados en la exposición de cloruro de vinilo y polimerización en la industria (Wilson et al., 1967), además Dinman reporto 25 casos confirmados en 5 011 empleados alrededor de los Estados Unidos 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 1975-05, 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 entregaron 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 solo 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 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 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 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 min 33. Con esto pudo realizarse un análisis de 10 pacientes por 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).

Se realizó una discusión respecto a la utilización de la termografía como técnica para la investigación de los análisis clínicos de pacientes. La información más relevante 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 la piel es permitida de ajustarse 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, en 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 de sangre 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 influencia cambios en la temperatura de la piel.

Muchos investigadores y físicos consideran a la termografía en el estudio del dolor, desordenes de traumas acumulados, radioculopatía y su relación a los cambios en la piel en tiempo real.

Como conclusión discuten el hecho de que era 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 algún 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 grabarse. Esta técnica representa gradientes de temperatura de la superficie del cuerpo en un tiempo dado y ha sido usada para el estudio de anomalías 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 síndrome del túnel carpiano, 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 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 en la asimetría en la temperatura de la piel señala una anomalía. 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. Cuando es estimulada por la raíz del nervio o la irritación del nervio periférico el sistema nervioso simpático causa una compresión del vaso y baja la temperatura de la piel, mientras que su interrupción total causa una dilatación del vaso y eleva la temperatura.

A la fecha existen dos técnicas para los sistemas de detección del calor, que es la termografía infrarroja y la termografía por contacto de cristal líquido (Feldman al., 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 tener colores de blanco y negro con tonos grises o multicolorado diferenciado los grados de temperatura de acuerdo a los colores. La termografía computarizada puede calcular cambios de temperatura en pequeñas partes de la superficie del cuerpo. (Feldman F., 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 en el flujo de la sangre en la piel y la temperatura ha sido estudiado previamente (Johnson et al., 1992) (Kenney et al., 1992). Algunos de ellos, durante sus estudios notaron una reducción en el flujo de la sangre 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 de la sangre 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 de sangre en los dedos de sujetos desarrollando ejercicio sobre una bicicleta ergonómica (Christensen et al., 1942). Esta reducción en el flujo de la sangre es trascendente excepto por exposición del individuo a ejercicios estresantes o pesados. Un decremento inicial en la temperatura, seguido de un incremento en ella más tarde ha sido unos datos también observado previamente. De acuerdo a estudios realizados al inicio del ejercicio, la demanda del flujo de sangre 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 de sangre de la piel se dilatan, incrementando con ello el flujo de sangre y la conducción de calor a la piel.

La termografía infrarroja ha sido ampliamente usada para visualizar los patrones de temperatura en las superficies de la piel. Con la ventaja de la imagen termográfica,

debido a que 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 00 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 de gas. Las muestras de expiración del gas de respiración durante las pruebas de ejercicio fueron grabadas cada 30 segundos durante el ejercicio usando un sistema comercial disponible (Sistema 4 400 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 las 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 las 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 $-0,0049 \pm 0,0032$ °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 están 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, 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 de cuerpo, la temperatura de los dedos de la mano continuamente va en decremento a lo largo del periodo de ejercicio. Partiendo

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. No se estudió la temperatura de la piel (Brandt y pichowski et al., 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 V 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 minutos de nado libre debe oscilar entre los 21 y los 33 °C (Robinson y Sommers 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 por semana. Factores como la edad, la altura, el peso y la grasa corporal fueron recabados del sujeto de estudio. En orden de 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, 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 de 10 minutos. Al término del 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. Seguido la ejecución de los primeros 100 metros estilo mariposa, 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 minutos) 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 2,00 °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 usada 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 integrar 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, el cual es decidido a través de otros tradicionales medio 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 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 Y. 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 exanimación 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 es sujeta de una gran potencialidad para la detección temprana de anomalías en las mamas. Ha sido probado que la termografía pudiera detectar un cáncer de mama con una anticipación de 10 años, más aún que la técnica tradicionalista que es la **mamografía** (Dixon et al., 1999).

La termografía infrarroja también conocida por sus siglas en ingles "IR", fue originalmente desarrollada con fines militares. En tiempos recientes, sus aplicaciones se han extendido a campos como la ingeniería y en particular en la medicina (E.Y.K NG y Kaw 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 a 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 refiere a la predictibilidad del cambio de la variable dependiente dado un cambio en la variable independiente.

Sin embargo, algunos factores son asumidos acerca de la regresión. Primeramente se asume una relación lineal entre las dos variables, pero este no siempre será el caso. Segundo, la variable dependiente se asume que tiene una distribución normal con la misma varianza como su valor correspondiente de variable independiente. Los datos acerca 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:

Los pacientes fueron requeridos de abstenerse de cualquier actividad física **durante 20 minutos** previo a la prueba (E.Y.K NG y Sim 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, los pacientes fueron requeridos de quitarse la ropa de la parte frontal del cuerpo 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 eficiente resolución.

Después fue llevado a cabo el análisis de regresión pertinente, esto con el fin de identificar cuáles variables serían contempladas como variables de entrada para otro tipo de análisis realizado en este estudio, un análisis de 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 (E.Y.K NG y Sim 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 los siguientes campos:

- Edad del paciente;
- Historia familiar acerca de cáncer;
- Terapia de reemplazamiento de hormonas;
- Presencia de anormalidades 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 valida a los servicios de cáncer de mama. (E.Y.K 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 desordenes en extremidades superiores por medio del uso de la termografía infrarroja.

Los desordenes en extremidades superiores como lo es el síndrome del túnel del carpo en la muñeca y la tendinitis en el antebrazo y 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 Estados Unidos (BLS et al., 2003).

En la actualidad los aspectos que engloban a la patofisiología de los desordenes en extremidades superiores no están totalmente claros. Se ha pensado que la reducción de un flujo de sangre podría formar parte como un aspecto importante para determinar tendinitis (Benjamín et al. Gold et al., 1994), síndromes de

compresión de nervios (Lundborg Gold et al., 1988) y algunos otros tipos de desordenes.

En adición a posibles cambios en los flujos de sangre, múltiples alteraciones en el sistema nervioso simpático han sido detectadas en diversos casos de estudio. El uso de la termografía ha sido usada con el fin de identificar tales alteraciones y es una herramienta que ha sido usada 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 minutos (Sharma Gold 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 desordenes en extremidades superiores 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 desordenes en extremidades superiores 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 desordenes de las extremidades superiores.

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 fueron reclutados eran personas que habían usado el teclado de la computadora por más de 4 horas

o por 5 días a la semana por al menos 5 años. Se excluyeron aquellos casos que presentaban el síndrome de las manos frías, además de casos severos de síndromes del túnel del carpo.

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 eran 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 en su caso al fumar, por al menos 60 minutos previo a los inicios de cada experimento de evitar confusiones en las mediciones de las temperaturas debido a estos factores asociados con el flujo de sangre. En su caso el fumar produce descensos considerables en las temperaturas corporales (**Puig, 1993**). Además aunado a lo anterior se les pidió de 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. Finalmente para 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 en un cuarto de temperaturas controladas.

Cada sujeto desarrollo 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 y 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 minutos para el proceso de termalización (el cuerpo de la persona se aclimata a la temperatura ambiente) mientras podían leer 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.

Valores de referencia de la temperatura de la mano fueron tomados durante 1 minuto previo al ejercicio de escritura de no técnica por espacio de 9 minutos.

Durante un espacio de 10 minutos después de terminada la prueba 3 imágenes fueron secuencialmente tomadas. Estas secuencias eran referidas a un periodo 1 (0-2 minutos después de escritura), un periodo 2 (3-5 minutos después de escritura) y un último periodo 3 (8-10 minutos después de 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 incluir 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 presentar señales de desordenes de trauma acumulado. 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 desordenes en extremidades superiores. 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 desordenes en extremidades superiores, es decir, un rango medio de 47 palabras

por minuto contra 39 palabras por minuto respectivamente. El estudio demostró entonces 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 minutos 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 minutos 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 desplego 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 minutos 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, en 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 del ejercicios está acompañada por una vasoconstricción cuando una respuesta del vasodilatador

termo regulatorio ocurre 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 a 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 usado 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 del 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 termo regulatorios. 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 era conformado por 12 mujeres y 2 hombres de aproximadamente 67 años de edad (± 5), 158 cm. de altura ($\pm 7,6$ cm.), un peso de 67,4 kg.

El grupo de los jóvenes estaba conformado por 10 mujeres y 5 hombres de aproximadamente 23 años (± 2 años), una altura de 168 cm. ($\pm 10,5$ cm.) y un peso de 63,3 kg. (± 13 kg.). 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. Todos

los sujetos incluidos en el estudio fueron instruidos de no comer por dos horas previas a la evaluación, y además el no ingerir bebidas alcohólicas y no realizar ejercicios vigorosos 24 horas previas al estudio. Además se recomendó no aplicar soluciones hidratantes de la piel en los miembros bajos. 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 el miembro bajo. Antes de comenzar a grabar las temperaturas los sujetos fueron colocados de pie durante 10 minutos 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 minutos de termalización, durante la condición de pre ejercicio. Sólo entonces los sujetos fueron sometidos a ejercicios. El miembro bajo dominante fue definido como el miembro preferencialmente utilizado para patear un bala. En todos los sujetos del estudio resultó que el miembro bajo derecho fue el 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 minutos, es decir, inmediatamente posterior al ejercicio, 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 una carga justo arriba del tobillo de 1 kg. y se les pidió a los sujetos que se ejercitaran por un espacio de 3 minutos continuamente a movimientos máximos de extensión y flexión. Los ejercicios fueron desempeñados en un rango de repeticiones de 20 por minuto, se tomaron los tiempos y los latidos del corazón. Se interrumpía la prueba si las personas mostraban algún tipo de dolor o anomalía que impidiera terminar la prueba.

Los resultados fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de las varianzas (prueba Levene). Se llevó a cabo una ANOVA (2 ways), 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 minutos.

Las temperaturas de los miembros contra laterales decrecieron en ambos grupos comparadas 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 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 presento pero con un retraso hasta los 6 min, alcanzando una estabilidad relativa después de eso. Así de este modo, 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 cero posterior al ejercicio, y estabilizándose al minuto dos durante el mismo periodo (Ferreira et al., 2008).

Como se menciona antes este estudio presentó evidencias que la disipación de calor en las personas mayores es más lenta 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).

2.2 Desordenes de trauma acumulado

2.2.1 Síndrome del túnel del Carpo

El síndrome del túnel del carpo es el tipo de lesión o daño neuropático más común. El diagnóstico de este síndrome 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 síndrome del túnel del carpo unilateral. Para el estudio se eligieron a 61 personas con un diagnóstico clínico del síndrome del túnel de carpo unilateral y confirmado por un electrodiagnóstico. Además se consideraron a 40 personas voluntarias más libres de algún síntoma por efectos del síndrome fueron también seleccionadas.

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, éste fue realizado en el periodo comprendido de 1989-02 a 1990-06 por la división de cirugía ortopédica de la Universidad de Kentucky. Con respecto a los 40 voluntarios, éstos fueron 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 síndrome del túnel del Carpo.

Como punto importante de enfatizar es que todos los exámenes termográficos fueron ejecutados por 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 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 trascendentes 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 anomalía 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 síndrome del túnel del carpo. 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 los estudios resultaron negativos del síndrome. El único caso detectado involucraba el área dorsal de la mano. Seguido de un electrodiagnóstico, el caso dio negativo para el síndrome del túnel del carpo. 57 pacientes de los 61 que presentaron el síndrome desplegaron anomalías termográficas en al menos una de las tres áreas del diagnóstico. Y 29 pacientes tuvieron hallazgos de anomalías termográficas en dos áreas de las 3 medidas, mientras que 11 pacientes tuvieron anomalías en las 3 áreas.

Cuando las áreas individuales del diagnóstico fueron evaluadas para detectar el síndrome del túnel del carpo, 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 tres 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 todos sabemos 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 síndrome del túnel del carpo. Tal documento ha presentado más evidencia concreta del potencial valor del diagnóstico del síndrome 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 diferenciaran más de 0,9 °C. En este estudio la mayoría de los 61 pacientes confirmados con el síndrome del túnel del Carpo 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 síndrome del túnel del Carpo 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 síndrome del túnel carpiano unilateral, su utilidad está limitada en los desordenes 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 **síndrome del túnel del carpo**. 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 esta volviéndose 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 el techo de él por un fuerte ligamento. El nervio medio está conformado por 9 tendones. Estos tendones están cubiertos por una membrana lubricante llamada "**sinovium**", la cual tiene al 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 usada 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, aquellas con inflamación en los dedos fueron excluidas del estudio. También pacientes con problemas del síndrome del túnel del Carpo 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); pacientes con historial clínico de desórdenes neuromusculares que no fueran por el síndrome del túnel del Carpo, 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 las diferencias absolutas de las temperaturas de estos 7 puntos fueron calculadas.

El objetivo principal del estudio era el clarificar la patología simpática en el síndrome del túnel del carpo 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 síndrome del túnel del carpo 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, además eran 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 síndrome del túnel del Carpo es una enfermedad común. Su epidemiología ha sido evaluada previamente, mayormente en poblaciones regionales o en grupos de

trabajo, con una incidencia de entre 1,5 y 3,5 (1 000 personas por año). La compresión del nervio medio en la muñeca en un diagnóstico común acompañados 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 síndrome del túnel del Carpo incluyen la obesidad, el uso de herramientas vibratorias, la diabetes, y la artritis reumatoide. El síndrome del túnel del carpo además se encuentra asociado a una constelación variada de síntomas que incluyen a la presencia de debilidad.

La epidemiología del síndrome del túnel de carpo ha sido reportada en poblaciones generales, principalmente con grupos o poblaciones de trabajo relacionados a las reclamaciones para la compensación de los trabajadores. Estudios en Holanda (Bongers FJ y Krom MC en 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 1,3 a 3,5 (1 000 personas por año). Otros estudios demográficos han mostrado una mayor incidencia del síndrome del túnel del Carpo en poblaciones de trabajadores (Atroshi et al., 1999), consistente en datos mostrando que el movimiento repetitivo en la muñeca pudiera contribuir al desarrollo de síntomas del síndrome del túnel del Carpo (**Nordstrom DL et al.,1998**). Sin embargo, se ha mostrado recientemente que debido a un alto uso del teclado de computadora en el trabajo no está asociado a un grado más alto de incidencia del síndrome del túnel del Carpo (Atroshi et al., 1999).

En este estudio se evaluó la incidencia del síndrome del túnel del Carpo a través del uso de un código de diagnóstico en una base de datos que incluye a todo el personal militar de los Estados Unidos de América. Esta población incluye todas las regiones geográficas de los Estados Unidos 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 síndrome del túnel del Carpo 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 por sus siglas en inglés DMED, además de archivos clínicos de los pacientes que hayan recibido atención médica en cualquier instalación médica militar, esto último en adición 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 síndrome del túnel de Carpo (1 000 personas por año). Un total de 48 957 casos de síndrome del túnel de Carpo 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 síndrome fue de 3,98 (1 000 personas por año). En la evaluación de diferencias de género, las mujeres tuvieron una incidencia más alta del síndrome comparado con los hombres en la población militar. El índice no ajustado para los hombres fue de 3,09 y para las mujeres fue de 8,69 (1 000 personas por año).

La edad además se detectó como un factor importante de incidencia del síndrome, teniendo a los pacientes más grandes tienen un rango mayor de incidencia con el síndrome. 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 síndrome del túnel de Carpo, 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 5,56 y 4,98 (1 000 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 3,98 casos (1 000 personas por año) en la población militar de los Estados Unidos. Dicho rango es mayor de aquellos obtenidos en reportes anteriores. Esto desaprueba la hipótesis plateada de que una población militar predominantemente joven tendría un menor rango de incidencia en el síndrome del túnel del Carpo de las observadas en poblaciones civiles.

La evaluación por factor de edad de la incidencia en el síndrome del túnel de Carpo en poblaciones generales ha mostrado un pico en el intervalo de 40-59 años. Se han desarrollado pocos estudios del síndrome del túnel del carpo en poblaciones jóvenes. Cabe destacar que investigadores han notado que los rangos de diagnóstico del síndrome aumentan con la edad y el consumo de tabaco (Vessey MP 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 síndrome del túnel del carpo y respuesta a cirugía, comparado con aquel grupo de los mayores de 35 años, sugiriendo que este grupo está bajo diagnóstico y tratado por síndrome del túnel del carpo (Polykandriotis E. et al., 2007).

En resumen, el análisis del síndrome del túnel del carpo desarrollado en la población militar de los Estados Unidos mostró una incidencia de 3.98 casos (1 000 personas por año), con una predominante significancia del grupo de mujeres militares. La incidencia en el síndrome 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 síndrome. 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 desórdenes en las extremidades musculares superiores como la tendinitis y el síndrome del túnel del carpo. 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 quienes no presentaban el síndrome de las manos frías, personas con desórdenes musculares con presencia del síndrome 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 presión alta fueron excluidos del estudio. En cuanto a los casos (17) fueron pacientes del centro de salud de la Universidad de Connecticut diagnosticados por desórdenes de las extremidades superiores (UEMSD'S), casos de gente con algún desorden por el uso de la computadora. Todos los casos con los siguientes síntomas:

- Dolor
- Ardor
- Hormigueo
- Hinchazón

Todos los síntomas anteriores presentados 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, 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. Los pacientes fueron colocados en el escritorio y sentados en una silla ajustable, junto 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 fueron sentados frente al escritorio y colocando 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 a efectuar el ejercicio de escritura no técnica durante 9 minutos. Durante 10 min después de la 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:

- ¿Hay dolor en la muñeca?
- ¿Hay dolor en hombro?
- ¿Hay hormigueo?
- ¿Hay dolor en codo?

Existió sólo una persona de los participantes que reportó exacerbación por el uso del teclado antes y no durante del estudio. Dicha persona fue removida del estudio. Los estudios fueron llevados a cabo en una oficina en un ambiente de entre 18 °C y 25 °C de temperatura ambiente. La región del meta Carpo de la mano derecha fue identificada como punto principal para llevar a ejecutar el análisis, debido a que es el área más factible para detectar respuesta vascular y anormalidades 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 minutos 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 diferentes 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.

Un efecto de la temperatura ambiente en el ejercicio de escritura 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) elevaron la temperatura del dorso medio (mano) después de la escritura, mientras que aquellos (excepto uno) en los estudiados arriba de la temperatura ambiente media redujeron la 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 presentando el síndrome de las manos frías, demostraron una reducción de 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 de patrones de temperatura aparecieron después de un periodo de observación de 10 minutos, terminado el reto de escritura de 9 minutos. 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 muestra de gente pequeña para determinar la reproductividad de los datos vistos en este estudio. (Gold et al., 2004).

Los desórdenes de trauma acumulado 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 reportaron síntomas, mientras que el 8% reportaron síntomas pero no mostraban 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 desórdenes de trauma acumulado, y potencialmente, para detectar su presentación de manera temprana, reducir los costos por atención médica, y minimizar incapacidades.

Los desórdenes de trauma acumulados 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 y Gross et al., 1987). Los desórdenes antes mencionados comprenden desde el síndrome del túnel del carpo, tendinitis, y un sinnúmero de señales y síntomas que son específicos de un diagnóstico en particular. Aunque un número de condiciones y factores personales predisponen a las personas a desarrollar los desórdenes de trauma acumulados, 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 en Young et al., 1987). Ha sido difícil determinar la prevalencia de los distintos tipos de desórdenes de trauma acumulados en ocupaciones específicas. El

uso de diferentes métodos de clasificación de los desordenes de trauma acumulados 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 desorden de trauma acumulado 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 un modelo de prevención, en detección temprana, y en la minimización de días perdidos debido a una incapacidad (Young et al., 1995).

2.3 Sistemas de medición

2.3.1 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 4**. 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 4. 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 dispersas 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 sus 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.

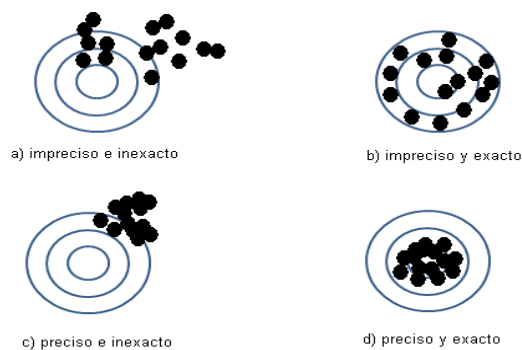


Figura 4. Precisión y exactitud
Fuente: Gutiérrez y De la Vara, 2004

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.

2.3.2 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.

2.3.3 Estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R)

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 σ^2 la variabilidad total, σ^2_{produ} la varianza atribuible al producto (partes o piezas), σ^2_{oper} la variabilidad del instrumento de medición y σ^2_{inst} 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.

2.3.4 Estudio largo con análisis de medias y rangos (método largo)

Este método para realizar estudios R&R permite separar de manera explícita la repetibilidad y la reproducibilidad 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, y tres es lo recomendado.
- 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, cada medición realizada el operador no debe conocer cual pieza está midiendo, ni cuáles fueron sus mediciones anteriores sobre ella, 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 ese necesario analizar su origen, porque en primera instancia puede ser el instrumento, los operadores o ambos. De acuerdo 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, debemos cuestionar si las especificaciones son realistas y averiguar si el consumidor en realidad requiere especificaciones tan estrechas.
- Si 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 un

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.

2. 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 un modelo de regresión lineal simple para incluir a la variable X^2 y X^3 como predictores (Minitab® 15).

2. 5 Prueba de normalidad Anderson Darling

Las pruebas de normalidad se usan bajo el planteamiento de la hipótesis nula de que una población de datos proviene de una distribución normal o una hipótesis alternativa de que los datos provienen de una distribución no normal. A través de una gráfica sencilla podemos 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 Anderson Darling 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, deberá de rechazarse la hipótesis nula de normalidad de datos. Si el valor de p es menor que el nivel de alfa seleccionado se puede rechazar la hipótesis nula y declarar que los datos siguen una distribución no normal (Robin, 2006).

2.6 Histogramas

El histograma es una herramienta de estadística descriptiva para proporcionar una impresión visual de la forma que asume la distribución de las mediciones, así como la información acerca de la separación o dispersión de los datos, además de identificar si hay simetría (Montgomery, 2006).

Los histogramas son utilizados siempre por la ciencia estadística. Su función es exponer gráficamente números, variables y cifras de modo que los resultados se visualicen más clara y ordenadamente. El histograma es siempre una representación en barras. Se estima que por el tipo de información brindada y por la manera en que ésta es dispuesta, los histogramas son de especial utilidad y eficacia para las ciencias sociales ya que permiten comparar datos sociales como los resultados de un censo, la cantidad de mujeres y/o hombres en una comunidad, el nivel de analfabetismo o mortandad infantil, etc.

Para un histograma existen dos tipos de informaciones básicas (que pueden ser complementados o no de acuerdo a la complejidad del diseño): la frecuencia de los valores y los valores en sí. Normalmente, las frecuencias son representadas en el eje vertical mientras que en el horizontal se representan los valores de cada una de las variables (que aparecen en el histograma como barras bi o tridimensionales).

Existen diferentes tipos de histogramas. Los histogramas de barras simples son los más comunes y utilizados. También están los histogramas de barras compuestas que permiten introducir información sobre dos variables. Luego están los histogramas de barras agrupadas según información y por último el polígono de frecuencias y la ojiva porcentual, ambos sistemas utilizados normalmente por expertos. Trabajar con histogramas es muy simple y seguramente proveerá con una mejor comprensión de diferente tipo de datos e información.
<http://www.definicionabc.com/tecnologia/histograma.php>

2.7 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, 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,

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

2.8 Distribución lognormal

La distribución lognormal tiene, principalmente, las siguientes aplicaciones:

- a. Representa la evolución con el tiempo de la tasa de fallos, $\lambda(t)$, en la primera fase de vida de un componente, la correspondiente a los fallos infantiles en la "curva de la bañera" entendiéndose como tasa de fallos la probabilidad de que un componente que ha funcionado hasta el instante t, **de que falle** entre t y t + dt. En este caso la variable independiente de la distribución es el tiempo.
- b. Permite fijar tiempos de reparación de componentes, siendo también en este caso el tiempo la variable independiente de la distribución.

- c. Describe la dispersión de las tasas de fallo de componentes, ocasionada por diferente origen de los datos, distintas condiciones de operación, entorno, bancos de datos diferentes, etc. En este caso, la variable independiente de la distribución es la tasa de fallos.

La distribución lognormal tiene dos parámetros: m^* (media aritmética del logaritmo de los datos o tasa de fallos) y σ (desviación estándar del logaritmo de los datos o tasa de fallos).

La distribución lognormal se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Asigna a valores de la variable < 0 la probabilidad 0 y de este modo se ajusta a las tasas y probabilidades de fallo que de esta forma sólo pueden ser positivas.
- Como depende de dos parámetros, se ajusta bien a un gran número de distribuciones empíricas.
- Es idónea para parámetros que son a su vez producto de numerosas cantidades aleatorias (múltiples efectos que influyen sobre la fiabilidad de un componente).
- La esperanza matemática o media en la distribución lognormal es mayor que su mediana. De este modo da más importancia a los valores grandes de las tasas de fallo que una distribución normal con los mismos percentiles del 5% y 50% tendiendo, por tanto, a ser pesimista. (http://www2.eco.uva.es/estadmed/probvar/d_univar/d_univar9.htm).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Operatividad del termógrafo

Básicamente la función del termógrafo 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 los datos y poderlos exportar a otro programa como Minitab® 15 o Microsoft® Office Excel 2007 para un análisis futuro.

3.2. Calibración del Termógrafo

La calibración del termógrafo 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.

3.2.1 Simulación del horno

Para la primera etapa se preparó la simulación de un pequeño horno, esto fue, construyendo 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).

Pero para poner a funcionar a 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 interconectados funcionaban como tal. 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 de y el sensor del termógrafo. 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 entonces que generar dentro del horno estas temperaturas y controlarlas. El proceso entonces era generar emisiones de calor de tal manera que pudiéramos obtener dos lecturas, una del termómetro digital y otra del termógrafo. Las temperaturas del termógrafo eran capturadas minuto a minuto o 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 minutos en el intervalo de temperatura del valor nominal a medir. Un ejemplo: si estábamos midiendo a 30 °C y manejando una tolerancia de $\pm 0,05$ °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 minutos 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.

3.2.2 Constantes de calibración

El termógrafo 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 (lo que debería de marcar). 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 tercer orden) a las lecturas codificadas por el termógrafo, y de esta manera obtener un métrico en grados Celsius, ya que se demostró que la mejor forma de ajustar las diferencias de precisión (cercasas a 0) entre un termómetro digital y un termógrafo sensorial es una ecuación de tercer orden (López, 1992).

Matemáticamente tenemos que:

$$T_1 = a_1 + b_1 L \dots \dots \dots (5)$$

$$T_2 = a_2 + b_2 L + c_2 L^2 \dots \dots \dots (6)$$

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

Donde T2 es el ajuste a curvas de primero, segundo y tercer orden, L es la lectura reportada por el termógrafo y las constantes de calibración son a₃, b₃, c₃, d₃.

Tomemos como ejemplo el siguiente caso.

En la tabla 5 se muestran las temperaturas y sus respectivos horarios de recolección.

Tabla 5. Temperaturas y lecturas codificadas de temperaturas

Temperatura termógrafo	Temperatura termómetro	Hora
47 728	30	10 h 19 min 20
48 974	31,047	10 h 35 min 34
50 380	32,035	10 h 43 min 58
51 519	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	39,99	11 h 57 min 28

Lecturas codificadas

Fuente: Propia

Las lecturas codificadas en la tabla anterior fueron buscadas en una base de datos que genera el termógrafo al estar operando, en un rango de

Graficando los datos capturados por el termómetro digital contra cada una de las lecturas codificadas y ajustando una ecuación de tercer orden a través de Microsoft® Office Excel 2007 mediante la opción **add trendline** tenemos la figura 5:

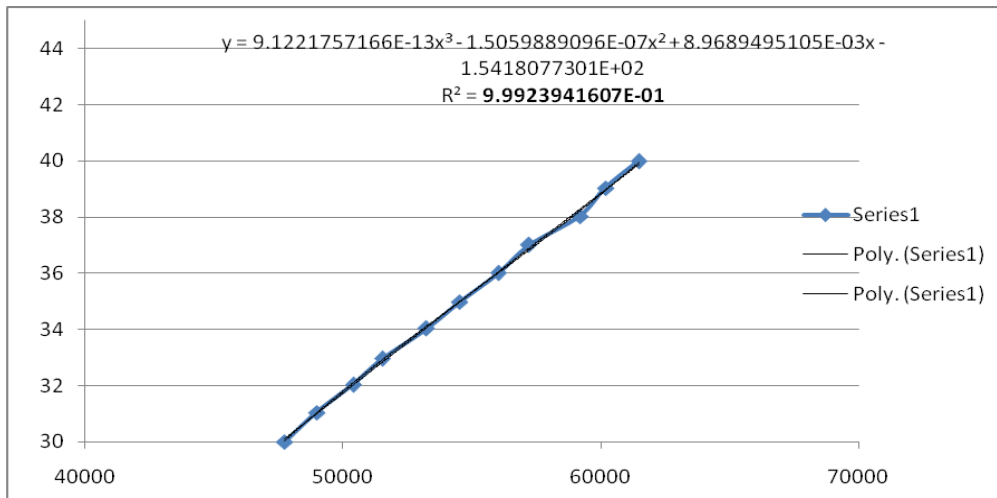


Figura 5. Ajuste a una curva de tercer orden mediante la opción trendline
Fuente: Propia

Tenemos entonces la ecuación con las constantes de calibración;

$$y = 9.1221757166E-13x^3 - 1.5059889096E-07x^2 + 8.9689495105E-03x - 1.5418077301E+02$$

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 al momento de estar operando como lo muestra la tabla 8.

Tabla 6. Lecturas de temperaturas codificadas

Temperatura termo	Temperatura medidor	Hora	Temperatura codificada	Diferencia
47 728	30	10 h 19 min 20	30,00933919	-0,009339188
48 974	31,047	10 h 35 min 34	31,01098473	0,03601527
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	36,83474556	0,166254442

		44		
		11 h 41 min		
59 177	38,027	19	38,23143535	-0,204435353
		11 h 49 min		
60 172	39,034	07	38,9684262	0,065573798
		11 h 57 min		
61 467	39,99	28	39,9701651	0,019834901
			Sumatoria	0,0000005932

Fuente: Propia

Además podemos observar una diferencia muy poco significativa entre los valores medidos por el termógrafo en tiempo real y el termómetro digital. Para este caso el termógrafo parece estar ofreciendo temperaturas confiables respecto a las del termómetro digital.

3.4 Validación del sistema de medición

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 será sujetos de manipulaciones futuras y a partir de los cuales también plantear nuevas hipótesis y nuevas líneas de investigación, por lo cual contar con datos validos 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 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 dentro de la entidad. 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, podemos 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 primer experimento de la validación del sistema de medición con 2 operadores y 2 réplicas puede ser consultado en la carpeta digital con nombre de **anexo** en el disco donde está contenida esta tesis.

3.5 Pruebas preliminares

Para el desarrollo de las pruebas preliminares se seleccionaron **a 9 estudiantes** de la Facultad de Ingeniería Ensenada, específicamente ingenieros industriales, como parte de la apertura de un servicio social. Fueron 6 los estudiantes seleccionados, ya que fue la cantidad de voluntarios que accedieron a participar en el desarrollo de dicho estudio, el cual los involucra como participantes importantes activos del proyecto (para simular los movimientos durante el mismo periodo de operación que los operadores de la empresa textil de la localidad).

Se convocó a junta con todos los estudiantes para explicarles en qué consistía el proyecto, pedirles su colaboración y compromiso con el proyecto con el fin de obtener confiabilidad en los datos y desarrollo del experimento.

Para la etapa de las pruebas preliminares de 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 la experimentación en la fase preliminar, éste 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 textil y tomarla en cuenta para futuros análisis e investigaciones.

Además todas y cada una de las pruebas preliminares se llevaron a cabo dentro de un cubículo de la UABC que se encuentra en el edificio E1.

3.5.1 Equipo de captura y análisis de datos

Para llevar a cabo las pruebas preliminares de experimentación se utilizó un termógrafo sensorial Sköll con un alcance de 0 °C – 40 °C, exactitud $\pm 0,3$ °C, y una resolución de 0,1°C (López., 1992), cinta micro porosa (Marca 3M), cinta adhesiva, reloj cronómetro (Marca Casio), computadora personal (Marca COMPAQ Intel Pentium Dual Core), calentón de casa. Aunado a esto, para la programación de los termógrafos sensoriales se utilizó el programa Akela. Por otro lado, también se utilizó paquetería de análisis estadístico como Minitab® 15 y Microsoft® Office Excel 2007.

3.5.2 Protocolo

Las pruebas preliminares se desarrollaron en un cubículo de la FIE; con 6 estudiantes de la licenciatura en ingeniería industrial. Durante 2 meses, para esta fase del estudio se estableció tomar la muestra de cada individuo sólo un día a la semana, es decir, asignando un día en específico a cada individuo, dado las limitantes en cuanto al horario de los estudiantes y la disponibilidad de los termógrafos.

1. Programar los termógrafos usando el programa Akela.
2. Se les pidió a la persona (s) que previo a la prueba se abstuvieran de hacer cualquier tipo de ejercicio por un periodo de 20 minutos (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 minutos debido a una reducción en el rango del metabolismo del cuerpo (E.Y.K NG y Sim et al., 2001).
3. 20 minutos de abstención de ejercicio se les pidió también el evitar la toma de alcohol o fumar previamente (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 temperatura corporal.
http://polaris.unisabana.edu.co/prevencion/adicciones/alcohol/alcohol_3.html
4. Aplicación de un biocuestionario a la persona (s) con el fin de recabar información acerca de su edad, peso corporal, problemas de presión arterial, problemas de traumas como fracturas, y hábitos como el fumar o beber, tiempo acumulado de exposición al desarrollo de la operación, entre otros previo a la prueba.
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. (E.Y.K NG et al., 2001) con la ayuda del calentón de casa.
6. Pasado el tiempo de estabilización se le pidió al operador sentarse en una silla y en seguida colocarle los termógrafos sensoriales en ambas manos, específicamente sobre el área de la muñeca (en la región del nervio medio). Ya colocados los termógrafos 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 sobre el área de la muñeca (en ambas manos).
8. Ejercitación simulando el ensamblado de puño de una camiseta, operación altamente repetitiva que se realiza en la compañía, por 3 h 30 min 00 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. Toma de muestras respecto al número de ciclos por minuto del operador (número de piezas o ensambles). Esto ocurrió en el primer minuto de operación, cada 20 minutos durante la operación y en el último minuto de la operación.
11. Retiro de los termógrafos y concentrado de los datos obtenidos en Microsoft® Office Excel 2007 para su manipulación e interpretación en programas estadísticos como Minitab® 15.

3.5.3 Sujetos de estudio

A continuación se muestra la tabla 9 con la información acerca de las características antropométricas de los sujetos de estudio además de antecedentes importantes que pudieran tomarse en cuenta para futuras pruebas en el proceso de esta investigación.

Tabla 7. Características antropométricas de los sujetos

Individuo	Edad	Genero	Peso (kgs.)	Altura (m)	Mano dominante	Fracturas previas	Observaciones
1	22	M	54	1.69	Izquierda	N	No hubo
2	23	M	78	1.63	Derecha	N	El operador estuvo laborando en una empresa donde efectuaba la operación de pegado de manga.
3	25	M	64	1.63	Izquierda	S	Fractura en muñeca izquierda hace mas de 15 años
4	20	F	54	1.60	Derecha	N	Torcedura de pie izquierdo hace más de 1.5 años
5	20	F	53	1.64	Izquierda	S	Fractura de muñeca derecha hace más de 15 años.
6	27	F	59	1.54	Derecha	S	Fractura de pie izquierdo hace más de 4 años
7	29	M	60	1.60	Derecha	S	Fractura hace más de 10 años
8	25	M	70	1.73	Derecha	N	No hubo
9	23	M	60	1.57	Derecha	N	No hubo

Fuente: Propia

Es importante mencionar que ninguno de los sujetos de estudio (estudiantes) presentó problemas lumbares, o problemas de presión arterial (alta o baja), y de manera paralela ninguno reportó tener problemas por adicciones al alcohol y/o al tabaco. Además cabe recalcar que ninguno de ellos tenía experiencia previa en desarrollar operaciones que involucraban movimientos repetitivos en trabajos previos u otras actividades motrices de larga duración en una estación de trabajo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con el fin de obtener un seguimiento en el análisis de los datos obtenidos de cada individuo se fueron analizando una a una las pruebas de cada individuo. En una primera instancia para 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. En una segunda etapa, el objetivo fue el 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.

4.1 Pruebas Intermitentes

Para el desarrollo de las pruebas intermitentes 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.

4.1.1 Individuo 1

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo en el lapso más largo de la jornada laboral (3 h 30 min 0) y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación.

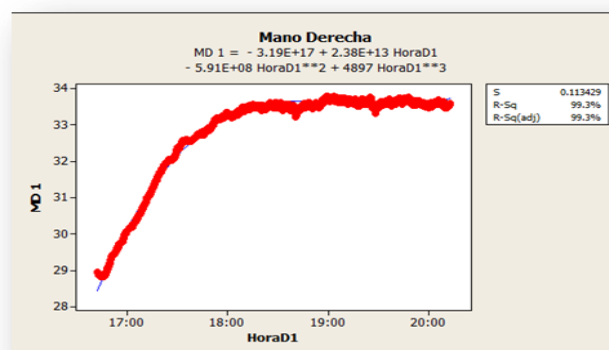
Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

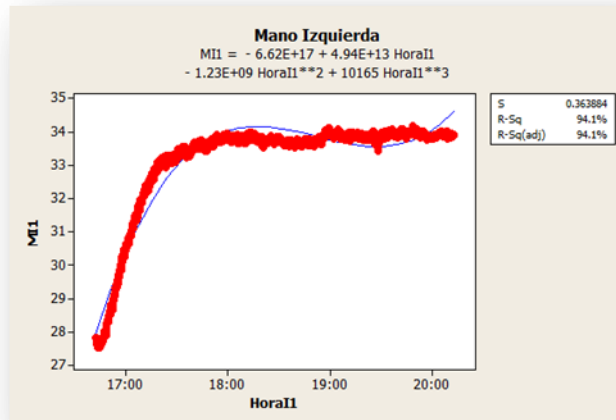
Partiendo de las gráficas 1 y 2 que se muestran podemos mencionar y destacar los siguientes puntos:

- 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 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, y a las 19 h 48 min 47 para la mano izquierda respectivamente, transcurriendo 3 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 4,858 °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 una 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 la gráfica 1 y 2



Gráfica 1. Individuo 1 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia



Gráfica 2. Individuo 1 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia

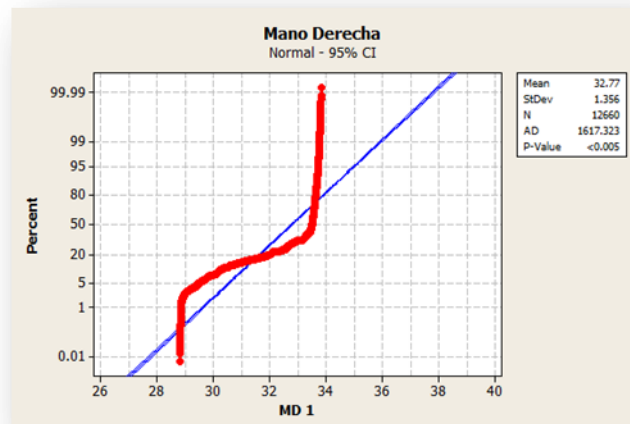
Pruebas de normalidad

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

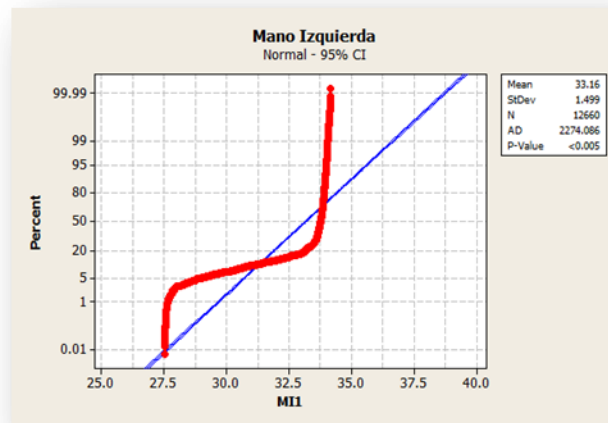
Hipótesis Nula (Ho)= El conjunto de datos siguen una distribución normal

Hipótesis Alternativa= (H1)= El conjunto de datos no siguen una distribución normal

A continuación se muestran las gráficas 3 y 4 resultantes de la ejecución de la prueba Anderson Darling, a partir de las cuales y al igual que las ya recabadas podemos apreciar que el valor **p** indica claramente a ser menor que el nivel de significancia establecido de 0,05 que debemos de rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal y para lo cual como en las gráficas anteriores habrá que buscar la distribución que represente con mayor claridad el comportamiento de las temperaturas. Además aunado a lo anterior podemos mencionar que en ambas pruebas de AD los valores del estadístico son bastante grandes 1 617,32 y de 2 274,08.

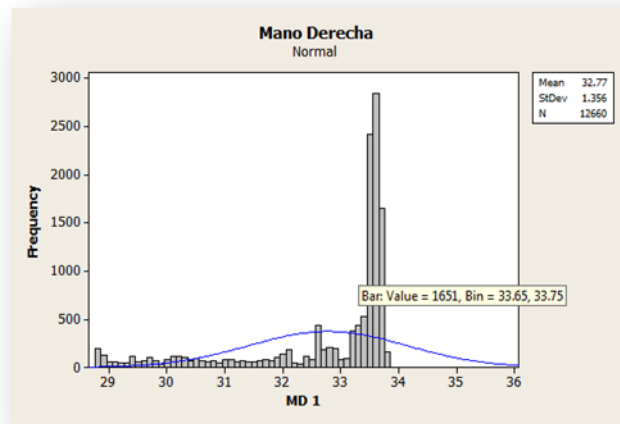


Gráfica 3. Individuo 1 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

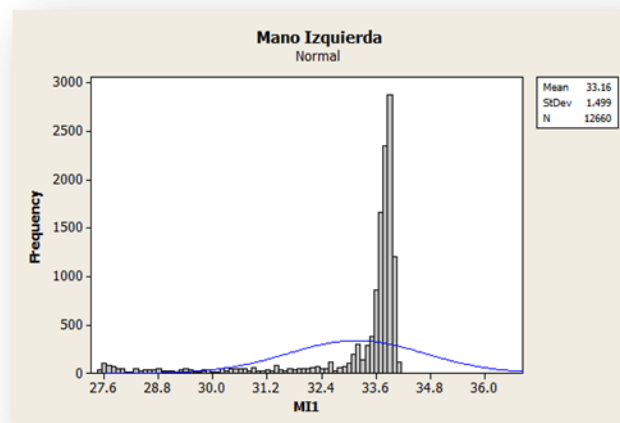


Gráfica 4. Individuo 1 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como respaldo a las afirmaciones antes mencionadas, a continuación se muestran los histogramas que validan la información presentada en la gráfica 5 y 6.



Gráfica 5. Histograma Individuo 1 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 6. Histograma Individuo 1 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia

Prueba 2

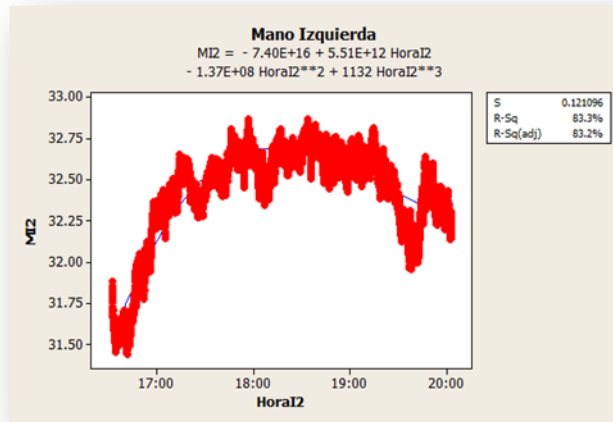
Patrones de temperatura y ajuste de curva

De acuerdo a las gráficas 7 y 8 podemos mencionar los siguientes puntos importantes:

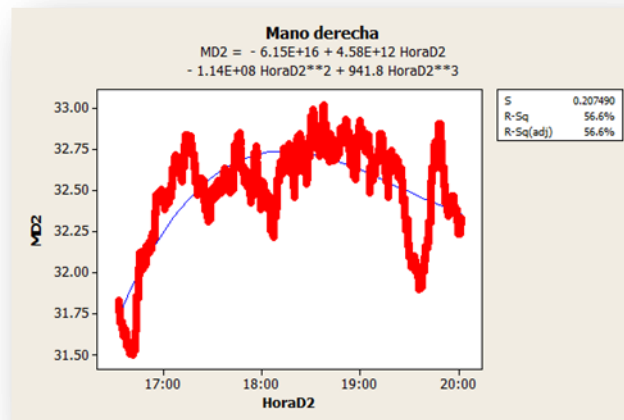
- A diferencia de la prueba 1 donde fueron posibles ajustes de curvas de tercer orden en ambas manos, en esta ocasión existe una diferencia para el caso de la mano derecha, donde el coeficiente de determinación de un 56,6% nos hace darnos cuenta de que no hay evidencia significativa que permita explicar el

comportamiento de los datos para esta prueba con un coeficiente de determinación tan bajo. Sin embargo, se puede visualizar que los comportamientos de las temperaturas tienden a generar hasta estas dos pruebas llevadas a cabo en el individuo, patrones muy similares.

- Para el caso de la mano izquierda podemos mencionar que fue posible llevar a cabo un ajuste de la curva de tercer orden con un 83,3% pudiendo evidenciar el comportamiento de los datos obtenidos.
- Para el caso de la mano izquierda la temperatura máxima alcanzada fue de 32,87 °C a las 18 h 33 min 53, transcurriendo 2 h 6 min 00 desde iniciada la prueba, mientras que para la mano derecha la temperatura máxima alcanzada fue de 33.021 °C a las 18 h 38 min 00 transcurriendo 2 h 1 min 21 desde iniciada la prueba. El incremento de los grados desde transcurrida la prueba para la mano izquierda fue de 0,985 °C y de 1,217 °C para la mano derecha. Podemos mencionar que de acuerdo a las temperaturas y tomando en cuenta las horas de las mismas nos encontramos ante una similitud entre estos dos elementos de estudio.
- Un dato importante con respecto a la prueba anterior fue la hinchazón de los dedos. Esta ocurrió casi en el mismo periodo de tiempo, es decir de 1 hora empezada la prueba con respecto a la prueba anterior. Por otra parte el dolor de espalda se ve reflejado ya casi finalizada la prueba alrededor de las 19 h 54 min 44 a diferencia de que en la prueba anterior desde el inicio había un indicio de dolor importante.



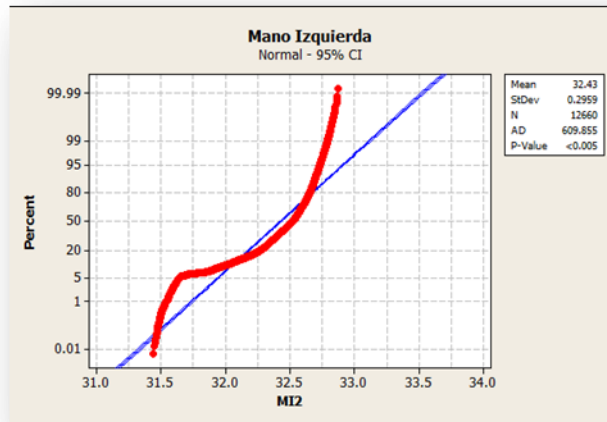
Gráfica 7. Individuo 1 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



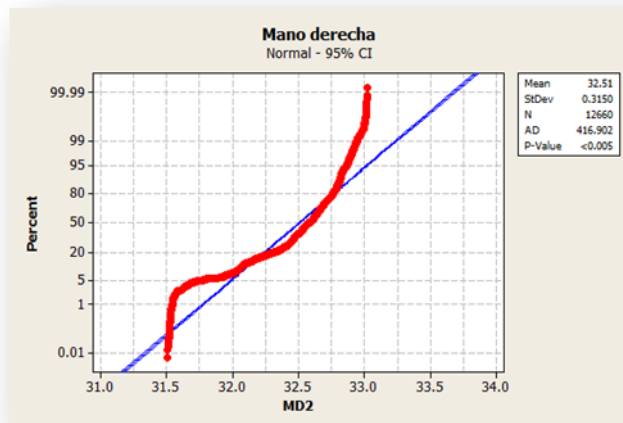
Gráfica 8. Individuo 1 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las gráficas 9 y 10 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor **p** en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 609,855 y para la mano derecha de 416,902 respectivamente.

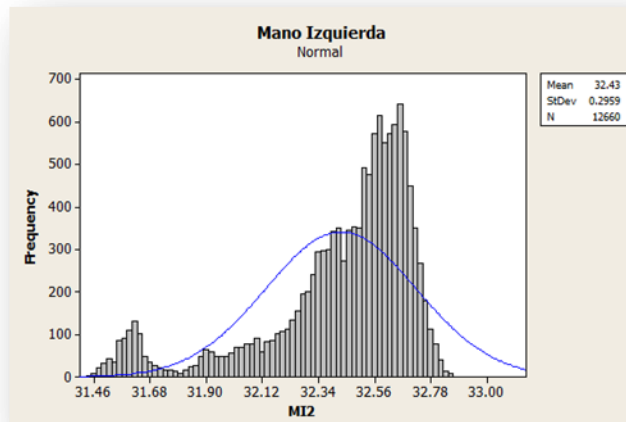


Gráfica 9. Individuo 1 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

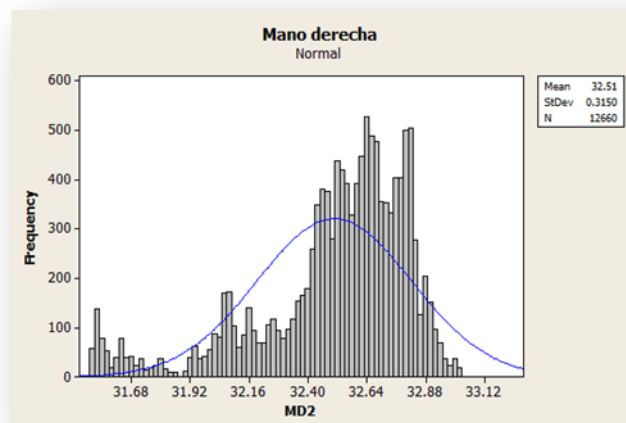


Gráfica 10. Individuo 1 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

También como parte de la evidencia que respalda que los datos no siguen una distribución normal se presentan a continuación los histogramas respectivos de cada mano en las gráficas 11 y 12.



Gráfica 11. Histograma Individuo 1 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 12. Histograma Individuo 1 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 3

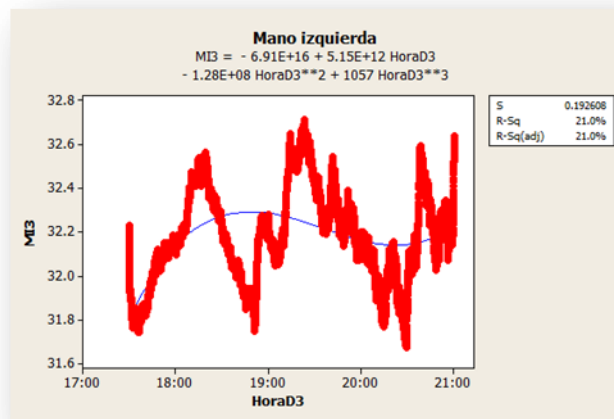
Patrones de temperatura y ajuste de curva

De acuerdo a las gráficas 13 y 14 podemos mencionar los siguientes puntos importantes:

- Para esta prueba podemos apreciar que ya en ninguno de los dos casos fue posible un ajuste de la curva de tercer orden, además los coeficientes de determinación en manos lo validan de manera estadística con un 21% y un despreciable 8,9% de ajuste de la curva. Para este caso, se menciona que de

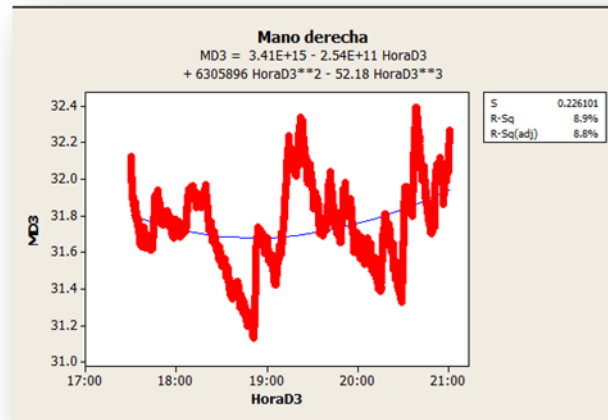
acuerdo a los porcentajes el modelo propuesto no es lo bastante poderoso para explicar la relación entre la variable de respuesta (temperatura) y la variable regresora (tiempo u hora). Sin embargo de de resaltarse que se mantuvo un comportamiento muy similar.

- En este caso, las temperaturas máximas alcanzadas fueron a las 19 h 23 min 10 para la mano izquierda con 32,71 °C, transcurriendo 1 h 53 min 10 desde iniciada la prueba y un incremento en la temperatura de 0,479 °C , y a las 20 h 38 min 40 con 32.40 °C para la mano derecha respectivamente, transcurriendo 3 h 08 min 40 desde iniciada la prueba y un incremento en la temperatura de 0,272 °C. Se puede decir que con respecto a los tiempos de alcance de la temperatura existe un desfase por lo cual no puede considerarse que haya una similitud en este elemento, pero podría no considerarse la misma descripción para las temperaturas alcanzadas con 0,3 grados de diferencia. Para esta prueba las molestias ocurrieron durante uno de los periodos de descenso de la temperatura, aproximadamente una hora antes de terminada la prueba, exactamente a las 21 h 20 finalizada la misma. Las molestias desarrolladas en el periodo fueron hinchazón de dedos y dolor en la espalda.



Gráfica 13. Individuo 1 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva

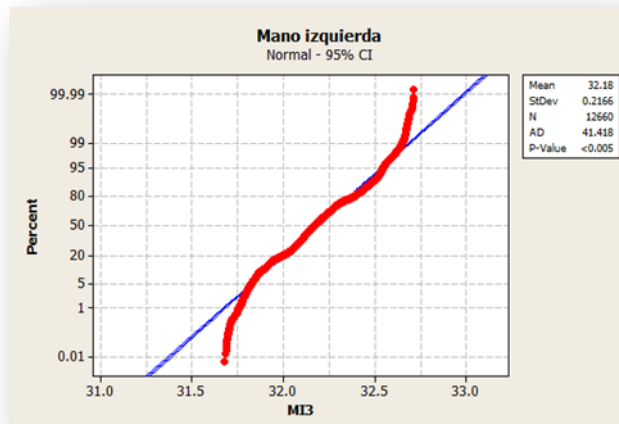
Fuente: Propia



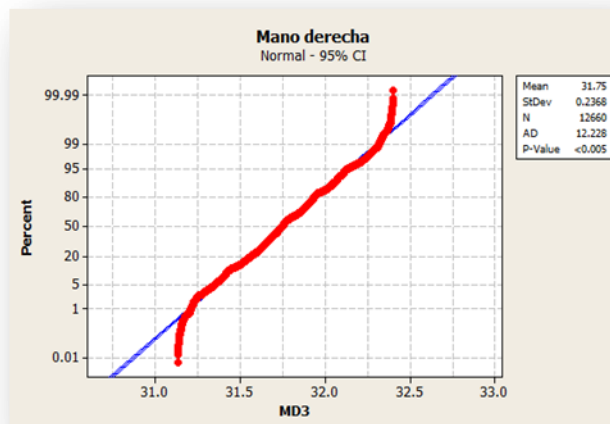
Gráfica 14. Individuo 1 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 15 y 16 que en ambas manos con un valor **p** menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen se ajustan a una distribución normal. Cabe destacarse que en estos casos y con respecto a las pruebas anteriores el coeficiente de Anderson Darling se disminuyo en una gran proporción, esto se asume debido a que gran mayoralía de los datos se encuentran bajo el área de la curva normal siendo con esto ajustados al comportamiento de dicha distribución de probabilidad. Sin embargo como no todos los datos de la muestra se encuentran ajustados en el área bajo la curva.

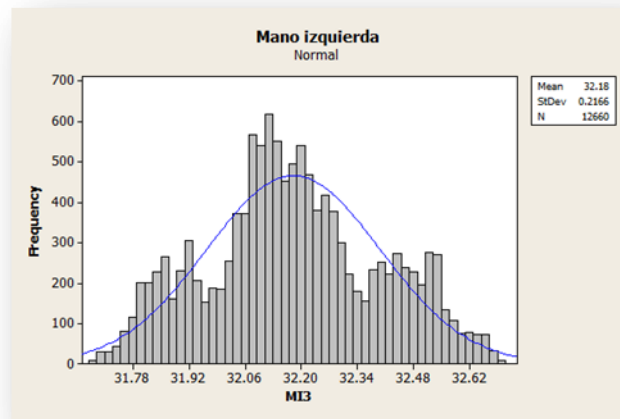


Gráfica 15. Individuo 1 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

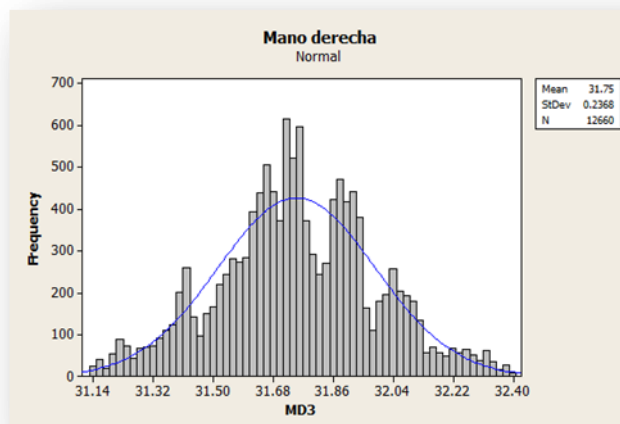


Gráfica 16. Individuo 1 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Aunado a la información anterior a continuación se presentada evidencia agregada que valida el hecho y afirmación que los datos no siguen una distribución normal. Las gráficas 17 y 18 muestran la evidencia.



Gráfica 17. Histograma Individuo 1 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 18. Histograma Individuo 1 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

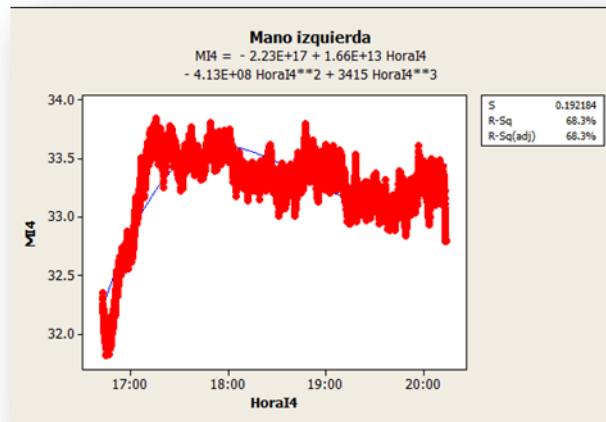
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 19 y 20 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

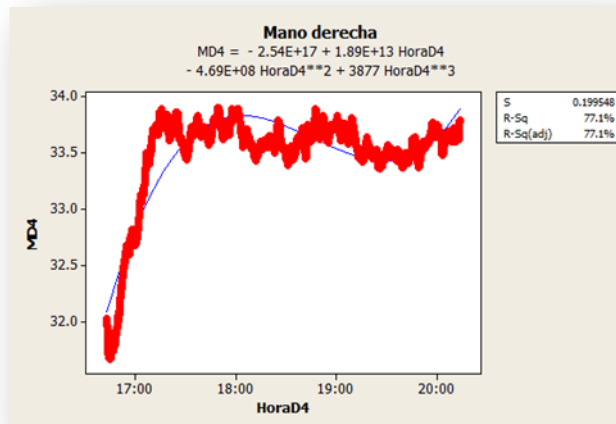
- De acuerdo a los porcentajes del estadístico de R^2 , podemos decir que para ambos casos los porcentajes son no significativos tal que el factor tiempo no puede expresar el total de la variabilidad explicada de la variable de respuesta

temperatura, teniendo que para la mano izquierda R^2 representa el 68,3 % y 77,1% para la mano derecha.

- Por otra parte afirmar hasta esta última prueba que los patrones de temperatura a lo largo de las pruebas tendió a ser muy similar en ambas manos independientemente de la mano dominante del sujeto.
- De igual manera podemos decir que las temperaturas máximas fueron alcanzadas a las 17 h 15 min 33 y a las 17 h 49 min 24 registrando en el termógrafo temperaturas de 33.90 °C y 33.84 °C y transcurriendo 1 h 28 min 33 desde iniciada la prueba y un incremento en la temperatura de 1,548 °C para el caso de la mano izquierda y transcurriendo 1 h 6 min 24 desde iniciada la prueba y un incremento en la temperatura de 1,833 °C para el caso de la mano derecha. Con esto también puede destacarse que los periodos en los que se alcanzaron las temperaturas tienden a ser un poco similares y casi idénticas las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba. Problemas en espalda baja.



Gráfica 19. Individuo 1 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia

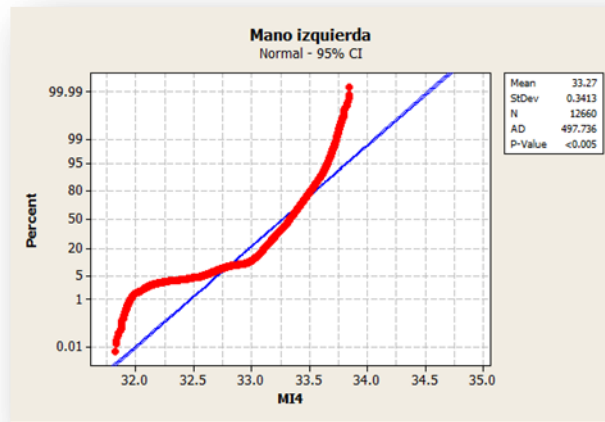


Gráfica 20. Individuo 1 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

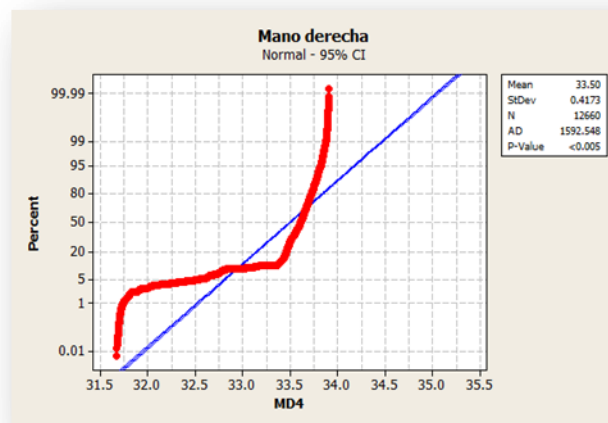
Pruebas de normalidad

Basándonos en las graficas 21 y 22 podemos mencionar que con un valor **p** menor a 0,005 los datos no siguen una distribución normal, y debemos de rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa de que los datos siguen otro tipo de distribución. Además podemos observar que el coeficiente de Anderson Darling se eleva bastante a 497,736 tomando en cuenta que si tenemos un valor aceptable en el valor **p** mayor al nivel de significancia de 0,05 entonces estaríamos aceptando la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal y el coeficiente Anderson Darling mostrará por default un valor muy pequeño.

Podemos apreciar que en ambas manos debe de rechazarse la hipótesis nula planteada, pero con la diferencia que en el valor de Anderson Darling de la mano derecha, es mucho mayor que el valor obtenido para la mano izquierda, lo cual indica además un ajuste mucho menor. Si el coeficiente Anderson Darling tiende a ser mucho mayor, tenemos que menor será el ajuste y por supuesto el valor **p** será menor al nivel de significancia que para este caso de la experimentación se estableció un valor de 0,05.

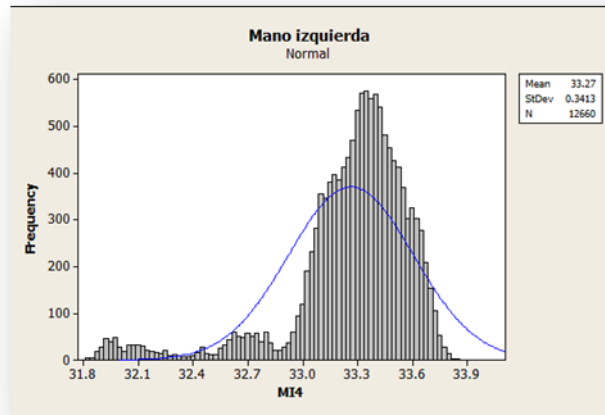


Gráfica 21. Individuo 1 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

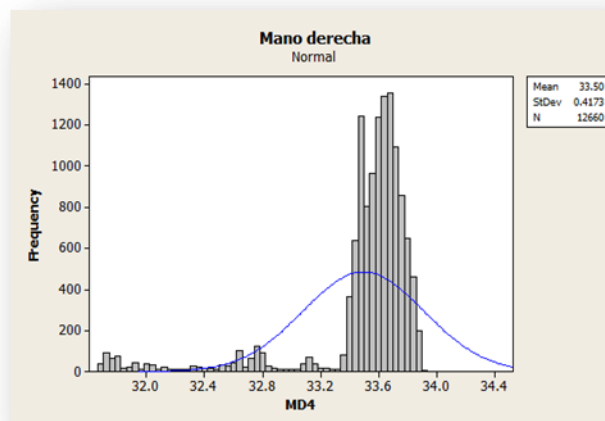


Gráfica 22. Individuo 1 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además por otra parte se muestran los respectivos histogramas que corroboran la información descrita en los párrafos anteriores. Las gráficas 23 y 24 muestran la información.



Gráfica 23. Histograma Individuo 1 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 24. Histograma Individuo 1 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestran las tablas 8, 9, 10 y 11 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 8. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1808.616	0.860
Lognormal	2752.228	0.742
Exponential	13533.230	*
Loglogistic	2669.058	0.753
3-Parameter Weibull	1738.011	0.865
3-Parameter Lognormal	2672.660	0.750
2-Parameter Exponential	9503.057	*
3-Parameter Loglogistic	2596.002	0.760
Smallest Extreme Value	1737.867	0.865
Normal	2672.524	0.750
Logistic	2595.889	0.760

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 9. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	197.655	0.971
Lognormal	643.548	0.917
Exponential	14209.279	*
Loglogistic	612.514	0.914
3-Parameter Weibull	188.531	0.972
3-Parameter Lognormal	628.555	0.919
2-Parameter Exponential	7290.377	*
3-Parameter Loglogistic	599.428	0.915
Smallest Extreme Value	188.516	0.972
Normal	628.548	0.919
Logistic	599.423	0.915

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 10. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	499.623	0.953
Lognormal	42.347	0.993
Exponential	14238.105	*
Loglogistic	82.377	0.982
3-Parameter Weibull	36.861	0.996
3-Parameter Lognormal	37.751	0.994
2-Parameter Exponential	3983.117	*
3-Parameter Loglogistic	75.364	0.982
Smallest Extreme Value	513.010	0.952
Normal	43.438	0.993
Logistic	83.622	0.981

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 11. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano izquierda prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	130.542	0.971
Lognormal	469.197	0.911
Exponential	14179.222	*
Loglogistic	375.374	0.918
3-Parameter Weibull	120.024	0.973
3-Parameter Lognormal	450.628	0.914
2-Parameter Exponential	8636.086	*
3-Parameter Loglogistic	359.055	0.921
Smallest Extreme Value	120.003	0.973
Normal	450.601	0.914
Logistic	359.041	0.921

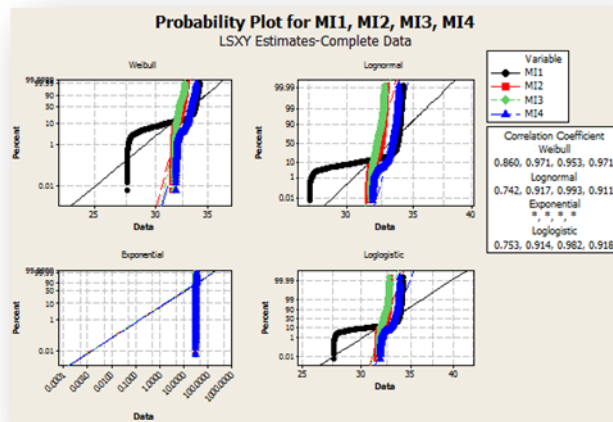
Fuente: Propia

Respecto a las tablas anteriores de las pruebas hechas sobre la muñeca de la mano izquierda podemos decir:

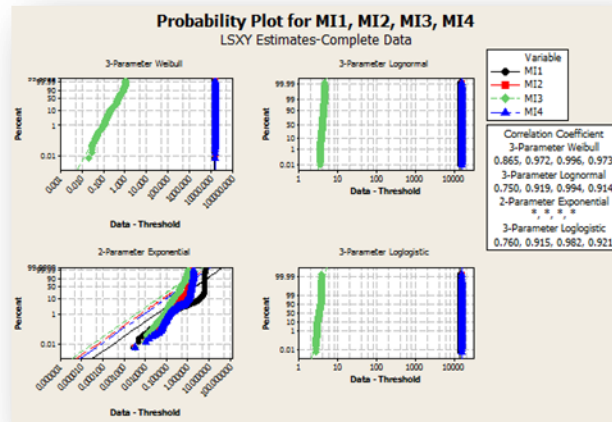
- Para la prueba 1 se puede decir que los mejores ajustes se dan para las distribuciones Weibull y 3 parámetros Weibull con coeficientes de correlación de 86% y 86,5% respectivamente y con el estadístico Anderson Darling representando un valor de 1 808,616 y 1 738,011 respectivamente. Podemos apreciar también que otra distribución que ajusta de acuerdo al coeficiente de correlación bastante bien los datos en esta prueba 1 es la del valor extremo más pequeño.
- Para la prueba 2 podemos mencionar que las mejores distribuciones son la Weibull, 3 parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño con coeficientes de correlación de 97,1%, 97,2% y de 97,2% respectivamente. Por otro lado se presentan valores para el estadístico AD de 197,655, 188,531 y de 188,516 respectivamente por lo que se puede decir que de todas las distribuciones antes mencionadas y tomando en cuenta que se decidiera por una en particular para la representación del ajuste de los datos el coeficiente AD sería un criterio de desempate por lo que ligeramente la distribución del valor extremo más pequeño sería la elegida, pero por experiencia en esta experimentación y dado que la distribución Weibull ha sido una de las más repetidas y con porcentajes altos en el coeficiente de correlación el tomar esta

como definitiva al final como punto de vista del investigador también sería una buena toma de decisión.

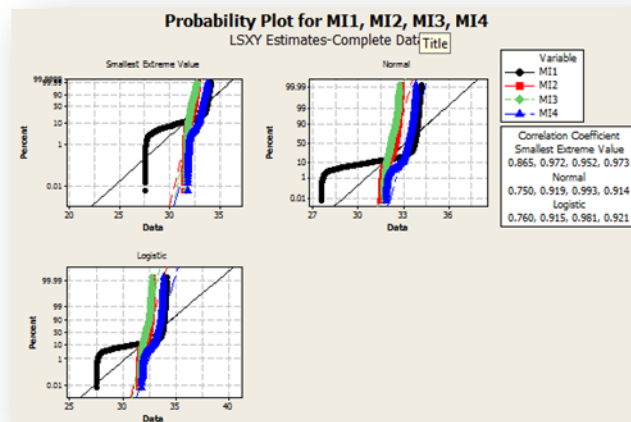
- Para la prueba 3 se puede observar que la distribución de 3 parámetros Weibull cuenta con el coeficiente de correlación más alto con un 99.6% y un valor en el estadístico AD de 36,861 (ajustado), un valor pequeño lo cual hemos podido ver viendo desde la parte de las pruebas de normalidad y los histogramas. Además la distribución de 3 parámetros lognormal también presenta un elevado coeficiente de correlación de 99,4% y un valor en el estadístico AD de 37,751.
- Para la prueba 4 vuelve a repetirse la tendencia en las pruebas 1 y 2 donde la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull y la de valor extremo más pequeño presentan los mejores coeficientes de correlación con un 97,1%, 97,3% y un 97,3% respectivamente y valores en los estadísticos de AD de 130,542, 120,024 y de 120,03. Dado que los coeficientes de correlación son altos y los valores en los estadísticos AD son muy cercanos uno de otro, y tomando en cuenta la misma reflexión para la toma de decisiones que en la prueba 2, la distribución Weibull podría ser una buena opción para representar el ajuste de los datos. Por otro lado a continuación se presentan las graficas 25, 26 y 27 que corroboran la información presentada en las tablas anteriores.



Gráfica 25. Mejores ajustes de distribuciones individuo1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 26. Mejores de distribuciones individuo1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 27. Mejores distribuciones individuo 1 mano izquierda
Fuente: Propia

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestran las tablas 12, 13, 14 y 15 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 12. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1260.703	0.913
Lognormal	1995.439	0.829
Exponential	13446.464	*
Loglogistic	2071.569	0.824
3-Parameter Weibull	1226.004	0.915
3-Parameter Lognormal	1949.157	0.834
2-Parameter Exponential	7340.319	*
3-Parameter Loglogistic	2033.314	0.828
Smallest Extreme Value	1225.962	0.915
Normal	1949.076	0.834
Logistic	2033.247	0.828

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 13. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	85.127	0.982
Lognormal	435.424	0.940
Exponential	14180.939	*
Loglogistic	417.653	0.936
3-Parameter Weibull	78.653	0.983
3-Parameter Lognormal	421.826	0.941
2-Parameter Exponential	6794.493	*
3-Parameter Loglogistic	405.557	0.938
Smallest Extreme Value	78.641	0.983
Normal	421.801	0.941
Logistic	405.537	0.938

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 14. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	278.079	0.968
Lognormal	12.379	0.998
Exponential	14213.790	*
Loglogistic	20.892	0.993
3-Parameter Weibull	17.594	0.997
3-Parameter Lognormal	12.198	0.998
2-Parameter Exponential	4774.073	*
3-Parameter Loglogistic	20.790	0.993
Smallest Extreme Value	289.845	0.966
Normal	12.195	0.998
Logistic	20.790	0.993

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 15. Distribuciones de probabilidad individuo1 mano derecha prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	934.409	0.893
Lognormal	1658.103	0.790
Exponential	14180.712	*
Loglogistic	1497.068	0.805
3-Parameter Weibull	903.173	0.896
3-Parameter Lognormal	1620.917	0.795
2-Parameter Exponential	9651.191	*
3-Parameter Loglogistic	1460.571	0.808
Smallest Extreme Value	903.110	0.896
Normal	1620.875	0.795
Logistic	1460.557	0.808

Fuente: Propia

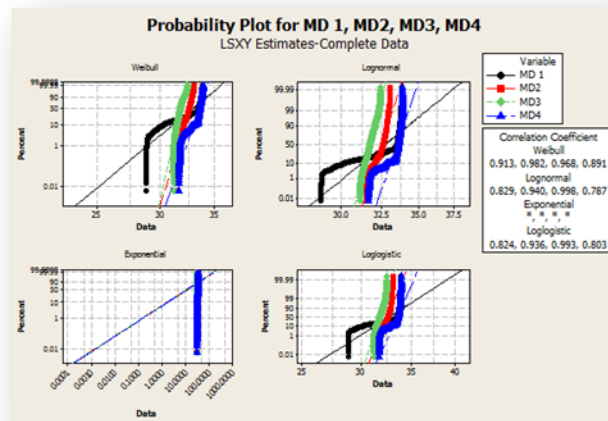
Respecto a las tablas presentadas anteriormente podemos establecer lo siguiente:

- Para la prueba 1 las distribuciones que mejor se ajustan son la distribución Weibull, la de 3 parámetros Weibull y la del 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.
- Para la prueba 2 las mejores distribuciones fueron al distribución las mismas que descritas en la prueba 1 pero con valores en los coeficientes de correlación de 98,2% y de 98,3% respectivamente, incrementando para esta prueba con respecto a la prueba 1. Además los valores de AD fueron de 85,127; 78,653 y de 78,641 respectivamente.
- Para la prueba 3 las mejores distribuciones fueron la Lognormal, 3 parámetros Weibull y 3 parámetros lognormal con coeficientes de correlación muy cercanos al 100%, de 99,8%, 99,7% y 99,8% respectivamente. Además cabe destacarse que los valores del estadístico AD fueron muy pequeños comparados con los de las pruebas anteriores, esto fue de 12,374, 17,594 y de 12,198 respectivamente.
- Para la prueba 4 vuelve a repetirse la tendencia donde la distribución Weibull, la 3 parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño mostraron los coeficientes de correlación más representativos con un 89,3% y 89,6%

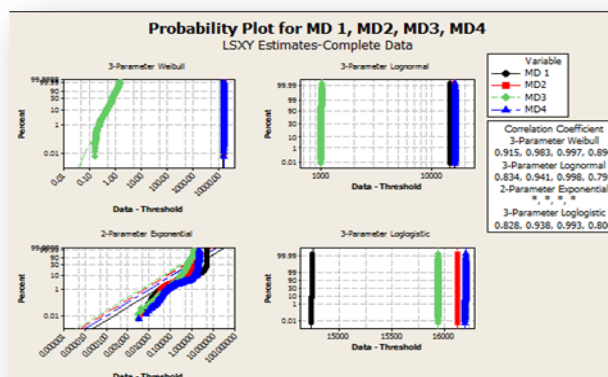
respectivamente, y con valores en los estadísticos de AD de 934,409; 903,173 y de 903,110.

- Podemos 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 del 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.

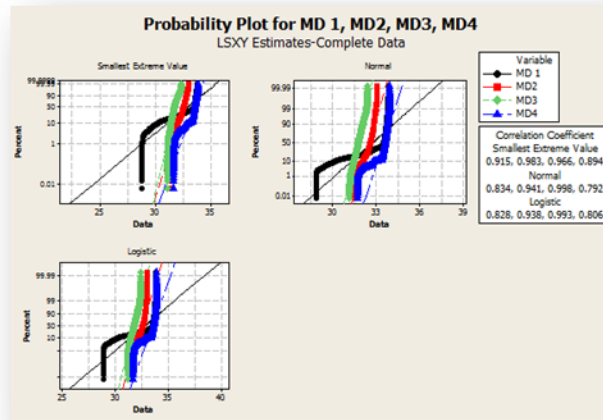
Las graficas 28, 29 y 30 mostradas a continuación muestran información que respalda lo anterior descrito en las tablas.



Gráfica 28. Mejores distribuciones individuo 1 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 29. Mejores distribuciones individuo 1 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 30. Mejores distribuciones individuo 1 mano derecha
Fuente: Propia

4.1.2 Individuo 2

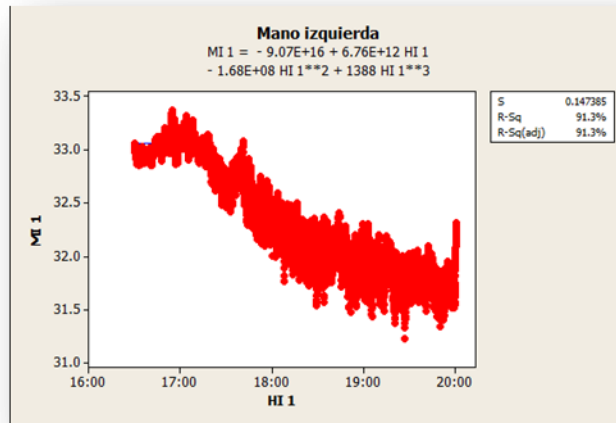
Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

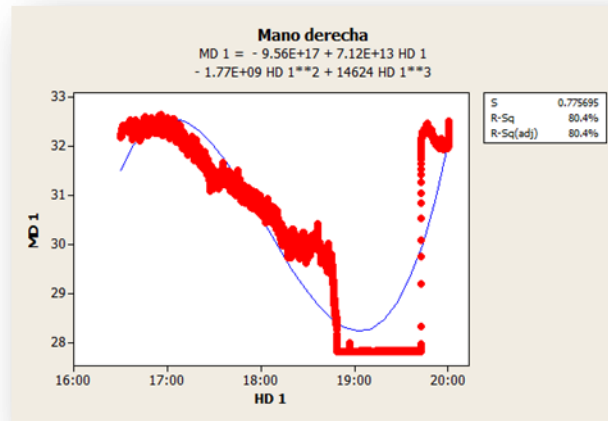
Tomando en cuenta las gráficas 31 y 32 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- De acuerdo a los porcentajes del estadístico de R^2 , debemos decir que para ambos casos los porcentajes son significativos tal que el factor tiempo puede expresar el total de la variabilidad explicada de la variable de respuesta temperatura, teniendo que para la mano izquierda R^2 representa el 91,3 % y 80,4% para la mano derecha. Por otro lado podemos decir que los patrones de temperatura tienden a ser un poco diferentes en esta prueba visualizando una posible similitud al inicio del comportamiento de cada mano pero difiriendo al final.
- Para esta primera prueba las temperaturas máximas alcanzadas fueron a las 16 h 54 min 40 y transcurriendo 24 min 40 desde iniciada la prueba y un incremento en la temperatura de 0,317 °C para el caso de la mano izquierda y a las 16 h 55 min 56 y transcurriendo 25 min 56 desde iniciada la prueba y un incremento en la temperatura de 0,412 °C para el caso de la mano derecha, en tiempos prácticamente muy similares con valores de 33,366 °C para la mano izquierda y

de 32,647 para la mano derecha respectivamente. Cabe mencionar que durante la realización de esta prueba el operador no mostró señales de presentar alguna anomalía como en las pruebas anteriores con el individuo 1 como dolores de espalda e hinchazón de dedos.



Gráfica 31 Individuo 2 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



Gráfica 32. Individuo 2 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

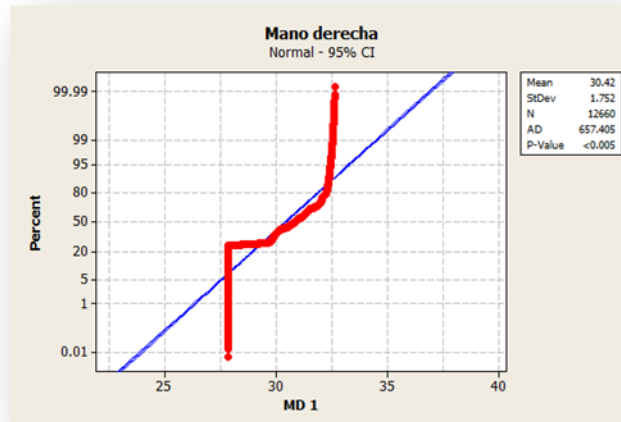
Prueba de normalidad

Las graficas 33 y 34 mostradas a continuación muestran prueba de que los datos presentados en las graficas de ajuste de curvas no siguen una distribución normal ya que el valor **p** es menor a 0,005 como lo marcan los resultados y por lo cual para aceptarse la hipótesis de que los datos siguieran una distribución normal, el valor de **p** arrojado debería de ser mayor a el nivel de significancia de 0,05 que es el manejado en el análisis de los datos. Además otro indicador importante es el estadístico Anderson Darling el cual indica un valor de 346,944, lo cual hace asumir que en el histograma tendremos un gran número de datos que no se ajustan a la curva normal. Todo lo anterior para la mano izquierda.

Ahora con respecto a la mano derecha tenemos la misma situación de rechazo de una distribución normal para los datos pero con la diferencia de que aquí el estadístico AD arroja un valor de 657,405.

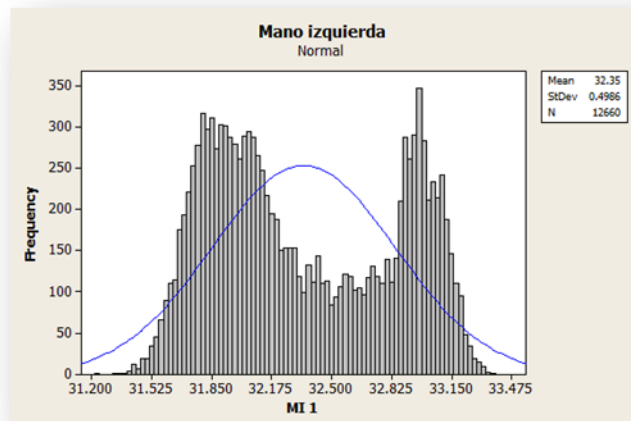


Gráfica 33. Individuo 2 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

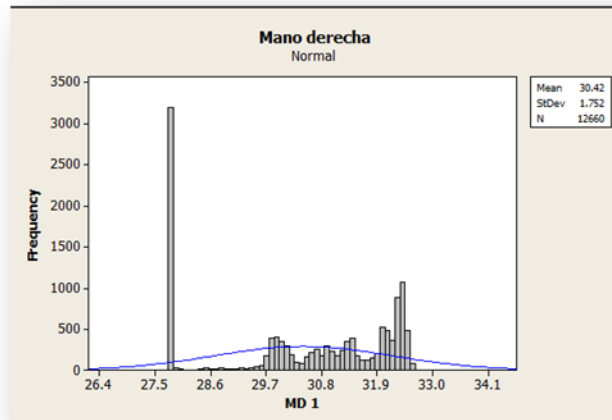


Gráfica 34. Individuo 2 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

En seguida se presentan las gráficas 35 y 36 de los histogramas respectivos de ambas manos que respaldan la información descrita en las pruebas de normalidad.



Gráfica 35. Histograma Individuo 2 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



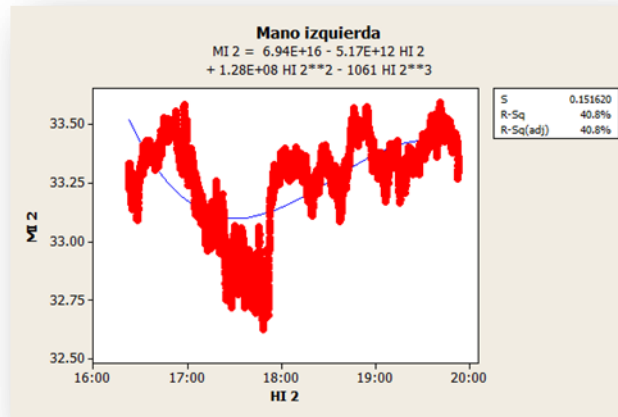
Gráfica 36. Histograma Individuo 2 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 2

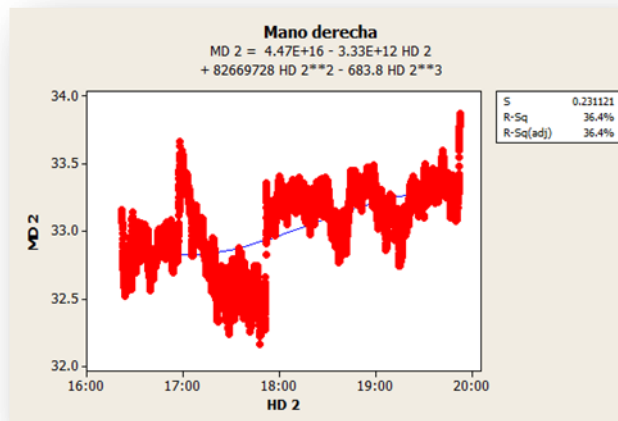
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Para esta prueba las graficas 37 y 38 en particular indican que se puede observar que los patrones de temperatura tienden a ser similares en su comportamiento, más no fue posible un ajuste de curvas de tercer orden con el fin de obtener un modelo representado por una ecuación de tercer grado que explicara el comportamiento de las temperaturas obtenidos durante esta prueba. El ajuste no fue posible ya que el estadístico R^2 para la mano izquierda represento un 40,8% y para la mano derecha un 36,4% respectivamente. Ahora las temperaturas máximas alcanzadas ocurrieron a las 19 h 41 min 10 para la mano izquierda transcurriendo 3 h 19 min 10 desde iniciada la prueba, y a las 19 h 52 min 59 para la mano derecha transcurriendo 3 h 30 min 59 desde iniciada la prueba, casi al final de la prueba. Las temperaturas alcanzadas en dichos horarios fue de 33.593 °C y de 33.86 °C pudiendo considerarse temperaturas similares en tiempos similares de obtención y teniendo incrementos de temperatura de 0,334 °C para la mano izquierda y de 0,777 °C para la derecha desde iniciada la prueba hasta el alcance del punto máximo.

Por otro lado el operador hizo mención de haber sentido molestias en el área de la espalda casi a los $\frac{3}{4}$ de tiempo de la prueba, sintiendo esta como su primer y única anomalía en la prueba aproximadamente a las 18 h 42 min 06.



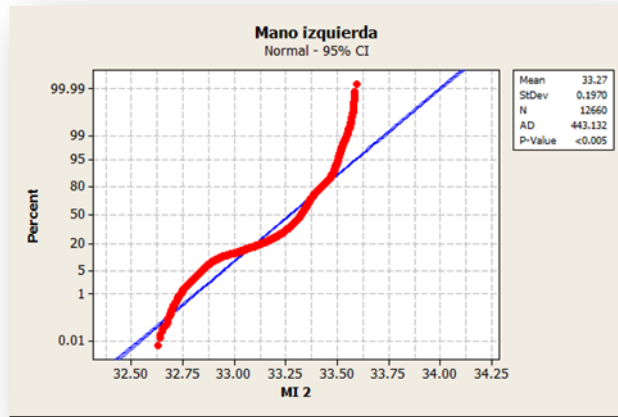
Gráfica 37. Individuo 2 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



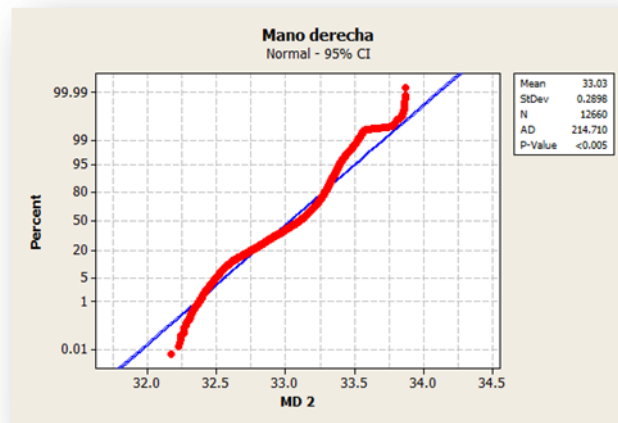
Gráfica 38. Individuo 2 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En ambas graficas 39 y 40 para este caso podemos afirmar que como el valor **p** es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 443,132 para el caso de la mano izquierda y de 214,710 para la mano derecha.

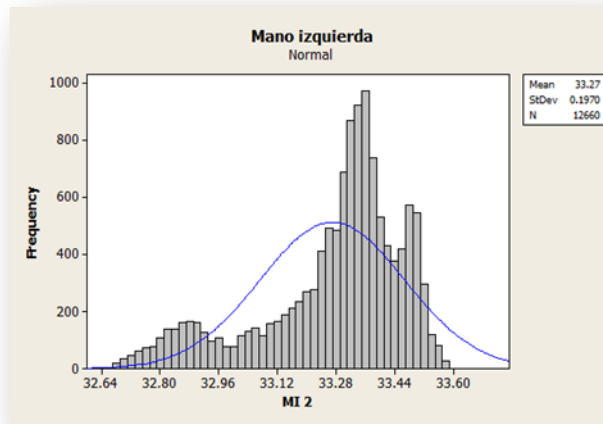


Gráfica 39. Individuo 2 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

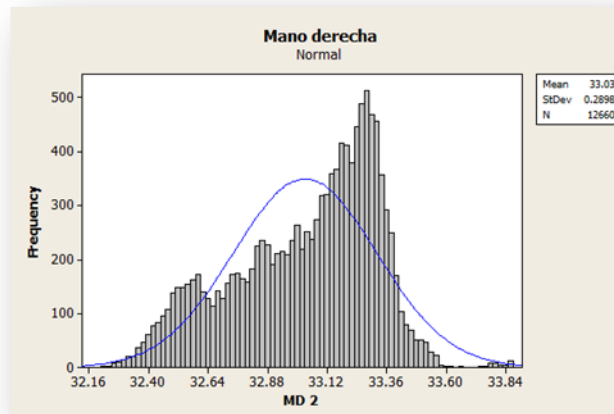


Gráfica 40. Individuo 2 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además los histogramas mostrados a continuación en las graficas 41 y 42 respaldan la información arrojada por la prueba de normalidad Anderson Darling.



Gráfica 41. Histograma Individuo 2 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 42. Histograma Individuo 2 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

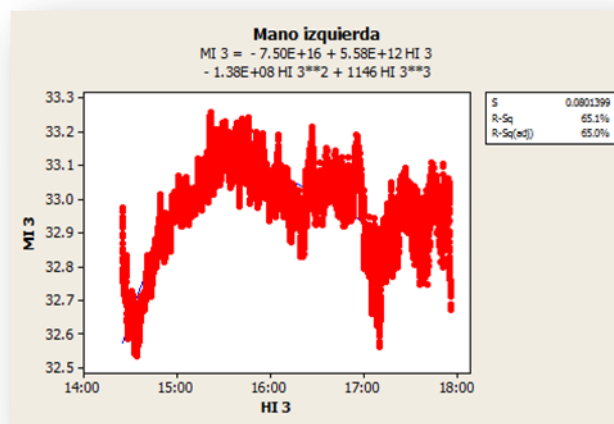
Prueba 3

Patrones de temperatura y ajuste de curva

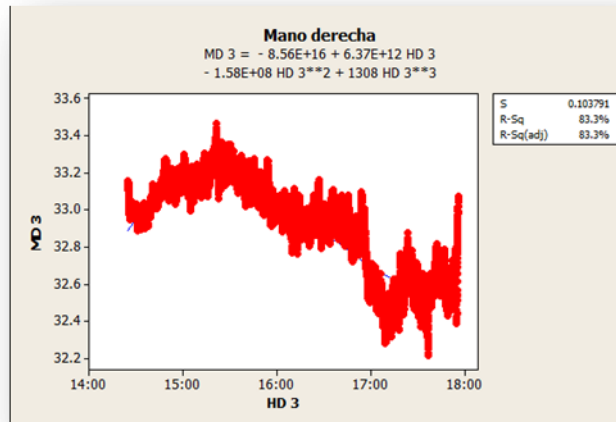
Para el caso de las graficas 43 y 44 podemos mencionar que existe un tanto de similitud en los patrones de las temperaturas, la diferencia principal radica en el hecho de que en la grafica de la mano derecha las temperaturas de inicio son mayores que las de la mano izquierda por lo que los picos de temperatura se hacen más pronunciados y por la variedad de la diversidad de las temperaturas al inicio en la mano izquierda. Para el caso de la mano izquierda claramente podemos observar que de acuerdo al estadístico R^2 que establece un 65,1% el modelo representado

por la ecuación de tercera orden propuesta no puede ser representativo del comportamiento de los datos observados. Sin embargo podemos mencionar que para el caso de la mano derecha si fue posible un ajuste de una curva de tercer orden teniendo como parámetro de aceptación que el estadístico R^2 toma un valor del 83,3%. Las temperaturas máximas alcanzadas en estos casos ocurrieron a las 15 h 21 min 27 y a las 15 h 21 min 22, tiempos cabe de destacarse prácticamente exactos, transcurriendo 56 min 27 para el caso de la mano izquierda y de 56 min 22 para la derecha desde el punto inicial de la prueba y teniendo aumentos en el momento de que las temperaturas máximas fueron alcanzadas de 0,289 °C y de 0,323 °C para mano izquierda y derecha respectivamente. Aunado a estos las temperaturas en dichos tiempos fueron de 33,259 °C y de 33,464 °C, temperaturas máximas también similares.

Pasadas casi 2 horas de iniciada la prueba a las 15 h 54 min 10 el operador hizo mención de haber sentido molestias de grado moderado en espalda, un dolor que ya desde la prueba 2 empezó a hacerse presente.



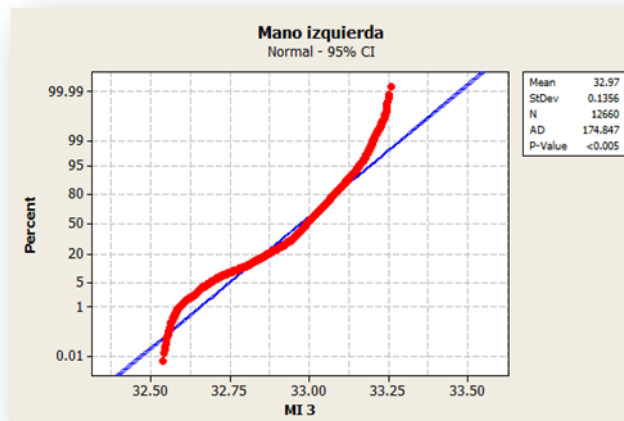
Gráfica 43. Individuo 2 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



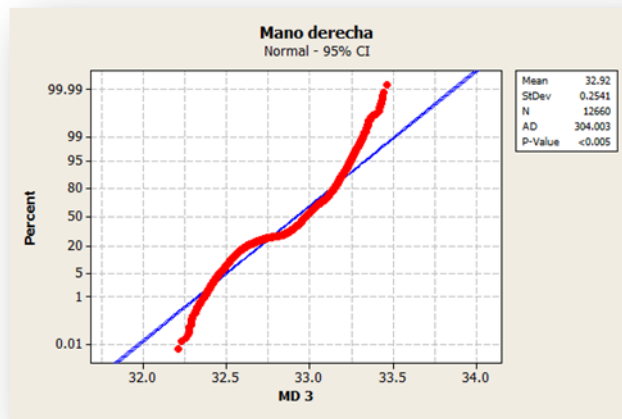
Gráfica 44. Individuo 2 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Para esta prueba de manera clara debemos también rechazar la hipótesis de que los datos se apegan a una distribución normal ya que el valor de **p** es menor a .005, para ambas manos y tomando en cuenta que el estadístico Anderson Darling proporciona valores altos en la prueba de normalidad de 174,847 para la mano izquierda y de 304,003 para la mano derecha. Las gráficas 45 y 46 respaldan lo anterior.

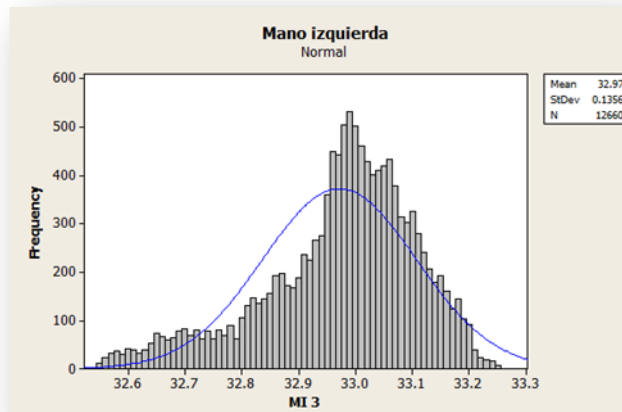


Gráfica 45. Individuo 2 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

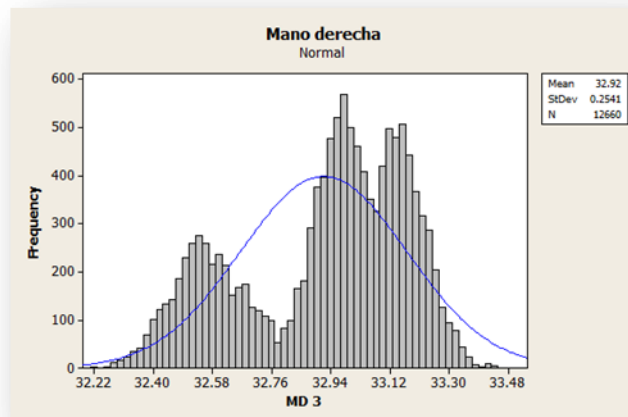


Gráfica 46. Individuo 2 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además las graficas 47 y 48 que se muestran de los histogramas de ambas manos validan la información presentada por las pruebas de normalidad Anderson Darling.



Gráfica 47. Histograma Individuo 2 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 48. Histograma Individuo 2 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

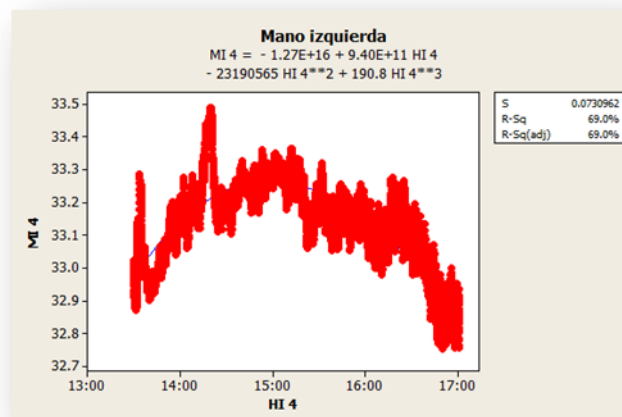
Prueba 4

Patrones de temperatura y ajuste de curva

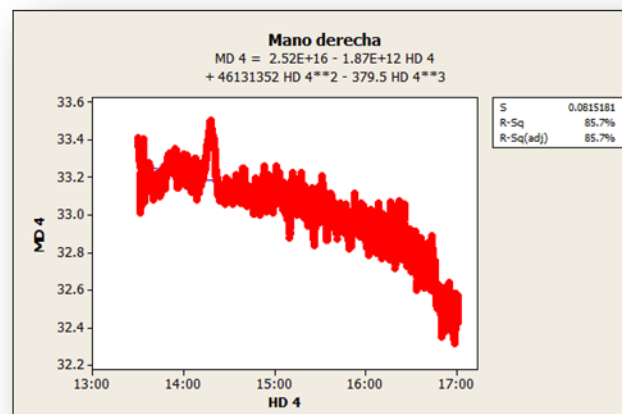
Tomando en cuenta las graficas 49 y 50 podemos ver que existe una similitud importante en los patrones de las temperaturas. Podemos observar como en la grafica de la mano derecha el comportamiento de las temperaturas al inicio d la prueba es muy similar pero con la diferencia que en la mano derecha las temperaturas iniciales son más elevadas en las de la mano izquierda. Para mano izquierda podemos decir que el ajuste a la curva de tercer orden de los datos no fue posible con efectividad, ya que el porcentaje del estadístico R^2 fue del 69%, más sin embargo para la mano derecha podemos mencionar que el ajuste si fue posible a una curva de tercer orden con un R^2 de 85,7%.

Las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba ocurrieron a las 14 h 19 min y a las 14 h 17 min 54 teniendo temperaturas de 33,491 °C y de 33,505 °C y transcurriendo 49 min 30 desde iniciada la prueba hasta el alcance de la temperatura máxima para la mano izquierda y °C y transcurriendo 47 min 54 desde iniciada la prueba hasta el alcance de la temperatura máxima para la mano derecha, además registrándose un incremento de las temperaturas de 0,505 °C y de 0,129 °C para la mano izquierda y derecha respectivamente. .De esta manera podemos decir que los momento coinciden en un gran porcentaje y que además las

temperaturas desarrolladas por el individuo en ese momento dado fueron prácticamente iguales. Pasadas casi 2 horas de iniciada la prueba a las 15 h 24 min 10 el operador hizo mención de haber sentido molestias de grado moderado en espalda, un dolor que ya desde la pruebas anteriores empezó a hacerse presente.



Gráfica 49. Individuo 2 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia

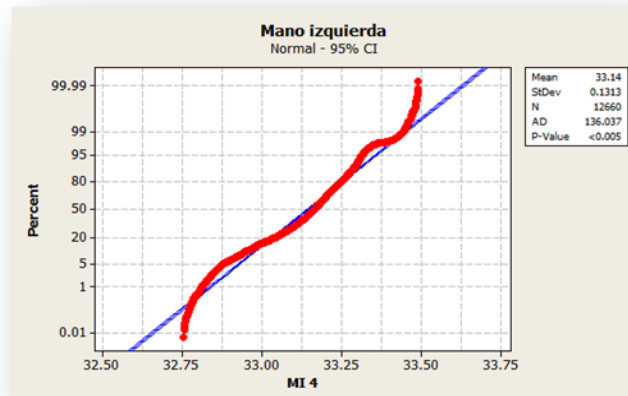


Gráfica 50. Individuo 2 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

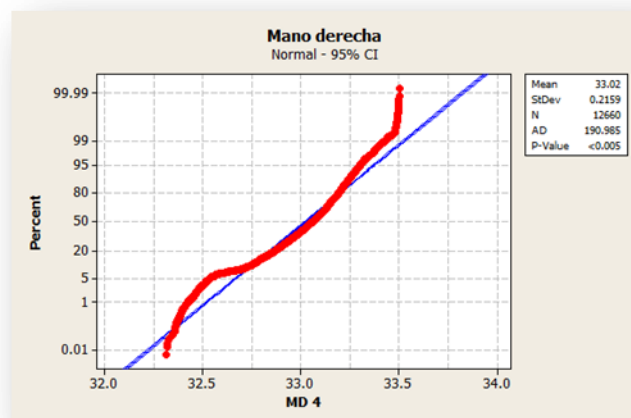
Prueba de normalidad

Para la prueba de normalidad en este caso llevada a cabo de Anderson Darling y tomando en cuenta los resultados de dichas pruebas de las graficas podemos

afirmar que para este caso teniendo un valor p inferior al nivel de significancia de 0,05, debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Esto para ambas muñecas (manos). Los valores del estadístico de AD fueron de 136,037 y de 190,965 respectivamente. Las gráficas 51 y 52 muestran la información.

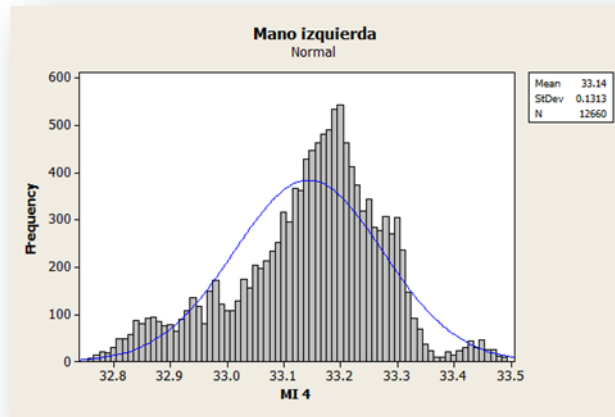


Gráfica 51. Individuo 2 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

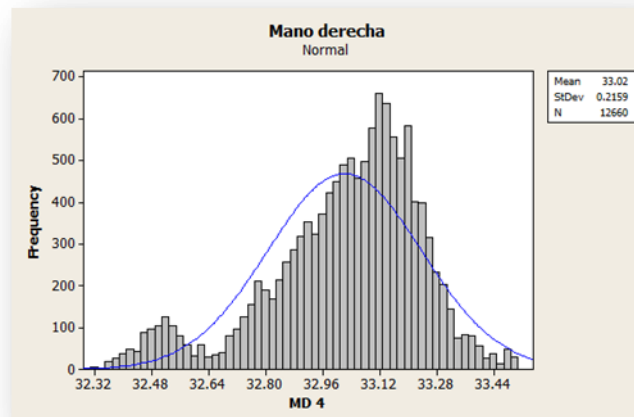


Gráfica 52. Individuo 2 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

Por otra parte se muestran las gráficas 53 y 54 con los histogramas respectivos de mano izquierda y de mano derecha con el fin de mostrar evidencia descriptiva de que los datos no se asemejan a una distribución normal.



Gráfica 53. Histograma Individuo 2 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 54. Histograma Individuo 2 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

Para este caso se prosiguió al análisis del tipo de distribución que se ajustaba a los datos, obteniendo entonces las tablas 16, 17, 18 y 19 que se muestran en seguida con la información relevante de cada distribución para las pruebas de la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 16. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1270.228	0.910
Lognormal	396.635	0.963
Exponential	13940.090	*
Loglogistic	630.590	0.940
3-Parameter Weibull	448.960	0.968
3-Parameter Lognormal	252.769	0.972
2-Parameter Exponential	3800.070	*
3-Parameter Loglogistic	400.161	0.955
Smallest Extreme Value	1298.653	0.908
Normal	403.231	0.962
Logistic	638.032	0.940

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 17. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	109.546	0.979
Lognormal	473.321	0.947
Exponential	14292.287	*
Loglogistic	482.914	0.940
3-Parameter Weibull	106.401	0.979
3-Parameter Lognormal	465.213	0.948
2-Parameter Exponential	6844.738	*
3-Parameter Loglogistic	475.292	0.941
Smallest Extreme Value	106.396	0.979
Normal	465.197	0.948
Logistic	475.278	0.941

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 18. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	19.824	0.991
Lognormal	179.605	0.976
Exponential	14342.168	*
Loglogistic	176.354	0.971
3-Parameter Weibull	21.832	0.992
3-Parameter Lognormal	175.758	0.976
2-Parameter Exponential	6449.665	*
3-Parameter Loglogistic	172.894	0.971
Smallest Extreme Value	20.416	0.990
Normal	175.751	0.976
Logistic	172.889	0.971

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 19. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano izquierda prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	44.324	0.984
Lognormal	139.451	0.985
Exponential	14343.433	*
Loglogistic	139.534	0.981
3-Parameter Weibull	51.561	0.990
3-Parameter Lognormal	136.429	0.985
2-Parameter Exponential	5853.193	*
3-Parameter Loglogistic	136.596	0.982
Smallest Extreme Value	45.670	0.983
Normal	136.423	0.985
Logistic	136.591	0.982

Fuente: Propia

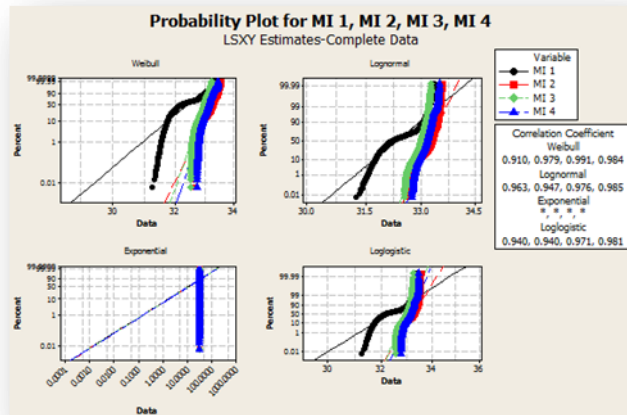
De acuerdo a las tablas anteriores podemos hacer mención de las siguientes aportaciones:

- Para la prueba 1 tenemos que las mejores distribuciones de acuerdo a los coeficientes de correlación arrojados por el software tenemos a la distribución Lognormal, 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal con coeficientes de correlación de 96,3%, 96,8% y 97,2% respectivamente, además los valores de los estadísticos ajustados de Anderson Darling fueron 396,635, 448,960 y de 252,769. En este caso y tomando en cuenta estos dos elementos podemos apreciar que la mejor distribución para este caso sería la de 3 parámetros lognormal y con el menor valor en la prueba de estadístico ajustado Anderson Darling.
- Para las pruebas 2, 3 y 4 hay un recurrente importante. En todas y cada una de ellas por en las pruebas desarrolladas con el otro individuo las distribuciones de Weibull, 3 parámetros Weibull y la de valor extremo más pequeño son las que presentan los mejores ajustes de acuerdo al coeficiente de correlación en cada una de ellas y tomando en cuenta el valor del estadístico AD. Para la prueba 2 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 97,9% para todas las distribuciones, sin embargo los valores de AD fueron de 109,546, 106,401 y de 106,396 respectivamente. Tendríamos entonces si fuera nuestra restricción elegir a una sola distribución para su aplicación elegir la que contuviera el menor valor en el estadístico de AD, para este caso la del valor extremo más pequeño.

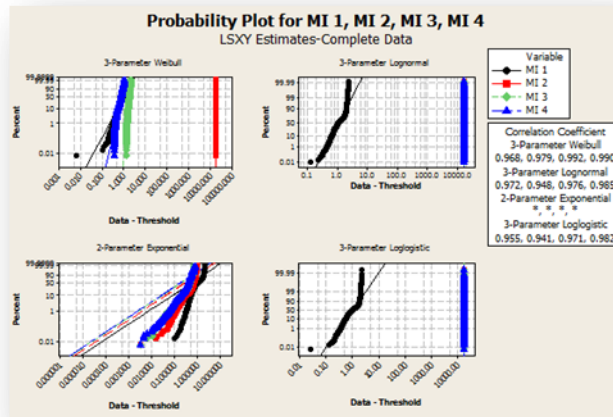
Por otro lado de manera alternativa hemos comentado que si una distribución se ajusta lo bastante correcto en la mayoría de las pruebas siendo un común denominador en cada una de ellas, podríamos tomar esta como otra opción importante, es decir, elegir una en la que para este tipo de experimentación fuera lo bastante representativa como para hacer posibles pruebas de inferencias en comportamientos futuros.

- Para la prueba 3 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 99,1%, 99,2% y de 99%, valores bastante altos. Por otra parte los estadísticos de AD arrojaron valores muy pequeños que es lo deseable. Los valores fueron 19,824, 20,832 y 20,416 respectivamente.
- Para la prueba 4 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 98,4%, 99% y de 99,3%, valores altos. Por otra parte los estadísticos de AD arrojaron valores pequeños que es lo deseable. Los valores fueron 44,324, 51,561 y 45,670 respectivamente.

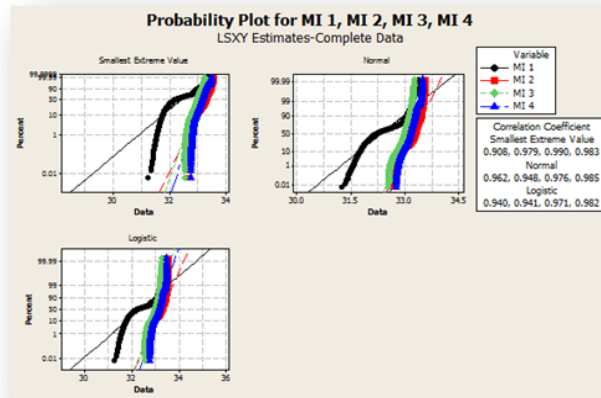
A continuación se muestran las gráficas 55, 56 y 57 para la mano izquierda que respaldan la información antes descrita en los bullets.



Gráfica 55. Mejores distribuciones individuo 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 56. Mejores distribuciones individuo 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 57. Mejores distribuciones individuo 2 mano izquierda
Fuente: Propia

A continuación se muestran los ajustes a las distribuciones de la mano derecha en las tablas 20, 21, 22 y 23:

Prueba 1

Tabla 20. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	803.326	0.902
Lognormal	885.898	0.918
Exponential	12688.973	*
Loglogistic	1115.388	0.889
3-Parameter Weibull	806.684	0.903
3-Parameter Lognormal	829.121	0.921
2-Parameter Exponential	4212.437	*
3-Parameter Loglogistic	1059.629	0.893
Smallest Extreme Value	806.706	0.903
Normal	829.022	0.921
Logistic	1059.543	0.893

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 21. Distribuciones de probabilidad individuo2 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	115.846	0.975
Lognormal	235.227	0.977
Exponential	14182.986	*
Loglogistic	329.705	0.966
3-Parameter Weibull	193.534	0.987
3-Parameter Lognormal	229.218	0.977
2-Parameter Exponential	5859.230	*
3-Parameter Loglogistic	324.030	0.966
Smallest Extreme Value	116.869	0.975
Normal	229.207	0.977
Logistic	324.019	0.966

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 22. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	163.513	0.967
Lognormal	339.851	0.967
Exponential	14221.446	*
Loglogistic	453.090	0.952
3-Parameter Weibull	313.844	0.978
3-Parameter Lognormal	333.267	0.968
2-Parameter Exponential	5478.235	*
3-Parameter Loglogistic	446.341	0.953
Smallest Extreme Value	163.658	0.967
Normal	333.254	0.968
Logistic	446.328	0.953

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 23. Distribuciones de probabilidad individuo 2 mano derecha prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	14.467	0.990
Lognormal	197.017	0.973
Exponential	14263.043	*
Loglogistic	187.760	0.970
3-Parameter Weibull	19.275	0.990
3-Parameter Lognormal	190.604	0.974
2-Parameter Exponential	6609.546	*
3-Parameter Loglogistic	182.148	0.971
Smallest Extreme Value	14.451	0.989
Normal	190.593	0.974
Logistic	182.139	0.971

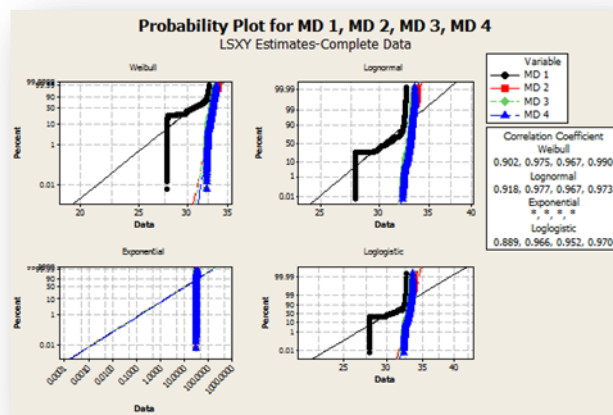
Fuente: Propia

De acuerdo a las tablas anteriores podemos hacer las siguientes aportaciones respecto a los datos presentados:

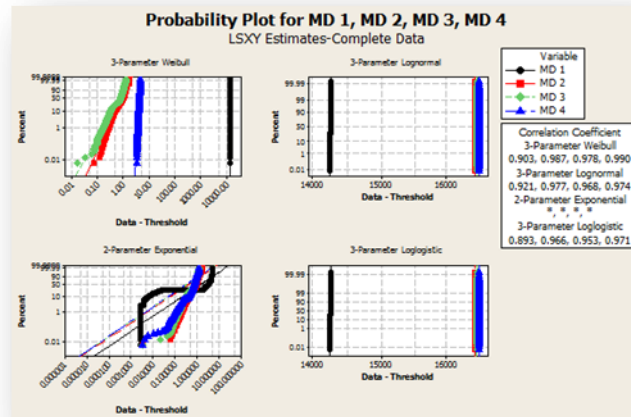
- Para todas y cada una de las pruebas se tiene que el recurrente en las distribuciones que mejores coeficientes de correlación presentan y mejores valores en los estadísticos Anderson Darling (ajustados) son la Weibull, los 3 parámetros Weibull y la de valor extremo más pequeño y para este caso no fue la excepción. Para la prueba 1 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 90,2% y 90,3% respectivamente y con valores en el estadístico AD de 803,326, 806,684, 806,706. Cabe mencionar que otras distribuciones presentadas también muestran un buen ajuste como la distribución lognormal, pero estamos tomando en cuenta también el valor del estadístico AD. Un punto importante es que podemos tener un coeficiente de correlación en una distribución de una lista de distribuciones bastante alto, pero también debemos visualizar el valor del estadístico de AD con el fin de lograr una buena elección de la distribución que sea mayormente representativa, pero es y será a criterio del propio investigador a la hora de hacer la toma de decisiones.
- Para la prueba 2 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 97,5%, 98,7% y 97,5% respectivamente, y los valores del estadístico de AD fueron de 115,846, 193,534, 116,869.

- Para la prueba 3 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 96,7%, 97,8% y 96,6% respectivamente, y los valores del estadístico de AD fueron de 163,513, 313,844, 163,638.
- Para la prueba 4 los valores de los coeficientes de correlación fueron de 99%, 995 y 98,9% respectivamente, y los valores del estadístico de AD fueron de 14,467, 19,275, 14,451. Para esta prueba podemos ver como se reducen notablemente los valores del estadístico Anderson Darling y se mejora el ajuste en el coeficiente de correlación hasta 99% para las 3 distribuciones mencionadas anteriormente, Weibull, 3 parámetros Weibull y valor extremo más pequeño.

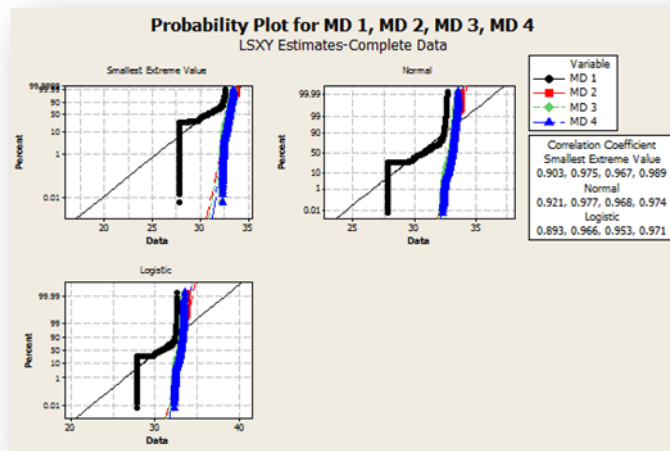
A continuación se muestran las gráficas 58, 59 y 60 para la mano derecha que respaldan la información antes descrita en los bullets.



Gráfica 58. Mejores distribuciones individuo 2 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 59. Mejores distribuciones individuo 2 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 60. Mejores distribuciones individuo 2 mano derecha
Fuente: Propia

4.1.3 Individuo 3

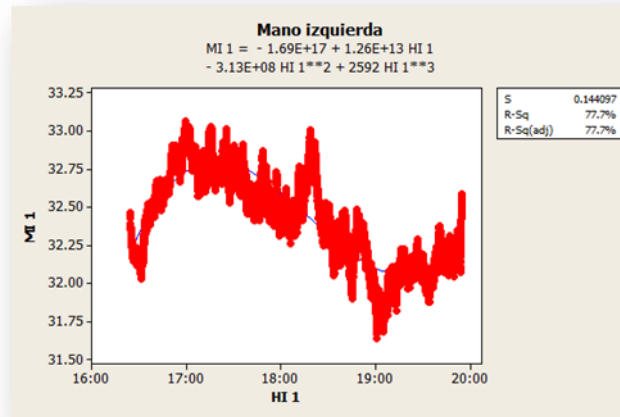
Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

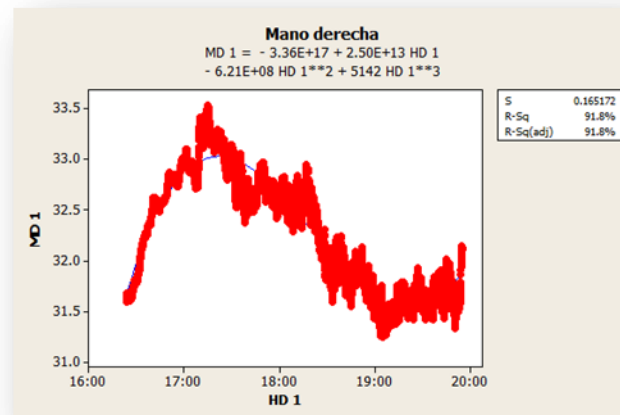
Tomando en cuenta las gráficas 61 y 62 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

Sólo en uno de los dos casos de análisis puede decirse que fue posible un ajuste de un polinomio de tercer orden, con esto hacemos alusión al análisis desarrollado en la mano derecha. Esto es porque el estadístico R^2 para el caso de la mano izquierda fue de 77,7% y para la mano derecha de 91,8%. Algunos investigadores reportan incluso por encima del 70% como válido pero para fines de esta tesis implicaremos como mínimo un 80% de aceptación para ser tomado en cuenta como un modelo de alto potencial de representación de acuerdo a la variable regresora que en este caso se está manejando que es el tiempo. Podemos evidenciar además con este análisis que los patrones de temperatura en ambas muñecas de las manos son muy similares tanto en los incrementos como en los decrementos. Cabe mencionar que con este tercer individuo analizado (todos varones) en la mayoría de los casos se han repetido los patrones de temperatura y también en su mayoría se han podido realizar ajustes de curvas de tercer orden.

- Con respecto a las temperaturas máximas alcanzadas podemos mencionar que estas ocurrieron a las 16 h 59 min 10 y a las 17 h 14 min 47 y alcanzando temperaturas de 33,065 °C y de 33,543 °C en mano izquierda y mano derecha respectivamente. Transcurriendo 25 min 10 y 54 min 47 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,628 °C y de 1,943 °C.
- Por otra parte las anomalías presentadas por el individuo recaen básicamente en dolores de espalda baja y alta al inicio y al final de la prueba, exactamente a la hora de iniciada la prueba y aproximadamente 10 minutos antes de finalizada la misma.



Gráfica 61. Individuo 3 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



Gráfica 62. Individuo 3 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Observando el comportamiento de los datos (temperaturas) podíamos asumir que la prueba de normalidad nos arrojaría información que reflejaría con claridad lo que ya sabemos, que los datos no siguen una distribución normal para lo cual debíamos de buscar el mejor ajuste de la distribución. La prueba Anderson Darling para la mano izquierda y mano derecha proporcionaron estadísticos de AD con valores de 79.098 y de 331.80 respectivamente, ambos con un valor de **p** menor a .005, obviamente no mayor al nivel de significancia establecido para no rechazar la hipótesis de que los

datos siguen una distribución normal. Las graficas 63 y 64 que se presentan a continuación respaldan esta información.

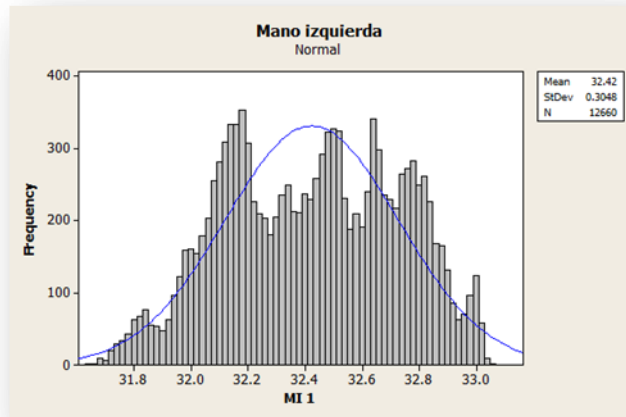


Gráfica 63. Individuo 3 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

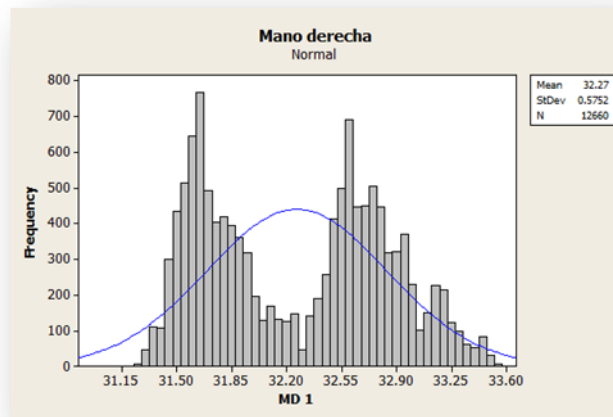


Gráfica 64. Individuo 3 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Por otra parte a continuación se presentan las graficas 65 y 66 de los histogramas que aportan mayor evidencia del rechazo de la hipótesis nula.



Gráfica 65. Histograma Individuo 3 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 66. Histograma Individuo 3 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 2

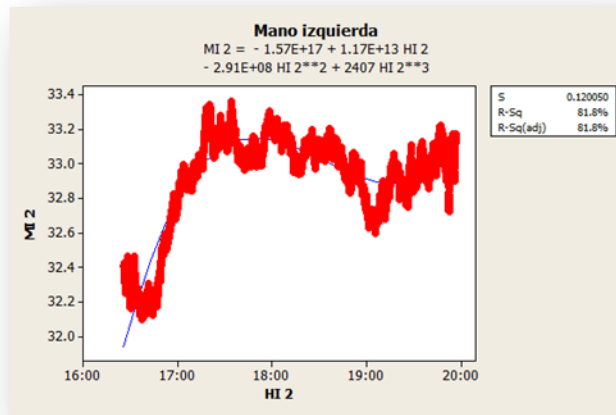
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 67 y 68 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

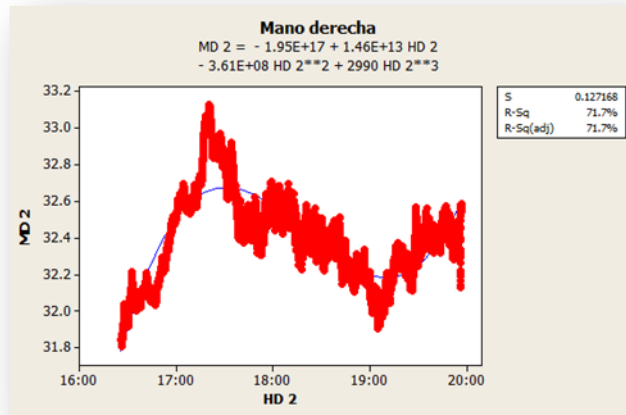
- Para este caso sucede lo inverso que sucedió en la prueba pasada, aquí fue posible ajustar un polinomio de tercer orden a la mano derecha donde el estadístico R^2 reportó un valor de 81,8%. Respecto a la mano izquierda el valor del coeficiente de determinación fue del 71,7%. Podemos además mencionar

que los patrones de temperatura también en esta prueba son muy similares pero difiriendo un poco en los que mencionábamos en el análisis pasado respecto a los incrementos y los decrementos de temperatura y donde además en el análisis de la mano derecha la prueba en su etapa inicial muestra temperaturas por debajo de los 32 °C.

- Las temperaturas máximas alcanzadas ocurrieron a las 17 h 34 min 21 y a las 17 h 20 min 42 con temperaturas reflejadas en ese momento de 33,363 °C y de 33,13 °C. Transcurriendo 1 h 8 min 21 y 54 min 42 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,952 °C y de 1,287 °C. Podemos decir que las temperaturas máximas alcanzadas ocurren en tiempos de operación similares al igual que sus temperaturas.
- Respecto a las anomalías presentadas por el operador en este caso empieza a sentir casi al final de la prueba dolores en espalda alta en un nivel ligero de impacto.



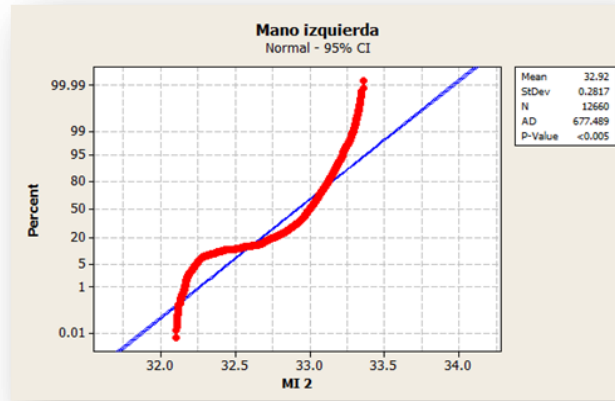
Gráfica 67. Individuo 3 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



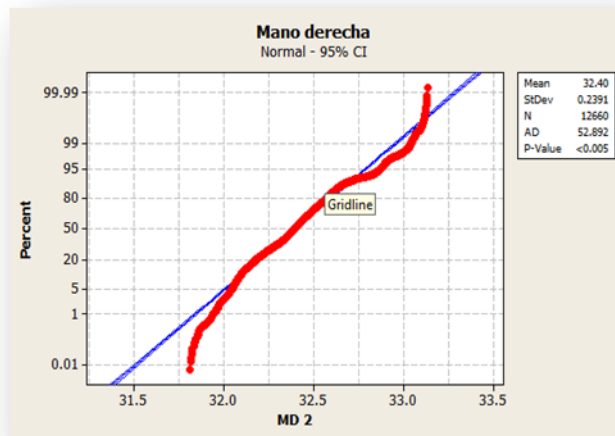
Gráfica 68. Individuo 3 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Para el caso de esta prueba también debemos de rechazar la hipótesis de que los datos se apegan a una distribución normal ya que los valores de **p** en ambas pruebas son menores a .005 y no mayores al nivel de significancia de .05 manejado en el criterio para aceptación o rechazo de las hipótesis. Los valores de los estadísticos de AD fueron de 677.489 para la mano izquierda y de 52.892 para la mano derecha respectivamente. Si observamos las gráficas podremos observar que entre más bajo sea el valor del estadístico de AD entonces el ajuste a la distribución normal será mayor. Las graficas 69 y 70 que respaldan la información descrita se muestra a continuación.

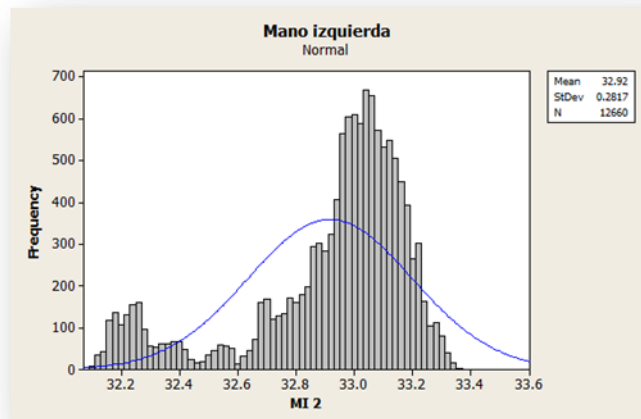


Gráfica 69. Individuo 3 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

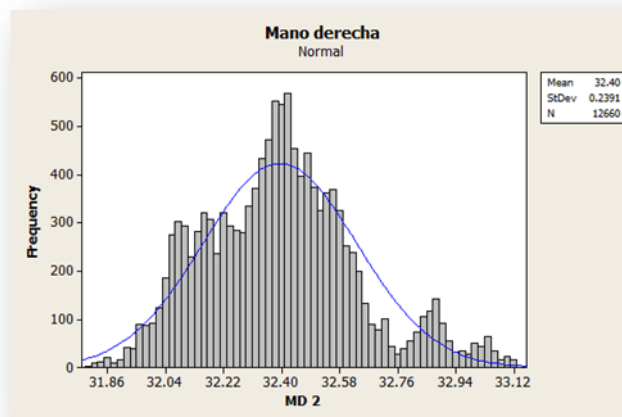


Gráfica 70. Individuo 3 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Por otra parte a continuación se presentan las graficas 71 y 72 de los histogramas que aportan mayor evidencia del rechazo de la hipótesis nula.



Gráfica 71. Histograma Individuo 3 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 72. Histograma Individuo 3 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 3

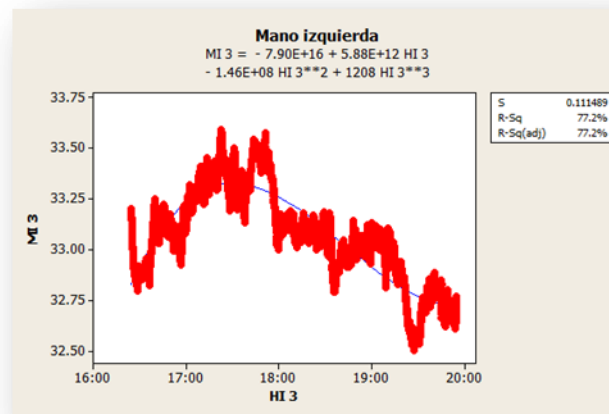
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 73 y 74 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

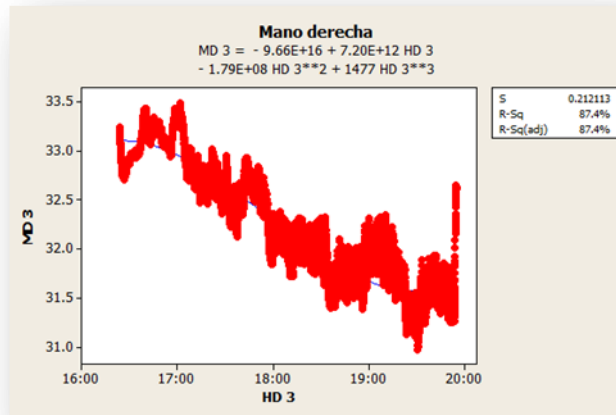
- De acuerdo a las graficas podemos apreciar que ahora en el caso de la mano derecha fue posible un ajuste polinomial de la ecuación de tercer orden, mientras que para la mano izquierda no pudo ser posible con un alto porcentaje del estadístico que representa el ajuste (R^2). Los valores del estadístico para este caso fueron de 77,2 % para la mano izquierda y de 87,4% para la derecha respectivamente. Además podemos destacar que los

patrones de temperatura podemos considerarlos también como similares con la diferencia de que en la mano izquierda podemos ver como el patrón que inicia en ascenso en la mano derecha después de su decremento inicial, en la mano izquierda se vuelve mucho más holgado y pronunciado.

- Las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba ocurrieron a las 17 h 22 min 38 para la mano izquierda y a las 17 h 1 min 55 para la mano derecha. Las temperaturas registradas en esos momentos fueron de 33,592 °C y de 33,488 °C, temperaturas muy similares en tiempo similares de la prueba. Transcurriendo 58 min 38 y 37 min 55 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,427 °C y de 0,244 °C.
- Durante esta prueba también se mantuvo un dolor importante en el área de la espalda alta y baja del operador, pero en esta ocasión comenzando hacia la mitad de la prueba y aumentando al final de la misma en un grado de ligero a moderado.



Gráfica 73. Individuo 3 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



Gráfica 74. Individuo 3 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Para el caso de esta prueba también debemos de rechazar la hipótesis de que los datos se apegan a una distribución normal ya que los valores de **p** en ambas pruebas son menores a .005 y no mayores al nivel de significancia de .05 manejado en el criterio para aceptación o rechazo de las hipótesis. Los valores de los estadísticos de AD fueron de 37.281 para la mano izquierda y de 205.391 para la mano derecha respectivamente. Si observamos las gráficas podremos observar que entre más bajo sea el valor del estadístico de AD entonces el ajuste a la distribución normal será mayor. Las graficas 75 y 76 que respaldan la información descrita se muestra a continuación.

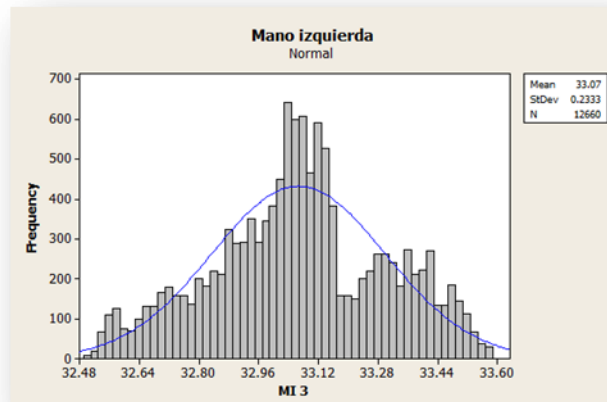


Gráfica 75. Individuo 3 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

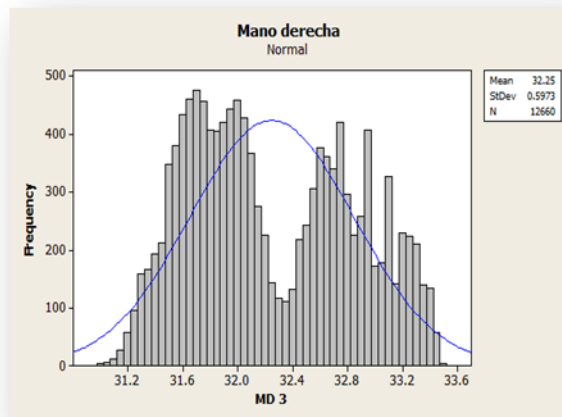


Gráfica 76. Individuo 3 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además a continuación se muestra los histogramas que ayudan a validar la información antes descrita. Las gráficas 77 y 78 muestran la información.



Gráfica 77. Histograma Individuo 3 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 78. Histograma Individuo 3 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

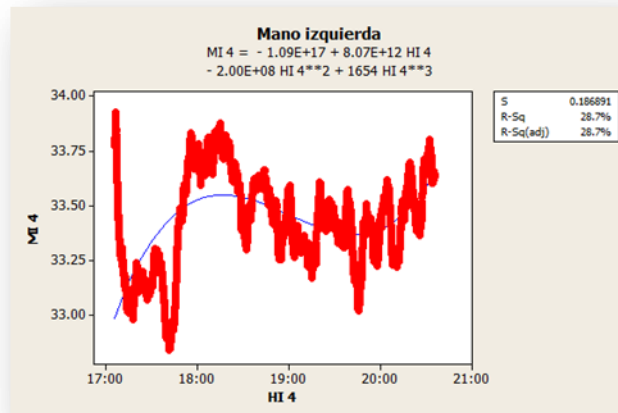
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 79 y 80 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

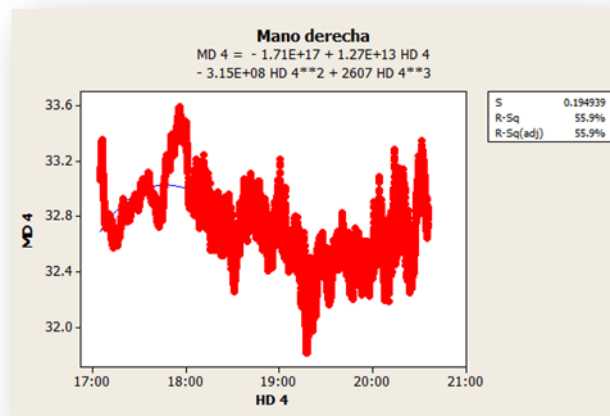
- En ambos casos de las gráficas fue imposible el llevar a cabo un ajuste de la curva de tercer orden como en otros casos ya que los porcentajes del estadístico de R^2 fueron muy bajos. Para la mano izquierda se presentó un 28,7% y un 55,9% para la mano derecha. Más sin embargo podemos apreciar que se presenta un patrón muy similar de temperatura en ambas gráficas pero con la diferencia que en la mano izquierda se puede observar un decremento e incremento de la temperatura mucho más prolongado u holgado durante la primera hora de operación que en la mano derecha.
- Las temperaturas máximas alcanzadas ocurrieron a las 17 h 06 min 10 para la mano izquierda y a las 17 h 56 min 20 para la mano derecha respectivamente. Además las temperaturas detectadas en dichos momentos fueron de 33,928 °C y de 33,592 °C, donde las temperaturas aparentemente se aproximan a una similitud. Transcurriendo 1 min 10 y 51 min 20 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la

prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,134 °C y de 0,524 °C.

- Por otro lado se puede decir que a mitad de la prueba el operador mencionó tener dolores en espalda más hacia el lado izquierdo que hacia el derecho, pero superó este dolor durante el periodo al final de la prueba.



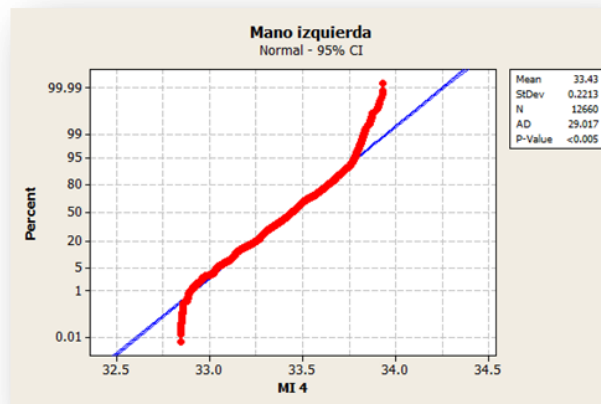
Gráfica 79. Individuo 3 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



Gráfica 80. Individuo 3 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Para el caso de esta prueba también debemos de rechazar la hipótesis de que los datos se apegan a una distribución normal ya que los valores de p en ambas pruebas son menores a 0,005 y no mayores al nivel de significancia de 0,05 manejado en el criterio para aceptación o rechazo de las hipótesis. Los valores de los estadísticos de AD fueron de 29,017 para la mano izquierda y de 24,016 para la mano derecha respectivamente. Si observamos las gráficas podremos observar que entre más bajo sea el valor del estadístico de AD entonces el ajuste a la distribución normal será mayor. Las graficas 81 y 82 que respaldan la información descrita se muestra a continuación.

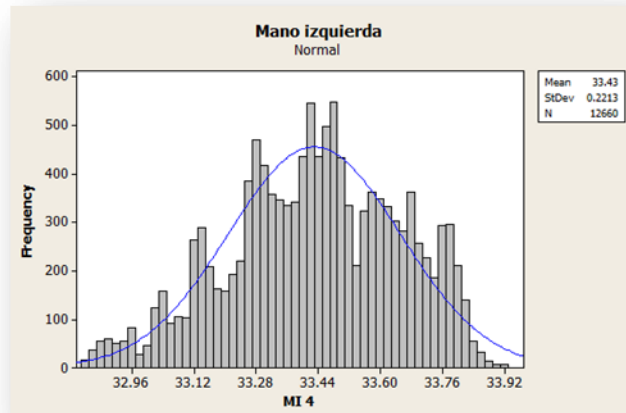


Gráfica 81. Individuo 3 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

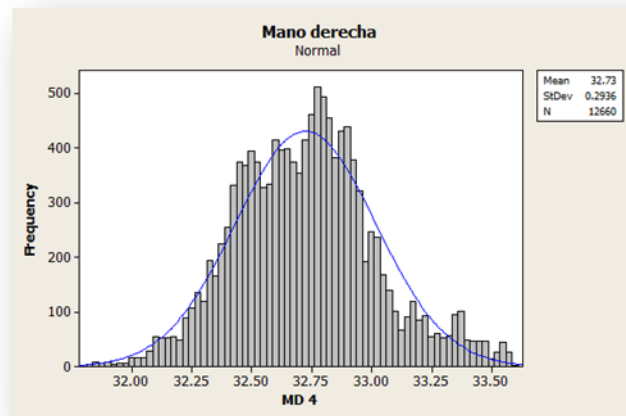


Gráfica 82. Individuo 3 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Aunado a lo anterior a continuación se muestra los histogramas para ambas manos que validan la información dada a conocer por las pruebas de normalidad Anderson Darling. Las gráficas 83 y 84 muestran la información.



Gráfica 83. Histograma Individuo 3 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 84. Histograma Individuo 3 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

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 las tablas 24, 25 y 26 de las distribuciones obtenidas después del análisis para la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 24. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	368.495	0.960
Lognormal	86.247	0.989
Exponential	14148.125	*
Loglogistic	204.363	0.974
3-Parameter Weibull	55.151	0.996
3-Parameter Lognormal	85.913	0.989
2-Parameter Exponential	4700.015	*
3-Parameter Loglogistic	204.306	0.974
Smallest Extreme Value	380.138	0.959
Normal	85.912	0.989
Logistic	204.306	0.974

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 25. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	222.050	0.963
Lognormal	730.571	0.919
Exponential	14222.588	*
Loglogistic	698.057	0.914
3-Parameter Weibull	213.321	0.964
3-Parameter Lognormal	715.234	0.921
2-Parameter Exponential	6375.626	*
3-Parameter Loglogistic	683.894	0.915
Smallest Extreme Value	213.304	0.964
Normal	715.214	0.921
Logistic	683.881	0.915

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 26. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	362.694	0.966
Lognormal	38.682	0.994
Exponential	14229.749	*
Loglogistic	64.668	0.983
3-Parameter Weibull	39.414	0.993
3-Parameter Lognormal	38.554	0.994
2-Parameter Exponential	4285.351	*
3-Parameter Loglogistic	64.852	0.983
Smallest Extreme Value	375.088	0.965
Normal	38.554	0.994
Logistic	64.853	0.983

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 27. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano izquierda prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	215.422	0.976
Lognormal	32.113	0.993
Exponential	14247.658	*
Loglogistic	83.208	0.982
3-Parameter Weibull	16.929	0.996
3-Parameter Lognormal	30.900	0.993
2-Parameter Exponential	4967.741	*
3-Parameter Loglogistic	82.518	0.982
Smallest Extreme Value	223.780	0.976
Normal	30.898	0.993
Logistic	82.517	0.982

Fuente: Propia

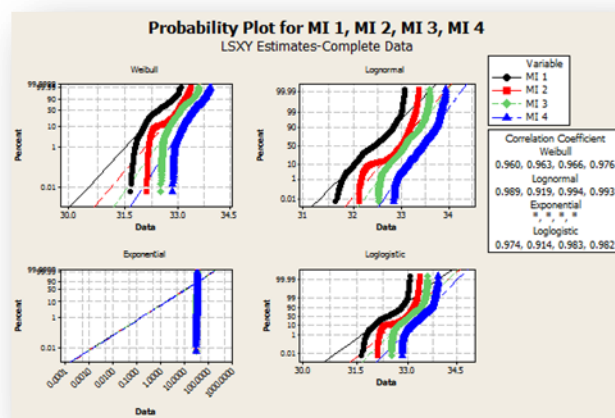
Con respecto a los resultados presentados en las tablas podemos decir lo siguiente:

- Para la prueba 1 tenemos que las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal, distribuciones que se repitieron también para las pruebas 3 y 4. En este caso los valores de los coeficientes de correlación fueron de 98,9%, 99,6% y 98,9% respectivamente y con valores en los estadísticos de prueba de Anderson Darling (ajustado) de 86,247, 55,151 y 85,913 para las 3 distribuciones. Para esta prueba podemos decir que la prueba más representativa sería la 3 parámetros Weibull al tener el valor más grande en el coeficiente de correlación y el valor más pequeño en Anderson Darling.
- Para la prueba 2 tenemos un recurrente de pruebas anteriores en las distribuciones resultantes como las mejores, que fueron la Weibull, la 3

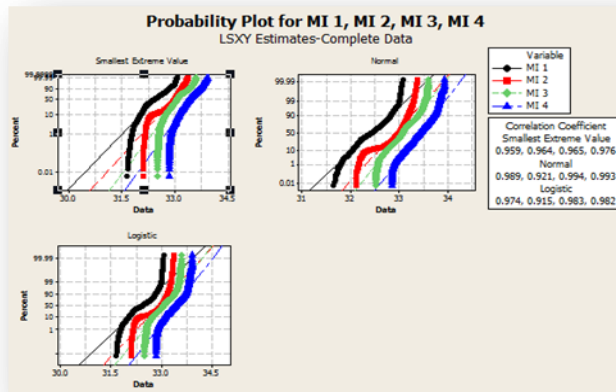
parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño con valores en los coeficientes de correlación de 96,35 para Weibull y 96,4% para las 2 restantes y con coeficientes más altos respecto a la prueba anterior de 222,050, 213,321 y 213,304 respectivamente.

- Para la prueba 3 como ya lo mencionamos antes las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal con coeficientes de correlación de 99,4%, 99,3% y 99,4% respectivamente y con valores de los estadísticos de AD de 38,682, 39,414, y 38,554.
- Para la prueba 4 las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros con coeficientes de correlación de 99,3%, 99,65% y 99,3% respectivamente y valores de los estadísticos de AD de 32,113, 16,929 y 30,900. Tomando en cuenta el elemento de Anderson Darling y el coeficiente de correlación tenemos que para esta prueba la distribución a la que más se ajustarían el comportamiento de los datos sería la 3 parámetros Weibull.

La información que se describió anteriormente puede validarse mediante la muestra de las gráficas 85 y 86.



Gráfica 85. Mejores distribuciones individuo 3 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 86. Mejores distribuciones individuo 3 mano izquierda
Fuente: Propia

A continuación se muestran las tablas 28, 29, 30 y 31 de las distribuciones obtenidas después del análisis para la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 28. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	819.971	0.914
Lognormal	382.938	0.966
Exponential	13856.257	*
Loglogistic	630.198	0.945
3-Parameter Weibull	325.471	0.978
3-Parameter Lognormal	380.386	0.966
2-Parameter Exponential	2178.537	*
3-Parameter Loglogistic	625.188	0.945
Smallest Extreme Value	833.465	0.913
Normal	380.381	0.966
Logistic	625.178	0.945

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 29. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	601.452	0.937
Lognormal	49.858	0.991
Exponential	14211.906	*
Loglogistic	49.117	0.986
3-Parameter Weibull	38.580	0.997
3-Parameter Lognormal	29.367	0.997
2-Parameter Exponential	4344.516	*
3-Parameter Loglogistic	45.058	0.991
Smallest Extreme Value	620.292	0.935
Normal	52.605	0.990
Logistic	50.875	0.985

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 30. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	885.290	0.925
Lognormal	224.746	0.977
Exponential	13825.877	*
Loglogistic	405.118	0.958
3-Parameter Weibull	178.940	0.987
3-Parameter Lognormal	167.126	0.981
2-Parameter Exponential	3359.380	*
3-Parameter Loglogistic	288.822	0.965
Smallest Extreme Value	916.392	0.922
Normal	230.195	0.976
Logistic	410.520	0.957

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 31. Distribuciones de probabilidad individuo 3 mano derecha prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	440.619	0.954
Lognormal	22.017	0.996
Exponential	14157.020	*
Loglogistic	26.842	0.993
3-Parameter Weibull	45.845	0.996
3-Parameter Lognormal	11.392	0.998
2-Parameter Exponential	5853.242	*
3-Parameter Loglogistic	20.217	0.995
Smallest Extreme Value	459.929	0.952
Normal	24.323	0.996
Logistic	28.446	0.993

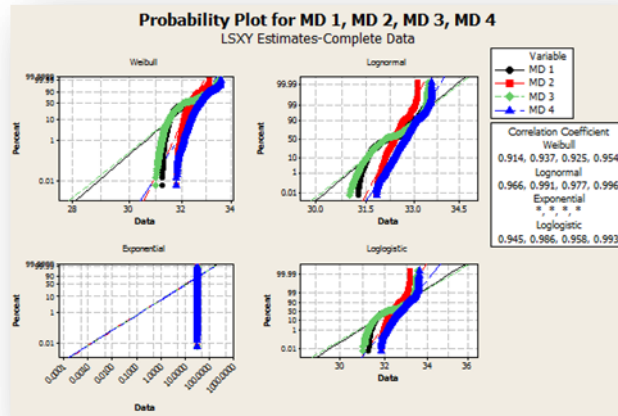
Fuente: Propia

Con respecto a los resultados presentados en las tablas podemos decir lo siguiente:

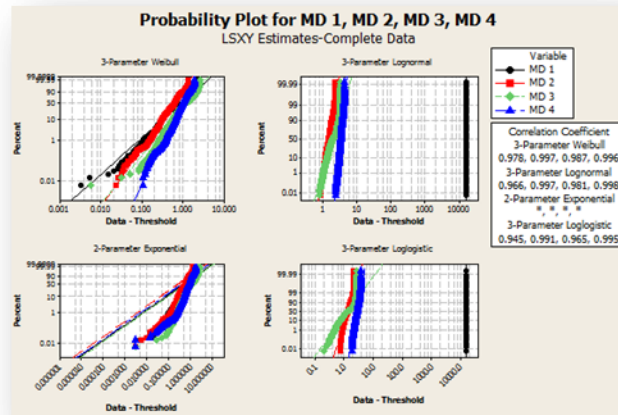
- Para todas y cada una de las pruebas las distribuciones que representaron un mejor ajuste fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal. Para la prueba 1 los coeficientes de correlación arrojaron valores de 96,6%, 97,8% y 96,6% respectivamente, y valores del estadístico Anderson Darling de 382,938, 325,471 y 380,386 respectivamente. Para la prueba 2 los coeficientes de correlación arrojaron valores de 99,1%, 99,7% para las últimas dos distribuciones antes mencionadas respectivamente, y valores del estadístico Anderson Darling de 49,858, 38,58 y 29,367 respectivamente. Para la prueba 3 los coeficientes de correlación arrojaron valores de 97,7%, 98,7% y 98,1% respectivamente,

y valores del estadístico Anderson Darling de 225,746, 178,940 y 167,126 respectivamente. Para la prueba 4 los coeficientes de correlación arrojaron valores de .996 para la Lognormal y 3 parámetros Weibull y de 99,8% para la 3 parámetros lognormal respectivamente, y valores del estadístico Anderson Darling de 22,017, 45,845 y 11,392 respectivamente.

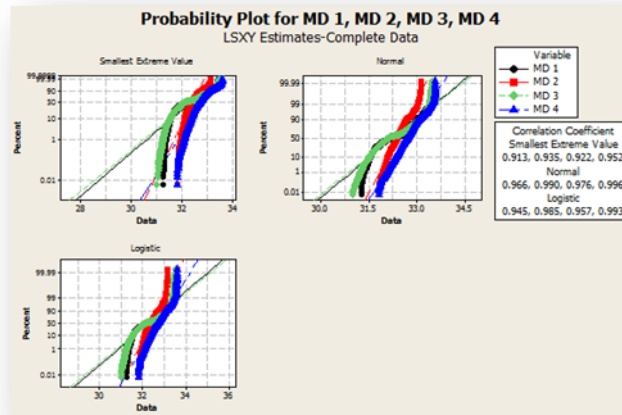
La información que se describió anteriormente puede validarse mediante la muestra de las siguientes gráficas 87, 88 y 89.



Gráfica 87. Mejores distribuciones individuo 3 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 88. Mejores distribuciones individuo 3 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 89. Mejores distribuciones individuo 3 mano derecha
Fuente: Propia

4.1.4 Individuo 4

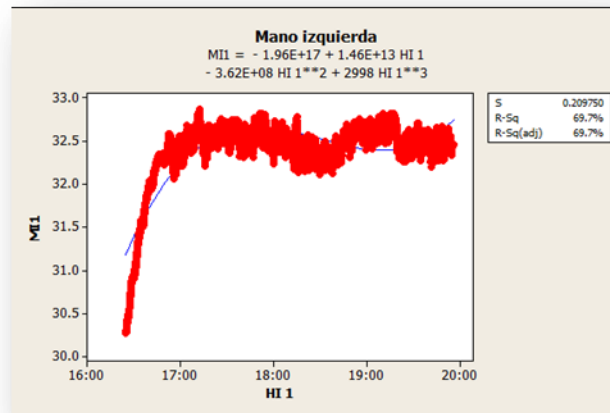
Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

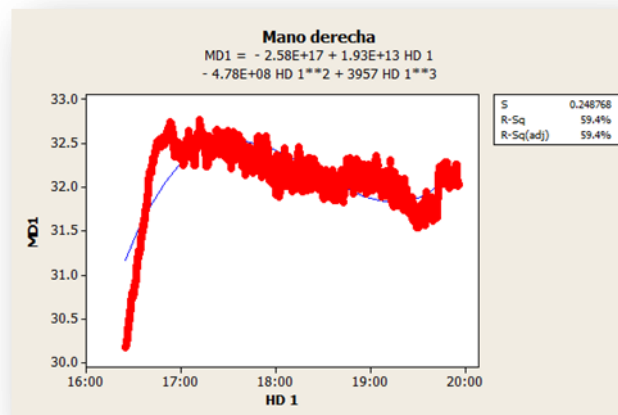
Tomando en cuenta las gráficas 90 y 91 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- Para este caso podemos ver que los patrones de temperatura tienden a ser muy similares, pero debemos de decir que no fue posible ajustar con un alto porcentaje un modelo polinomial de tercer orden a los datos representados por temperaturas. Para el caso de la mano izquierda se determinó un estadístico R^2 de 69,7% y de 59,7% para la mano derecha. Podemos mencionar que para ambas manos desde inicio de la prueba y durante la primera hora de realización del movimiento repetitivo 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 al 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, hombros y permanentemente espalda. 1 horas 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.



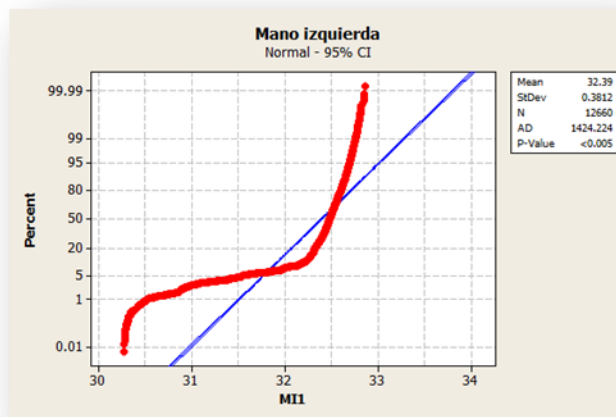
Gráfica 90. Individuo 4 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



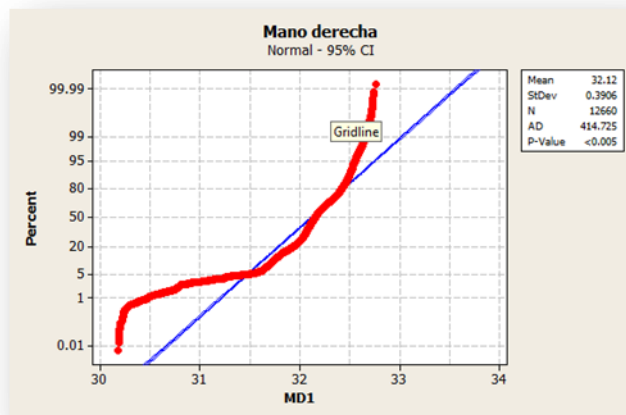
Gráfica 91. Individuo 4 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Respecto a la prueba de normalidad podemos 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 podemos 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 Anderson Darling son muy 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 lo cual se verá reflejado en los histogramas en se presentan más adelante. La gráficas 92 y 93 muestran la información antes descrita.

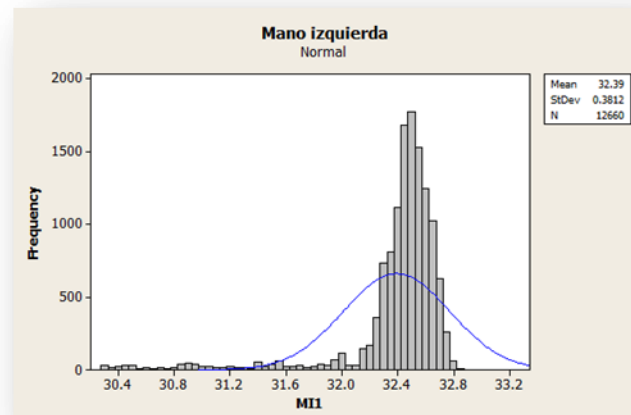


Gráfica 92. Individuo 4 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

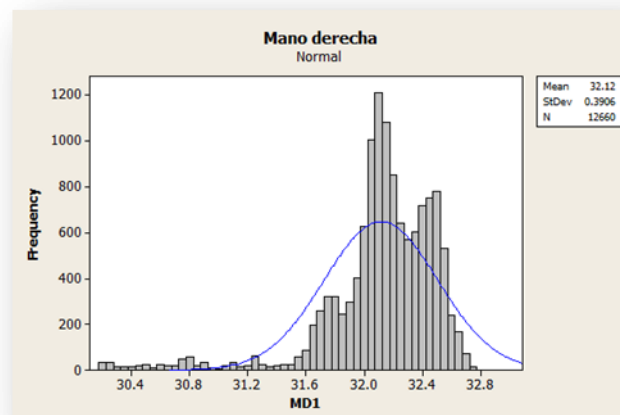


Gráfica 93. Individuo 4 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

A continuación en las gráficas 94 y 95 se muestran los histogramas que validan la información del rechazo de la hipótesis de que los datos siguieran una normalidad.



Gráfica 94. Histograma Individuo 4 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 95. Histograma Individuo 4 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 2

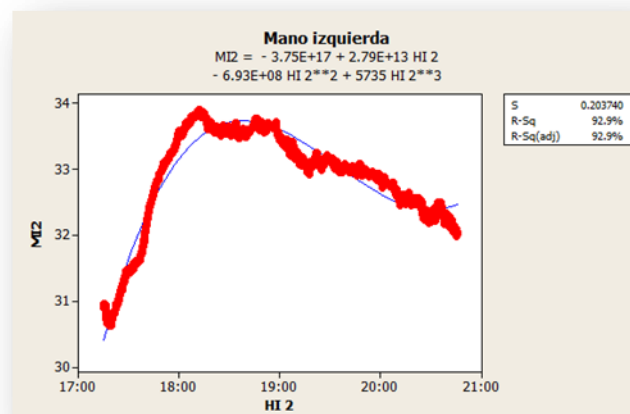
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 96 y 97 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- De acuerdo a las gráficas se puede observar que se tienen patrones de temperaturas muy similares y además a diferencia de la prueba anterior fue

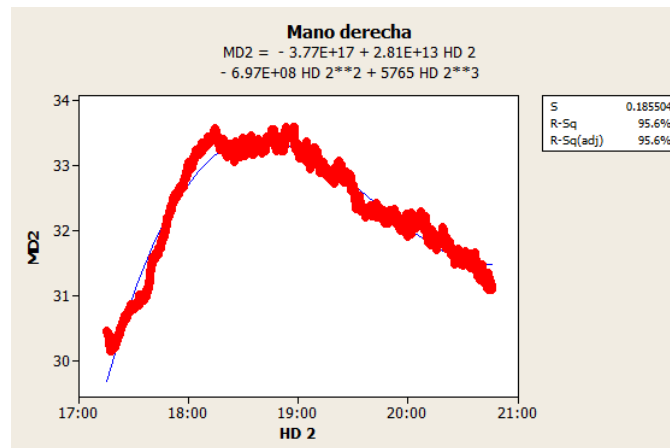
posible llevar a cabo un ajuste de una curva de tercer orden al comportamiento de las temperaturas. Se determinó un coeficiente de determinación para el caso de la mano izquierda del 92,9% y para el caso de la mano derecha del 95,6%. Al igual que en la prueba pasada existe un ascenso prolongado en la temperatura durante la primera hora de operación comenzando después por un periodo corto de estabilización y comenzando después y hasta el término de la prueba un prolongado descenso de la misma.

- Respecto a las temperaturas máximas alcanzadas estas ocurrieron a las 18 h 12 min 44 para la mano izquierda y a las 18 h 53 min 20 para la mano derecha tomando temperaturas en esos momentos de 33,924 °C para la mano izquierda y de 33,601 °C y para la mano derecha respectivamente. Transcurriendo 57 min 44 y 1 h 38 min 20 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 3,017 °C y de 3,143 °C. Las anomalías presentadas durante esta prueba comenzaron a presentarse aproximadamente a la hora de empezada la prueba a las 18h 02 min 16. durante el tiempo que las temperaturas alcanzan su máximo nivel. Las anomalías principales durante dicho periodo eran dolor de espalda de ligero a moderado con el paso del tiempo, dolor en hombro derecho y cuello. En el periodo al final de la prueba y durante la etapa de descenso de la temperatura se intensificó el dolor de espalda.



Gráfica 96. Individuo 4 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva

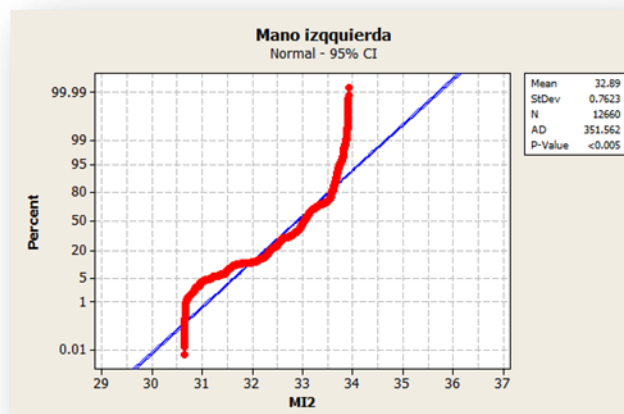
Fuente: Propia



Gráfica 97. Individuo 4 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Respecto a la prueba de normalidad podemos 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 podemos 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 Anderson Darling son muy grandes. Para el caso de la mano izquierda con un valor de AD de 351,562 y para la mano derecha de 259,030 lo cual se verá reflejado en los histogramas en se presentan más adelante. Las gráficas 98 y 99 muestran la información.

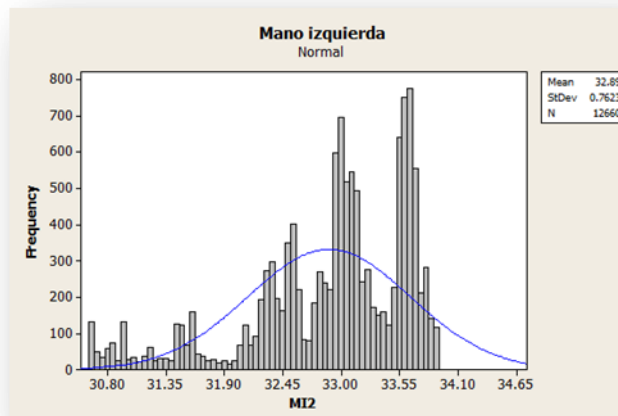


Gráfica 98. Individuo 4 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
 Fuente: Propia

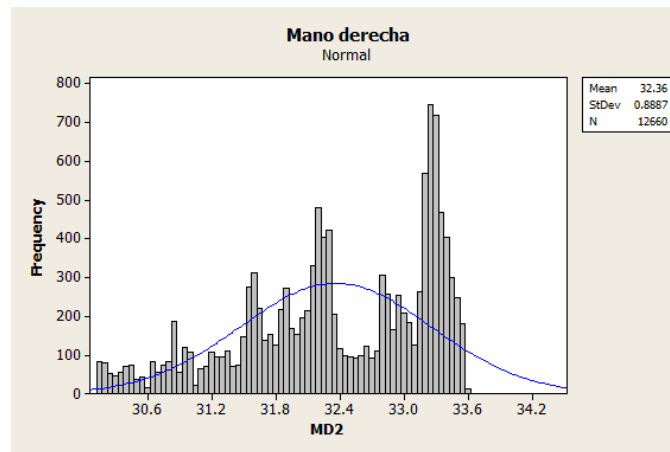


Gráfica 99. Individuo 4 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

A continuación se muestran los histogramas que validan la información del rechazo de la hipótesis de que los datos siguieran una normalidad. Las gráficas 100 y 101 muestran la información.



Gráfica 100. Histograma Individuo 4 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 101. Histograma Individuo 4 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 3

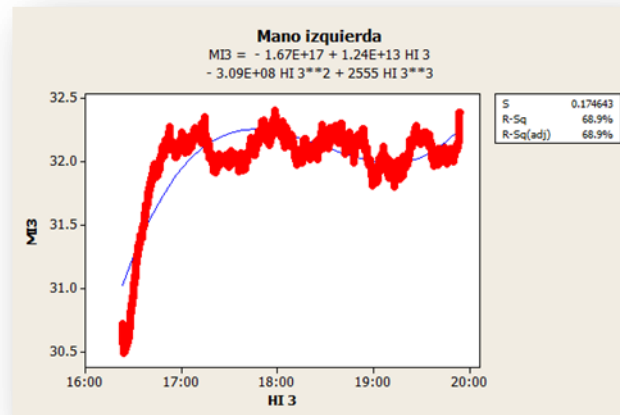
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 102 y 103 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

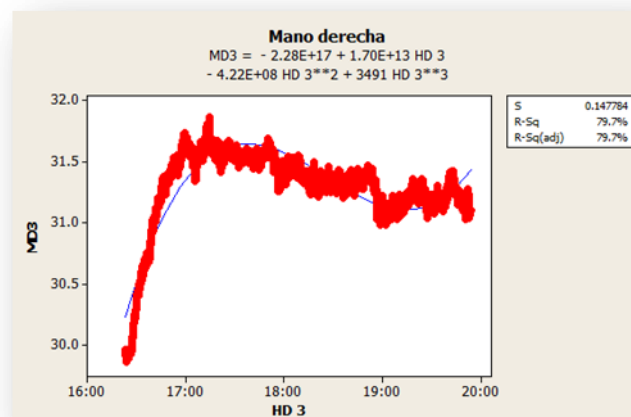
- Para el caso de esta prueba podemos decir que los patrones de temperatura de igual manera tienden a ser muy similares en ambas manos e igual iniciando una etapa prolongada de ascenso de la temperatura durante la primera hora de la operación. En ninguno de los dos casos fue posible el llevar cabo un ajuste de un modelo polinomial de tercer orden que explicara el comportamiento de las temperaturas recabadas de la experimentación. Para la mano izquierda se obtuvo un 68,9% para el estadístico R^2 y con respecto a la mano derecha un 79,7%. Podemos mencionar que el modelo de la mano derecha bien podría tomarse en cuenta como un ajuste valido al comportamiento de los datos dado que casi es el 80% del estadístico a partir del cual muchos investigadores toman como válido.
- Respecto a las temperaturas máximas alcanzadas estas ocurrieron a las 17 h 58 min 46 para la mano izquierda y a las 17 h 14 min 30 para la mano derecha tomando temperaturas en esos momentos de 32,411 °C para la mano izquierda y de 31,862 °C y para la mano derecha respectivamente. Transcurriendo 1 h 25 min 46 y 51 min 30 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente

al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,685 °C y de 1,903 °C.

- Pasada aproximadamente una hora de iniciada la prueba el operador comenzó a experimentar un dolor en la espalda de ligero a moderado intensificándose con el paso de la prueba.



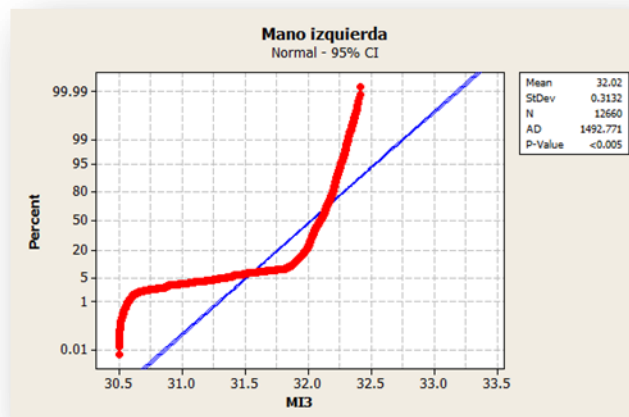
Gráfica 102. Individuo 4 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



Gráfica 103. Individuo 4 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

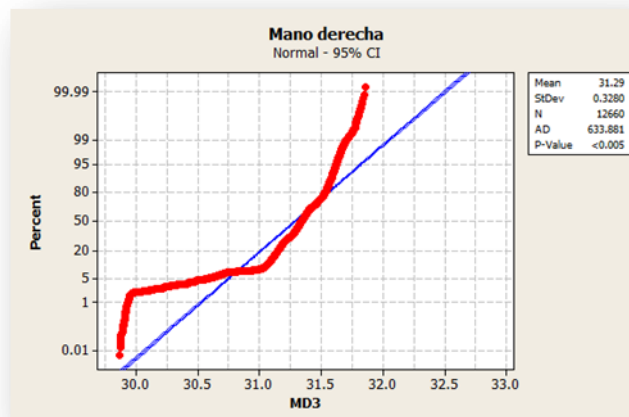
Prueba de normalidad

Respecto a la prueba de normalidad podemos 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 podemos 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 Anderson Darling son muy grandes. Para el caso de la mano izquierda con un valor de AD de 1 492,771 y para la mano derecha de 633,881 lo cual se verá reflejado en los histogramas en se presentan más adelante. Las gráficas 104 y 105 muestran la información.



Gráfica 104. Individuo 4 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad

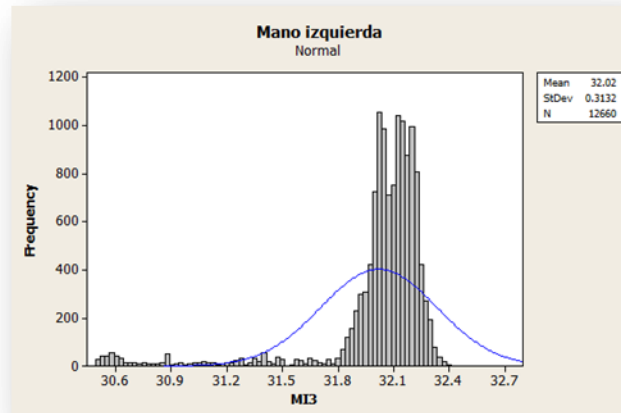
Fuente: Propia



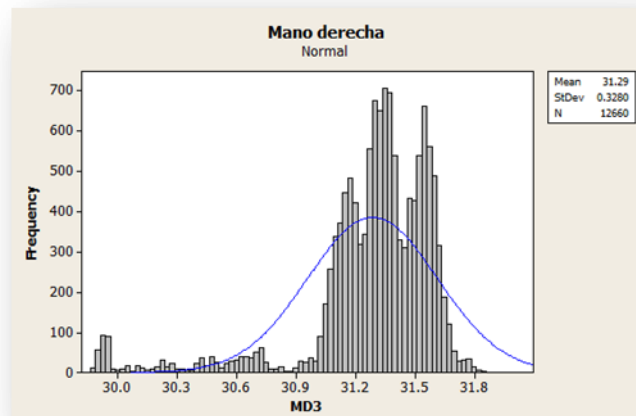
Gráfica 105. Individuo 4 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad

Fuente: Propia

A continuación se muestran los histogramas que validan la información del rechazo de la hipótesis de que los datos siguieran una normalidad. Las gráficas 106 y 107 muestran la información.



Gráfica 106. Histograma Individuo 4 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



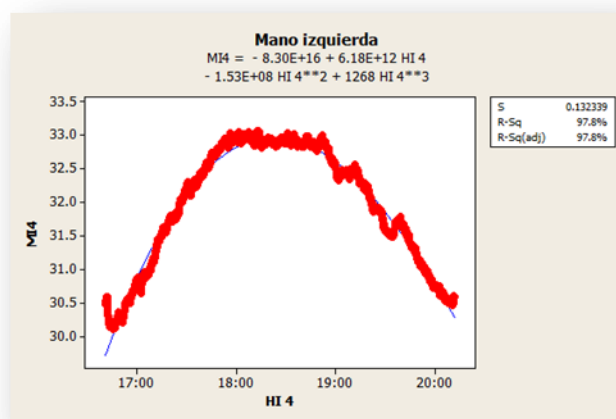
Gráfica 107. Histograma Individuo 4 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

Patrones de temperatura y ajuste de curva

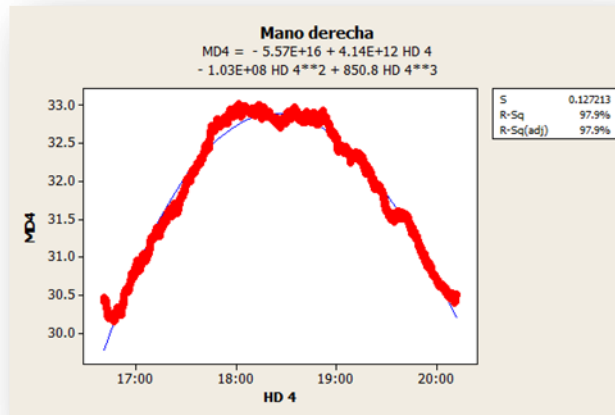
Tomando en cuenta las gráficas 108 y 109 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- En ambos casos tanto para la mano izquierda como para la mano derecha fue posible hacer un ajuste de un polinomio de tercer orden con porcentajes en el coeficiente de determinación bastante altos. Se reitera el comportamiento de ascenso prolongado durante la primera hora de la experimentación durante esta prueba, seguido de una estabilización en la temperatura y en lo posterior un descenso de la misma.
- Los porcentajes para los coeficientes de determinación fueron de 97,8% para la mano izquierda y de 97,9% para la mano derecha respectivamente.
- De esta manera podemos decir que el modelo de tercer orden puede explicar de manera significativa el comportamiento de estos datos.
- Respecto a las temperaturas máximas alcanzadas estas ocurrieron a las 18 h 13 min 10 para la mano izquierda y a las 18 h 1 min 37 para la mano derecha tomando temperaturas en esos momentos de 33,073°C para la mano izquierda y de 33,024 °C y para la mano derecha respectivamente. Transcurriendo 1 h 32 min 10 y 1 h 20 min 37 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 2,601 °C y de 2,612 °C Podemos decir además que los tiempos y temperaturas fueron muy similares en las manos (muñecas de ambas manos). Dolor en espalda baja.



Gráfica 108. Individuo 4 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva

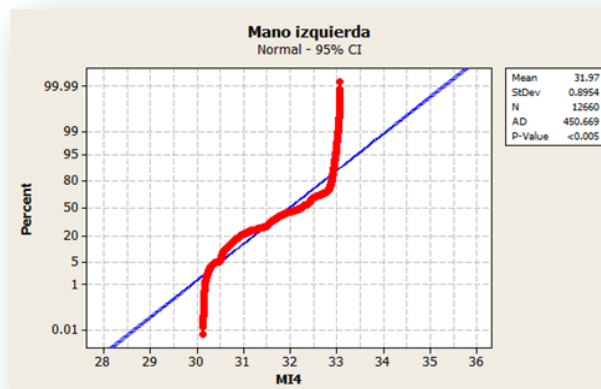
Fuente: Propia



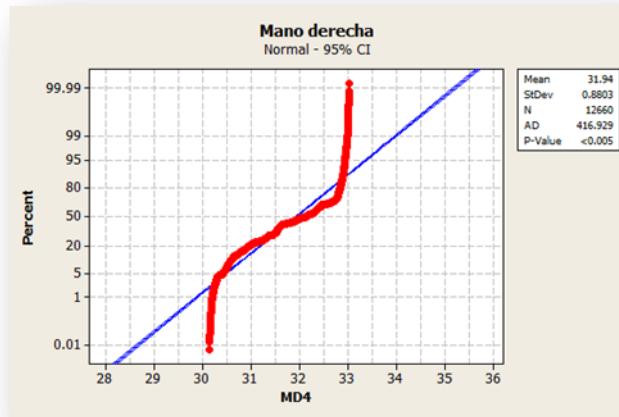
Gráfica 109. Individuo 4 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Respecto a la prueba de normalidad podemos 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 podemos ver que el valor de **p** es menor de .005 y no mayor que el nivel de significancia de .05. Se puede observar que los valores del estadístico Anderson Darling son muy grandes. Para el caso de la mano izquierda con un valor de AD de 450.669 y para la mano derecha de 416.929 lo cual se verá reflejado en los histogramas en se presentan más adelante. Las gráficas 110 y 111 muestran la información.

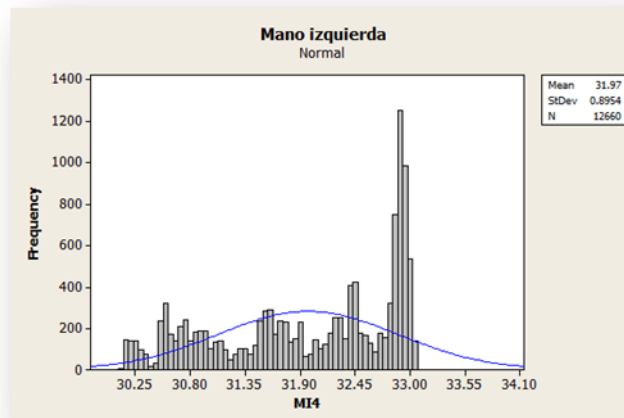


Gráfica 110. Individuo 4 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
 Fuente: Propia

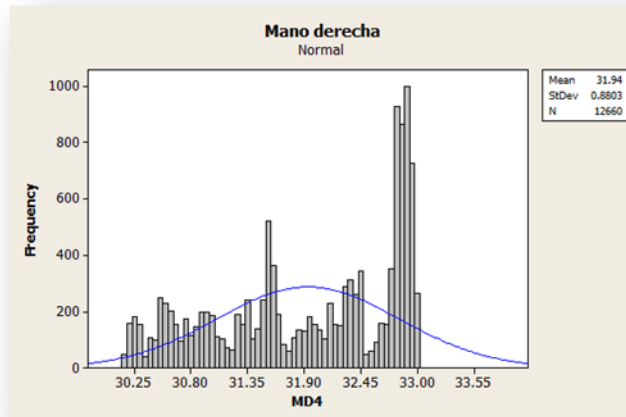


Gráfica 111. Individuo 4 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

A continuación se muestran los histogramas que validan la información del rechazo de la hipótesis de que los datos siguieran una normalidad. Las gráficas 112 y 113 muestran la información.



Gráfica 112. Histograma Individuo 4 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 113. Histograma Individuo 4 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

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 las tablas 32, 33, 34 y 35 de las distribuciones obtenidas después del análisis para la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 32. 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
Exponential	14206.888	*
Loglogistic	1151.777	0.803
3-Parameter Weibull	746.104	0.895
3-Parameter Lognormal	1283.226	0.788
2-Parameter Exponential	10708.601	*
3-Parameter Loglogistic	1115.865	0.808
Smallest Extreme Value	746.038	0.895
Normal	1283.201	0.788
Logistic	1115.851	0.808

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 33. Distribuciones de probabilidad individuo 4 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	114.989	0.982
Lognormal	392.526	0.944
Exponential	13763.023	*
Loglogistic	393.594	0.936
3-Parameter Weibull	109.590	0.982
3-Parameter Lognormal	366.165	0.948
2-Parameter Exponential	6214.374	*
3-Parameter Loglogistic	372.228	0.939
Smallest Extreme Value	109.582	0.982
Normal	366.136	0.948
Logistic	372.223	0.939

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 34. Distribuciones de probabilidad individuo 4 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	809.436	0.883
Lognormal	1399.236	0.777
Exponential	14254.054	*
Loglogistic	1209.857	0.797
3-Parameter Weibull	782.670	0.886
3-Parameter Lognormal	1367.118	0.782
2-Parameter Exponential	10267.777	*
3-Parameter Loglogistic	1179.379	0.801
Smallest Extreme Value	782.616	0.886
Normal	1367.098	0.782
Logistic	1179.381	0.801

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 35. Distribuciones de probabilidad individuo 4 mano izquierda prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	537.188	0.948
Lognormal	546.495	0.945
Exponential	13584.258	*
Loglogistic	761.817	0.921
3-Parameter Weibull	467.644	0.968
3-Parameter Lognormal	536.430	0.946
2-Parameter Exponential	3608.719	*
3-Parameter Loglogistic	755.497	0.922
Smallest Extreme Value	551.572	0.947
Normal	536.413	0.946
Logistic	755.485	0.922

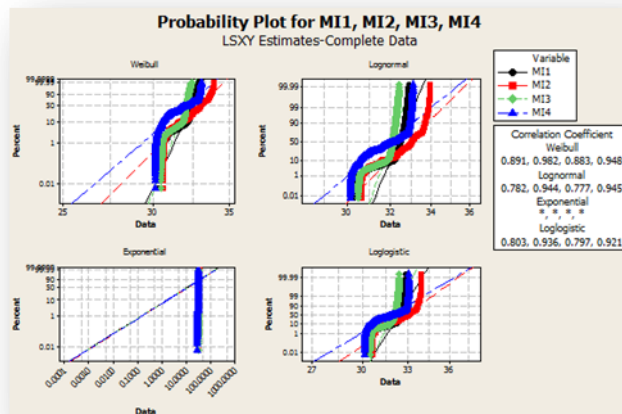
Fuente: Propia

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

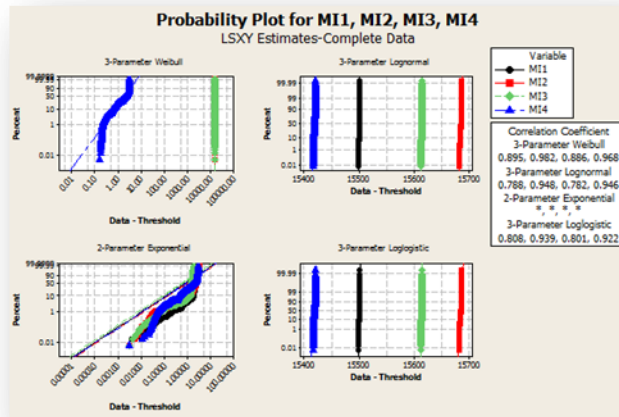
- Las 3 mejores distribuciones a la cual los datos pudieron ser ajustados fueron la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull, y la del valor extremo más pequeño. Para la distribución Weibull los valores en las pruebas 1, 2, 3 y

4 del coeficiente de correlación fueron de 89,1%, 98,2%, 88,3% y 94,8% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 778,614, 114,989, 809,436 y de 537,188.

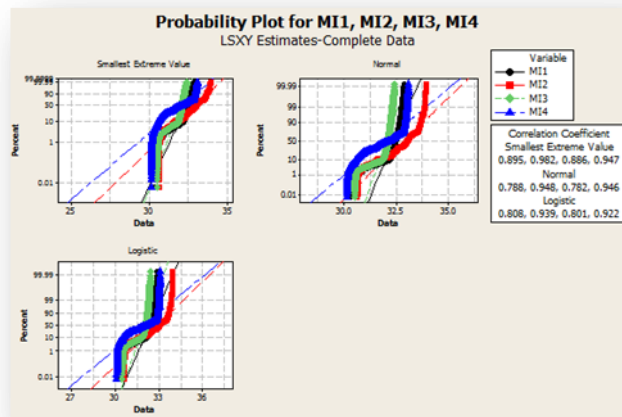
- Para la distribución 3 parámetros Weibull los valores en las pruebas 1, 2, 3 y 4 del coeficiente de correlación fueron de 89,5%, 98,2%, 88,6% y 96,8% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 746,104, 109,590, 782,670 y de 467,644.
- Para la distribución de valor extremo más pequeño los valores en las pruebas 1, 2, 3 y 4 del coeficiente de correlación fueron de 89,5%, 98,2%, 88,6% y 94,7% respectivamente y con valores en estadístico AD (ajustado) de 746,038, 109,582, 782,616 y de 551,572.
- La información anteriormente descrita en los bullets puede ser validada mediante las gráficas 114, 115 y 116 de las distribuciones seleccionadas como mayormente representativas.



Gráfica 114. Mejores distribuciones individuo 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 115. Mejores distribuciones individuo 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 116. Mejores distribuciones individuo 4 mano izquierda
Fuente: Propia

Las tablas 36, 37, 38 y 39 que se muestra a continuación muestran la información necesaria para demostrar cuales son las mejores distribuciones a la cual se ajustarían los comportamientos de las temperaturas de la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 36. 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
Exponential	14124.367	*
Loglogistic	287.430	0.918
3-Parameter Weibull	108.682	0.973
3-Parameter Lognormal	351.899	0.913
2-Parameter Exponential	9367.776	*
3-Parameter Loglogistic	270.661	0.922
Smallest Extreme Value	108.661	0.973
Normal	351.864	0.913
Logistic	270.635	0.922

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 37. Distribuciones de probabilidad individuo 4 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	289.710	0.974
Lognormal	299.234	0.963
Exponential	13590.867	*
Loglogistic	415.392	0.946
3-Parameter Weibull	211.262	0.982
3-Parameter Lognormal	289.507	0.964
2-Parameter Exponential	4766.426	*
3-Parameter Loglogistic	412.299	0.947
Smallest Extreme Value	307.836	0.972
Normal	289.498	0.964
Logistic	412.304	0.947

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 38. Distribuciones de probabilidad individuo 4 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	211.937	0.955
Lognormal	580.900	0.885
Exponential	14185.129	*
Loglogistic	459.604	0.895
3-Parameter Weibull	197.973	0.957
3-Parameter Lognormal	558.995	0.889
2-Parameter Exponential	8949.963	*
3-Parameter Loglogistic	440.433	0.898
Smallest Extreme Value	197.945	0.957
Normal	558.956	0.889
Logistic	440.400	0.898

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 39. Distribuciones de probabilidad individuo 4 mano derecha prueba 4

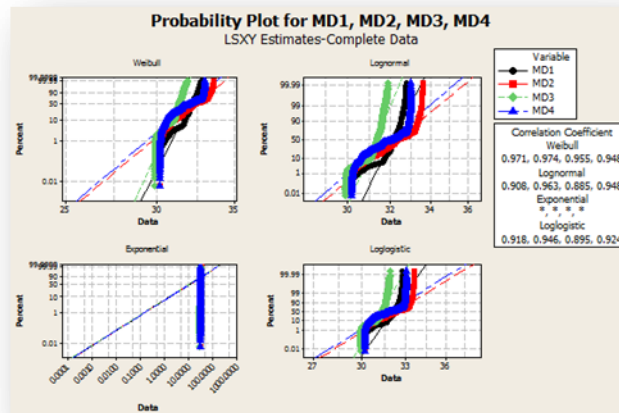
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	569.165	0.948
Lognormal	502.880	0.948
Exponential	13591.482	*
Loglogistic	720.024	0.924
3-Parameter Weibull	429.368	0.969
3-Parameter Lognormal	496.279	0.949
2-Parameter Exponential	3408.844	*
3-Parameter Loglogistic	717.891	0.925
Smallest Extreme Value	588.419	0.946
Normal	496.267	0.949
Logistic	717.889	0.925

Fuente: Propia

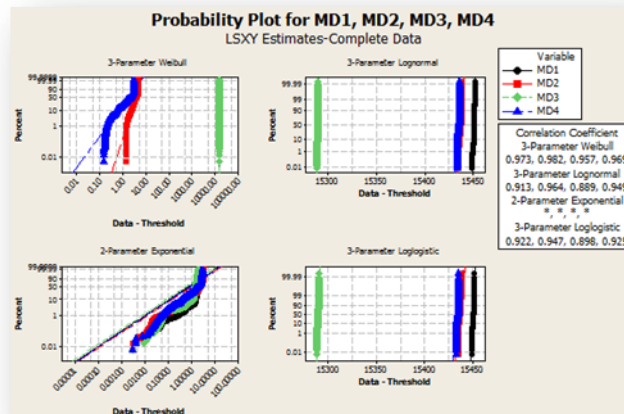
- Las 3 mejores distribuciones a la cual los datos pudieron ser ajustados fueron la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull, y la del valor extremo más pequeño. Esto sucedió para las primeras 3 pruebas, pero con respecto a la prueba 4 existió un cambio donde las mejores distribuciones fueron la 3 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 Anderson Darling de 429,368. Con respecto a la distribución Lognormal el coeficiente de correlación resultante fue 94,8% y un estadístico (ajustado) e Anderson Darling de 502,880. Respecto a la 3 parámetros lognormal el

coeficiente de correlación resultante fue 94,9% y un estadístico (ajustado) e Anderson Darling de 496,279.

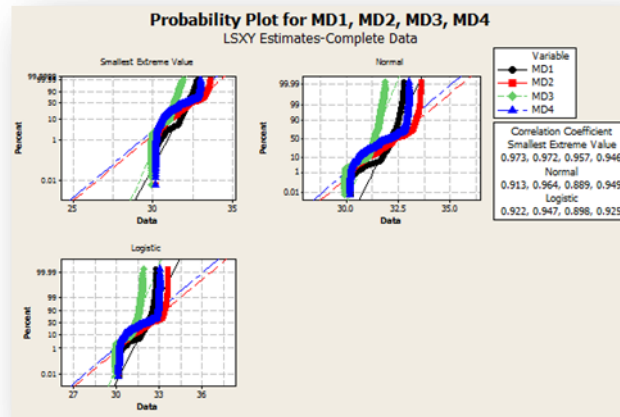
- La información anteriormente descrita en los bullets puede ser validada mediante las gráficas 117, 118 y 119 de las distribuciones seleccionadas como mayormente representativas.



Gráfica 117. Mejores distribuciones individuo 4 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 118. Mejores distribuciones individuo 4 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 119. Mejores distribuciones individuo 4 mano derecha
Fuente: Propia

4.1.5 Individuo 5

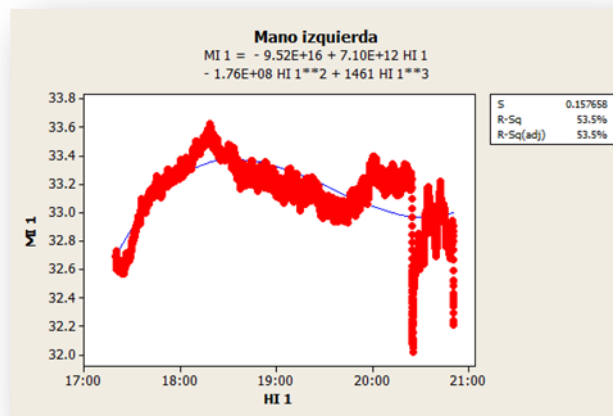
Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 120 y 121 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

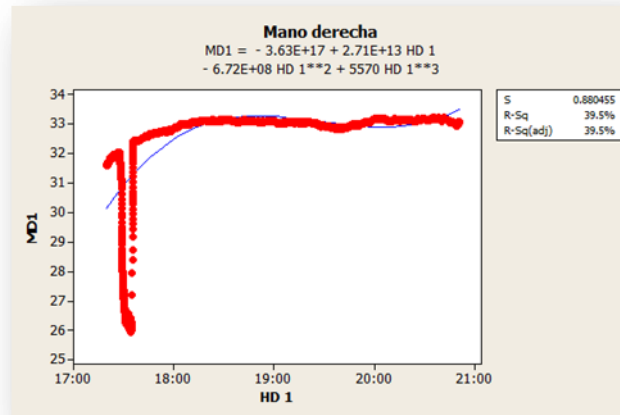
- Para esta primer prueba de la persona 5 podemos decir de manera clara y precisa que los patrones de temperatura no son nada similares, mientras que el patrón que se sigue para la mano izquierda tiende a ser un poco parecido a la de las pruebas de los otros individuos donde tenemos un ascenso prolongado al inicio de la prueba seguido de una estabilización y un decremento, para la prueba de la mano derecha claramente podemos apreciar que hay un decremento importante y un tanto inusual tomando en cuenta lo que ha venido pasando en pruebas anteriores. Esto fue posible debido a una falla técnica desarrollada al inicio de la prueba donde hubo un pequeño despegue de un sensor. Aquí solamente se hizo el ajuste del sensor en el momento pero podemos asumir que este comportamiento se debió a la falla desarrollada durante el proceso.

- En ambas manos no fue posible llevar a cabo un ajuste de un polinomio de tercer orden, debido a que los coeficientes de determinación fueron muy bajos, 53,5% y 39,5% respectivamente.
- Las temperaturas máximas alcanzadas ocurrieron a las 18 h 18 min 44 para la mano izquierda y a las 20 h 35 min 35 para la mano derecha y reportando temperaturas en esos momentos de 33,622°C y de 33,221°C. Transcurriendo 58 min 44 y 3 h 15 min 35 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,928 °C y de 1,618 °C. Cabe mencionar que en esta prueba los tiempos de alcance de las temperaturas máximas no son similares como en otros casos, esto debido al problema en el despegue del sensor del operador.
- Las principales anomalías presentadas fueron dolor en muñeca izquierda al inicio de la prueba a las 17 h 26 min 42, cediendo el dolor 20 minutos después aproximadamente. También se reportaron problemas en la espalda casi a mitad de la prueba en grado de moderado hasta desarrollarse a un nivel de intenso al final de la misma.



Gráfica 120. Individuo 5 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva

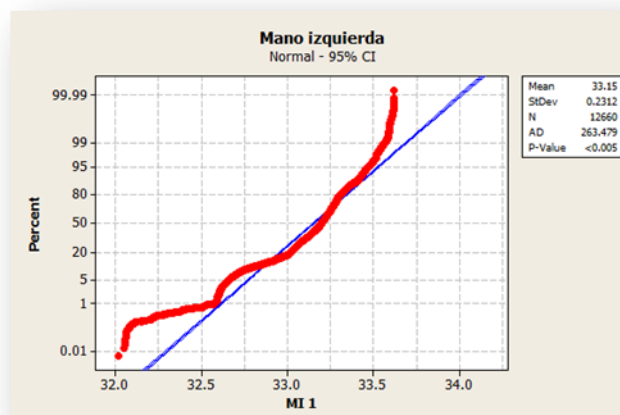
Fuente: Propia



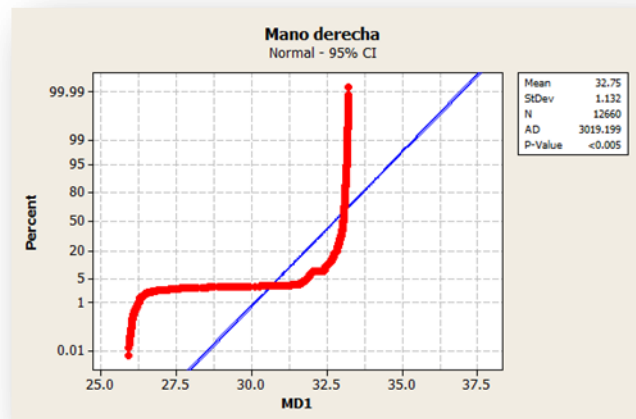
Gráfica 121. Individuo 5 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las gráficas 122 y 123 para este caso podemos afirmar que como el valor p es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 263,479 para el caso de la mano izquierda y de 3 019,99 para la mano derecha, hasta ahora el valor del estadístico más elevado en todas las pruebas, y lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

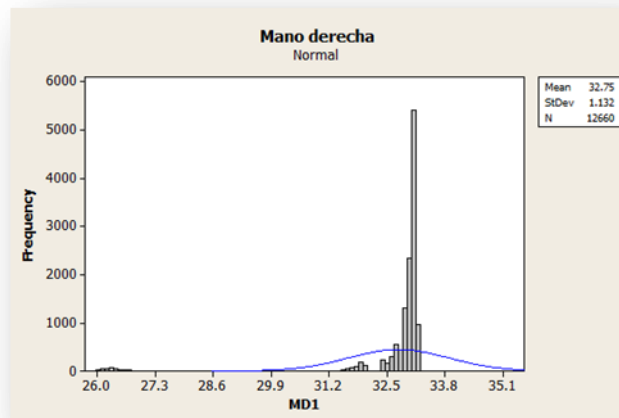


Gráfica 122. Individuo 5 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

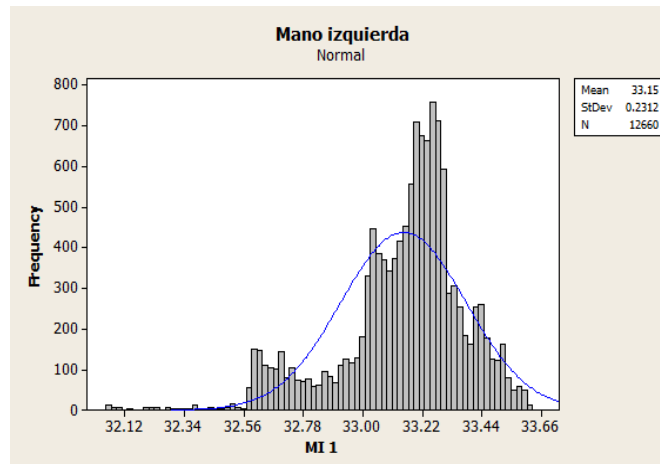


Gráfica 123. Individuo 5 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

También como parte de la evidencia que respalda que los datos no siguen una distribución normal se presentan a continuación los histogramas respectivos de cada mano. Las gráficas 124 y 125 muestran la información.



Gráfica 124. Histograma Individuo 5 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 125. Histograma Individuo 5 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia

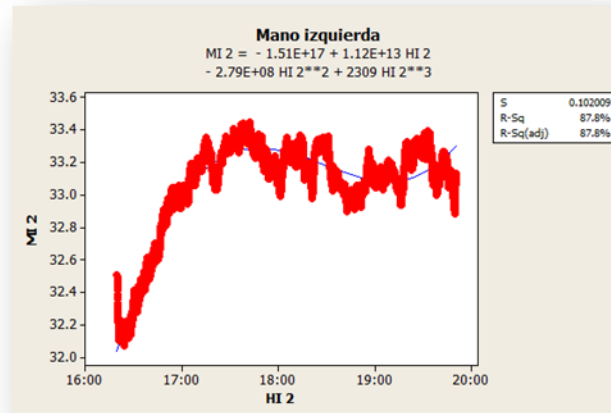
Prueba 2

Patrones de temperatura y ajuste de curva

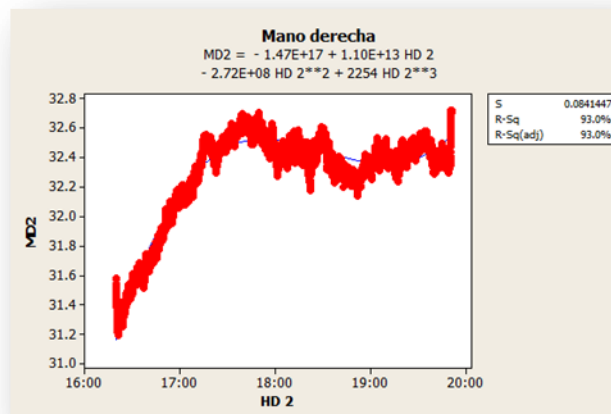
Tomando en cuenta las gráficas 126 y 127 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- Para este caso podemos decir que en ambas manos (muñecas de las manos) fue posible hacer un ajuste de la curva de un polinomio de tercer orden ya que los coeficientes de determinación resultaron arriba del 80%. Para la mano izquierda se obtuvo un 87,8% y con respecto a la mano derecha se obtuvo un coeficiente de 93,0%. Además se puede observar que los patrones de temperatura son muy similares al comparar los comportamientos de ambas manos. Se vuelve a repetir la parte de ascenso de la temperatura durante la primera hora de la experimentación.
- Podemos además mencionar que las temperaturas máximas se alcanzaron a las 17 h 42 min 30 y a las 19 h 50 min 43 en donde las temperaturas registradas fueron de 33,448 °C y de 32,723°C. Transcurriendo 1 h 22 min 30 y 3 h 30 min 43 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,939 °C y de 1,147 °C. Existe diferencia entre las temperaturas alcanzadas y los tiempos de alcance de los máximos.

- Las anomalías presentadas en esta prueba comprendían dolor en hombro derecho 1 hora después aproximadamente de iniciada la prueba y al final de la misma, además desarrollando dolor de espalda al final de la prueba.



Gráfica 126. Individuo 5 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia

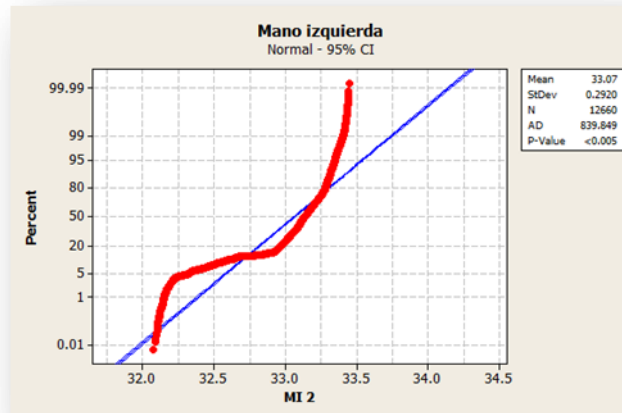


Gráfica 127. Individuo 5 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

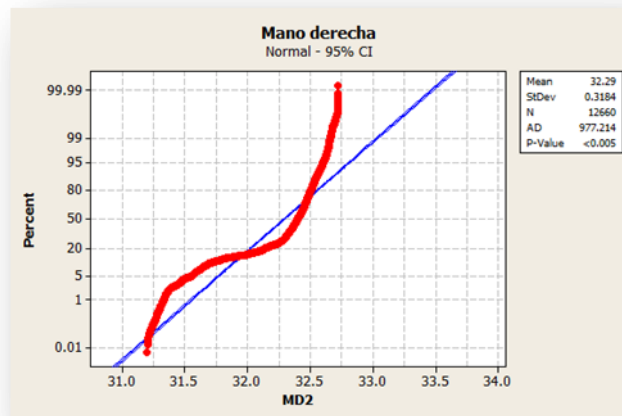
Prueba de normalidad

En las gráficas 128 y 129 para este caso podemos afirmar que como el valor **p** es menor a .005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de .05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal.

Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 839.849 para el caso de la mano izquierda y de 977.214 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

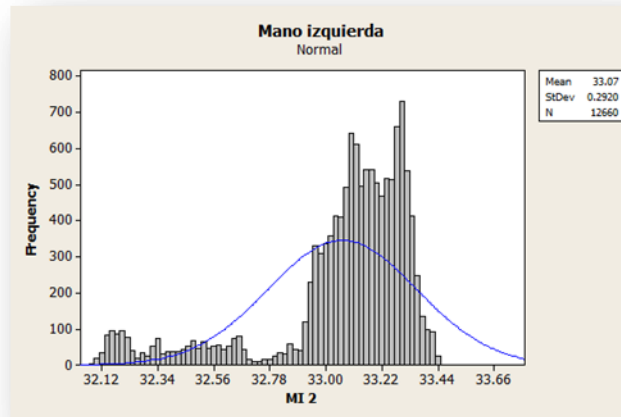


Gráfica 128. Individuo 5 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

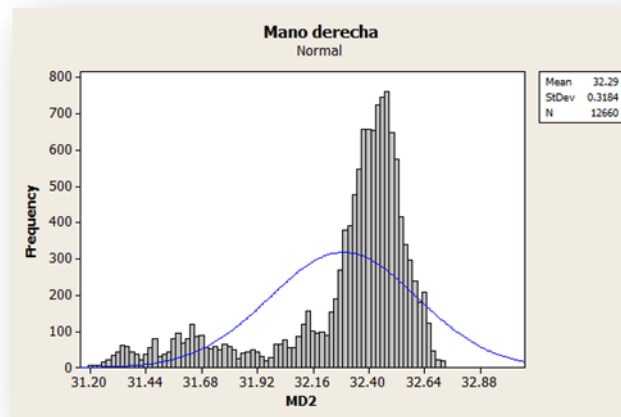


Gráfica 129. Individuo 5 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

También como parte de la evidencia que respalda que los datos no siguen una distribución normal se presentan a continuación los histogramas respectivos de cada mano. Las gráficas 130 y 131 muestran evidencia de lo mencionado anteriormente.



Gráfica 130. Histograma Individuo 5 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 131. Histograma Individuo 5 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia

Prueba 3

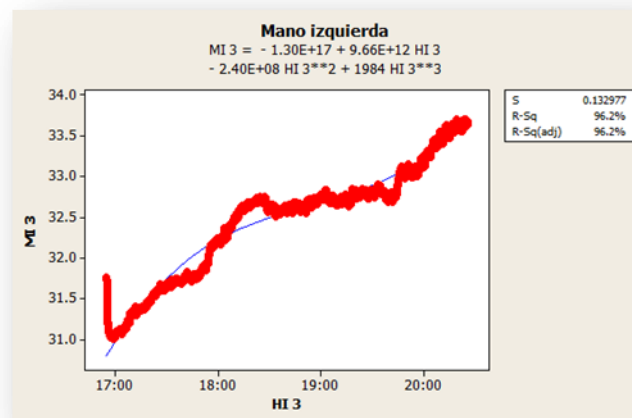
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 132 y 133 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- Para estas pruebas de igual manera podemos observar que fue posible hacer un ajuste a un polinomio de tercer orden para explicar el comportamiento de los datos por medio de la ecuación que representa el

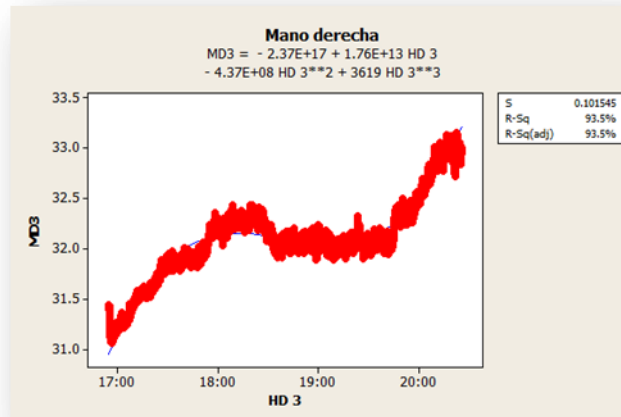
modelo. Para la mano izquierda fue posible un ajuste con un 96,2% del coeficiente de determinación, por otro lado, para la mano derecha fue posible también pero con un coeficiente del 93,5%. Además observamos que el comportamiento en ambas muñecas de cada mano fue muy similar desarrollando un ascenso de la temperatura durante la primera hora de la experimentación seguida de un ascenso pero con tendencias de estabilización y pendiente aparentemente 0 y seguida en lo posterior de un ascenso al final de la prueba.

- Las temperaturas máximas alcanzadas se dieron en tiempo muy similares, a las 20 h 24 min 27 para el caso de la mano izquierda y a las 20 h 23 min 10 para la mano derecha. Las temperaturas alcanzadas en esos momentos fueron de 33,702°C y de 33,151°C. Transcurriendo 3 h 29 min 27 y 3 h 28 min 10 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,965 °C y de 1,744 °C.
- Las anomalías presentes en esta prueba básicamente fueron de un ligero dolor en brazo al inicio de la prueba y al final desarrollando un ligero dolor de cuello.



Gráfica 132. Individuo 5 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva

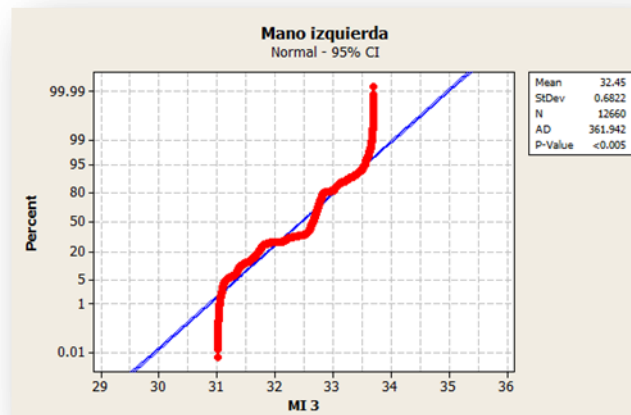
Fuente: Propia



Gráfica 133. Individuo 5 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las graficas 134 y 135 para este caso podemos afirmar que como el valor p es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 361,942 para el caso de la mano izquierda y de 243,409 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

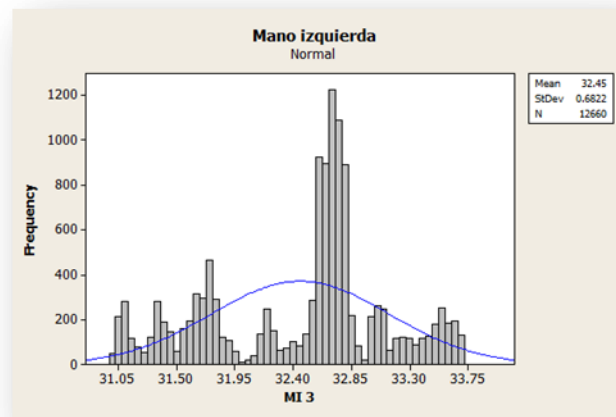


Gráfica 134. Individuo 5 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

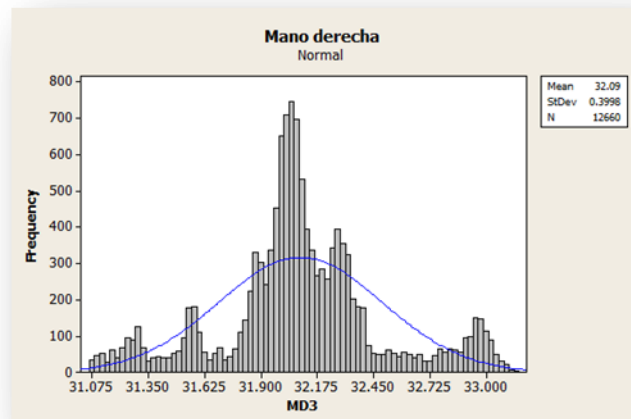


Gráfica 135. Individuo 5 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

También como parte de la evidencia que respalda que los datos no siguen una distribución normal se presentan a continuación los histogramas respectivos de cada mano. Las gráficas 136 y 137 muestran evidencia de lo anteriormente mencionado.



Gráfica 136. Histograma Individuo 5 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



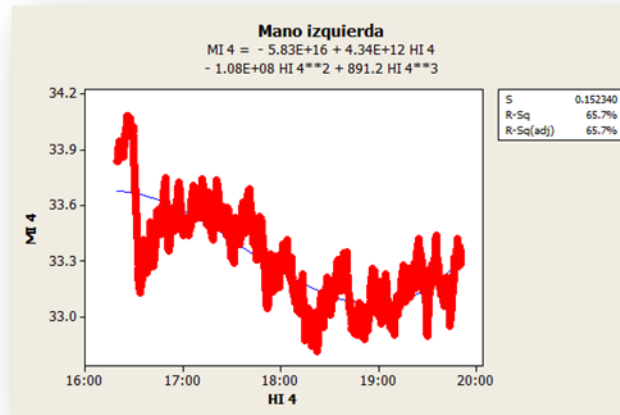
Gráfica 137. Histograma Individuo 5 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

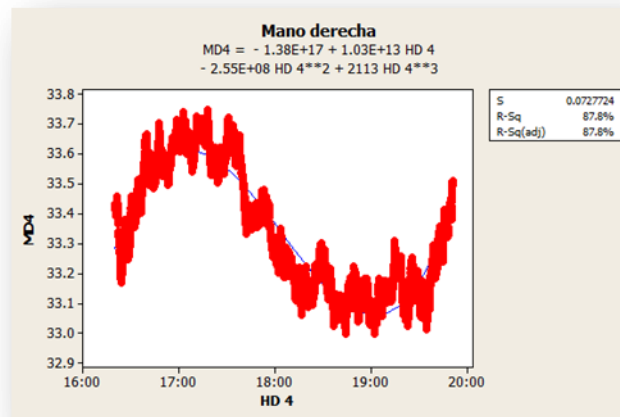
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Tomando en cuenta las gráficas 138 y 139 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- Sólo en una de las manos fue posible llevar a cabo un ajuste de un polinomio de tercer orden. El ajuste fue posible para la mano derecha con un coeficiente de determinación del 87,8%, mientras que para la mano izquierda el coeficiente ascendió a 65,7%. Por otra parte el comportamiento de las temperaturas fue muy similar de una mano a otra.
- Las temperaturas máximas alcanzadas se dieron a las 16 h 26 min 12 para el caso de la mano izquierda y a las 17 h 18 min 4 para la mano derecha. Las temperaturas alcanzadas en esos momentos fueron de 34,085°C y de 33,753°C. Transcurriendo 26 min 12 y 58 min 04 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,246 °C y de 0,328 °C.
- El operador siente dolor aproximadamente 1 hora después de iniciada la prueba en la parte derecha de la espalda e intensificándose el dolor hacia el final de la misma, al mismo tiempo que desarrolló dolor en cuello.



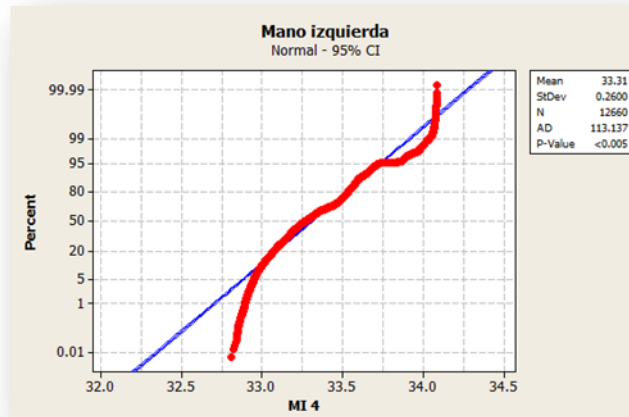
Gráfica 138. Individuo 5 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



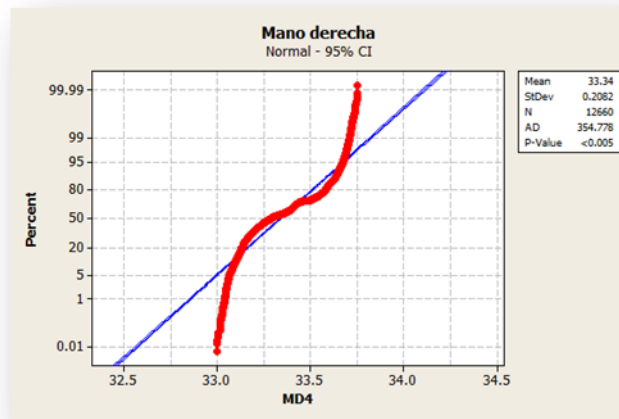
Gráfica 139. Individuo 5 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las gráficas 140 y 141 para este caso podemos afirmar que como el valor **p** es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 113,137 para el caso de la mano izquierda y de 354,778 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

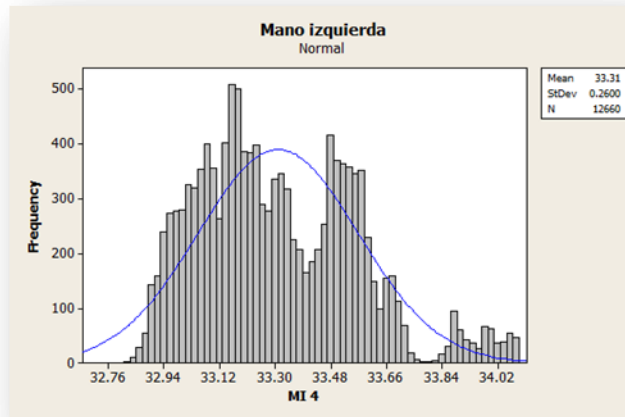


Gráfica 140. Individuo 5 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

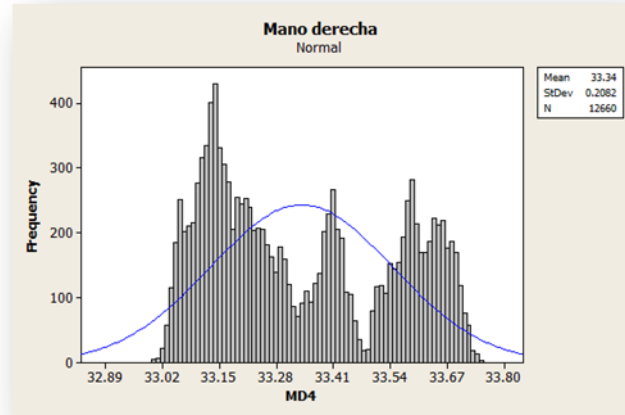


Gráfica 141. Individuo 5 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

También como parte de la evidencia que respalda que los datos no siguen una distribución normal se presentan a continuación los histogramas respectivos de cada mano. Las gráficas 142 y 143 muestran evidencia de lo antes mencionado.



Gráfica 142. Histograma Individuo 5 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 143. Histograma Individuo 5 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

En seguida se muestran las tablas 40, 41, 42 y 43 con los resultados que contienen los porcentajes de los coeficientes de correlación y sobre los cuales se seleccionaron las mejores distribuciones a las cuales pudieran apegarse las temperaturas recolectadas de la experimentación. Esto para el caso de la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 40. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	63.326	0.992
Lognormal	267.011	0.965
Exponential	14253.298	*
Loglogistic	233.654	0.966
3-Parameter Weibull	63.735	0.992
3-Parameter Lognormal	259.172	0.966
2-Parameter Exponential	8898.708	*
3-Parameter Loglogistic	226.355	0.967
Smallest Extreme Value	62.974	0.991
Normal	259.157	0.966
Logistic	226.341	0.967

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 41. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	322.908	0.955
Lognormal	881.163	0.892
Exponential	14228.885	*
Loglogistic	797.912	0.892
3-Parameter Weibull	310.679	0.956
3-Parameter Lognormal	862.813	0.894
2-Parameter Exponential	7641.675	*
3-Parameter Loglogistic	780.803	0.893
Smallest Extreme Value	310.655	0.956
Normal	862.785	0.894
Logistic	780.787	0.893

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 42. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	348.382	0.956
Lognormal	403.371	0.966
Exponential	13780.018	*
Loglogistic	501.947	0.954
3-Parameter Weibull	374.233	0.967
3-Parameter Lognormal	387.687	0.968
2-Parameter Exponential	3640.276	*
3-Parameter Loglogistic	483.294	0.955
Smallest Extreme Value	360.377	0.955
Normal	387.662	0.968
Logistic	483.264	0.955

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 43. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano izquierda prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	822.911	0.911
Lognormal	115.413	0.981
Exponential	14194.436	*
Loglogistic	182.999	0.972
3-Parameter Weibull	50.605	0.994
3-Parameter Lognormal	49.986	0.994
2-Parameter Exponential	2656.386	*
3-Parameter Loglogistic	128.911	0.982
Smallest Extreme Value	840.050	0.909
Normal	119.030	0.981
Logistic	185.449	0.971

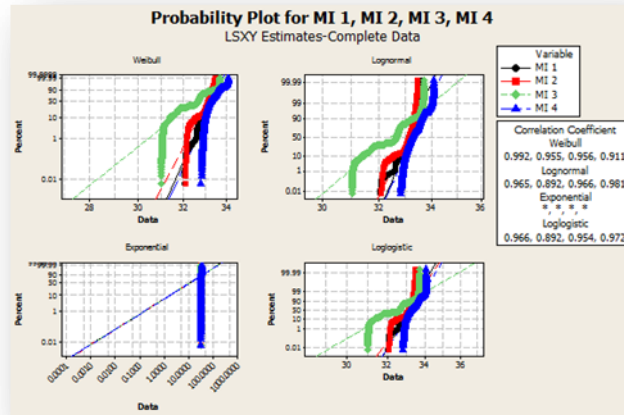
Fuente: Propia

Respecto a los datos anteriores presentados en las tablas de las distribuciones podemos decir lo siguiente:

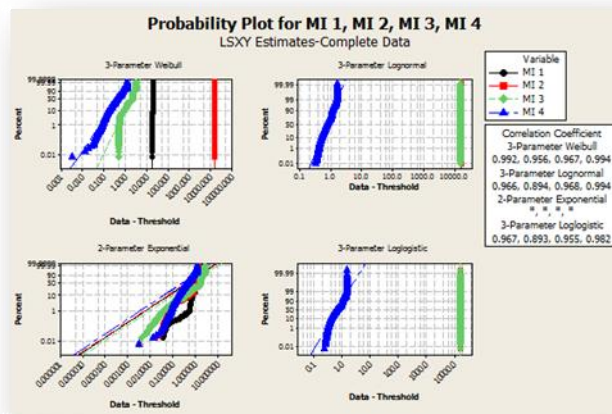
- Para la prueba 1 y 2 las principales distribuciones como en casos anteriores en otras pruebas con los demás individuos fueron la Weibull, la 3 parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño. La prueba 1 presentando un coeficiente de correlación de 99,2% y un valor de AD de 63,326 para la distribución Weibull. Para el caso de la 3 parámetros Weibull un 99,2% también pero con un valor de AD de 63,735. Para el caso de la distribución del valor extremo más pequeño se obtuvo un coeficiente de 99,1% y un valor de AD de 62,974. Con respecto de la prueba 2 se obtuvo un coeficiente de correlación de 95,5% y un valor de AD de 322,908 para la distribución Weibull. Para el caso de la 3 parámetros Weibull un 95,6% también pero con un valor de AD de 310,679. Para el caso de la distribución del valor extremo más pequeño se obtuvo un coeficiente de 95,6% y un valor de AD de 310,955.
- Para la prueba 3 y 4 las mejores distribuciones incluyeron a la lognormal, 3 parámetros Weibull y 3 parámetros lognormal. Los coeficientes de correlación para las distribuciones fueron de 96,6%, 96,7% y 96,8% respectivamente en la prueba 3 obteniendo valor en el estadístico de Anderson Darling (ajustado) de 374,233, 403,371 y de 387,687. Los coeficientes de correlación para las distribuciones fueron de 99,4%, 98,1% y

99,4% respectivamente en la prueba 4 obteniendo valor en el estadístico de Anderson Darling (ajustado) de 50605, 115,413 y de 49,986.

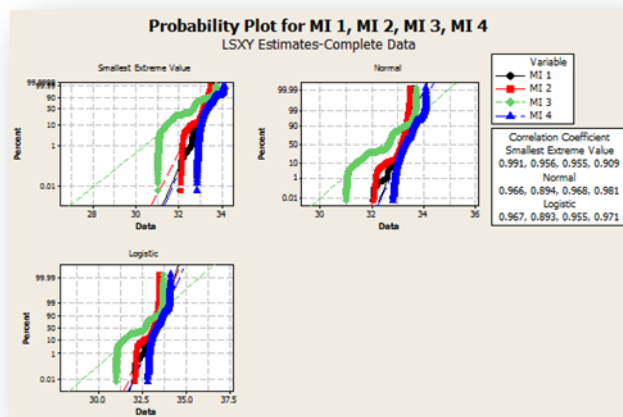
La información presentada anteriormente puede ser validada por medio de las graficas 144, 145 y 146 presentadas a continuación con los ajustes de las distribuciones.



Gráfica 144. Mejores distribuciones individuo 5 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 145. Gráfica 145. Mejores distribuciones individuo 5 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 146. Gráfica 146. Mejores distribuciones individuo 5 mano izquierda
Fuente: Propia

A continuación se muestran las tablas 44, 45, 46 y 47 con los resultados que contienen los porcentajes de los coeficientes de correlación y sobre los cuales se seleccionaron las mejores distribuciones a las cuales pudieran apegarse las temperaturas recolectadas de la experimentación. Esto para el caso de la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 44. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2382.630	0.702
Lognormal	3019.618	0.558
Exponential	13983.911	*
Loglogistic	2919.289	0.591
3-Parameter Weibull	2267.614	0.715
3-Parameter Lognormal	2897.364	0.572
2-Parameter Exponential	12215.921	*
3-Parameter Loglogistic	2789.658	0.604
Smallest Extreme Value	2267.370	0.715
Normal	2897.150	0.572
Logistic	2789.431	0.604

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 45. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	457.844	0.954
Lognormal	1070.472	0.891
Exponential	14200.114	*
Loglogistic	1049.050	0.890
3-Parameter Weibull	444.289	0.955
3-Parameter Lognormal	1051.770	0.893
2-Parameter Exponential	7694.481	*
3-Parameter Loglogistic	1031.071	0.891
Smallest Extreme Value	444.265	0.955
Normal	1051.760	0.893
Logistic	1031.038	0.891

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 46. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	751.717	0.948
Lognormal	235.135	0.977
Exponential	14049.432	*
Loglogistic	156.891	0.978
3-Parameter Weibull	283.996	0.977
3-Parameter Lognormal	233.006	0.977
2-Parameter Exponential	4913.637	*
3-Parameter Loglogistic	154.864	0.978
Smallest Extreme Value	790.696	0.945
Normal	237.433	0.977
Logistic	158.976	0.977

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 47. Distribuciones de probabilidad individuo 5 mano derecha prueba 4

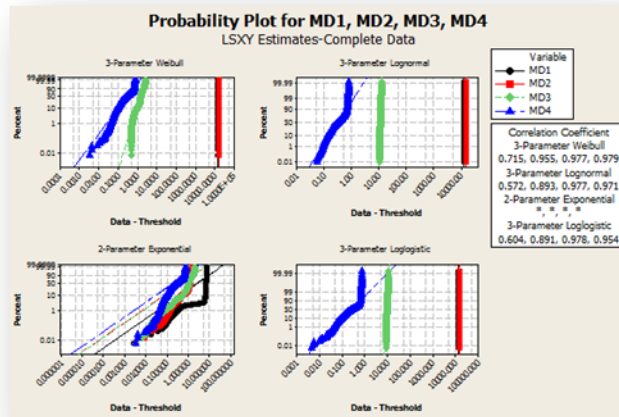
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1427.683	0.896
Lognormal	414.586	0.959
Exponential	14256.856	*
Loglogistic	644.345	0.935
3-Parameter Weibull	279.111	0.979
3-Parameter Lognormal	251.704	0.971
2-Parameter Exponential	1731.006	*
3-Parameter Loglogistic	379.132	0.954
Smallest Extreme Value	1439.774	0.895
Normal	417.182	0.958
Logistic	646.836	0.935

Fuente: Propia

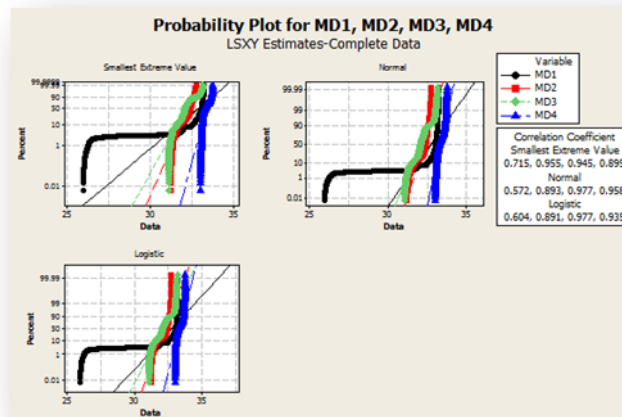
Con respecto a las distribuciones en las tablas anteriores podemos decir lo siguiente:

- Para las 2 primeras pruebas las distribuciones más representativas fueron la Weibull, la 3 parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño. Los coeficientes de correlación fueron de 70,2%, 71,5% y 71,5% para la prueba 1, además los valores del estadístico de AD para estas distribuciones fueron de 2 382,63, 2 267,68 y 2 267,37. Cabe mencionar que para esta prueba pueden observarse valores bajos en el ajuste de las distribuciones, y esto lo aludimos como ya se había mencionada antes, al despegue del sensor en la muñeca de la mano derecha durante la prueba. Con respecto a la prueba 2 podemos decir que los coeficientes de correlación fueron de 95,4%, y 95,5% respectivamente para las distribuciones antes mencionadas. Además se identificaron valores en el estadístico de AD de 457,844, 444,289 y 444,265 respectivamente.
- Para las prueba 3 las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la loglogistic y la 3 parámetros loglogistic. Los coeficientes de correlación fueron de 97,7%, y 97,8% para las dos últimas respectivamente. Los valores del estadístico AD fueron de 235,135, 156,891, y 154,864.
- Para la prueba 4 las distribuciones más representativas fueron la lognormal, 3 parámetros Weibull, y 3 parámetros lognormal. Los coeficientes de correlación fueron de 95,9%, 97,9% y 97,1% respectivamente. Los valores del estadístico AD fueron de 414,586, 279,111, y 251,704.

La información presentada anteriormente puede ser validada por medio de las graficas 147 y 148 presentadas a continuación con los ajustes de las distribuciones.



Gráfica 147. Mejores distribuciones individuo 5 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 148. Mejores distribuciones individuo 5 mano derecha
Fuente: Propia

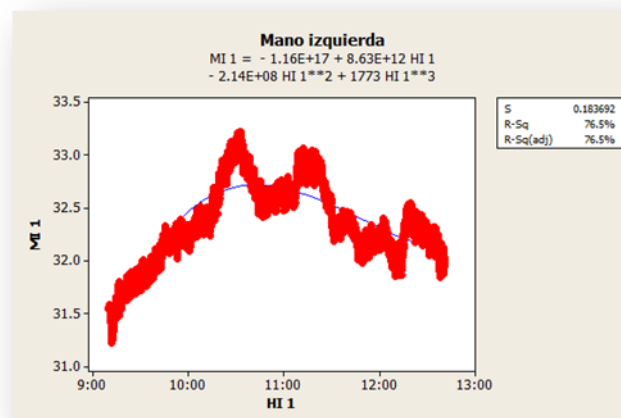
4.1.6 Individuo 6

Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

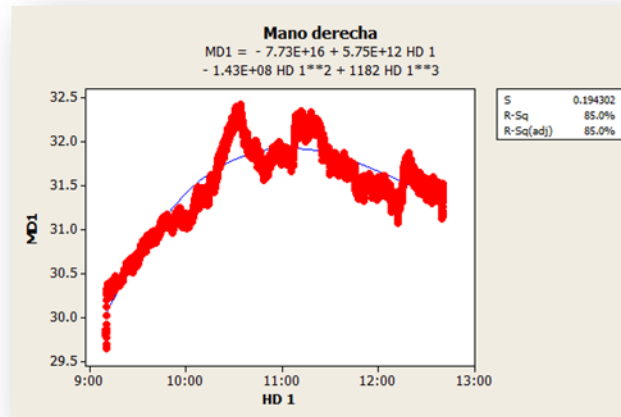
Tomando en cuenta las gráficas 149 y 150 que se presentan a continuación podemos mencionar lo siguiente:

- Para el caso de la mano izquierda podemos mencionar que no fue posible un ajuste de un polinomio de tercer orden con un porcentaje que representara un nivel aceptable de ajuste. El coeficiente de determinación reflejó un ajuste del 76,5%, mientras que para el caso de la mano derecha fue posible un ajuste del polinomio de tercer orden con un coeficiente de determinación del 85%.
- Además se puede mencionar que los patrones de temperatura mostraron una tendencia a repetirse, observando una tendencia de aumento de la temperatura durante la primera hora de la experimentación.
- Por otra parte podemos expresar que las temperaturas máximas alcanzadas durante la prueba ocurrieron a las 10 h 32 min 40 con una temperatura al momento de 32,226°C para la mano izquierda, y a las 10 h 33 min 56 con una temperatura al momento de 33,426°C. **Transcurriendo 1 h 22 min 40 y 1 h 23 min 56 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,669 °C y de 3,629 °C**
- Cabe destacar que durante la prueba realizada el operador no mostró en ningún momento desarrollar algún tipo de dolor o anomalía.



Gráfica 149. Individuo 6 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva

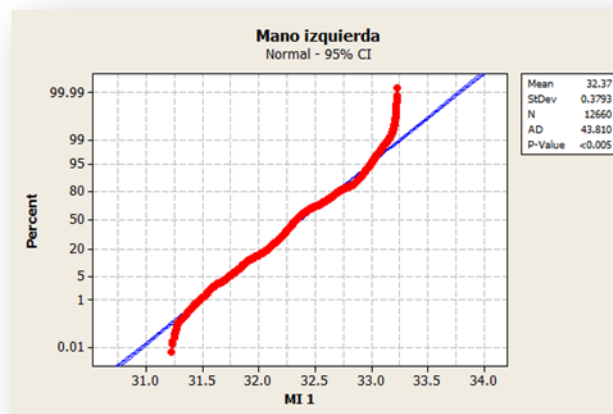
Fuente: Propia



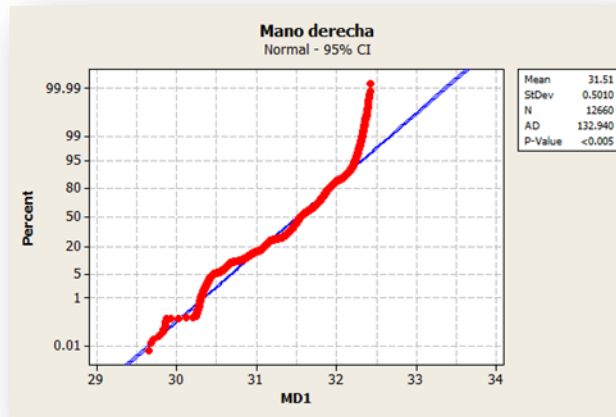
Gráfica 150. Individuo 6 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las graficas 151 y 152 para este caso podemos afirmar que como el valor p es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 43,810 para el caso de la mano izquierda y de 113,940 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

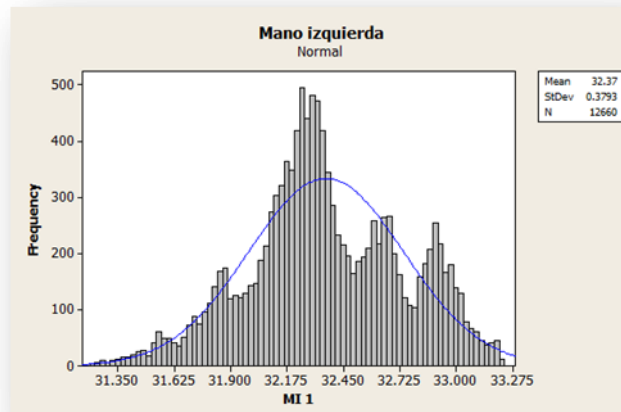


Gráfica 151. Individuo 6 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

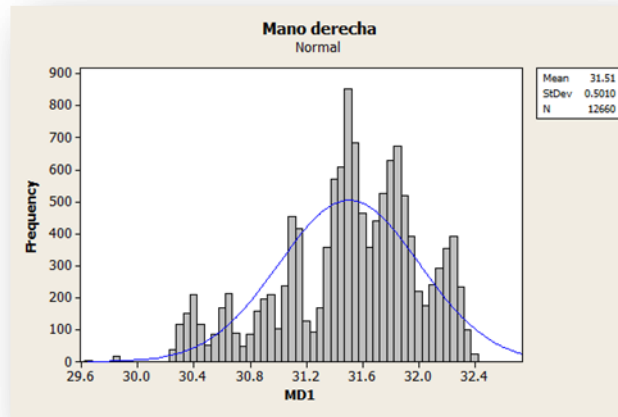


Gráfica 152. Individuo 6 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además a continuación se muestran los histogramas que validan la información presentada anteriormente. Las gráficas 153 y 154 muestran la información.



Gráfica 153. Histograma Individuo 6 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 154. Histograma Individuo 6 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

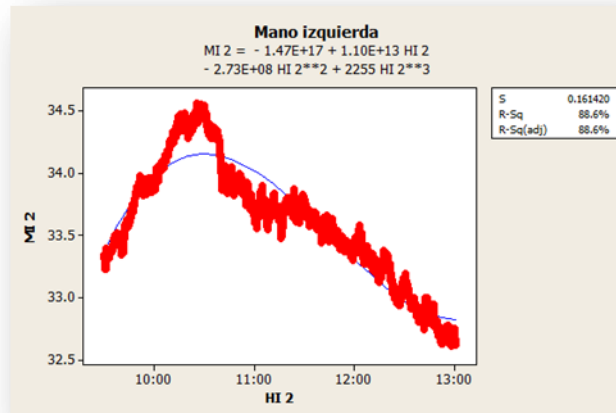
Prueba 2

Patrones de temperatura y ajuste de curva

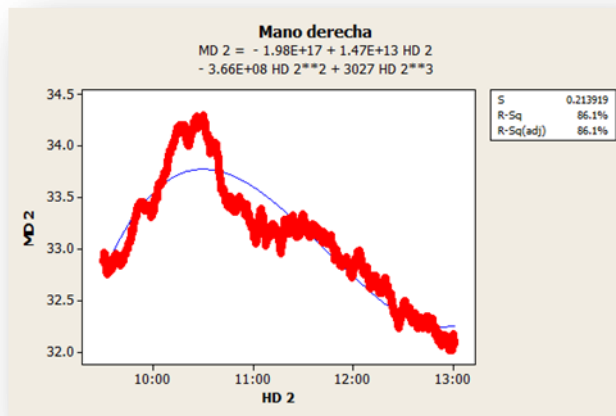
- Para este caso se puede observar en las gráficas 155 y 156 que en ambas manos fue posible llevar a cabo un ajuste de un polinomio de tercer orden, ya que así lo muestran los coeficientes de determinación correspondientes como resultado de la prueba. Para la mano izquierda se obtuvo un coeficiente de determinación del 88,6% y para la mano derecha un 86,1%.
- Por otro lado podemos observar que los patrones de temperatura son muy similares de una mano a otra. Se repite un comportamiento similar en la pruebas de otros sujetos del estudio, donde en un principio y durante la primera hora del ejercicio repetitivo existe un ascenso en la temperatura.
- Por otra parte podemos expresar que las temperaturas máximas alcanzadas durante la prueba ocurrieron a las 10 h 25 min 38 con una temperatura al momento de 34,565°C para la mano izquierda, y a las 10 h 30 min 25 con una temperatura al momento de 34,303°C, tiempos y temperaturas muy similares. Transcurriendo 55 min 38 y 1 h 00 min 25 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el

momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,244 °C y de 1,42 °C

- En la parte final del desarrollo de la prueba el operador menciona haber tenido problemas en la parte alta de la espalda elevando su grado de dolor de ligero a moderado con el paso de los minutos restantes.

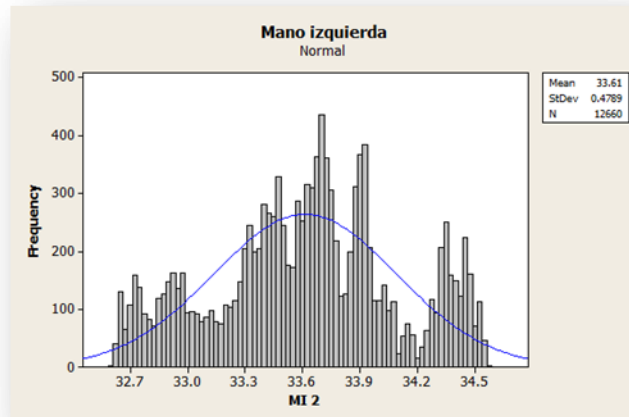


Gráfica 155. Individuo 6 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia

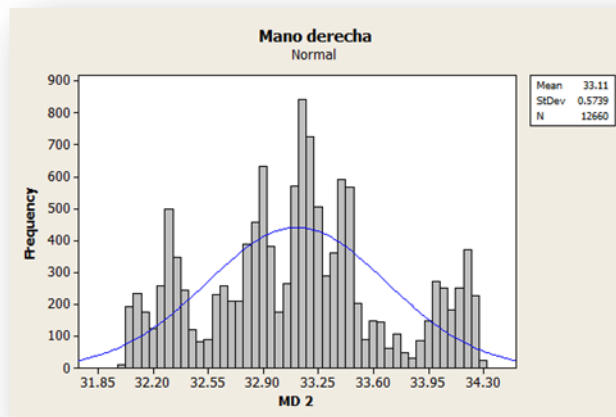


Gráfica 156. Individuo 6 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Además a continuación se muestran los histogramas que validan la información presentada anteriormente. Las gráficas 157 y 158 muestran la información.



Gráfica 157. Histograma Individuo 6 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 158. Histograma Individuo 6 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las gráficas 159 y 160 para este caso podemos afirmar que como el valor p es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 54,873 para el caso de la mano izquierda y de 90,643 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.



Gráfica 159. Individuo 6 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia



Gráfica 160. Individuo 6 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

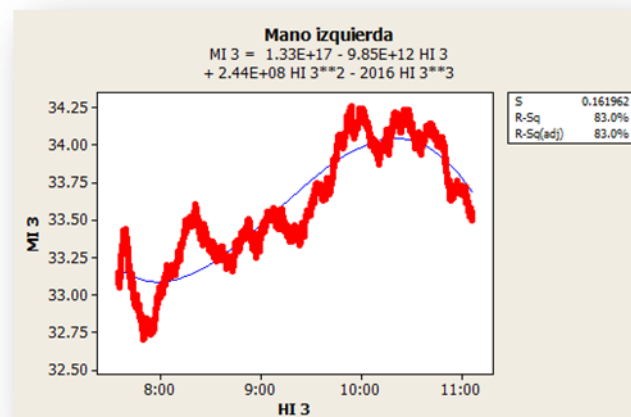
Prueba 3

Patrones de temperatura y ajuste de curva

De acuerdo a las graficas 161 y 162 podemos hacer las siguientes aportaciones:

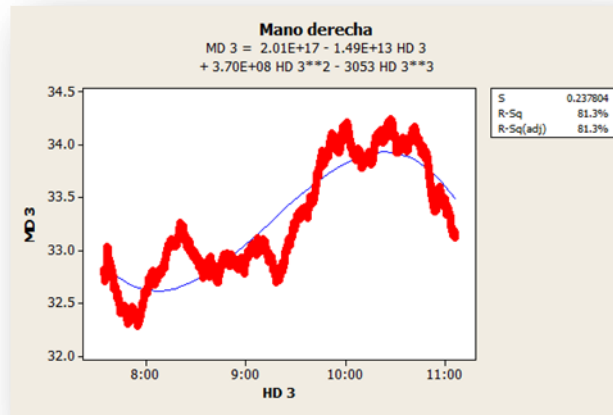
- Para este caso podemos decir que en ambas manos fue posible llevar a cabo un ajuste de una curva de tercer orden para representar el comportamiento de las temperaturas. Esto fue posible con un 83.0% para el coeficiente de determinación de la mano izquierda y de un 81.3% para la mano derecha.

- Con respecto a los patrones de temperatura, estos muestran una similitud muy alta de una mano a otra, entre sus incrementos y decrementos a lo largo de la prueba.
- Por otra parte podemos expresar que las temperaturas máximas alcanzadas durante la prueba ocurrieron a las 9 h 53 min 53 con una temperatura al momento de 34,258 °C para la mano izquierda, y a las 10 h 27 min 46 con una temperatura al momento de 33,249°C, tiempos diferentes pero con temperaturas muy similares. Transcurriendo 2 h 18 min 53 y 2 h 52 min 46 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,137 °C y de 0,427 °C
- Se presentó un ligero dolor en el cuello en la etapa final de la prueba, aproximadamente 20 minutos antes de ser terminada.



Gráfica 161. Individuo 6 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva

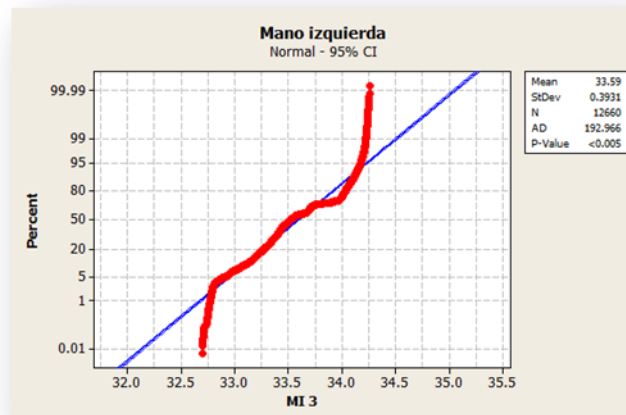
Fuente: Propia



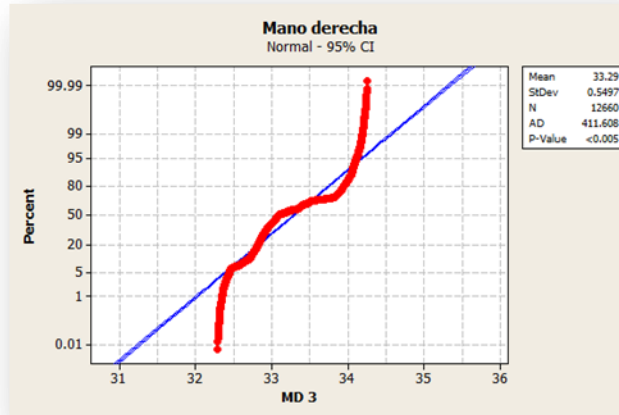
Gráfica 162. Individuo 6 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las graficas 163 y 164 para este caso podemos afirmar que como el valor p es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 192,966 para el caso de la mano izquierda y de 411,608 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

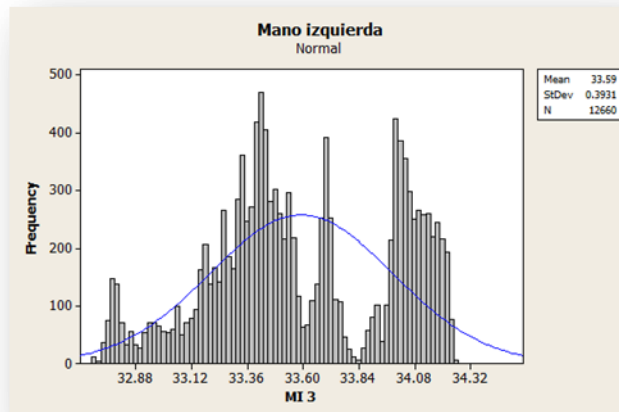


Gráfica 163. Individuo 6 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
 Fuente: Propia

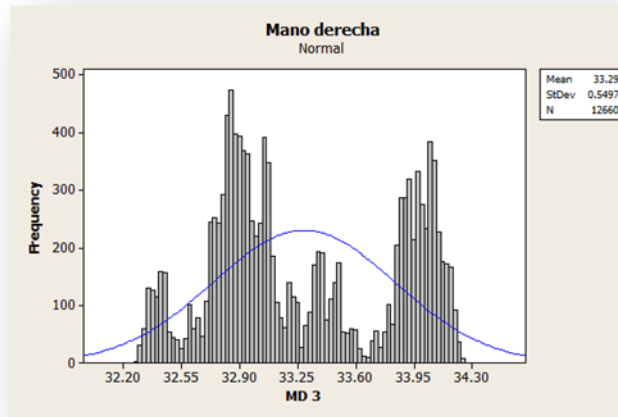


Gráfica 164. Individuo 6 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además a continuación se muestran los histogramas que validan la información presentada anteriormente. Las gráficas 165 y 166 muestran la información.



Gráfica 165. Histograma Individuo 6 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 166. Histograma Individuo 6 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

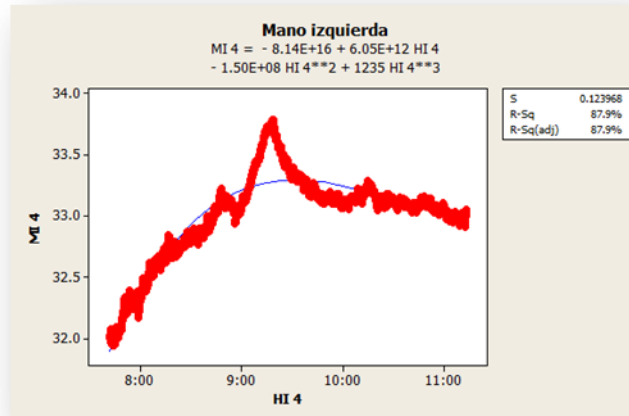
Patrones de temperatura y ajuste de curva

De acuerdo a las graficas 167 y 168 podemos hacer las siguientes aportaciones:

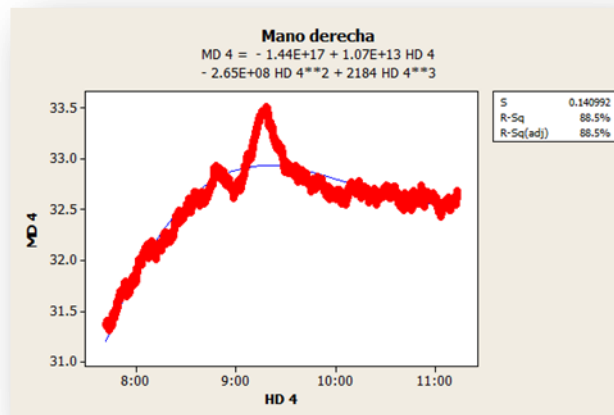
- Analizando los casos de ambas muñecas de ambas manos podemos mencionar que se pudo ajustar un modelo polinomial de tercer orden para la representación del comportamiento de los datos con un coeficiente de determinación del 87,9% para la mano izquierda y de un 88,5% para la mano derecha.
- Por otro lado podemos observar que el comportamiento de las temperaturas es muy similar en ambos casos, observando un prologado pico en el ascenso de la temperatura entre las 9 h y 10 h seguido de un proceso de descenso y estabilización de la temperatura hacia el final de la prueba.
- Por otra parte podemos expresar que las temperaturas máximas alcanzadas durante la prueba ocurrieron a las 9 h 18 min 38 con una temperatura al momento de 33,784 °C para la mano izquierda, y a las 9 h 18 min 31 con una temperatura al momento de 33,523 °C, tiempos muy similares con temperaturas similares. Transcurriendo 1 h 36 min 38 y 1 h 36 min 31 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la

prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,776 °C y de 2,161 °C

- La principal anomalía se dio casi al final de la prueba presentando un ligero dolor de espalda.



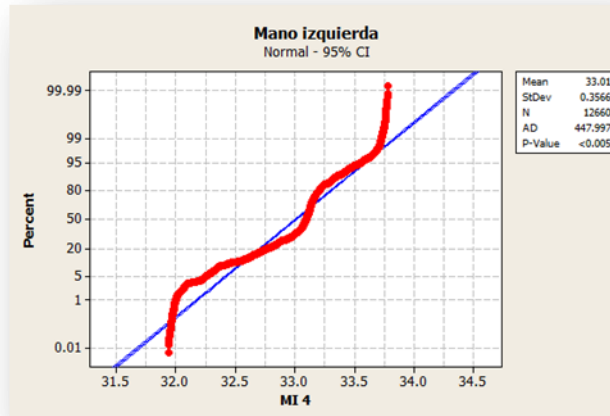
Gráfica 167. Individuo 6 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



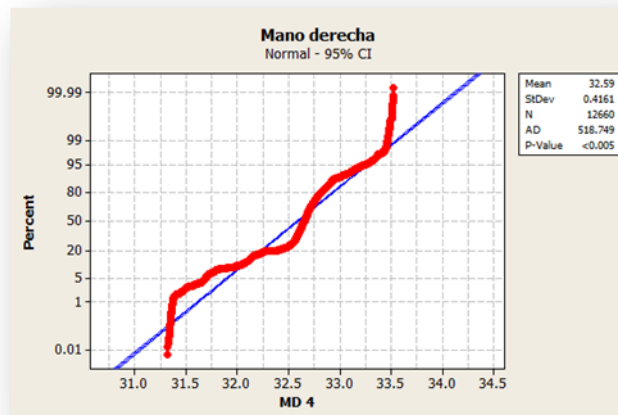
Gráfica 168. Individuo 6 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Prueba de normalidad

En las gráficas 169 y 170 para este caso podemos afirmar que como el valor p es menor a 0,005 y no mayor al nivel de significancia establecido para la prueba de 0,05 debemos de rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal. Los valores para el estadístico de prueba de normalidad AD fueron de 447,997 para el caso de la mano izquierda y de 518,749 para la mano derecha, lo cual se ve reflejado en el ajuste a la recta de normalidad.

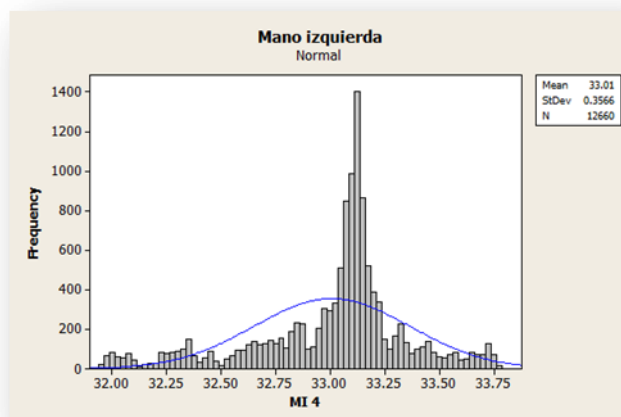


Gráfica 169. Individuo 6 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

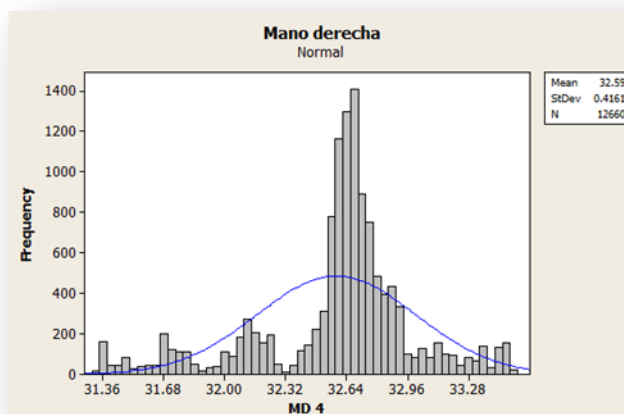


Gráfica 170. Individuo 6 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Además a continuación se muestran los histogramas que validan la información presentada anteriormente. Las gráficas 171 y 172 muestran la información.



Gráfica 171. Histograma Individuo 6 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 172. Histograma Individuo 6 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

A continuación se muestran las tablas 48, 49, 50 y 51 que muestran información acerca de los porcentajes obtenidos al realizar la prueba de ajustes de las distribuciones para la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 48. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	413.905	0.969
Lognormal	43.252	0.995
Exponential	14067.391	*
Loglogistic	73.225	0.986
3-Parameter Weibull	54.318	0.997
3-Parameter Lognormal	44.751	0.995
2-Parameter Exponential	5755.797	*
3-Parameter Loglogistic	71.122	0.986
Smallest Extreme Value	436.329	0.967
Normal	44.754	0.995
Logistic	75.898	0.986

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 49. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	387.564	0.959
Lognormal	59.798	0.989
Exponential	13981.541	*
Loglogistic	91.975	0.975
3-Parameter Weibull	74.684	0.985
3-Parameter Lognormal	58.507	0.989
2-Parameter Exponential	3276.278	*
3-Parameter Loglogistic	90.579	0.975
Smallest Extreme Value	413.482	0.957
Normal	58.505	0.989
Logistic	90.576	0.975

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 50. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	711.858	0.952
Lognormal	209.290	0.977
Exponential	14075.507	*
Loglogistic	332.339	0.959
3-Parameter Weibull	165.828	0.984
3-Parameter Lognormal	201.128	0.977
2-Parameter Exponential	3936.691	*
3-Parameter Loglogistic	287.795	0.960
Smallest Extreme Value	735.084	0.951
Normal	212.850	0.977
Logistic	338.470	0.959

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 51. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano izquierda prueba 4

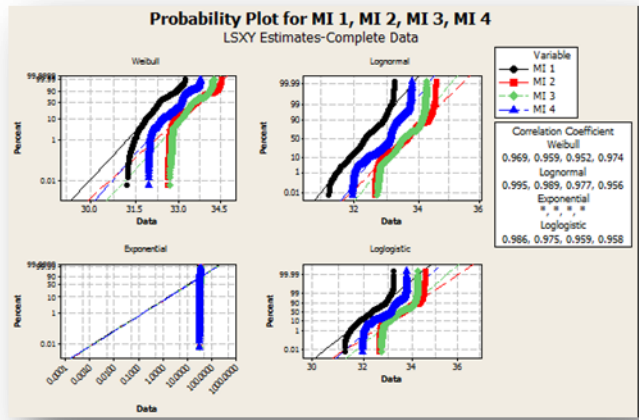
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	279.215	0.974
Lognormal	460.064	0.956
Exponential	14131.674	*
Loglogistic	420.425	0.958
3-Parameter Weibull	277.055	0.975
3-Parameter Lognormal	447.668	0.958
2-Parameter Exponential	6208.109	*
3-Parameter Loglogistic	407.837	0.960
Smallest Extreme Value	281.661	0.974
Normal	447.647	0.958
Logistic	407.819	0.960

Fuente: Propia

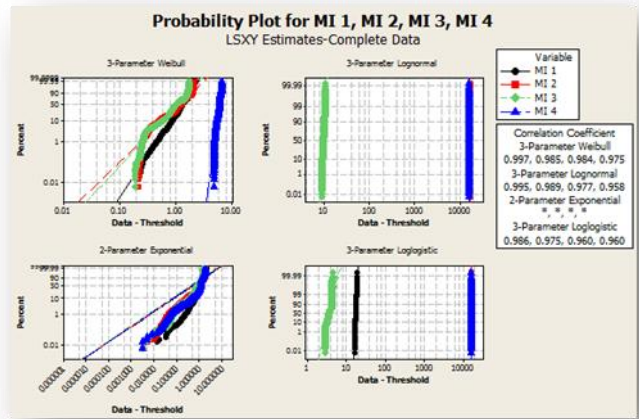
Respecto a las tablas anteriores podemos mencionar realizar las siguientes discusiones:

- Para las 3 primeras pruebas las distribuciones más representativas con los coeficientes más altos de correlación y los mejores valores en los estadísticos Anderson Darling fueron, la distribución lognormal, 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal., con coeficientes de correlación para la prueba 1 de 99,5%, 99,7% y 99,5%, además de valores de AD de 43,252, 54,318 y 44,751 respectivamente para esas distribuciones. Para la prueba 2 de 98,9%, 98,5% y 98,9%, además de valores de AD de 59,798, 74,684 y 58,507 respectivamente. Para la prueba 3 de 97,7%, 98,4% y 97,7%, además de valores de AD de 209,290, 165,828 y 201,128 respectivamente.
- Para la última prueba las distribuciones más representativas fueron la Weibull, la 3 parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño.

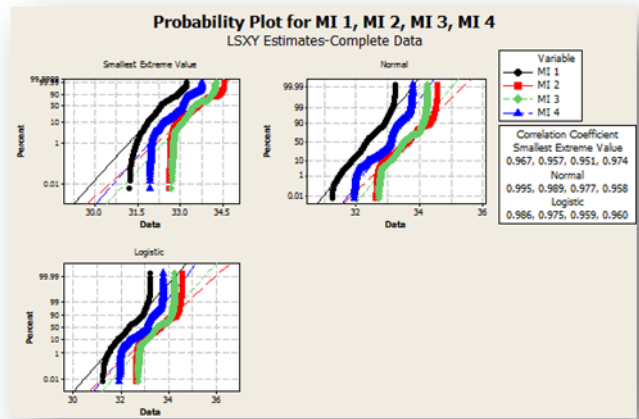
A continuación se muestran las gráficas 173, 174, 175 que demuestran evidencia de la información presentada con anterioridad en las tablas.



Gráfica 173. Mejores distribuciones individuo 6 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 174. Mejores distribuciones individuo 6 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 175. Mejores distribuciones individuo 6 mano izquierda
Fuente: Propia

En seguida se muestra resumida la información en las tablas 52, 53, 54 y 55 respecto de las distribuciones a las que mejor se ajustan los datos para el caso de la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 52. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	61.136	0.985
Lognormal	149.205	0.979
Exponential	13949.789	*
Loglogistic	170.129	0.970
3-Parameter Weibull	45.576	0.990
3-Parameter Lognormal	137.345	0.980
2-Parameter Exponential	7198.921	*
3-Parameter Loglogistic	159.685	0.971
Smallest Extreme Value	68.827	0.985
Normal	137.322	0.980
Logistic	159.666	0.971

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 53. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	645.228	0.943
Lognormal	92.929	0.985
Exponential	13870.472	*
Loglogistic	117.932	0.971
3-Parameter Weibull	116.315	0.985
3-Parameter Lognormal	89.260	0.986
2-Parameter Exponential	2639.355	*
3-Parameter Loglogistic	118.450	0.972
Smallest Extreme Value	688.511	0.940
Normal	96.080	0.985
Logistic	119.978	0.971

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 54. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1427.858	0.913
Lognormal	466.472	0.959
Exponential	13909.167	*
Loglogistic	694.761	0.937
3-Parameter Weibull	238.609	0.982
3-Parameter Lognormal	304.062	0.967
2-Parameter Exponential	2474.295	*
3-Parameter Loglogistic	402.193	0.950
Smallest Extreme Value	1465.859	0.910
Normal	476.719	0.958
Logistic	707.575	0.936

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 55. Distribuciones de probabilidad individuo 6 mano derecha prueba 4

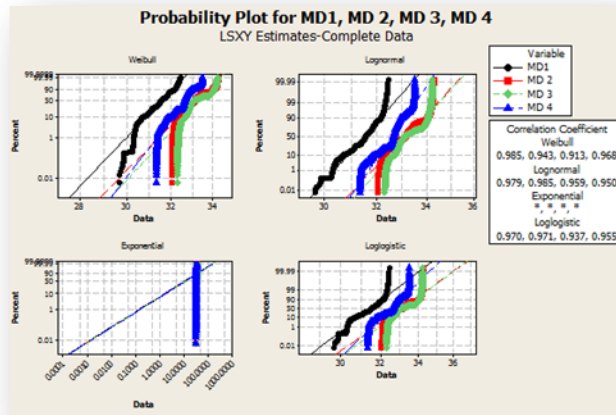
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	370.856	0.968
Lognormal	529.019	0.950
Exponential	14071.532	*
Loglogistic	466.674	0.955
3-Parameter Weibull	362.149	0.968
3-Parameter Lognormal	514.003	0.952
2-Parameter Exponential	6392.827	*
3-Parameter Loglogistic	451.088	0.957
Smallest Extreme Value	375.982	0.967
Normal	513.974	0.952
Logistic	451.059	0.957

Fuente: Propia

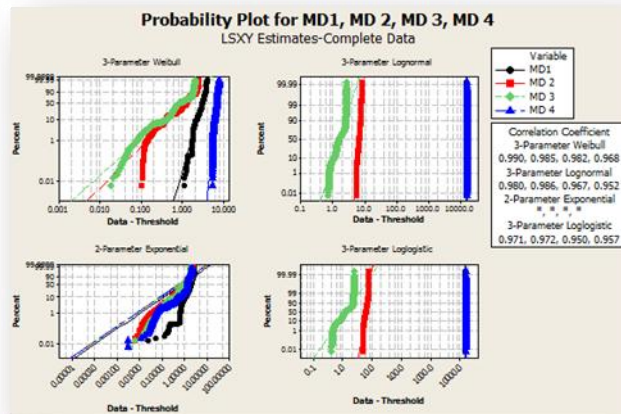
Con respecto a las tablas anteriores podemos hacer las siguientes menciones:

- Para la prueba 1 y 4 tenemos que las distribuciones más representativas fueron la Weibull, la 3 parámetros Weibull y la del valor extremo más pequeño, donde los valores de los coeficientes de correlación en la prueba 1 de dichas distribuciones fueron de 99,5%, 99% y 98,5% respectivamente, además los valores del estadístico fueron de 61,136, 45,576 y de 68,827. Para el caso de la prueba 4 los valores de las distribuciones del coeficiente de correlación fueron de 96,8% para la Weibull y la 3 parámetros Weibull y de 98,2% para la distribución del valor extremo más pequeño, además los valores del estadístico de AD fueron de 370,856, 362,49 y de 375,982.
- Para la prueba 2 y 3 tenemos que las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal, donde los valores de los coeficientes de correlación en la prueba 2 de dichas distribuciones fueron de 98,5%, 98,5% y 98,6% respectivamente, además los valores del estadístico fueron de 92,929, 116,315 y de 89,260. Para el caso de la prueba 3 los valores de las distribuciones del coeficiente de correlación fueron de 95,9% para la lognormal, 98,2% para la 3 parámetros Weibull y de 96,7% para la distribución 3 parámetros lognormal, además los valores del estadístico de AD fueron de 466,472, 238,609 y de 304,062.

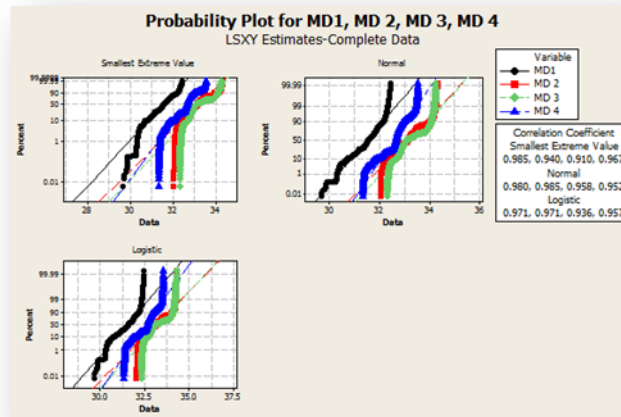
A continuación se muestran las gráficas 176, 177 y 178 que demuestran evidencia de la información presentada con anterioridad en las tablas.



Gráfica 176. Mejores distribuciones individuo 6 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 177. Mejores distribuciones individuo 6 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 178. Mejores distribuciones individuo 6 mano derecha
Fuente: Propia

4.2 Pruebas continuas

Como su nombre lo menciona las pruebas continuas fueron programadas para todas las pruebas de manera seguida 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.

4.2.1 Individuo 7

De acuerdo a las temperaturas obtenidas del individuo en el lapso más largo de la jornada laboral (3 h 30) y siguiendo el protocolo bajo las condiciones de operaciones establecidas en el mismo se obtuvieron los hallazgos que se presentan a continuación

Prueba 1

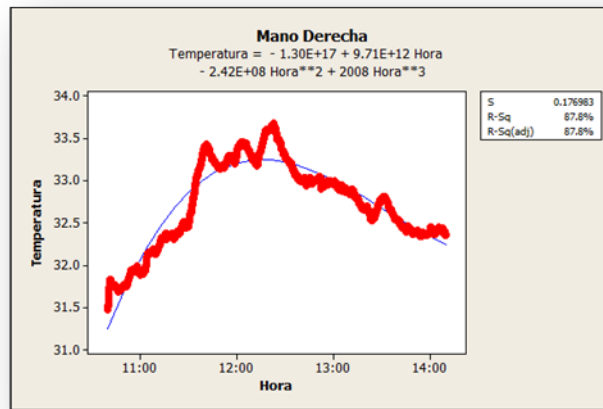
Patrones de temperatura y ajuste de curva

En las gráficas 179 y 180 se puede apreciar los comportamientos de las temperaturas de ambas muñecas. Comparando ambas gráficas podemos apreciar

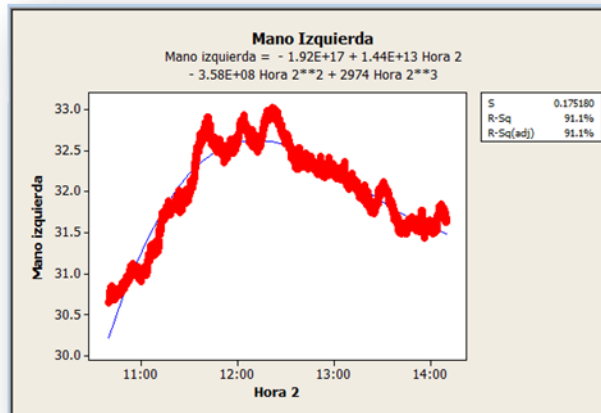
un comportamiento de las temperaturas muy similar de ambas muñecas. Tres similitudes importantes son las siguientes:

- 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 al 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 un modelo 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.



Gráfica 179. Individuo 7 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia



Gráfica 180. Individuo 7 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Prueba de normalidad

Podemos tener un indicio de que esperar de acuerdo a las graficas 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 y el uso de un simple histograma.

Para evaluar si los datos se apegan a una distribución normal se eligió de las pruebas de normalidad la de Anderson Darling. Un valor p menor al nivel de significancia establecido 0,05 indicará para este caso que los datos no siguen una

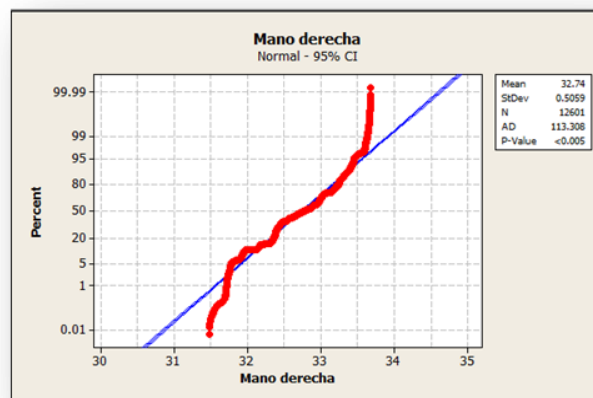
distribución normal. Para que lo anterior fuera diferente tendríamos que tener un valor p mayor al nivel de significancia establecido, además de un valor de AD (Anderson Darling) muy pequeño.

Entonces para todas y cada una de las muestras obtenidas se definió la siguiente hipótesis tomando en cuenta la prueba de Anderson Darling:

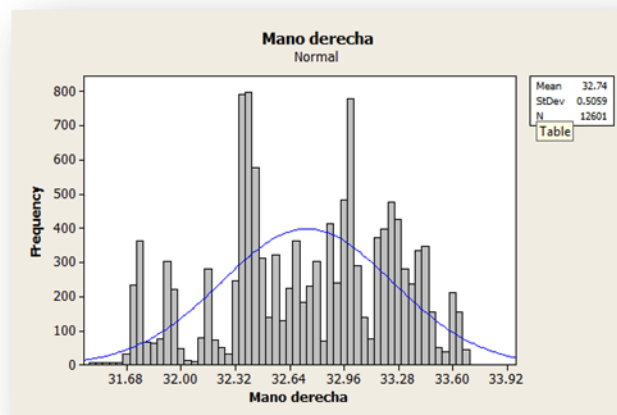
Hipótesis Nula (H₀)= El conjunto de datos siguen una distribución normal

Hipótesis Alternativa= (H₁)= El conjunto de datos no siguen una distribución normal

Las gráficas 181 muestra la información sobre la prueba de normalidad y la gráfica 182 acerca del histograma.

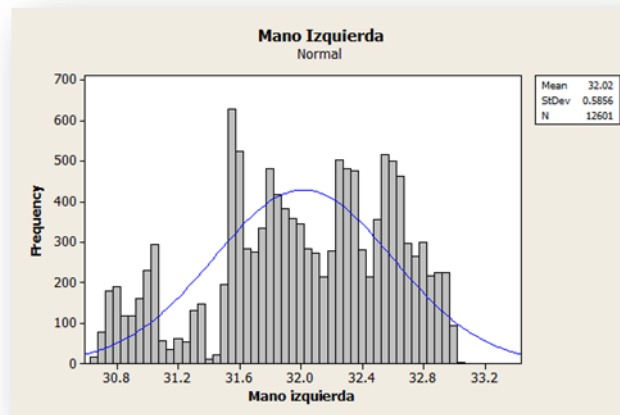


Gráfica 181. Individuo 7 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

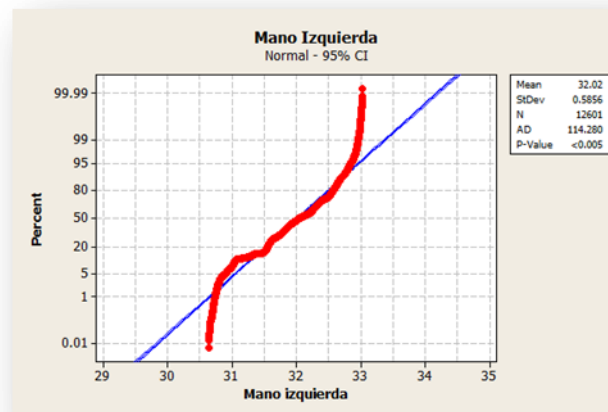


Gráfica 182. Histograma Individuo 7 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

Las gráficas 184 muestra la información sobre la prueba de normalidad y la gráfica 183 acerca del histograma.



Gráfica 183. Histograma Individuo 7 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 184. Histograma Individuo 7 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia

Como resultado de la prueba de normalidad podemos 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, debemos rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal en las muñecas de ambas manos. De manera alterna se muestra claramente que los histogramas de los datos no se ajustan a la distribución normal, esto como mayor evidencia para efectos de rechazar la hipótesis establecida.

Cabe mencionar que Minitab® 15 no siempre desplegara los valores del valor **p** en la prueba para evaluar normalidad de Anderson Darling debido a que matemáticamente podría no existir para ciertos casos Minitab® 15.

Ajustes de distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestra la tabla 50 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano derecha.

Prueba 1

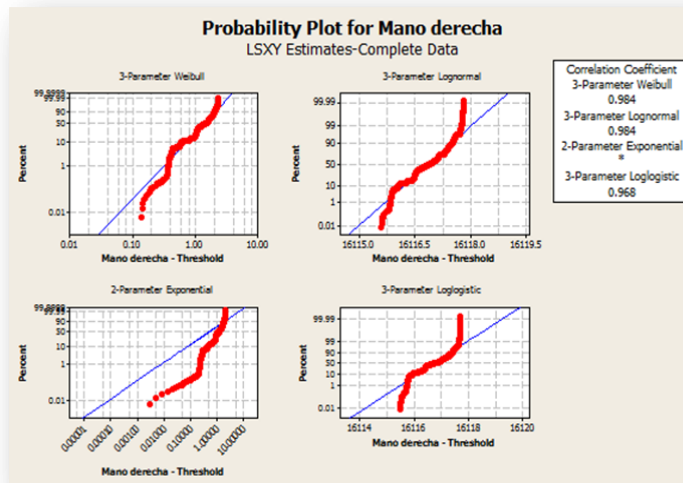
Tabla 56. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano derecha prueba 1.

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	274.475	0.965
Lognormal	127.138	0.983
Exponential	13882.906	*
Loglogistic	230.116	0.968
3-Parameter Weibull	111.303	0.984
3-Parameter Lognormal	123.283	0.984
2-Parameter Exponential	4518.892	*
3-Parameter Loglogistic	227.923	0.968
Smallest Extreme Value	289.316	0.963
Normal	123.275	0.984
Logistic	227.919	0.968

Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla podemos 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 podemos 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 Anderson Darling 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 gráfica 185 que nos hace respaldar lo descrito anteriormente en la tabla.



Gráfica 185. Mejores distribuciones individuo 7 mano derecha
Fuente: Propia

A continuación se muestra la tabla 57 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano Izquierda.

Prueba 1

Tabla 57. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano izquierda prueba 1

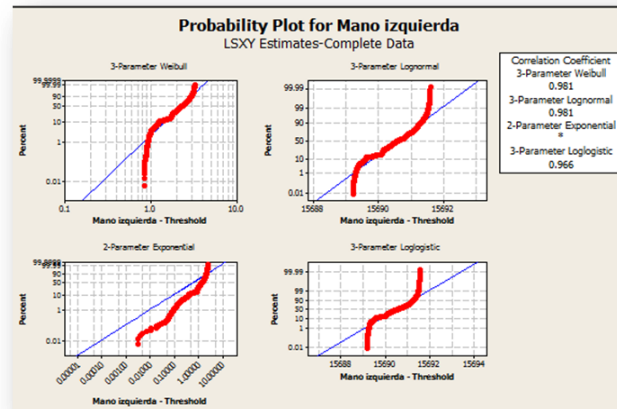
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	159.484	0.973
Lognormal	132.830	0.980
Exponential	13797.212	*
Loglogistic	206.763	0.965
3-Parameter Weibull	83.311	0.981
3-Parameter Lognormal	124.329	0.981
2-Parameter Exponential	4144.947	*
3-Parameter Loglogistic	200.891	0.966
Smallest Extreme Value	172.663	0.972
Normal	124.313	0.981
Logistic	200.882	0.966

Fuente: Propia

De acuerdo a la tabla podemos 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 podemos 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 Anderson Darling 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 gráfica 186 que nos hace respaldar lo descrito anteriormente en la tabla.



Gráfica 186. Mejores distribuciones individuo 7 mano izquierda
Fuente: Propia

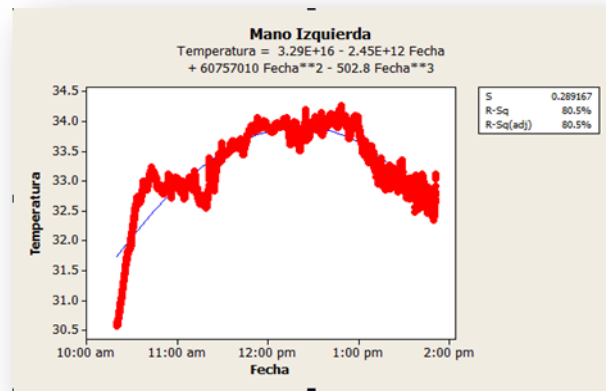
Prueba 2

Para esta prueba en particular según las gráficas 187 y 188 podemos apreciar que el patrón de temperatura es muy similar entre una muñeca y otra como sucedió en la prueba 1 y que los tiempos de estrés máximo de una muñeca con respecto a la otra también son alcanzados en tiempos muy similares. Con respecto a lo anterior podemos decir lo siguiente:

- Los puntos máximos de estrés fueron alcanzados en tiempos muy similares en ambas muñecas. En la muñeca izquierda a las 12 h 48 min 24 con una temperatura de 34,276 °C y en la muñeca derecha a las 12 h 48 min 39 con una temperatura de 34,154 °C. Tiempos prácticamente iguales. Transcurriendo 2 h 28 min 24 y 2 h 28 min 39 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 3,672 °C y de 3,44 °C

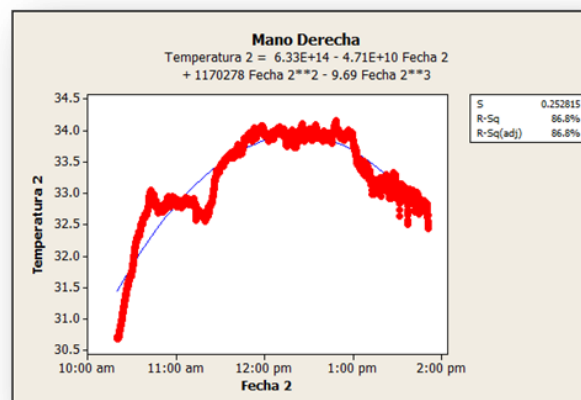
- ✓ Se detectaron molestias importantes en la muñeca derecha alrededor de las 12 h 33 min 30 y en el palmar derecho una hora después y al mismo tiempo dolor en espalda baja. Se detectaron molestias importantes en los tiempos de alcance de puntos máximos de estrés en hombro derecho.

Por otra parte fue posible ajustar un modelo polinomial de tercer orden que representará el comportamiento de las temperaturas del individuo y con un porcentaje de aproximación de la curva a los datos del 80.5% para la mano izquierda y de 86.8% para la mano derecha.



Gráfica 187. Individuo 7 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva

Fuente: Propia

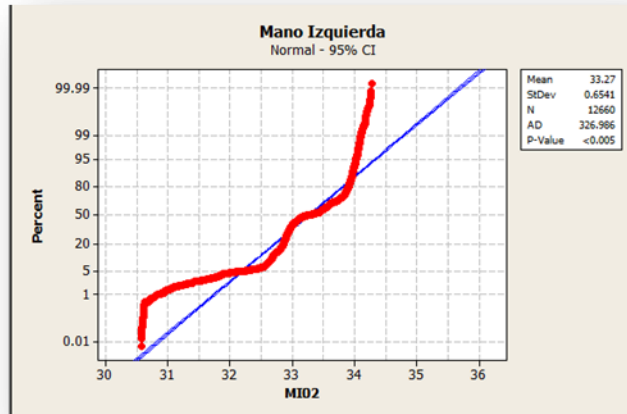


Gráfica 188. Individuo 7 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva

Fuente: Propia

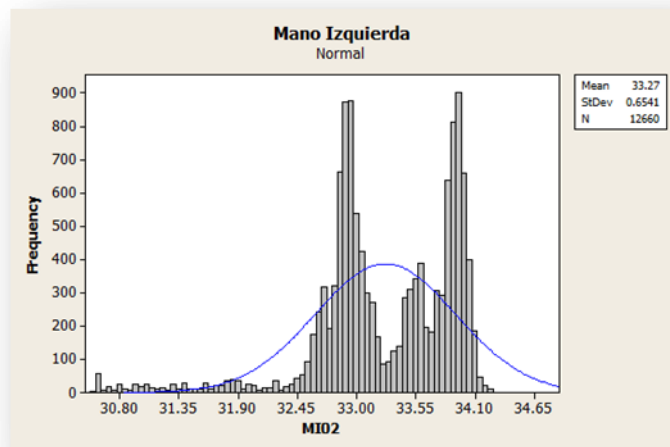
Prueba de normalidad

Para todas y cada una de las pruebas de normalidad se definió la misma hipótesis que la establecida en el análisis de la prueba 1. De acuerdo a lo anterior entonces tenemos la gráfica 189:

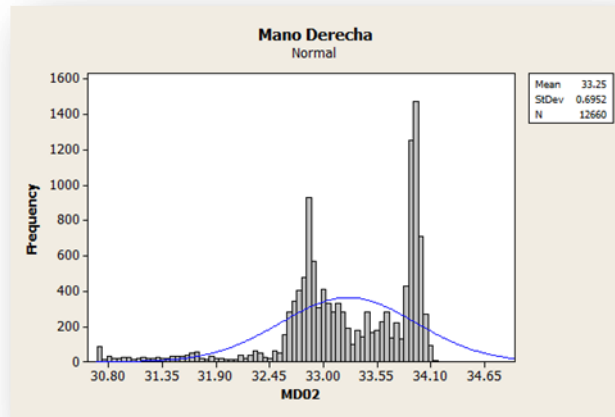


Gráfica 189. Individuo 7 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

A continuación se muestra las gráficas 190 y 191 acerca de los resultados arrojados por los respectivos histogramas.

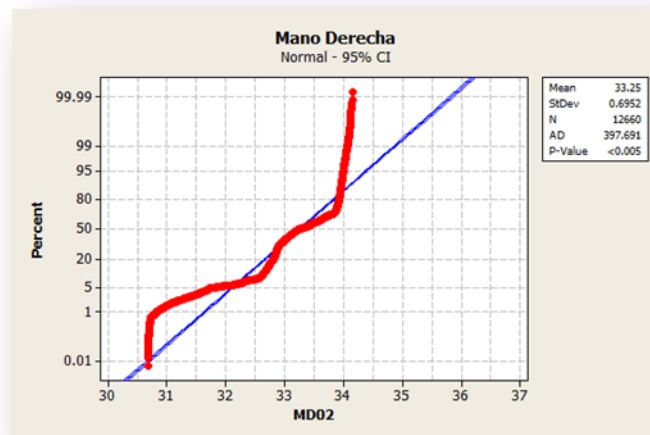


Gráfica 190. Histograma Individuo 7 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 191. Histograma Individuo 7 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

La gráfica 192 muestra evidencia de el porque rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal.



Gráfica 192. Individuo 7 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como resultado de la prueba de normalidad podemos 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, debemos rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal en las muñecas de ambas manos. De manera alterna se muestra claramente que los histogramas de

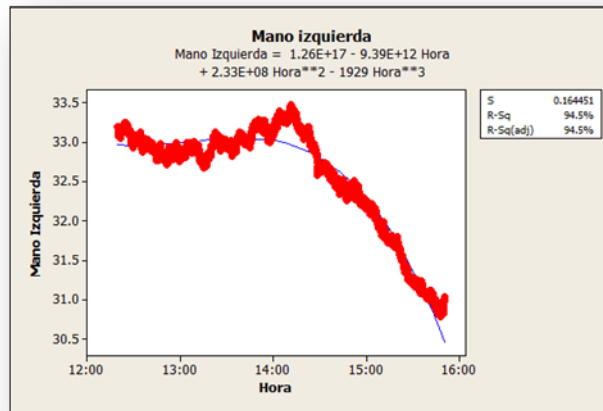
los datos no se ajustan a la distribución normal, esto como mayor evidencia para efectos de rechazar la hipótesis establecida.

La parte de los ajustes de la distribución se muestran al final de las pruebas realizadas sobre el individuo 1.

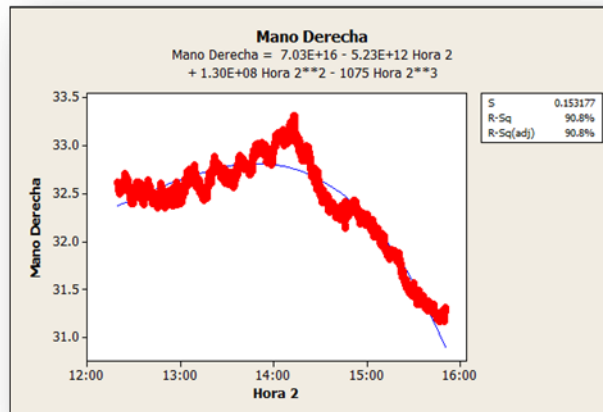
Prueba 3

Para esta prueba en particular según las gráficas 193 y 194 podemos apreciar que el patrón de temperatura es muy similar entre una muñeca y otra como sucedió en las pruebas anteriores y que los tiempos de estrés máximo de una muñeca con respecto a la otra también son alcanzados en tiempos muy similares. Con respecto a lo anterior podemos decir lo siguiente:

- Los puntos máximos de estrés fueron alcanzados en tiempos muy similares en ambas muñecas. En la muñeca izquierda a las 14 h 11 min 40 con una temperatura de 33,481 °C y en la muñeca derecha a las 14 h 13 min 22 con una temperatura de 33,313 °C. Tiempos prácticamente iguales. Transcurriendo 1 h 51 min 40 y 1 h 53 min 22 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,275 °C y de 0,694 °C
- ✓ Se detectaron dolores en espalda baja alrededor de las 12 h 55 min 35 y en la muñeca derecha casi al final de la prueba, alrededor de las 14 h 54 min 10.
- ✓ Se detectaron molestias importantes en los tiempos previos de alcance de puntos máximos de estrés en el hombro derecho. Por otra parte fue posible ajustar un modelo polinomial de tercer orden que representara el comportamiento de las temperaturas del individuo y con un porcentaje de aproximación de la curva a los datos del 90,8% para la mano derecha y de 94,5% para la mano izquierda.



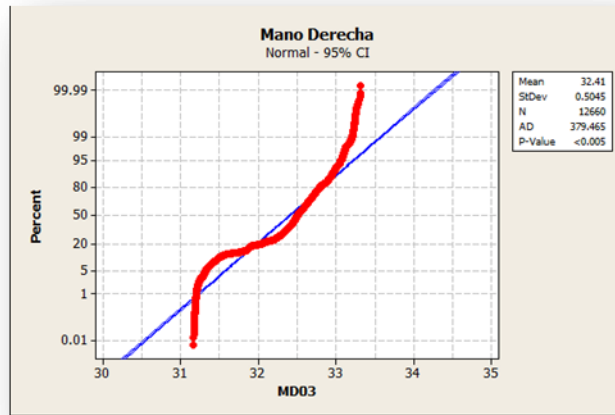
Gráfica 193. Individuo 7 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



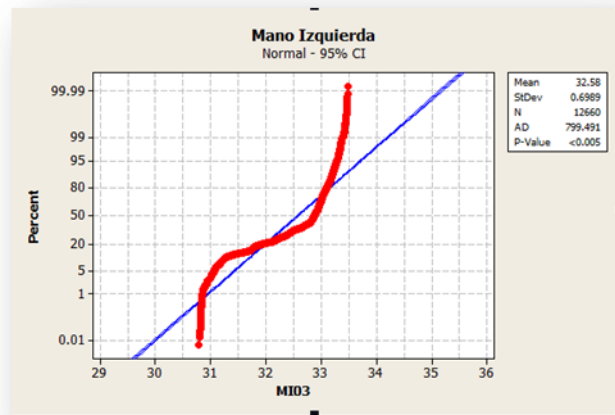
Gráfica 194. Individuo 7 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

Las gráficas 195 y 196 que se muestran a continuación muestran evidencia significativa de que los datos no siguen tampoco en esta ocasión una distribución normal de acuerdo a la prueba de Anderson Darling.

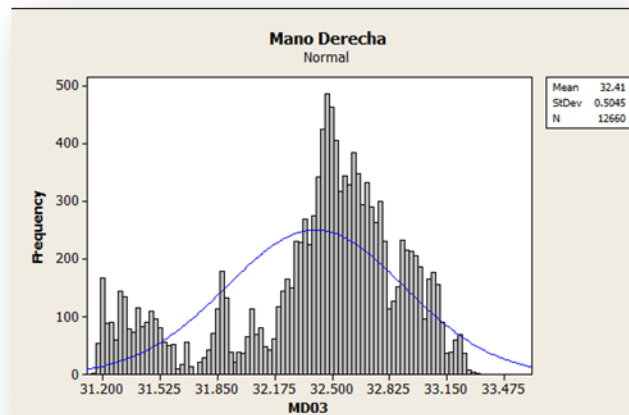


Gráfica 195. Individuo 7 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

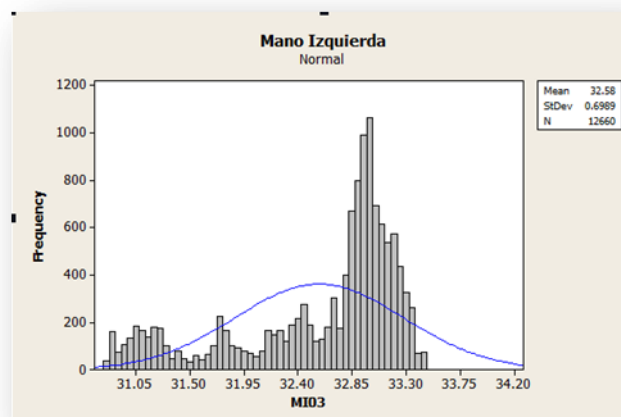


Gráfica 196. Individuo 7 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

A continuación se muestra las gráficas 197 y 198 que representan los resultados arrojados por los respectivos histogramas y que respaldan a la prueba de normalidad.



Gráfica 197. Histograma Individuo 7 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 198. Histograma Individuo 7 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia

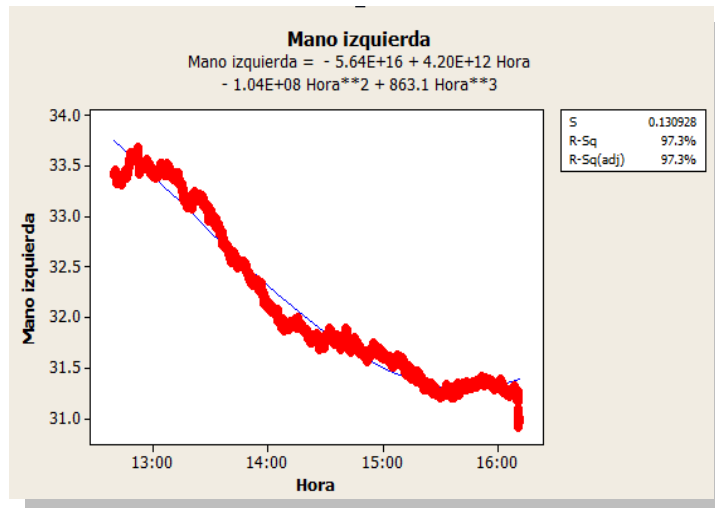
Visualizando de manera paralela los histogramas de ambas manos podemos apreciar que los datos de igual manera como antes se describió no siguen una distribución normal.

Prueba 4

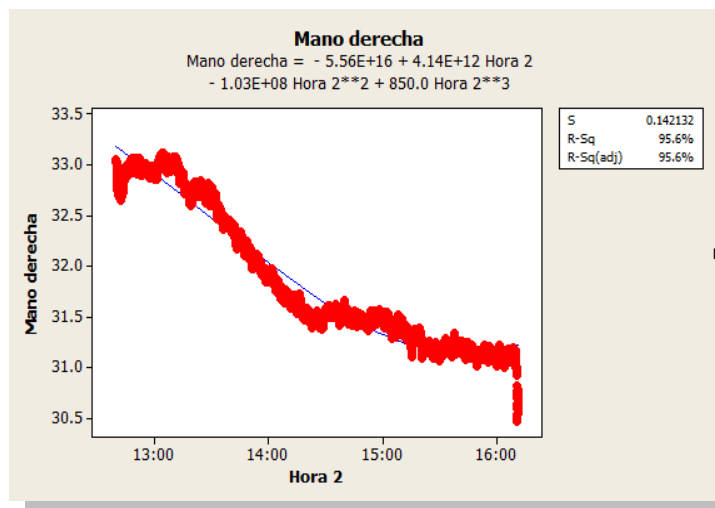
Para esta prueba en particular según las gráficas 199 y 200 podemos apreciar que el patrón de temperatura es muy similar entre una muñeca y otra como sucedió en las pruebas anteriores y que los tiempos de estrés máximo de una muñeca con respecto a la otra también son alcanzados en tiempos similares. Con respecto a lo anterior podemos decir lo siguiente:

- Los puntos máximos de estrés fueron alcanzados en tiempos similares en ambas muñecas. En la muñeca izquierda a las 12 h 52 min 14 con una temperatura de 33,686°C y en la muñeca derecha a las 13 h 03 min 53 con una temperatura de 33,114 °C. Transcurriendo 12 min 14 y 23 min 53 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,257 °C y de 0,064 °C.
- ✓ Se detectaron dolores en hombro derecho durante el periodo que la temperatura empieza en descenso alrededor de la 13 h 42 min 52 y dolor en centro de la palma derecha alrededor de las 14 h 13 min 43.
- ✓ Al final de la prueba se presentó dolor en hombro izquierdo alrededor de las 15 h 52 min 40 y se intensificó el dolor en hombro derecho alrededor de las 15 h 56 min 36.

Por otra parte fue posible ajustar un modelo polinomial de tercer orden que representara el comportamiento de las temperaturas del individuo y con un porcentaje de aproximación de la curva a los datos del 95,6% para la mano derecha y de 97,3% para la mano izquierda.



Gráfica 199. Individuo 7 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva
 Fuente: Propia



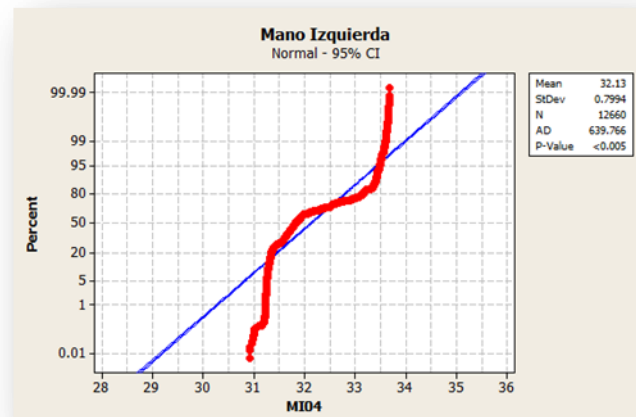
Gráfica 200. Individuo 7 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

Las gráficas 201 y 202 que se muestran a continuación muestran evidencia significativa de que los datos no siguen tampoco en esta ocasión una distribución normal de acuerdo a la prueba de Anderson Darling.

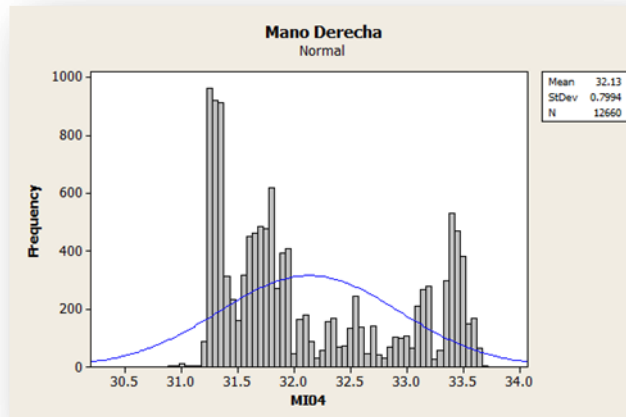


Gráfica 201. Individuo 7 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

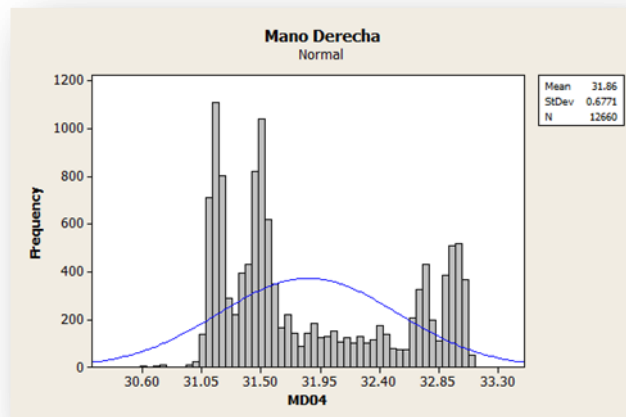


Gráfica 202. Individuo 7 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

A continuación se muestra las gráficas 203 y 204 que representan los resultados arrojados por los respectivos histogramas y que respaldan a la prueba de normalidad.



Gráfica 203. Histograma Individuo 7 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 204. Histograma Individuo 7 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

Claramente al igual que en las pruebas anteriores existe evidencia suficiente para declarar que los datos no siguen una distribución normal, para lo cual se debe buscar la distribución a la que mejor se ajusten los datos, como se muestran en la siguiente parte. A continuación se muestran las tablas 58, 59 y 60 donde podemos apreciar los mejores ajustes a las distribuciones de acuerdo al coeficiente de correlación y el menor valor del estadístico Anderson Darling. Todas y cada una de ellas con respecto de la mano izquierda.

Prueba 2

Tabla 58. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	296.016	0.973
Lognormal	344.726	0.936
Exponential	13871.516	*
Loglogistic	380.298	0.933
3-Parameter Weibull	308.868	0.973
3-Parameter Lognormal	336.424	0.940
2-Parameter Exponential	8178.800	*
3-Parameter Loglogistic	381.107	0.937
Smallest Extreme Value	308.898	0.973
Normal	336.431	0.940
Logistic	381.133	0.937

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 59. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	426.266	0.954
Lognormal	933.889	0.913
Exponential	13843.488	*
Loglogistic	1026.496	0.901
3-Parameter Weibull	408.247	0.955
3-Parameter Lognormal	904.892	0.916
2-Parameter Exponential	5587.274	*
3-Parameter Loglogistic	999.941	0.903
Smallest Extreme Value	408.212	0.955
Normal	904.835	0.916
Logistic	999.892	0.903

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 60. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano izquierda prueba 4

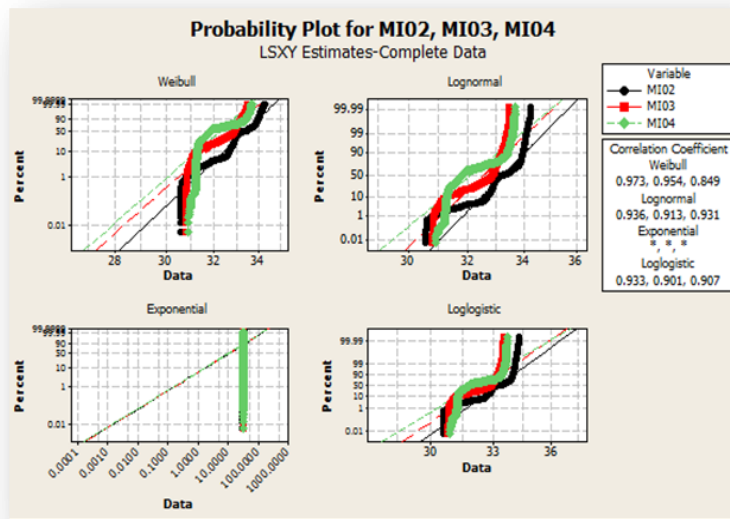
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2686.120	0.849
Lognormal	753.987	0.931
Exponential	13620.058	*
Loglogistic	994.412	0.907
3-Parameter Weibull	870.277	0.932
3-Parameter Lognormal	318.045	0.962
2-Parameter Exponential	1521.696	*
3-Parameter Loglogistic	487.911	0.940
Smallest Extreme Value	2759.522	0.846
Normal	774.919	0.929
Logistic	1015.607	0.905

Fuente: Propia

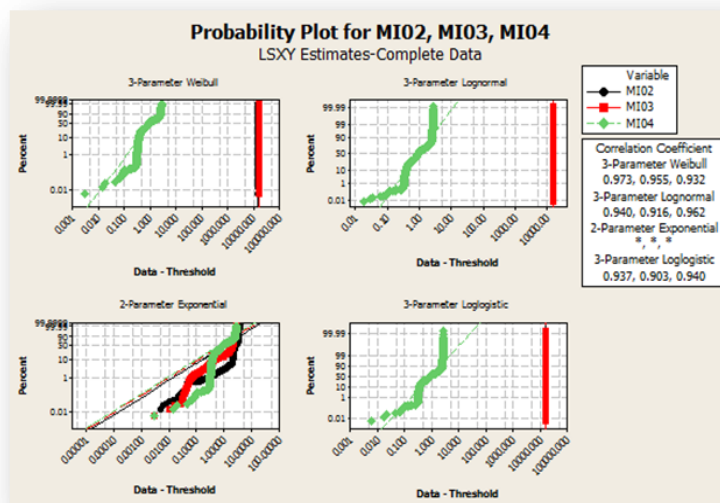
De acuerdo a las tablas anteriores podemos afirmar lo siguiente:

- En la prueba 2 la distribución Weibull aparece como las más representativa de los datos con un 97,3% de coeficiente de correlación y un valor del estadístico AD de 296,016. De manera alternativa la distribución del valor extremo más pequeño con el mismo coeficiente de correlación pero con un valor de AD de 308,98.
- En la prueba 3 existen dos de tres principales distribuciones, 3 parametros Weibull, y valor extremo más pequeño con igual valor en el coeficiente de correlación con un 95,5% y con valores de AD de 408,247 y 408,212 respectivamente. Cabe notarse que aunque cuentan con el mismo valor en el coeficiente de correlación, como ya se habia mencionado antes, el valor de Anderson Darling (AD) es ligeramente menor en la distribución del valor extremo más pequeño por lo que para futuras representaciones podría ser la mejor elección.
- Con respecto a la prueba 4 tenemos que la distribución con mayor representación de acuerdo al coeficiente de correlacion es la 3 parametros lognormal con un 96,2% de coeficiente y 318,45% de AD. Podemos observar como las distribuciones que estan con un asterisco, son distribuciones que se quedan fuera de los resultados al no tener un coeficiente lo bastante fuerte para representación de los datos, además podemos apreciar que el valor de AD es suficientemente alto respecto a los demás.

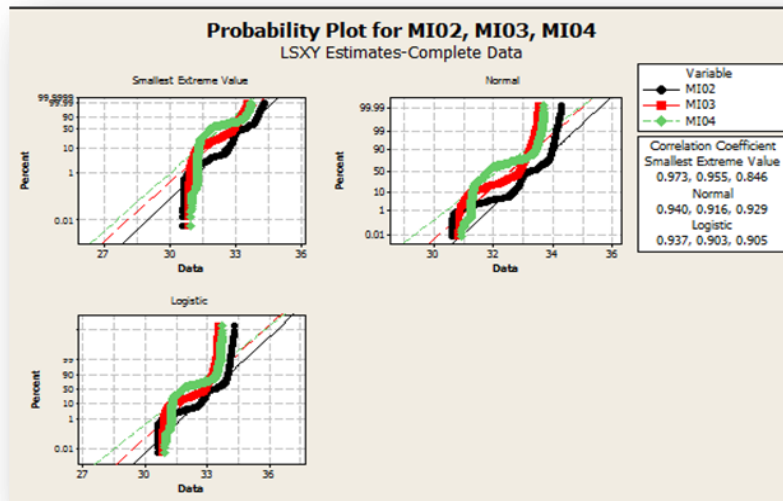
Por otro lado, a continuación las gráficas 205, 206 y 207 de los ajustes de las distribuciones que validan las declaraciones antes mencionadas.



Gráfica 205. Mejores distribuciones individuo 7 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 206. Mejores distribuciones individuo 7 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 207. Mejores distribuciones individuo 7 mano izquierda
Fuente: Propia

A continuación se muestran las tablas 61, 62 y 63 donde podemos apreciar los mejores ajustes a las distribuciones de acuerdo al coeficiente de correlación y el menor valor del estadístico Anderson Darling. Todas y cada una de ellas con respecto de la mano derecha.

Prueba 2

Tabla 61. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	356.192	0.972
Lognormal	429.382	0.931
Exponential	13841.878	*
Loglogistic	468.288	0.926
3-Parameter Weibull	369.156	0.973
3-Parameter Lognormal	420.243	0.934
2-Parameter Exponential	7651.763	*
3-Parameter Loglogistic	469.142	0.928
Smallest Extreme Value	369.185	0.973
Normal	420.253	0.934
Logistic	469.148	0.928

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 62. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	99.333	0.971
Lognormal	419.901	0.954
Exponential	13980.726	*
Loglogistic	422.626	0.945
3-Parameter Weibull	95.090	0.971
3-Parameter Lognormal	398.995	0.956
2-Parameter Exponential	4902.058	*
3-Parameter Loglogistic	402.573	0.947
Smallest Extreme Value	95.083	0.971
Normal	398.955	0.956
Logistic	402.535	0.947

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 63. Distribuciones de probabilidad individuo 7 mano derecha prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2663.355	0.853
Lognormal	797.534	0.930
Exponential	13745.330	*
Loglogistic	1061.159	0.907
3-Parameter Weibull	1272.551	0.916
3-Parameter Lognormal	434.534	0.955
2-Parameter Exponential	3389.224	*
3-Parameter Loglogistic	626.279	0.934
Smallest Extreme Value	2723.096	0.851
Normal	815.065	0.929
Logistic	1079.388	0.906

Fuente: Propia

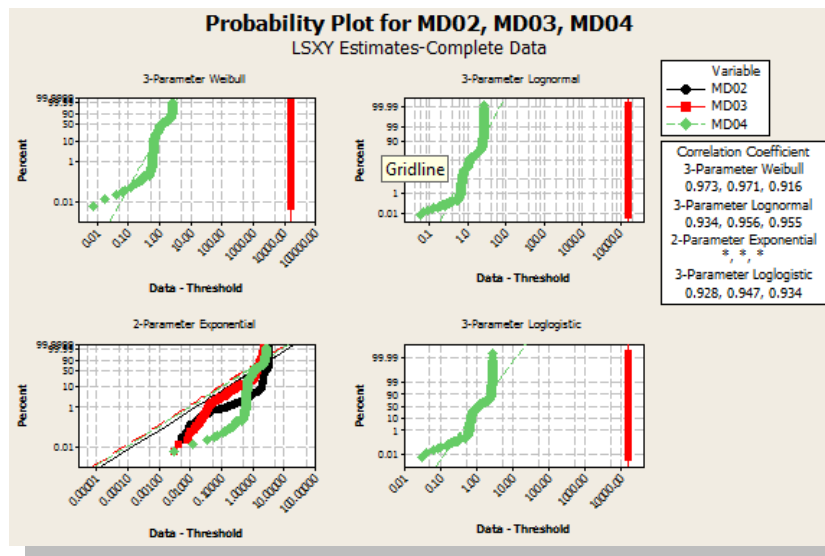
De acuerdo a las tablas anteriores podemos afirmar lo siguiente:

- En la prueba 2 existen 2 distribuciones con el mismo coeficiente de correlación, es decir, de la distribución de 3 parámetros Weibull y la distribución del valor extremo más pequeño, ambas compartiendo un coeficiente de 97,3%. Más sin embargo tenemos que el valor del AD para la prueba de 3 parámetros Weibull es ligeramente más pequeño de 369,156 con respecto a un 369,185. De manera alternativa podemos ver que existe otra distribución prácticamente con el mismo valor en el coeficiente de correlación, que es la distribución Weibull con 97,2% de coeficiente y un valor de AD de 356,192. Entonces tomando en cuenta estos dos elementos

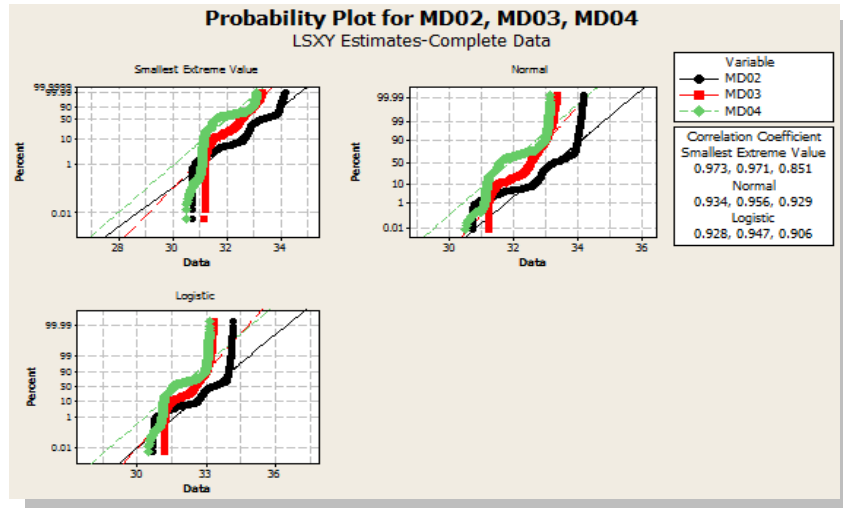
como factor de decisión, tenemos que la distribución que mejor se asemeja a los datos sería la distribución Weibull.

- En la prueba 3 podemos observar que existen 3 distribuciones compartiendo el mismo valor en el coeficiente de correlación, estamos hablando de la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull y valor extremo más pequeño, con un 97,1% de coeficiente. Podemos observar también que los valores del estadístico AD son casi iguales para las 2 últimas distribuciones mencionadas, de 95,090 y 95,083. Entonces de acuerdo a como hemos venido concluyendo podemos decir y afirmar que al tener prácticamente iguales los valores de Anderson Darling, cualquiera de las 2 distribuciones reflejaría el comportamiento de los datos presentados, sin embargo, la distribución del valor extremo más pequeño sería la mejor por una pequeña diferencia.

Los datos antes descritos pueden ser evidenciados por las gráficas 208 y 209.



Gráfica 208. Mejores distribuciones individuo 7 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 209. Gráfica 209. Mejores distribuciones individuo 7 mano derecha
Fuente: Propia

- Con respecto a la prueba 4 podemos observar que la distribución de 3 parámetros lognormal con un coeficiente de correlación del 95,5% y un valor de AD de 434,534 es que mejor representa el comportamiento de las temperaturas.

Tomando en cuenta las temperaturas máximas alcanzadas como puntos de estrés de todas las pruebas preliminares de ambas manos se calcularon las medias encontrando y dado que los patrones de temperaturas y periodos de alcance de estrés fueron muy similares, las medias también fueron muy similares, teniendo para la muñeca izquierda una $\bar{y} = 33,50 \text{ } ^\circ\text{C}$ y para la muñeca izquierda $\bar{y} = 33,591 \text{ } ^\circ\text{C}$. Todo lo anterior partiendo de la formula general para el cálculo de una media, según la ecuación 1.

$$y = \left(\sum_{i=1}^n yi \right) / n \dots\dots\dots (7)$$

Para las pruebas en particular con el individuo 1 se pudo mostrar como resultado que todas las pruebas que los patrones se repetían en ambas muñecas del individuo independientemente de la mano dominante, cambiando su comportamiento de acuerdo al paso de los días en condiciones similares de la temperatura ambiente. Además de lo anterior fue posible en cada una de las pruebas el hacer ajustes de curvas de tercer orden, que representan el

comportamiento de las temperaturas de los datos presentados en cada prueba, y como resultado un estadístico de R cuadrada para representar el nivel de ajuste de la curva a los datos y porcentaje de la variabilidad que puede ser expresada por un factor tomado en cuenta en el experimento y que recae sobre la variable de respuesta que se esté analizando en el mismo. Además cabe recalcar que las molestias presentadas por el individuo la mayor parte en el hombro derecho se produjeron durante los tiempos más agresivos de la curvatura, y que las temperaturas máximas alcanzadas suceden en tiempos muy similares en ambas muñecas. Por otra parte es interesante denotar que el alcance de los máximos de temperatura conforme avanza el número de las pruebas va recorriéndose de manera significativa.

4.2.2 Individuo 8

Prueba 1

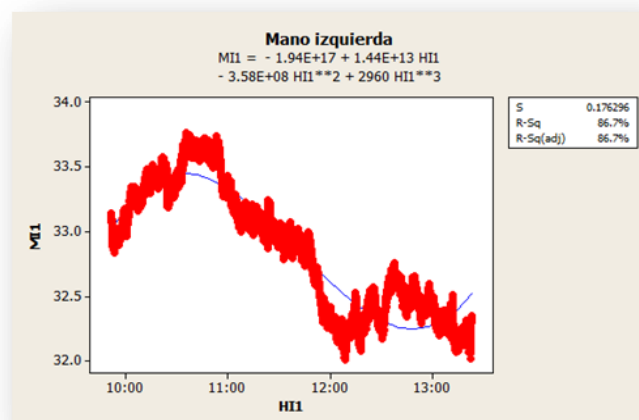
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Partiendo de las graficas 210 y 211 que se muestran podemos mencionar y destacar los siguientes puntos:

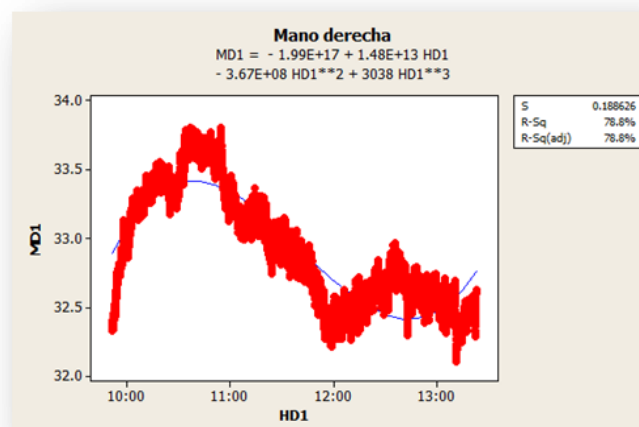
- Sólo para el caso de la mano izquierda fue posible llevar a cabo un ajuste de un polinomio de tercer orden para representar el comportamiento de las temperaturas. Esto con un coeficiente de R^2 de 86,7% para el caso de la mano izquierda y para el caso de la mano derecha un 78,8%. Para este último caso no se consideró como un ajuste válido por el parámetro que se estableció de mínimo el 80% de ajuste en el coeficiente de determinación.
- Por otro lado podemos apreciar que en los patrones de temperatura tienden a ser muy similares en los incrementos y decrementos. Podemos observar como en el inicio de ambas pruebas hay un incremento en la temperatura, esto durante la primera hora de experimentación, seguido de un descenso hasta el final de la prueba.
- Las temperaturas máximas alcanzadas en la prueba ocurrieron a las 10 h 36 min 01 y a las 10 h 37 min 12 marcando temperaturas de 33,764°C y de

33,802 °C para la mano izquierda y para la mano derecha respectivamente, tiempos y temperaturas muy similares. Transcurriendo 44 min 01 y 45 min 12 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,637 °C y de 1,401 °C

- Respecto a las anomalías presentadas se puede decir que se presentaron dolores principalmente en hombro izquierdo, comenzando al inicio de la prueba y manteniéndose en aumento en un nivel de ligero a moderado hasta el final de la prueba.



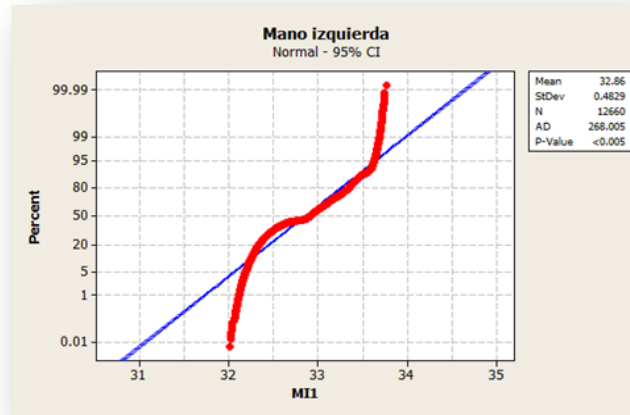
Gráfica 210. Individuo 8 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



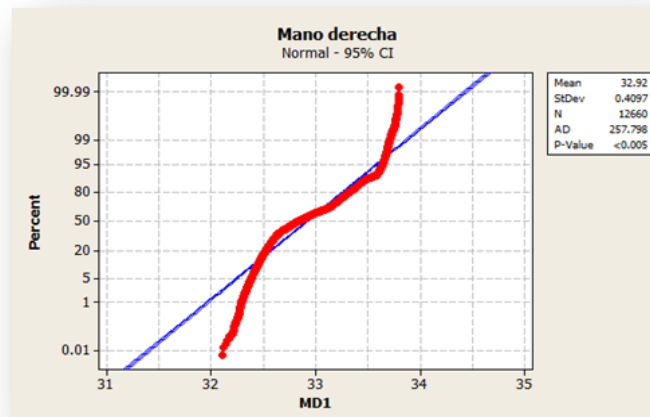
Gráfica 211. Individuo 8 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 212 y 213 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor p en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 268,005 y para la mano derecha de 257,798 respectivamente.

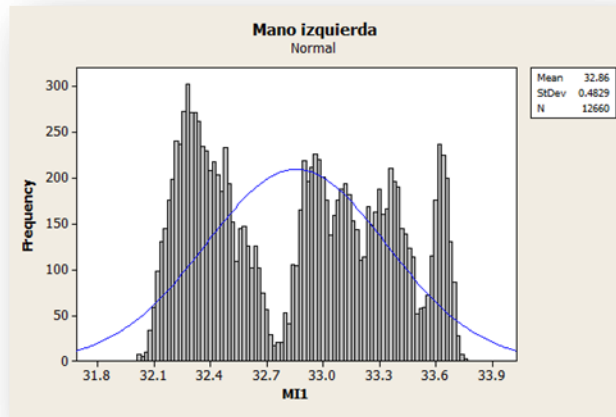


Gráfica 212. Individuo 8 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

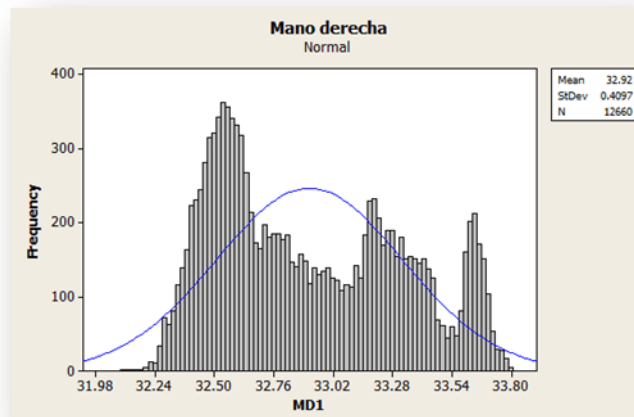


Gráfica 213. Individuo 8 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 214 y 215 de los respectivos histogramas.



Gráfica 214. Histograma Individuo 8 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 215. Histograma Individuo 8 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 2

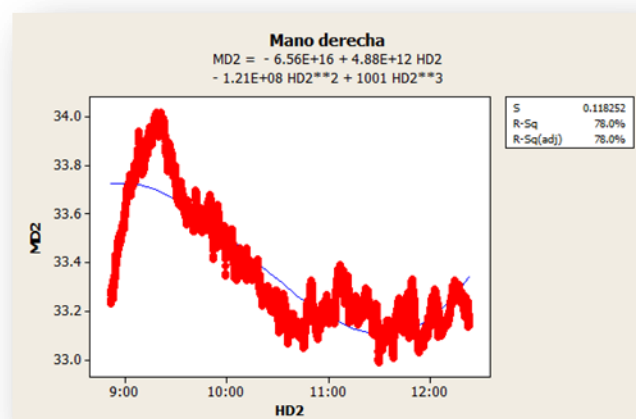
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Las gráficas 216 y 217 representan la información que a continuación se describe:

- Sólo para el caso de la mano izquierda fue posible llevar a cabo un ajuste de un polinomio de tercer orden para representar el comportamiento de las temperaturas. Esto con un coeficiente de R^2 de 86,7% para el caso de la mano izquierda y para el caso de la mano derecha un 78%. Para este último

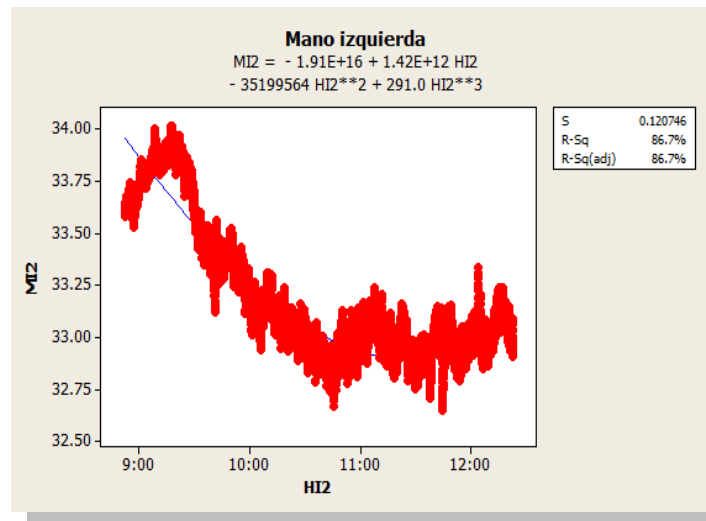
caso no se consideró como un ajuste válido por el parámetro que se estableció de mínimo el 80% de ajuste en el coeficiente de determinación.

- Por otro lado podemos apreciar que en los patrones de temperatura tienden a ser muy similares en los incrementos y decrementos. Podemos observar como en el inicio de ambas pruebas hay un incremento en la temperatura, esto durante la primera hora de experimentación, seguido de un descenso hasta el final de la prueba. Puede apreciarse que para el caso de la mano derecha el ascenso es mucho más prolongado que para el caso de la mano izquierda debido a que su punto de partida del análisis es una temperatura más baja.
- Las temperaturas máximas alcanzadas en la prueba ocurrieron a las 9 h 17 min 30 y a las 9 h 18 min 52 marcando temperaturas de 34,021°C y de 34,018 °C para la mano izquierda y para la mano derecha respectivamente, tiempos y temperaturas muy similares. Transcurriendo 25 min 30 y 26 min 52 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,408 °C y de 0,778 °C.
- Respecto a las anomalías presentadas se puede decir que se presentaron dolores principalmente en hombro izquierdo sólo al inicio de la prueba.



Gráfica 216. Individuo 8 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva

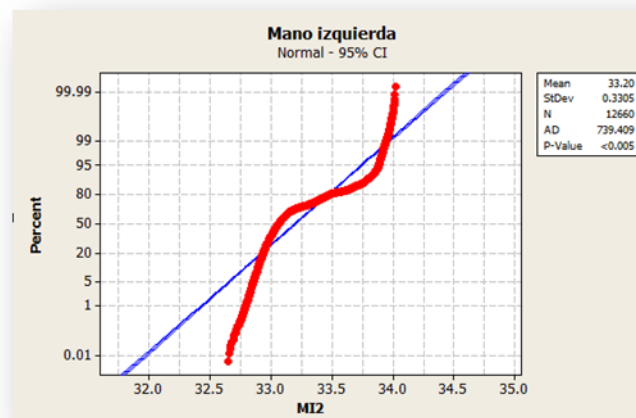
Fuente: Propia



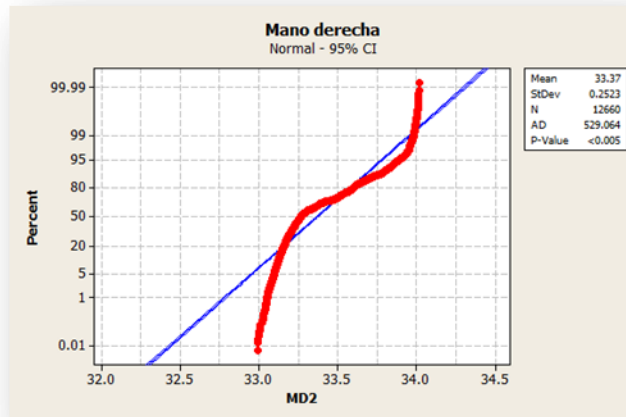
Gráfica 217. Individuo 8 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 218 y 219 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor **p** en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 739,409 y para la mano derecha de 529,064 respectivamente.

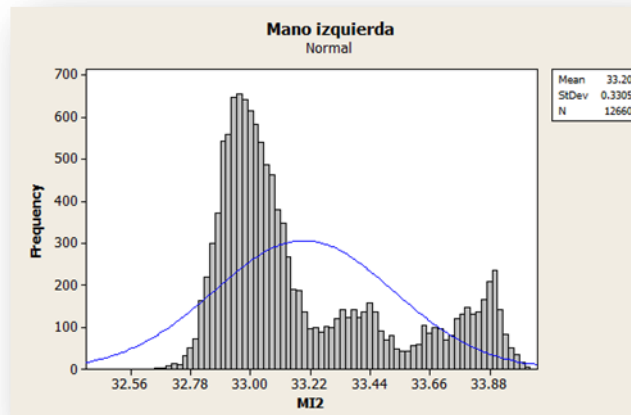


Gráfica 218. Individuo 8 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

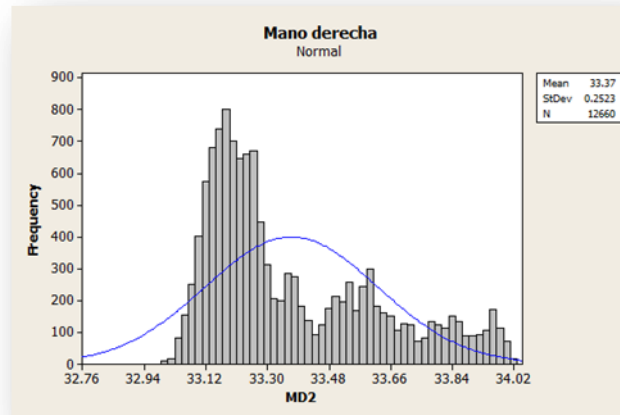


Gráfica 219. Individuo 8 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 220 y 221 de los respectivos histogramas.



Gráfica 220. Histograma Individuo 8 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 221. Histograma Individuo 8 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 3

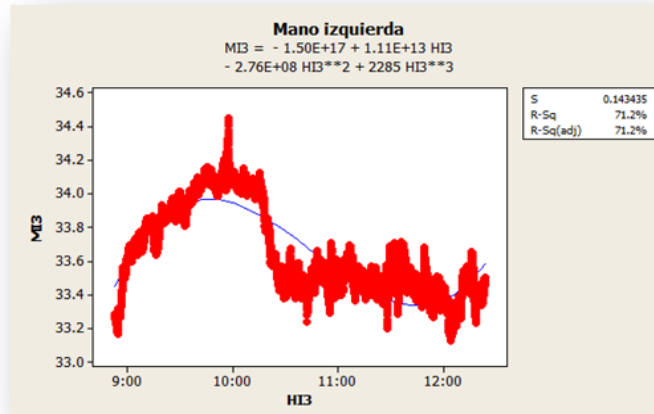
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Las gráficas 222 y 223 representan la información que a continuación se describe:

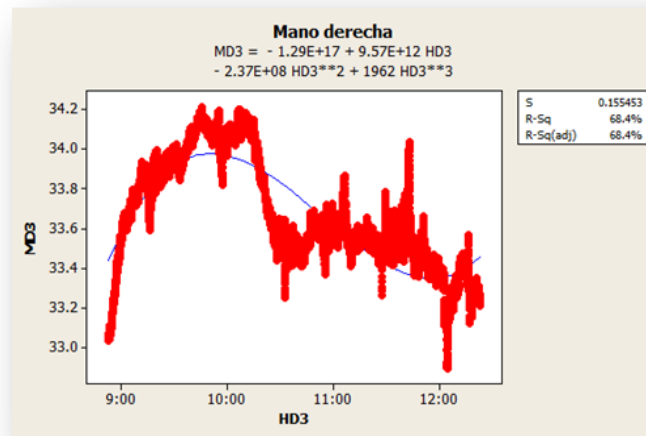
- Para esta prueba en particular podemos decir que en ninguno de los dos casos fue posible hacer un ajuste de un polinomio de tercer orden que representara el comportamiento de los datos, ya que ambos coeficientes de determinación fueron abajo del 80% establecido como aceptación para el coeficiente de determinación. Para la mano izquierda se obtuvo un coeficiente del 71,2% y para la mano derecha del 68,4%.
- Podemos decir que las temperaturas máximas alcanzadas en este caso ocurrieron a las 9 h 57 min 38 y a las 9 h 45 min 31 registrando temperaturas de 34,453 °C y de 34,214 °C, temperaturas similares en tiempos diferentes. Transcurriendo 1 h 04 min 38 y 52 min 31 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,178 °C y de 1,161 °C. Respecto a los patrones de temperatura podemos decir que en este caso en particular no se

aprecia de manera clara una similitud en los comportamientos de las temperaturas.

- Se repite el dolor en hombro izquierdo al igual que en la prueba anterior al inicio de la prueba.



Gráfica 222. Individuo 8 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia

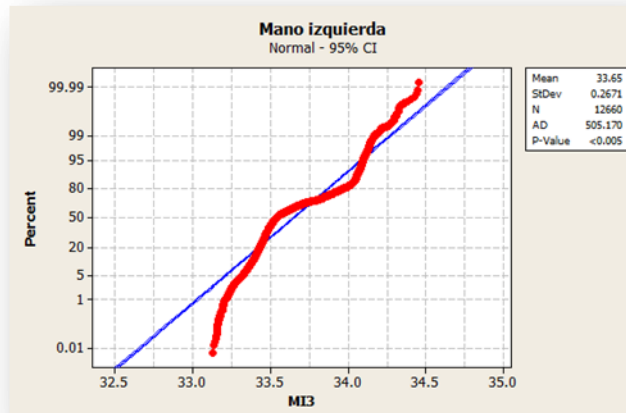


Gráfica 223. Individuo 8 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

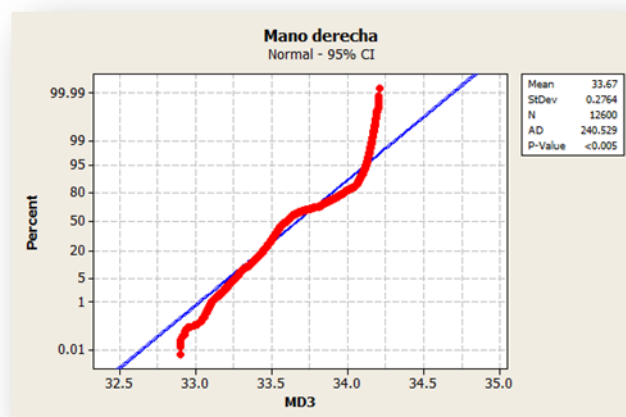
Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 224 y 225 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor **p** en ambas menor a 0,005

debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 505,170 y para la mano derecha de 240,529 respectivamente.

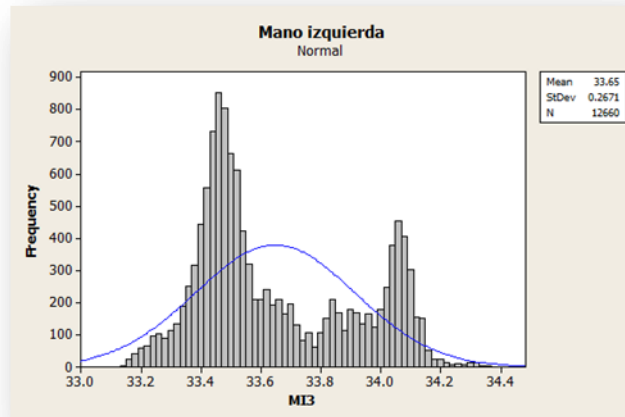


Gráfica 224. Individuo 8 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

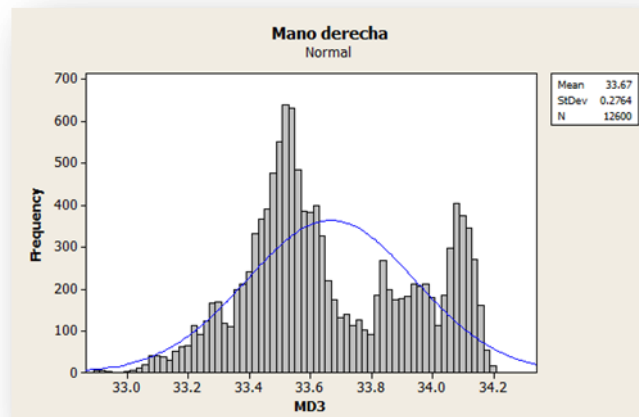


Gráfica 225. Individuo 8 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 226 y 227 de los respectivos histogramas.



Gráfica 226. Histograma Individuo 8 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 227. Histograma Individuo 8 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

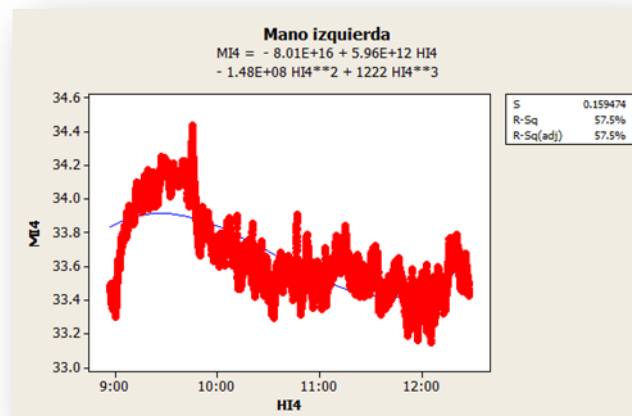
Patrones de temperatura y ajuste de curva

De acuerdo a las graficas 228 y 229 podemos mencionar los siguientes puntos:

- Puede visualizarse claramente que en ninguno de los dos casos fue posible un ajuste de una curva de tercer orden para representar el comportamiento de las temperaturas, teniendo como marco de referencia los coeficientes de

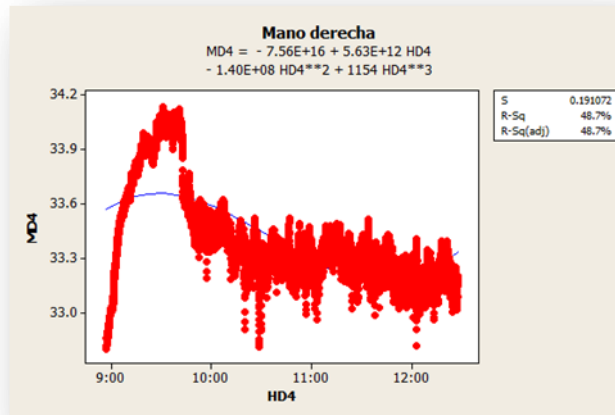
determinación de 57,5% y 48,7% para la mano izquierda y mano derecha respectivamente.

- Además aunado a lo anterior podemos observar comportamientos similares en las temperaturas, caracterizándose por un incremento en las temperaturas importante al inicio de la prueba y generando tras una hora de prueba un descenso de la misma y con oscilaciones en incrementos y decrementos pero manteniendo una tendencia.
- Podemos decir que las temperaturas máximas alcanzadas en este caso ocurrieron a las 9 h 45 min 26 y a las 9h 31 min 03 registrando temperaturas de 34,438°C y de 34,134°C, temperaturas similares en tiempos diferentes. Transcurriendo 48 min 26 y 34 min 03 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 0,986 °C y de 1,275 °C
- Se repite el dolor en hombro izquierdo al igual que en la prueba anterior al inicio y durante toda la prueba.



Gráfica 228. Individuo 8 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva

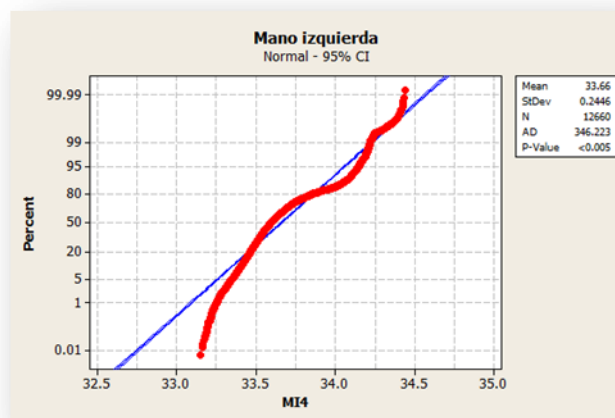
Fuente: Propia



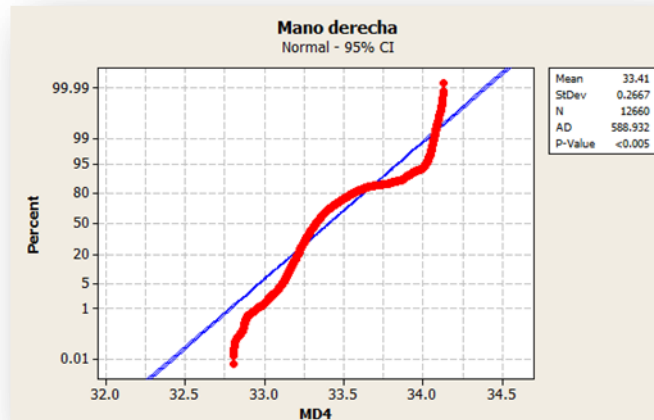
Gráfica 229. Individuo 8 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
 Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 230 y 231 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor **p** en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 346,223 y para la mano derecha de 588,932 respectivamente.

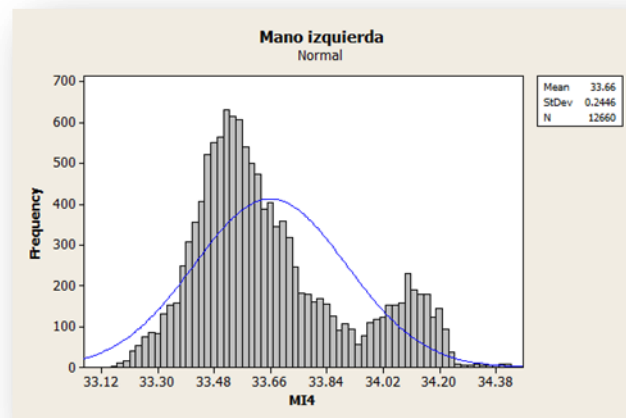


Gráfica 230. Individuo 8 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
 Fuente: Propia

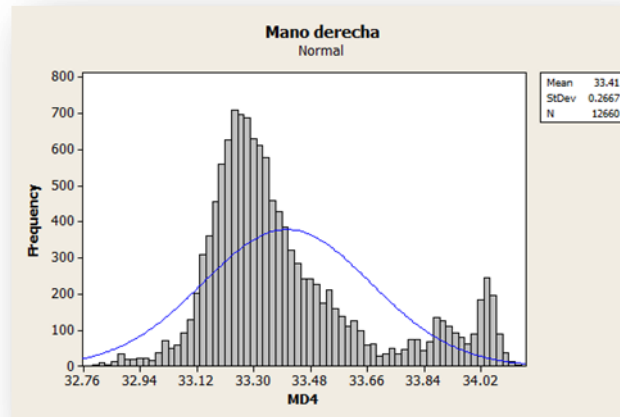


Gráfica 231. Individuo 8 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 232 y 233 de los respectivos histogramas.



Gráfica 232. Histograma Individuo 8 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 233. Histograma Individuo 8 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestran las tablas 64, 64, 66 y 67 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 64. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	830.078	0.917
Lognormal	313.892	0.967
Exponential	13964.815	*
Loglogistic	535.724	0.943
3-Parameter Weibull	267.323	0.978
3-Parameter Lognormal	316.181	0.967
2-Parameter Exponential	2105.859	*
3-Parameter Loglogistic	533.441	0.943
Smallest Extreme Value	847.509	0.915
Normal	313.157	0.967
Logistic	533.437	0.943

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 65. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	3323.553	0.827
Lognormal	832.495	0.924
Exponential	14126.502	*
Loglogistic	954.360	0.910
3-Parameter Weibull	1039.445	0.939
3-Parameter Lognormal	215.674	0.977
2-Parameter Exponential	2177.796	*
3-Parameter Loglogistic	298.405	0.965
Smallest Extreme Value	3368.812	0.825
Normal	844.992	0.923
Logistic	966.154	0.909

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 66. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2017.846	0.884
Lognormal	564.679	0.954
Exponential	14196.525	*
Loglogistic	752.080	0.938
3-Parameter Weibull	483.242	0.975
3-Parameter Lognormal	240.050	0.976
2-Parameter Exponential	2992.208	*
3-Parameter Loglogistic	296.318	0.966
Smallest Extreme Value	2040.629	0.883
Normal	571.477	0.953
Logistic	759.284	0.937

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 67. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano izquierda prueba 4

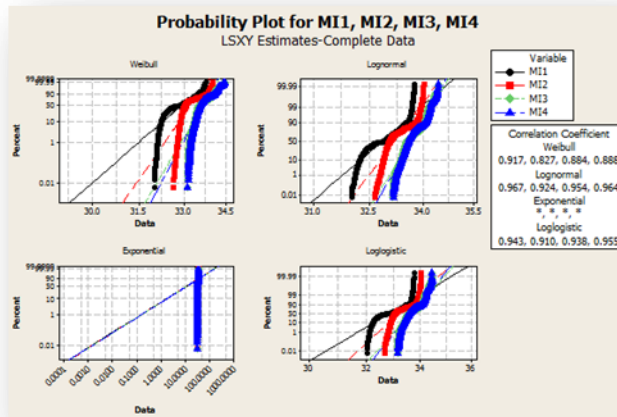
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1844.002	0.888
Lognormal	359.073	0.964
Exponential	14216.358	*
Loglogistic	402.959	0.955
3-Parameter Weibull	300.983	0.984
3-Parameter Lognormal	71.571	0.991
2-Parameter Exponential	3390.201	*
3-Parameter Loglogistic	72.950	0.984
Smallest Extreme Value	1873.679	0.886
Normal	367.339	0.964
Logistic	411.031	0.954

Fuente: Propia

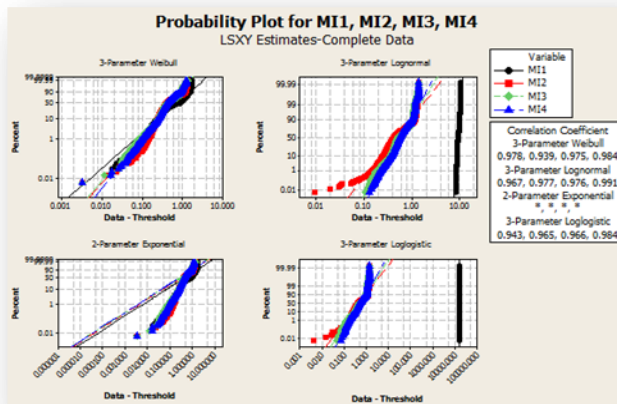
De acuerdo a las tablas presentadas anteriormente podemos decir lo siguiente:

- Para la prueba 1 y la 3 las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal con coeficientes de correlación de 96,7%, 97,8% y 97,8% para la prueba 1 y de 95,4%, 97,5% y 97,6% para la prueba 3 respectivamente, y además con valores en el estadístico Anderson Darling de 313,892, 316,181 y de 267,323 para la prueba 1, y de 564,679, 483,242 y 240,050 para la prueba 3 respectivamente.
- Para la prueba 2 y la 4 las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros lognormal y la 3 parámetros loglogistic con coeficientes de correlación de 92,4%, 97,7% y 96,5% para la prueba 2 y de 96,4%, 99,1% y 98,4% para la prueba 4 respectivamente, y además con valores en el estadístico Anderson Darling de 832,495, 215,674 y de 298,405 para la prueba 4, y de 359,073, 71,571 y 72,952 respectivamente.
- Pudiendo mencionar que en las 2, 3 y 4 la distribución más representativa sería la 3 parámetros lognormal al ser la que obtuvo el mayor valor en el coeficiente de correlación y el valor más chico en el estadístico Anderson Darling. Para la prueba 1 se determinó que la distribución más representativa fue la 3 parámetros Weibull.

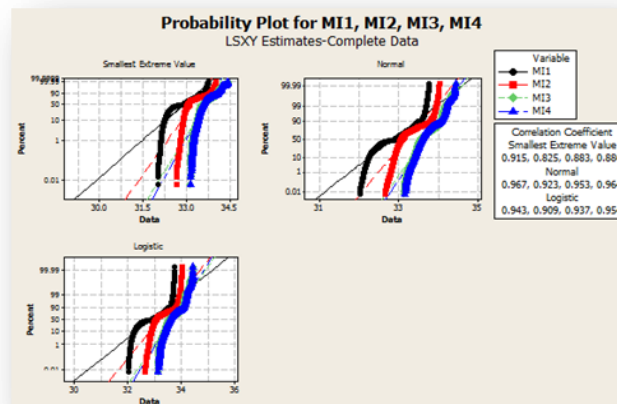
A continuación se muestran las graficas 234, 235 y 236 que validan la información presentada en las tablas y en los bullets anteriores.



Gráfica 234. Mejores distribuciones individuo 8 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 235. Mejores distribuciones individuo 8 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 236. Mejores distribuciones individuo 8 mano izquierda
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestran las tablas 68, 69, 70 y 71 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 68. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1160.875	0.905
Lognormal	288.414	0.970
Exponential	14034.924	*
Loglogistic	472.492	0.949
3-Parameter Weibull	293.498	0.974
3-Parameter Lognormal	178.723	0.980
2-Parameter Exponential	2888.409	*
3-Parameter Loglogistic	313.404	0.964
Smallest Extreme Value	1184.916	0.904
Normal	293.048	0.969
Logistic	476.213	0.949

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 69. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2393.682	0.846
Lognormal	585.456	0.942
Exponential	14206.159	*
Loglogistic	718.375	0.928
3-Parameter Weibull	506.586	0.965
3-Parameter Lognormal	109.111	0.987
2-Parameter Exponential	1408.193	*
3-Parameter Loglogistic	194.680	0.975
Smallest Extreme Value	2419.785	0.845
Normal	592.483	0.941
Logistic	724.413	0.927

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 70. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1089.651	0.933
Lognormal	257.147	0.976
Exponential	14121.816	*
Loglogistic	386.729	0.961
3-Parameter Weibull	280.497	0.984
3-Parameter Lognormal	164.920	0.981
2-Parameter Exponential	5271.810	*
3-Parameter Loglogistic	217.975	0.970
Smallest Extreme Value	1111.261	0.932
Normal	262.268	0.976
Logistic	393.048	0.960

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 71. Distribuciones de probabilidad individuo 8 mano derecha prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	2787.978	0.853
Lognormal	609.283	0.939
Exponential	14195.202	*
Loglogistic	600.610	0.934
3-Parameter Weibull	728.100	0.955
3-Parameter Lognormal	201.280	0.976
2-Parameter Exponential	4152.094	*
3-Parameter Loglogistic	164.409	0.975
Smallest Extreme Value	2839.490	0.851
Normal	621.911	0.938
Logistic	612.693	0.932

Fuente: Propia

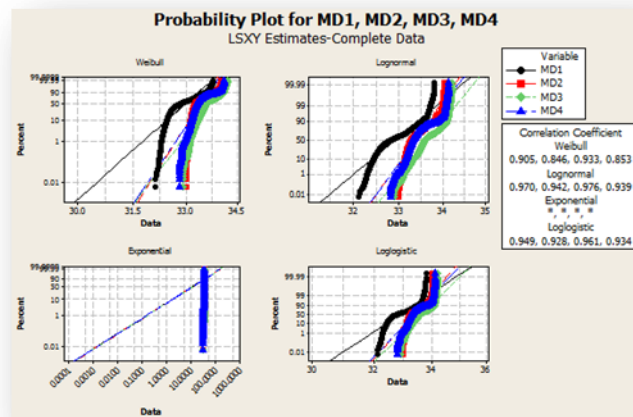
De acuerdo a las tablas presentadas anteriormente podemos decir lo siguiente:

- Para la prueba 1 y la 3 las distribuciones más representativas fueron la lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal con coeficientes de correlación de 97,0%, 97,4% y 98,0% para la prueba 1 y de 97,6%, 98,4% y 98,1% para la prueba 3 respectivamente, y además con valores en el estadístico Anderson Darling de 288,414, 293,498 y de 178,723 para la prueba 1, y de 257,147, 280,497 y 164,920 para la prueba 3 respectivamente.
- Para la prueba 2 las distribuciones más efectivas fueron la 3 parámetros Weibull, la 3 parámetros lognormal y la 3 parámetros loglogistic, aportando

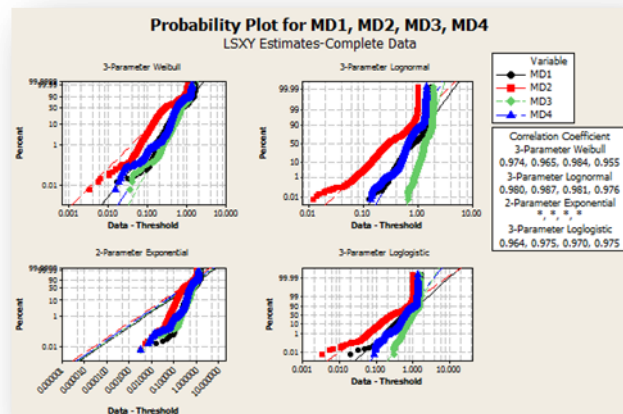
coeficientes de correlación de 96,5%, 98,7% y 97,5% respectivamente, y con valores en el estadístico Anderson Darling de 506,586, 109,111 y de 194,680.

- Para la prueba 4 las distribuciones más efectivas fueron la lognormal, la 3 parámetros lognormal y la 3 parámetros loglogistic, aportando coeficientes de correlación de 93,9%, 97,6% y 97,5% respectivamente, y con valores en el estadístico Anderson Darling de 609,283, 201,280 y de 164,409.

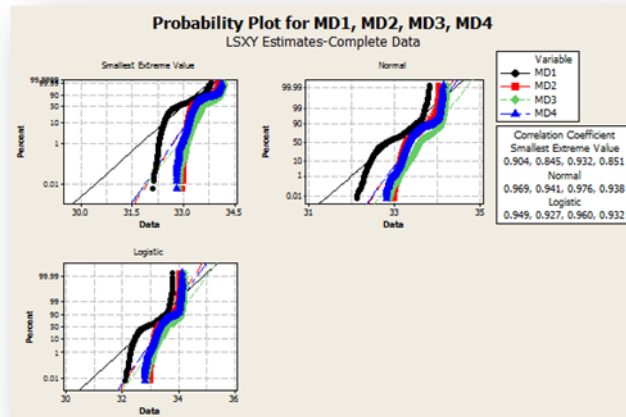
A continuación se muestran las gráficas 237, 238 y 239 que validan la información presentada en las tablas y en los bullets anteriores.



Gráfica 237. Mejores distribuciones individuo 8 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 238. Mejores distribuciones individuo 8 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 239. Mejores distribuciones individuo 8 mano derecha
Fuente: Propia

4.2.3 Individuo 9

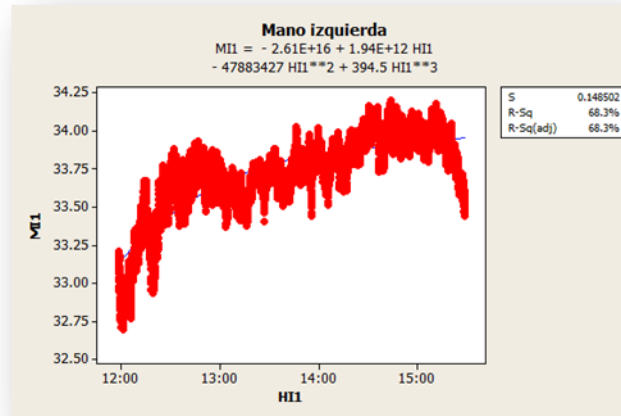
Prueba 1

Patrones de temperatura y ajuste de curva

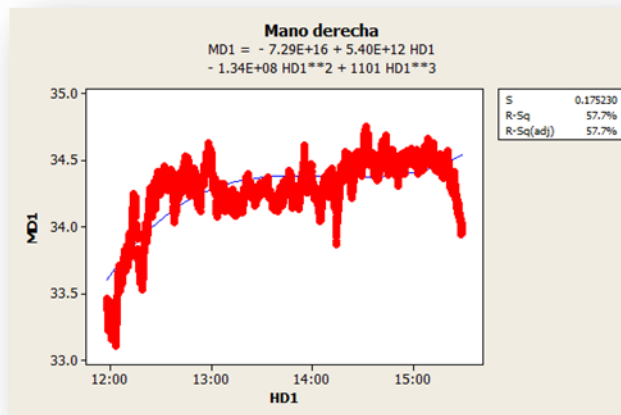
Partiendo de las graficas 240 y 241 que se muestran podemos mencionar y destacar los siguientes puntos:

- Con respecto a las gráficas podemos observar que en ambos casos tanto para la mano izquierda como para la derecha no fue posible ajustar un polinomio de tercer orden, ya que en el primer caso el coeficiente de determinación fue de 68,3% y para el segundo de 57,7%.
- Los patrones de temperatura en esta prueba se puede detectar que fueron muy similares en su comportamiento, teniendo el comportamiento más agresivo en el ascenso durante la primera hora de la experimentación.
- Las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba llegaron a las 14 h 44 min 05 para la mano izquierda y a las 14 h 32 min 20 para la mano derecha alcanzando temperaturas de 34,196 °C y de 34,76 °C, temperaturas poco similares en tiempos diferentes. Transcurriendo 2 h 46 min 05 y 2 h 34 min 20 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,239 °C y de 1,377 °C.

- Se presentaron molestias en ambos hombros aproximadamente cumplidas $\frac{3}{4}$ de las partes de la ejecución del movimiento repetitivo y hacia el final de la prueba intensificándose el dolor de un nivel de ligero a moderado.



Gráfica 240. Individuo 9 prueba 1 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



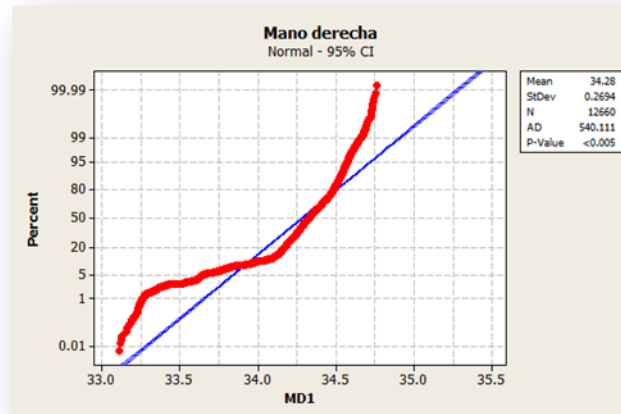
Gráfica 241. Individuo 9 prueba 1 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 242 y 243 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor p en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 260,606 y para la mano derecha de 540,111 respectivamente.

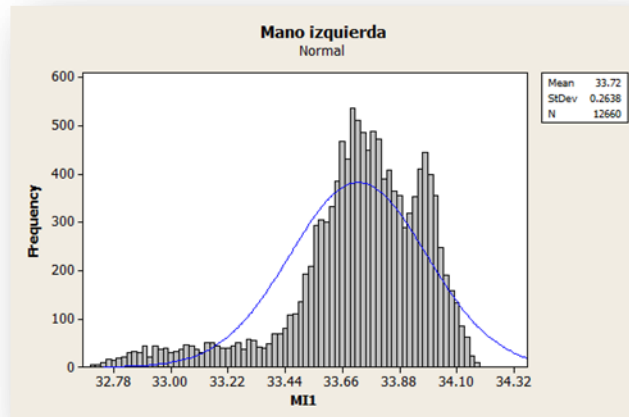


Gráfica 242. Individuo 9 prueba 1 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

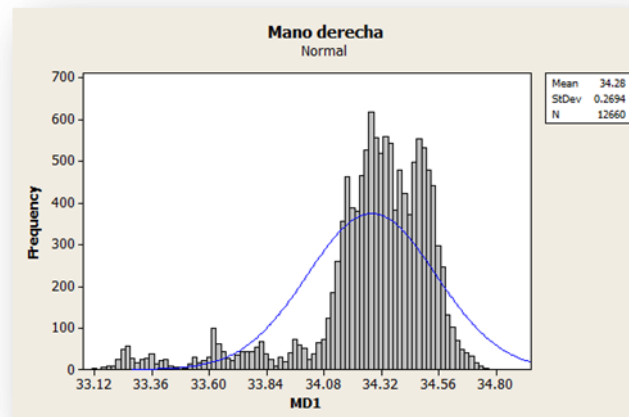


Gráfica 243. Individuo 9 prueba 1 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 244 y 245 de los respectivos histogramas.



Gráfica 244. Histograma Individuo 9 prueba 1 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 245. Histograma Individuo 9 prueba 1 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 2

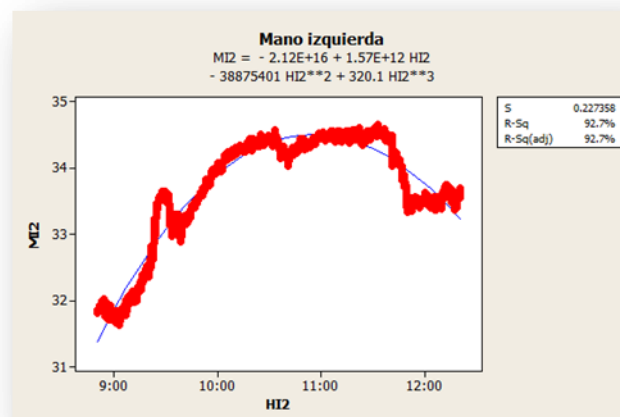
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Partiendo de las graficas 246 y 247 que se muestran podemos mencionar y destacar los siguientes puntos:

- Para esta prueba en ambos casos fue posible llevar a cabo un ajuste de un polinomio de tercer orden, para la mano izquierda con un coeficiente de

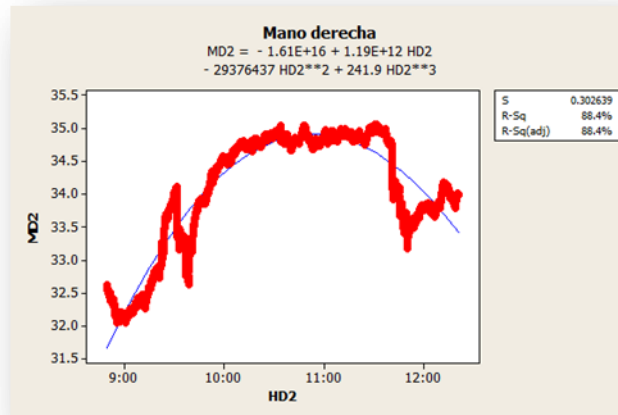
determinación del 92,7% y para la mano derecha con un coeficiente de determinación del 88,4%.

- Con respecto al comportamiento de las temperaturas podemos mencionar que fueron muy similares representando un ascenso prolongado de la temperatura y hasta casi finalizada la prueba, mostrando señales de una posible estabilización termal.
- Las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba llegaron a las 11 h 32 min 50 para la mano izquierda y a las 11 h 31 min 00. para la mano derecha alcanzando temperaturas de 34,663 °C y de 35,062 °C, temperaturas similares en tiempos similares. Transcurriendo 2 h 42 min 50 y 2 h 41 min 00 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 2,796 °C y de 2,516 °C.
- El operador reportó una ligera molestia en el hombro izquierdo en el inicio de la prueba aproximadamente a la hora de iniciada.



Gráfica 246. Individuo 9 prueba 2 mano izquierda Ajuste de curva

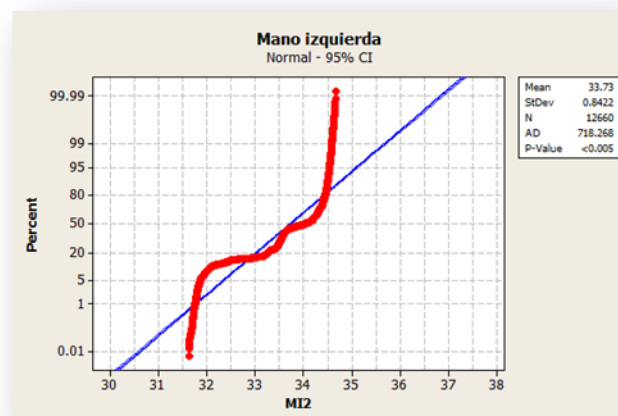
Fuente: Propia



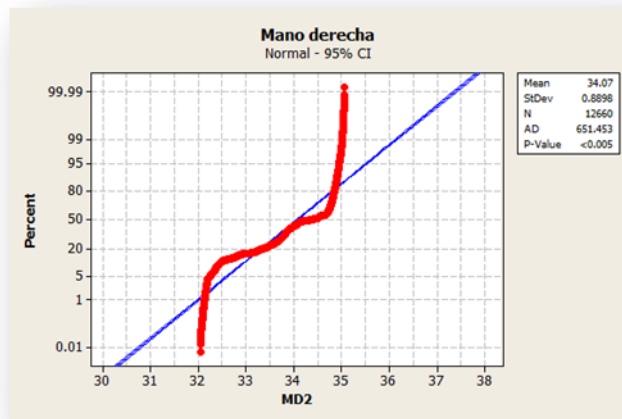
Gráfica 247. Individuo 9 prueba 2 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 248 y 249 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor **p** en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 718,268 y para la mano derecha de 651,453 respectivamente.

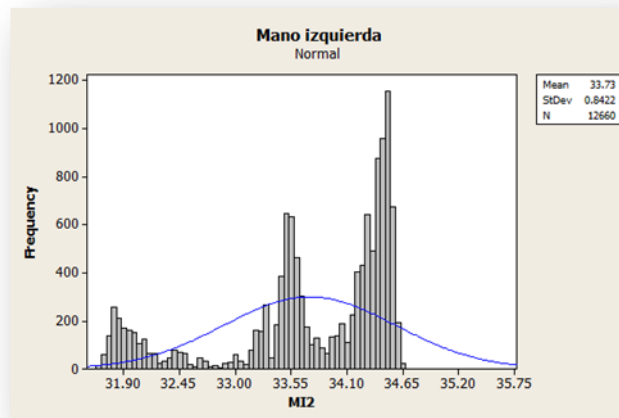


Gráfica 248. Individuo 9 prueba 2 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

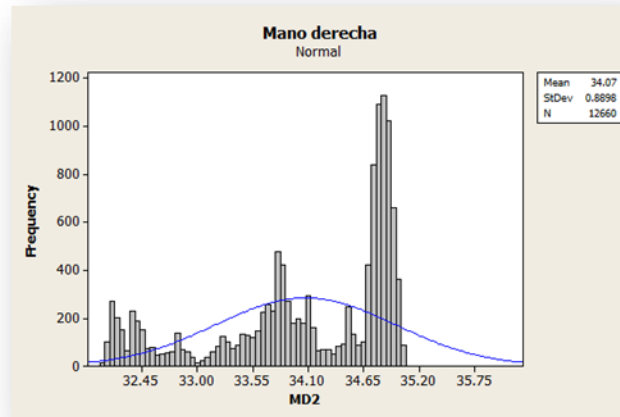


Gráfica 249. Individuo 9 prueba 2 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 250 y 251 de los respectivos histogramas.



Gráfica 250. Histograma Individuo 9 prueba 2 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 251. Histograma Individuo 9 prueba 2 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 3

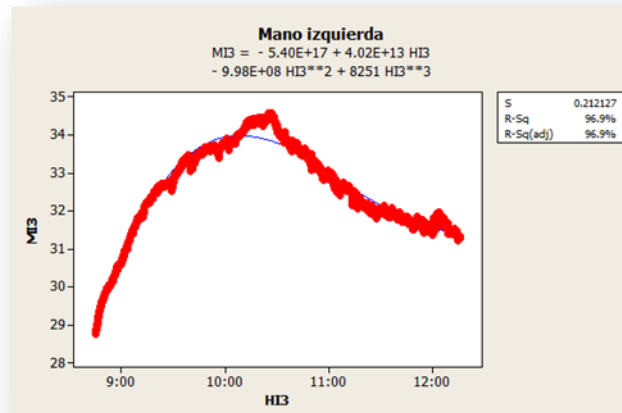
Patrones de temperatura y ajuste de curva

Partiendo de las graficas 252 y 253 que se muestran podemos mencionar y destacar los siguientes puntos:

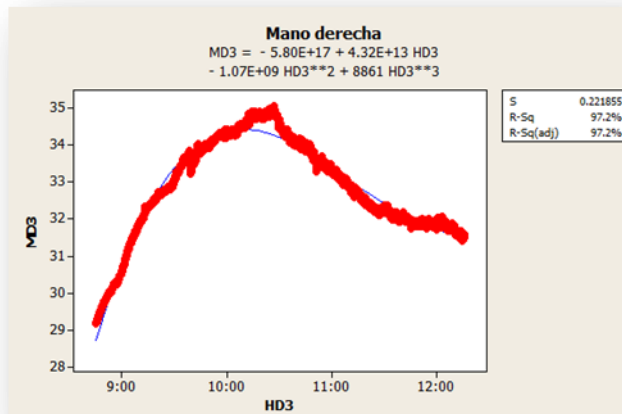
- Tomando en cuenta las graficas podemos ver que en ambos casos fue posible llevar a cabo un ajuste de una curva de tercer orden para representar el comportamiento de las temperaturas durante la experimentación. Esto sucedió con un coeficiente de R^2 de 96.9% para la mano izquierda y de 97.2% para la mano derecha.
- En ambos casos podemos apreciar que el comportamiento de las temperaturas fue muy similar, experimentando la prolongación más agresiva en el ascenso de las temperaturas durante la primera hora de la experimentación del movimiento repetitivo seguido de un descenso y una posible estabilización de la temperatura.
- Las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba llegaron a las 10 h 25 min 06 para la mano izquierda y a las 10 h 26 min 52 para la mano derecha alcanzando temperaturas de 34,586 °C y de 35,078 °C, temperaturas un tanto similares en tiempos similares. Transcurriendo 1 h 40 min 06 y 1 h 41 min 52 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el

inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 5,837 °C y de 5,92 °C.

- El operador reportó problemas en hombro izquierdo pasadas aproximadamente 2 horas de iniciada la prueba, intensificando el dolor durante la misma, pero mostrando mejoría y alivio del dolor presentado hacia el final de la prueba, aproximadamente 1 hora antes de finalizada la misma.



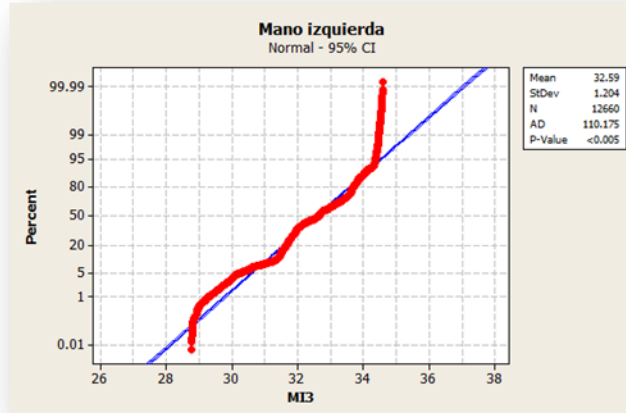
Gráfica 252. Individuo 9 prueba 3 mano izquierda Ajuste de curva
Fuente: Propia



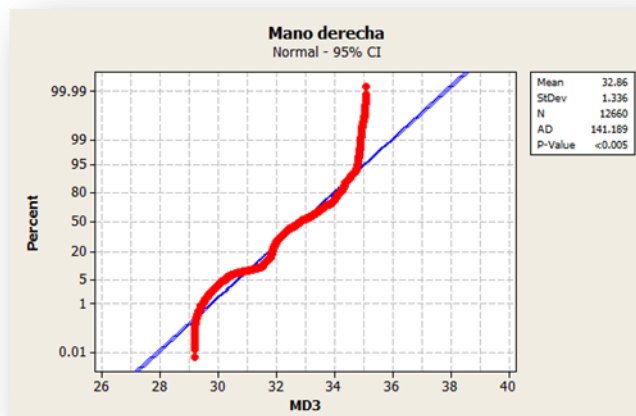
Gráfica 253. Individuo 9 prueba 3 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 254 y 255 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor p en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior tenemos que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 110,75 y para la mano derecha de 141,189 respectivamente.

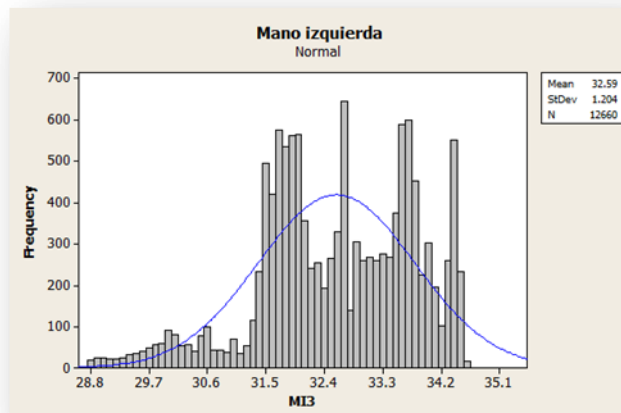


Gráfica 254. Individuo 9 prueba 3 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

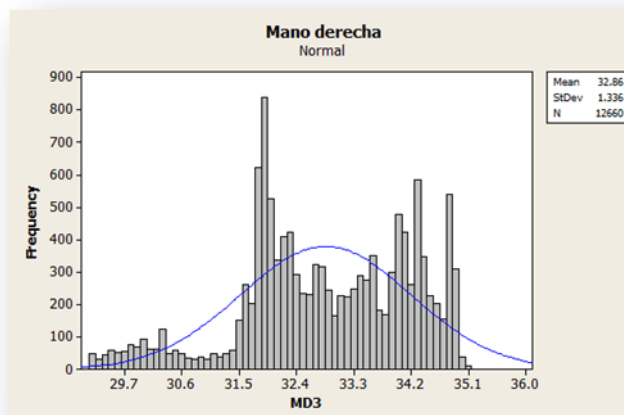


Gráfica 255. Individuo 9 prueba 3 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 256 y 257 de los respectivos histogramas.



Gráfica 256. Histograma Individuo 9 prueba 3 mano izquierda
Fuente: Propia



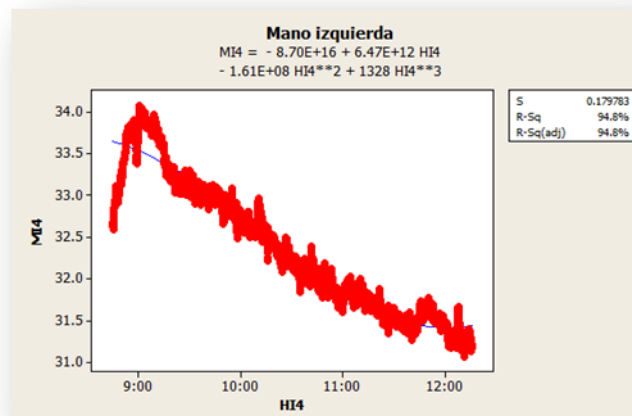
Gráfica 257. Histograma Individuo 9 prueba 3 mano derecha
Fuente: Propia

Prueba 4

Patrones de temperatura y ajuste de curva

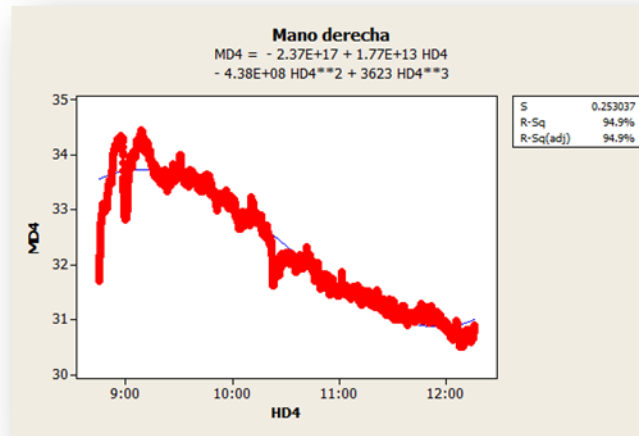
Partiendo de las graficas 258 y 259 que se muestran podemos mencionar y destacar los siguientes puntos:

- Tomando en cuenta las graficas podemos ver que en ambos casos fue posible llevar a cabo un ajuste de una curva de tercer orden para representar el comportamiento de las temperaturas durante la experimentación. Esto sucedió con un coeficiente de R^2 de 94,8% para la mano izquierda y de 94,9% para la mano derecha.
- En ambos casos podemos apreciar que el comportamiento de las temperaturas fue muy similar, experimentando la prolongación más agresiva en el ascenso de las temperaturas al inicio de la prueba seguido de un descenso prolongado por el resto de la duración de la prueba.
- Las temperaturas máximas alcanzadas en esta prueba llegaron a las 9 h 00 min 32 para la mano izquierda y a las 9 h 08 min 54 para la mano derecha alcanzando temperaturas de 34,076 °C y de 34,452 °C, temperaturas un tanto similares en tiempos similares. Transcurriendo 15 min 32 y 23 min 54 para la mano izquierda y mano derecha respectivamente al desde el inicio de la prueba y hasta el momento que las temperaturas máximas son alcanzadas y registrándose un incremento de 1,445 °C y de 2,741 °C



Gráfica 258. Individuo 9 prueba 4 mano izquierda Ajuste de curva

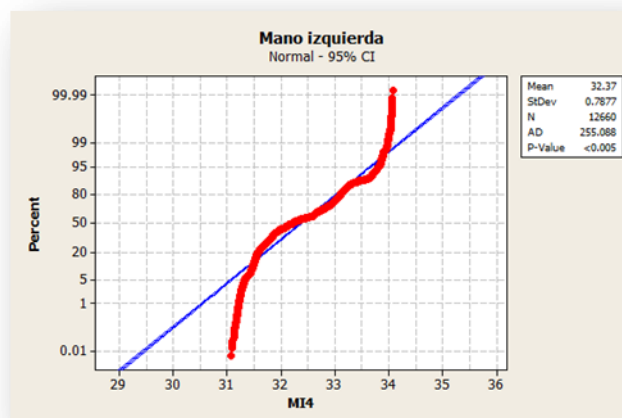
Fuente: Propia



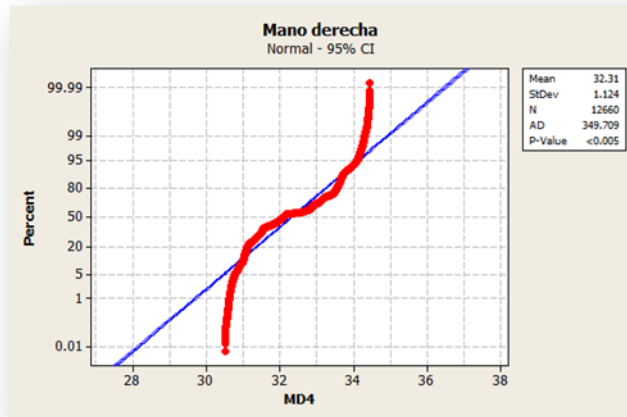
Gráfica 259. Individuo 9 prueba 4 mano derecha Ajuste de curva
Fuente: Propia

Pruebas de normalidad

De acuerdo a las graficas 260 y 261 presentadas a continuación podemos ver que la prueba de normalidad no se cumple. Con un valor **p** en ambas menor a 0,005 debemos de rechazar la hipótesis de los datos siguen una distribución normal. Además aunado a lo anterior se tiene que el coeficiente AD para la mano izquierda es de 255,088 y para la mano derecha de 349,709 respectivamente.

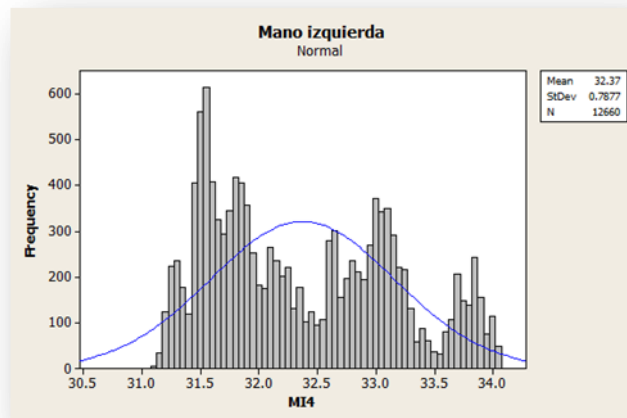


Gráfica 260. Individuo 9 prueba 4 mano izquierda prueba de normalidad
Fuente: Propia

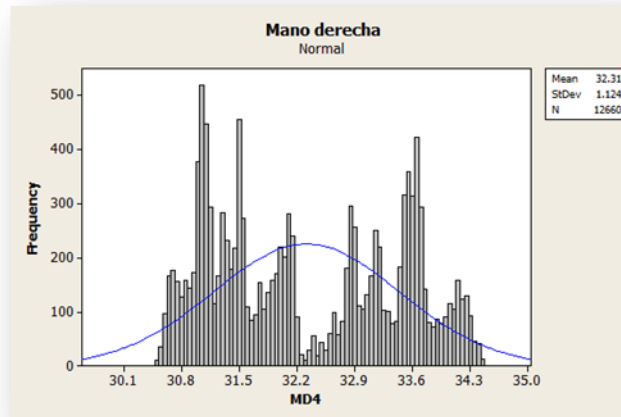


Gráfica 261. Individuo 9 prueba 4 mano derecha prueba de normalidad
Fuente: Propia

Como parte de la evidencia que respalda que los datos presentados anteriormente no siguen una distribución normal, a continuación se muestran las gráficas 262 y 263 de los respectivos histogramas.



Gráfica 262. Histograma Individuo 9 prueba 4 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 263. Histograma Individuo 9 prueba 4 mano derecha
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestran las tablas 72, 73, 74 y 75 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano izquierda.

Prueba 1

Tabla 72. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano izquierda prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	37.722	0.990
Lognormal	258.143	0.953
Exponential	14232.061	*
Loglogistic	208.091	0.953
3-Parameter Weibull	36.232	0.990
3-Parameter Lognormal	248.703	0.955
2-Parameter Exponential	7819.207	*
3-Parameter Loglogistic	200.284	0.954
Smallest Extreme Value	36.229	0.990
Normal	248.689	0.955
Logistic	200.280	0.954

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 73. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano izquierda prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	443.582	0.949
Lognormal	850.578	0.910
Exponential	13740.493	*
Loglogistic	899.920	0.895
3-Parameter Weibull	434.087	0.950
3-Parameter Lognormal	820.115	0.913
2-Parameter Exponential	5393.928	*
3-Parameter Loglogistic	876.378	0.898
Smallest Extreme Value	434.073	0.950
Normal	820.066	0.913
Logistic	876.356	0.898

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 74. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano izquierda prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	188.499	0.983
Lognormal	126.396	0.978
Exponential	13263.358	*
Loglogistic	181.172	0.969
3-Parameter Weibull	91.710	0.990
3-Parameter Lognormal	116.095	0.981
2-Parameter Exponential	6254.256	*
3-Parameter Loglogistic	179.735	0.971
Smallest Extreme Value	225.375	0.980
Normal	116.087	0.981
Logistic	179.743	0.971

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 75. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano izquierda prueba 4

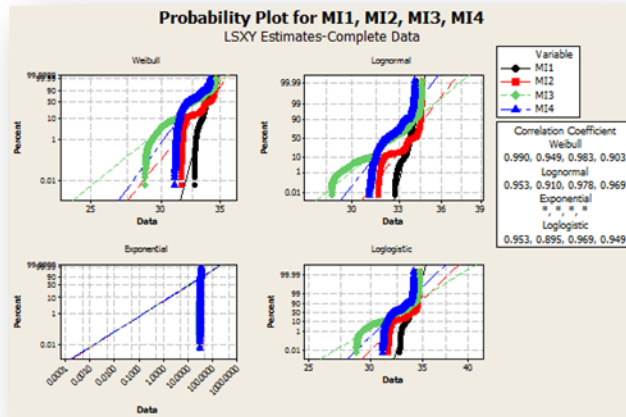
Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1101.453	0.903
Lognormal	282.335	0.969
Exponential	13620.453	*
Loglogistic	465.159	0.949
3-Parameter Weibull	177.428	0.985
3-Parameter Lognormal	204.156	0.978
2-Parameter Exponential	1679.973	*
3-Parameter Loglogistic	343.533	0.961
Smallest Extreme Value	1145.414	0.900
Normal	289.676	0.969
Logistic	469.602	0.949

Fuente: Propia

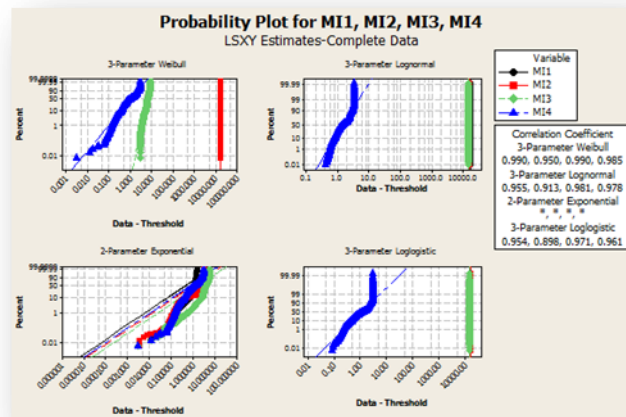
De acuerdo a las tablas anteriores con los resultados llevados a cabo para el ajuste de las distribuciones para la mano izquierda podemos decir lo siguiente:

- Para las pruebas 1 y 2 las distribuciones más representativas fueron la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull y la de valor extremo más pequeño. Estas distribuciones mostrando valores en el estadístico Anderson Darling de 37,722, 36,232 y 36,229 respectivamente y con coeficientes de correlación de 99% para las 3 distribuciones antes mencionadas en la primera prueba. Para la segunda los valores del estadístico Anderson Darling fue de 443,582, 434,087 y de 434,073 respectivamente y con coeficientes de correlación de 94,9%, 95,0% y 95,0%.
- Para la prueba 3 las distribuciones más representativas fueron la distribución Weibull, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal, mostrando valores en el estadístico Anderson Darling de 188,499, 91,710 y 116,095 respectivamente y con coeficientes de correlación de 98,3%, 99% y 98,1%.
- Para la prueba 4 las distribuciones más representativas fueron la distribución lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal, mostrando valores en el estadístico Anderson Darling de 282,335, 171,428 y 204,156 respectivamente y con coeficientes de correlación de 96,9%, 98,5% y 97,8%.

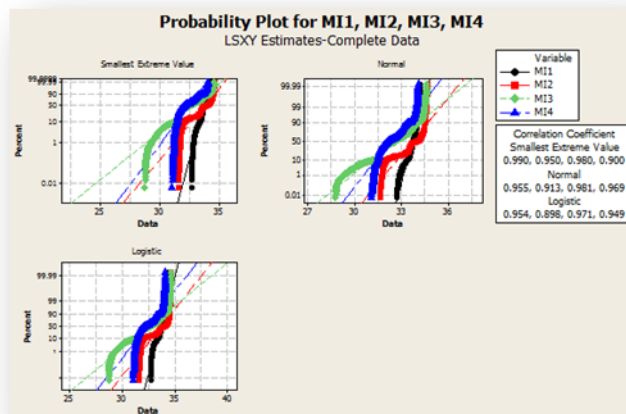
Las gráficas 264, 265 y 266 que se muestran a continuación pueden validar la información estadística presentada en las tablas anteriores.



Gráfica 264. Mejores distribuciones individuo 9 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 265. Mejores distribuciones individuo 9 mano izquierda
Fuente: Propia



Gráfica 266. Mejores distribuciones individuo 9 mano izquierda
Fuente: Propia

Ajustes de distribución

En base al resultado obtenido en la prueba de normalidad ahora el siguiente paso consistía en saber a cuál de las distribuciones (no normal) se ajustaban los datos. A continuación se muestran las tablas 76, 77, 78 y 79 de resultados con los mejores ajustes a las distribuciones para la mano derecha.

Prueba 1

Tabla 76. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano derecha prueba 1

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	151.814	0.973
Lognormal	517.335	0.912
Exponential	14248.707	*
Loglogistic	423.467	0.919
3-Parameter Weibull	143.487	0.974
3-Parameter Lognormal	502.968	0.915
2-Parameter Exponential	8756.717	*
3-Parameter Loglogistic	410.651	0.921
Smallest Extreme Value	143.470	0.974
Normal	502.946	0.915
Logistic	410.633	0.921

Fuente: Propia

Prueba 2

Tabla 77. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano derecha prueba 2

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	539.640	0.950
Lognormal	781.941	0.922
Exponential	13686.556	*
Loglogistic	919.893	0.903
3-Parameter Weibull	538.245	0.950
3-Parameter Lognormal	763.306	0.924
2-Parameter Exponential	4629.502	*
3-Parameter Loglogistic	908.504	0.905
Smallest Extreme Value	541.880	0.950
Normal	763.273	0.924
Logistic	908.483	0.905

Fuente: Propia

Prueba 3

Tabla 78. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano derecha prueba 3

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	254.905	0.977
Lognormal	160.661	0.976
Exponential	13143.897	*
Loglogistic	229.995	0.964
3-Parameter Weibull	126.435	0.985
3-Parameter Lognormal	151.372	0.978
2-Parameter Exponential	5346.611	*
3-Parameter Loglogistic	231.393	0.966
Smallest Extreme Value	299.166	0.974
Normal	151.360	0.978
Logistic	231.402	0.966

Fuente: Propia

Prueba 4

Tabla 79. Distribuciones de probabilidad individuo 9 mano derecha prueba 4

Distribution	Anderson-Darling (adj)	Correlation Coefficient
Weibull	1078.777	0.909
Lognormal	405.076	0.961
Exponential	13287.981	*
Loglogistic	664.620	0.938
3-Parameter Weibull	300.637	0.986
3-Parameter Lognormal	350.935	0.965
2-Parameter Exponential	1596.106	*
3-Parameter Loglogistic	510.466	0.946
Smallest Extreme Value	1122.232	0.906
Normal	410.473	0.961
Logistic	669.474	0.937

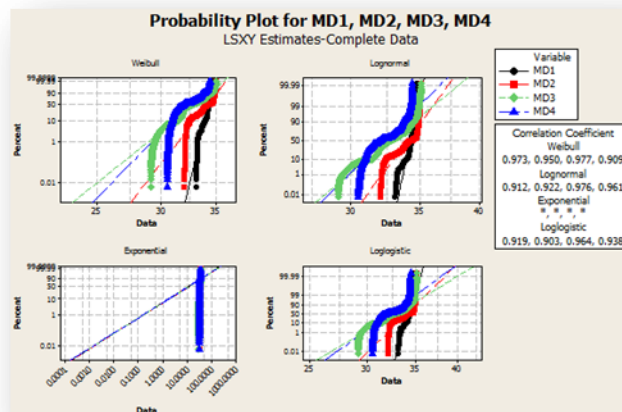
Fuente: Propia

De acuerdo a las tablas anteriores con los resultados llevados a cabo para el ajuste de las distribuciones para la mano izquierda podemos decir lo siguiente:

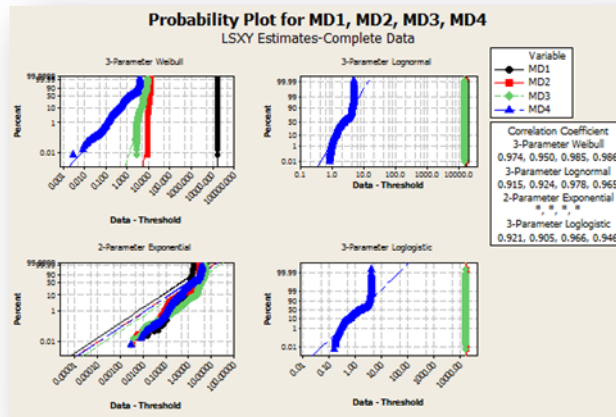
- Para las pruebas 1 y 2 las distribuciones más representativas fueron la distribución Weibull, 3 parámetros Weibull y la de valor extremo más pequeño. Estas distribuciones mostrando valores en el estadístico Anderson Darling de 151,814, 143,487 y 143,470 respectivamente y con coeficientes de correlación de 97,3%, 97,4% y 97,4% en la primera prueba. Para la segunda los valores del estadístico Anderson Darling fue de 539,640, 538,245 y de 541,880 respectivamente y con coeficientes de correlación de 95,0% para las tres distribuciones.

- Para la prueba 3 las distribuciones más representativas fueron la distribución Weibull, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal, mostrando valores en el estadístico Anderson Darling de 254,905, 126,435 y 151,372 respectivamente y con coeficientes de correlación de 97,7%, 98,5% y 97,8%.
- Para la prueba 4 las distribuciones más representativas fueron la distribución lognormal, la 3 parámetros Weibull y la 3 parámetros lognormal, mostrando valores en el estadístico Anderson Darling de 405,076, 300,673 y 350,935 respectivamente y con coeficientes de correlación de 96,1%, 98,6% y de 96,5%.

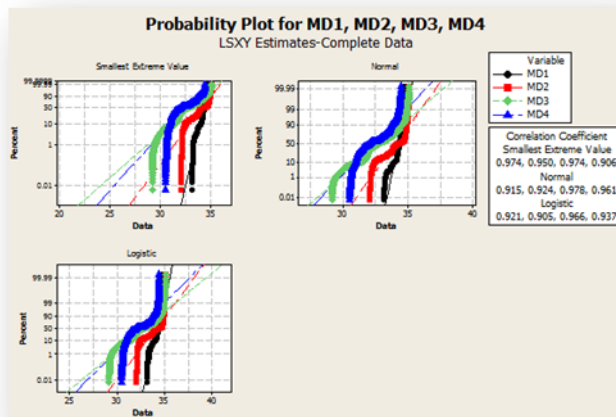
Las gráficas 267, 268 y 269 que se muestran a continuación pueden validar la información estadística presentada en las tablas anteriores.



Gráfica 267. Mejores distribuciones individuo 9 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 268. Mejores distribuciones individuo 9 mano derecha
Fuente: Propia



Gráfica 269. Mejores distribuciones individuo 9 mano derecha
Fuente: Propia

En parte de en la carpeta digital con nombre de **anexo** en el disco donde está contenida esta tesis se puede observar una tabla que resume parte de los resultados presentados en todas las pruebas anteriores, tanto intermitentes como continuas. La tabla se plantea desde un punto de vista en código binario, con el fin de representar si existe o no ajuste de curva del polinomio de tercer orden, si existe o no similitud en los patrones de temperatura, y si una o varias distribuciones de probabilidad estuvieron presente al analizar la muñeca de la mano izquierda o de la derecha, según era el caso.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Después de haber analizado detalladamente cada una de las secciones anteriores, podemos llegar a la conclusión que el analizar el comportamiento de las temperaturas generadas en el área musculo-esquelética de una persona tras realizar una actividad en una estación de trabajo que involucra amplios movimientos repetitivos que pudieran generar un desorden de trauma acumulado, en este caso en el área de la muñeca, con el uso de una tecnología alternativa y que a futuro ofrece un costo beneficio bastante aceptable como lo es la termografía sensorial, es un proceso complejo y minucioso ya que estudiamos la temperatura como variable de respuesta, la cual es inestable dependiendo las condiciones de temperatura ambiente a las cuales este expuesta la persona que realiza la operación con movimientos repetitivos, la postura que puede estar desarrollando en la estación de trabajo, la condición fisiológica del individuo y otros factores que pudieran analizarse en futuras investigaciones. Los resultados muestran de manera clara como la variable temperatura a medida que transcurre el tiempo de la actividad sufre incrementos y decrementos considerables, marcando en ocasiones una cierta tendencia en su comportamiento lo cual cabe mencionarse podría ser la pauta de un estudio posterior que involucrará predicciones.

La hipótesis general puede considerarse como verdadera ya que a través de 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 así como la temperatura registrada en ese momento. Todo esto durante el tiempo establecido en la hipótesis para el estudio que consistió en 3 h 30 min 00. Además aunado a esto se pudo comprobar la hipótesis de que los patrones de temperatura de una mano a otra de un sujeto, independientemente de su mano dominante, son muy similares en su tendencia al comportarse en el

tiempo. 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 comportamientos.

También se pudo comprobar 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 la más representativa en muchos casos fue la distribución 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 espalda y de hombro derecho. En este caso no podemos 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 (donde estudiamos el túnel del Carpo), sin embargo podemos sospechar que esto fue debido a problemas generados por la estación de trabajo.

Respecto al objetivo general de la investigación podemos concluir que se cumplió, al igual que los objetivos particulares, esto debido a 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 para futuros progresos de la investigación.

Aunado a lo anterior podemos decir además que específicamente:

1. 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. Estudio no encontrado en la literatura y enfocado a este tipo de experimentación.
2. Se concluye que, en los 36 casos analizados de ambas manos se demostró que casi en el 60% es posible de acuerdo a esta experimentación, ajustar a un polinomio de tercer orden, específicamente el 60% se refiere a 21 casos observados para la mano izquierda y 20 para la mano derecha, notando que el criterio de aceptación para el ajuste de la curva consistió en un 80% de R^2

(porcentaje de la variable de respuesta temperatura que puede ser explicado por el factor tiempo).

3. Se concluye que, de manera significativa que en 34 de los 36 casos hubo similitud en los patrones de temperatura de una mano a otra e independientemente si el sujeto era hombre o mujer, e independientemente también de su mano dominante y si las pruebas era intermitentes o continuas.
4. Se concluye que, la prueba de normalidad Anderson Darling utilizada en el 100% de los casos, demuestra que los datos no siguen una distribución normal, y de manera alterna así lo demostraron los respectivos histogramas.
5. 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.

5.2 Recomendaciones

Con base en el análisis y alcance de esta investigación se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda que, se pueden hacer estudios futuros con los datos recabados en esta investigación se recomienda llevar a cabo una transformación de los datos o bien podría trabajarse con pruebas no paramétricas.
2. Se recomienda que, se equipe un laboratorio con un sistema de control de temperatura con el fin de obtener menos variación de la temperatura ambiente.
3. Se recomienda que, se analice el resto de las variables que pudieran influir, además del tiempo, variables recolectadas de la información del experimento en cada uno de los casos, es decir, información clínica y antropométrica, además de posiblemente factores como la alimentación del individuo. Además del gasto metabólico de energía para realizar la tarea repetitiva durante el periodo más largo de la jornada, es decir, las 3 h 30 que se definieron en la metodología del estudio.

4. Se recomienda que, se haga un análisis para relacionar puntos de falla con las temperaturas (confiabilidad).
5. Se recomienda que, se analice el número de ciclos con la variable tiempo.

REFERENCIAS

Borja Víctor H., *Vigilancia epidemiológica de las enfermedades del trabajo en México*, IMSS, Marzo 2009.

Edeiken Jack, Sheber Gary, *Thermography: a reevaluation*, Skeletal Radiol, 15:545-548, 1985.

E.Y.K NG and E.C. KEE, *Advanced integrated technique in breast cancer Thermography*, Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 32, 103-114, March/April 2008.

Feldman Frieda, *Thermography of the hand and wrist: Practical applications*, Hand Clinics, Vol. 7, No.1, 1991.

Ferreira José J.A., Mendonça Lorena C.S., Nunez Luiz A. O. Andrade Filho Antonio C.C., Rebelatto José R., Salvini Tania F., *Exercise Associated Thermographic Changes in Young and Elderly Subjects*, Annuals of Biomedical Engineering, Vol. 36, pp. 1420-1427, DOI: 10.10007/S10439-008-9512-1, 2008.

Gold Judith, Cherniack Martin, Hanlon Alexandra, T. Dennerlein, Dropkin Jonathan, *Skin temperature in dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders*, Int. Arch. Occup. Enviro. Health, 82:1281-1292, 2009.

Gold E. Judith, Cherniack Martin, Buchholz Bryan, *Infrared Thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand office workers*, Eur J. Apply Physiol 93: 245-251, 2004.

Gutiérrez Pulido Humberto y De la Vara Salazar Román, *Control estadístico del proceso calidad y seis sigma*, McGraw Hill Interamericana, pp. 332-334, ISBN 970-10-4724-9, 2004.

Humantech Consultants in Occupational Ergonomics; Applied Ergonomics Seminal; Julio 2000.

Kroemer Elbert, Kroemer Henrike, Kroemer Karl, "Ergonomics: *How to design for ease and efficiency*", second edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-725478-1, Page 97, 113, 2001.

López Bonilla Roberto Oscar, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, *Termógrafo digital submarino, Instrumentación y desarrollo*, Vol. 3 No.2 ,1992

Ming Zhiyong , Zaproudina Nina, Siivola Jouko, Nousiainen Unto, Pietikainen Seppo, *Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome*, ISP Pathophysiology, pp. 137-141, 2005.

Montgomery and Runger, Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería, Limusa Wiley, 2a. edición, Pág. 193, ISBN 10968-18-5915-4, 2006.

National Institute for Occupational Safety & Health (1994), Revised NIOSH Lifting Equation, Ohio, E. U. A.

Padua L., Padua R., M. Lo Monaco, Aprile I., Paciello N., Nazzaro M., Tonali P., *Natural History of carpal tunnel síndrome according to the neurophysiological classification*, The Journal of Neurology 19: 357-361, 1998.

Puig Adán Ana, *Influencia del consume de tabaco en las variaciones diurnas de parámetros bioquímicos, fisiológicos y de performance (tesis doctoral)*, Universidad de Barcelona, Septiembre 1993.

Putz-Anderson, Vern. *Cumulative Trauma Disorders*; Ed. Taylor and Francis, 1988.

Revista médica del IMSS, 2004, Vol. 42 No.1

Revista médica del IMSS, 2007, Social 2007; 45 (4): 403-412

Robin Henderson G., Six Sigma Quality Improvement with MINITAB,Wiley, ISBN 0-470-01155-6, Page 102.

Salvendy Gavriel, *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, third edition, Wiley, ISBN-13 978-0-471-44917-1, Page 856.

Tchou Sheng, F. Costich Julia, C. Burguess Ronald, Lexington, Ky., and E. Wexler Charles, *Thermographic observations in Unilateral Carpal tunnel syndrome: Report of 61 cases*, *The Journal of the hand surgery* 17A:631-7, 1992.

Williams D.M.J, Roberts Ernest, Evans K.T, *An Assessment of the Hand Thermography in Vinyl Chloride Workers*, *J. Soc. Occup. Med* Vol. 27, pp. 57-62, 1977.

Wolf Moriatis Jennifer, Mountcastle Sally, Owens D. Brett, *Incidence of Carpal Tunnel Syndrome in the US Military Population*, *Hand*, Ed. Springer New York, ISSN 1558-9447 (Print) 1558-9455 (Online), 2009.

Zaidi H., Taĭar R., Fohanno S., Polidori G., *The influence of swimming type on the skin-temperature maps of a competitive swimmer from infrared Thermography*, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol. 9, No.1, 2007.

Zontak Alla, Sideman Samuel, Verbitsky Oleg, Beyar Rafael, *Dynamic Thermography: Analysis of hand temperature*, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 26, pp. 998-993, 1998.

	Ajuste polinomial		Similitud patrones	Mano izquierda							Mano derecha							
	MI	MD		W	3PW	Log	3PLog	L	3PL	SEV	W	3PW	Log	3PLog	L	3PL	SEV	
Individuo 1	P1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 2	P2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 3	P3	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Individuo 4	P4	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 5	P1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Individuo 6	P2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
Individuo 7	P3	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 8	P4	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 9	P1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Individuo 10	P2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 11	P3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 12	P4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Individuo 13	P1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 14	P2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 15	P3	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
Individuo 16	P4	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Individuo 17	P1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
Individuo 18	P2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
Individuo 19	P3	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
Individuo 20	P4	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0

21 20 34 18 35 17 17 0 3 18 18 33 18 18 1 4 16

De la tabla anterior podemos definir la nomenclatura presentada como:

MI=Mano izquierda

MD=Mano derecha

W=Distribución Weibull

3PW=Distribución 3 parámetros Weibull

Log=Distribución lognormal

3PLog= Distribución 3 parámetros lognormal

L= Distribución Loglogistic

3PL=Distribución 3 parámetros Loglogistic

SEV= Distribución del valor extremo más pequeño

“Análisis de temperaturas debido a la realización de movimientos repetitivos en el área de la muñeca a través de la termografía sensorial para el estudio de la patología de un posible DTA”

Ordorica Villalvazo Javier^{1,2}, Camargo Wilson Claudia^{1,2}, De la Vega Bustillos Enrique J.³, Olguín Tiznado Jesús E.^{1,2}, López Bonilla Oscar R.²

¹ Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Ensenada de la Universidad Autónoma de Baja California
Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada S/N
Ensenada, Baja California C.P. 22870

² División de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Tecnológico de Hermosillo
Av. Tecnológico S/N
Hermosillo, Sonora C.P. 83170

¹ villalvazo@uabc.edu.mx, ¹ ccamargo@uabc.edu.mx, ² e_delavega_mx@yahoo.com,
¹ jeol79@uabc.edu.mx, ¹ olopez@uabc.edu.mx

Resumen: A través de la historia se puede observar como la temperatura ha sido un indicador importante para determinar cambios importantes en los ecosistemas del planeta, en la resistencia de materiales para el diseño de nuevos productos, y también en el campo de la medicina analizando por ejemplo, fiebres ocasionadas por infecciones provocadas por nuevas enfermedades. A través de este estudio de las variaciones de temperatura corporales provocadas en los nervios del área de la muñeca generando la reducción en la habilidad muscular para realizar el trabajo debido a movimientos repetitivos, lo cual nos puede llevar a entender la patología de un Desorden de Trauma Acumulado (DTA), tomando en cuenta la termografía sensorial, ya que no es invasiva para el ser humano, que facilita la recolección y manipulación de los datos. **Objetivos:** Analizar cambios en los patrones de temperatura generados en el área de la muñeca. Mostrar la factibilidad de la aplicación de la termografía sensorial. Recabar información acerca de las variables no laborales (edad, género, peso, entre otras) y laborales (repetitividad, temperatura del área de trabajo). Desarrollar las pruebas preliminares emulando la operación ejecutada en la industria y que involucra los movimientos repetitivos. Identificar los puntos de estrés máximo alcanzados durante un periodo de operación describiendo síntomas detectados. **Delimitación del problema:** Este estudio se realizó con sólo un estudiante de la Facultad de Ingeniería Ensenada de la UABC. **Metodología:** Se seleccionó a un estudiante en condiciones físicas normales, quien realizó pruebas en un laboratorio aplicando el protocolo para el experimento haciendo uso de la termografía sensorial. **Resultados:** Las temperaturas máximas alcanzadas en ambas muñecas fueron en periodos de operación en tiempos muy similares. Se detectaron molestias en el hombro derecho en el rango donde se identifican las temperaturas más altas durante el proceso de la operación para ambas muñecas. A través del ajuste de una ecuación de tercer orden fue posible explicar el comportamiento de las temperaturas. **Conclusiones:** Por medio de la termografía sensorial

es posible analizar patrones de temperatura, ligarlos a una estadística creando la posible patología de un DTA y que pudieran servir en futuras investigaciones.

Palabras clave: Termografía sensorial, DTA, temperatura.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades altamente repetitivas son un mal que en la actualidad afecta a miles de personas desarrollando con esto, los Desordenes de Traumas Acumulados (DTA's), que en ocasiones, son confundidos con otro tipo de enfermedades. 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 en algún área del cuerpo humano. Además cabe mencionar que los DTA's, hoy en día, son conocidos como la nueva epidemia industrial (**Pérez, 2006**) causando una pérdida periódica de la habilidad motriz.

Por tales motivos la experimentación consistió en el estudio y análisis de las temperaturas generadas en el área de la muñeca de un individuo en particular, que es donde se genera el síndrome del túnel del carpo. Se simuló una operación con movimientos repetitivos ejecutados en una industria textil de la localidad. El análisis se llevo a cabo utilizando termografía sensorial.

La termografía es una técnica que no representa algún 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 grabarse (**Feldman et al., 1991**), esto último como termografía infrarroja. La termografía digital sensorial a diferencia de la infrarroja, que es usada ampliamente para visualizar los patrones de temperatura en las superficies de la piel por medio de la toma de fotografías (**Zontak et al., 1998**), 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**).

Este estudio permitió el planteamiento de 3 preguntas importantes: ¿Cuál es el comportamiento de las temperaturas de la persona al realizar el movimiento repetitivo? ¿Cuáles son los puntos máximos de estrés? ¿De qué manera se relaciona la temperatura con los síntomas de dolor presentados por el individuo?

Una revisión llevada a cabo de la literatura muestra que no se ha encontrado un estudio de este tipo emulando una operación de la industria textil para llevar a cabo un análisis de temperaturas cutáneas. Sin embargo un estudio realizado con un nadador profesional reflejó el análisis de temperaturas cutáneas, en el cual se analizaron las temperaturas con respecto a los estilos de nado desarrollados en la experimentación (**Zaidi et al., 2007**).

El estudio fue llevado a cabo en un cuarto cerrado donde la temperatura ambiente fue un parámetro importante, tratando de controlar con un calentón de casa, la temperatura del cuarto, que de acuerdo a la literatura debe de ser entre 20 y 25 °C (**E.Y.K NG et al., 2005**). Los resultados obtenidos en este estudio no pueden ser considerados como un comportamiento universal debido a que sólo una persona fue tomada en cuenta para la experimentación, sin embargo se están realizando pruebas con más sujetos para hacer inferencias en un futuro respecto al comportamiento de sus temperaturas. Los objetivos en

esta prueba preliminar fue el mostrar la aplicación de la termografía sensorial por un lado, y por el otro, mostrar los puntos máximos de estrés influenciados por el comportamiento de la temperatura.

2. OBJETIVOS

- ✓ Analizar los cambios en los patrones de temperatura generados en el área de la muñeca.
- ✓ Mostrar la factibilidad de la aplicación de la termografía sensorial.
- ✓ Recabar la información acerca de las variables no laborales (edad, género, peso, entre otras) y laborales (repetitividad, temperatura del área de trabajo).
- ✓ Desarrollar las pruebas preliminares emulando la operación ejecutada en la industria y que involucra los movimientos repetitivos.
- ✓ Identificar los puntos de estrés máximo alcanzados durante un periodo de operación describiendo síntomas detectados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 El sujeto

El sujeto tomado en cuenta en el estudio es una persona en condiciones físicas normales. Las principales características antropométricas del sujeto son resumidas en la tabla 1.

Tabla 1. Características antropométricas del sujeto

	Edad	Altura (m)	Masa (Kg)
Sujeto (Estudiante)	29	1.63	60

3.2 Equipo de captura y análisis de datos

Las temperaturas cutáneas fueron tomadas usando un termógrafo sensorial Sköll con un alcance de 0°C – 40°C, exactitud $\pm 3^\circ\text{C}$, y una resolución de $.1^\circ\text{C}$ (López., 1992), cinta micro porosa (Marca 3M), cinta adhesiva, reloj cronómetro (Marca Casio), laptop (Marca COMPAQ Intel Pentium Dual Core) y un calentón de temperatura ambiente. Además para la programación de los termógrafos sensoriales se utilizó el programa denominado Akela. Por otro lado también se utilizó paquetería de análisis estadístico como Minitab 15 y Microsoft Excel 2007.

3.3 Protocolo

Se le pidió al individuo que previo a la prueba se abstuviera de hacer cualquier tipo de ejercicio por un periodo de 20 minutos (**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 (termalización) después de haber realizado un ejercicio determinado es de 20 minutos debido a una reducción en el rango del metabolismo del cuerpo (**E.Y.K NG y Sim en E.Y.NG et al., 2008**). Por otra parte se le pidió también el evitar la toma de alcohol o fumar previamente (**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 .

Después se templó la temperatura ambiente del cuarto con el fin de mantenerla en un rango ideal de 20– 25°C. (**E.Y.K NG et al., 2005**) con la ayuda del calentón de temperatura ambiente. Pasado el tiempo de estabilización se le pidió al individuo sentarse en una silla ergonómica con brazos de descanso y en seguida colocarle los termógrafos sensoriales en ambas manos, específicamente sobre el área de la muñeca y la región del nervio medio. Ya colocados los termógrafos se le pidió al que descansará sus brazos sobre una mesa totalmente plana a la altura de las costillas (**Kroemer et al., 2001**) por un espacio de 20 minutos.

A continuación se simuló una operación repetitiva que se realiza en la industria por 3.5 horas que representa el periodo más largo de la jornada laboral de estos los trabajadores donde se realiza este movimiento. La operación involucraba los movimientos de alcanzar, tomar, colocar, entre otros.

Durante la prueba se identificaron anomalías o dolores presentados por el individuo. Finalmente el retiro de los termógrafos de la muñeca y proceder al análisis de resultados.

4. RESULTADOS

En la tabla 3 se muestra un resumen de las anomalías presentadas por el individuo durante el desarrollo de la actividad repetitiva. Estas anomalías detectadas fueron recabadas con la ayuda del individuo, el cual le mencionaba al analista en el momento en que ésta se hacía presente. Era importante anotar la hora, minuto y segundo de la detección, en orden de relacionarla con la temperatura alcanzada en ese momento.

Tabla 3. Tabla de anomalías presentadas en el sujeto

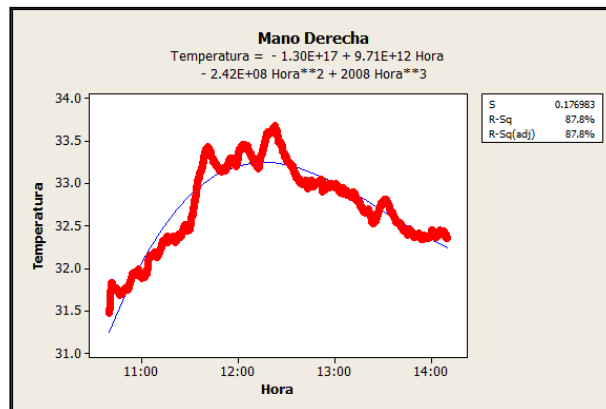
	Dolor en hombro derecho	Dolor en hombro izquierdo	Dolor en espalda alta	Dolor en espalda baja	Dolor en muñeca derecha	Dolor en palmar derecho
Preliminar 1	x					
Preliminar 2	x		x	X	x	x
Preliminar 3	x				x	
Preliminar 4	x	x		X		x

4.1 Preliminar 1

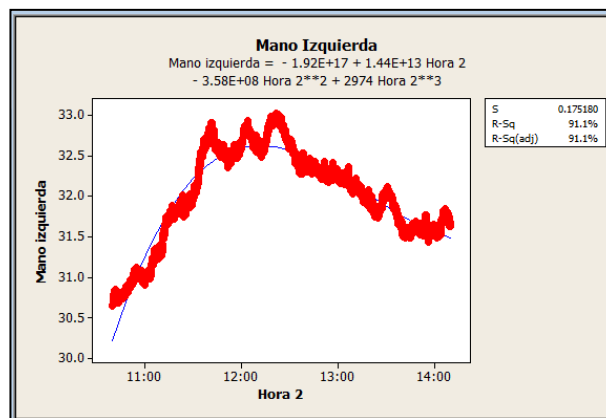
En las gráficas 1 y 2 se puede apreciar los comportamientos de las temperaturas de ambas muñecas. Comparando ambas gráficas podemos apreciar un comportamiento de las temperaturas muy similar de ambas muñecas. Tres similitudes importantes son las siguientes:

- 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, 11:41:14 y 11:49:28 (h: m: s).
- 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 11h: 30 a las 12h: 00 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 11h: 40 punto donde empieza a bajar. Por otra parte fue posible ajustar un modelo 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.



Gráfica 1. Ajuste de curva de mano derecha



Gráfica 2. Ajuste de curva de mano izquierda

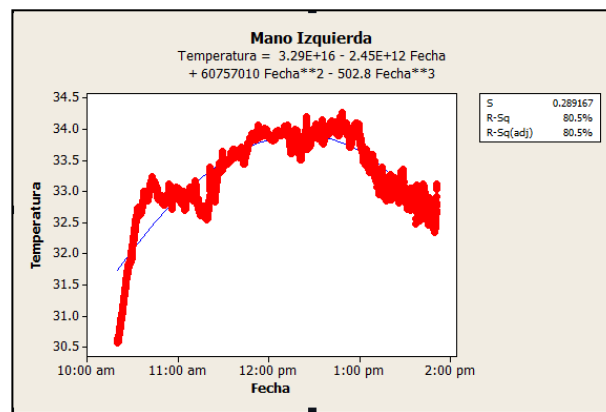
4.2 Preliminar 2

Para esta prueba en particular según las gráficas 3 y 4 podemos apreciar que el patrón de temperatura es muy similar entre una muñeca y otra como sucedió en la prueba preliminar 1 y que los tiempos de estrés máximo de una muñeca con respecto a la otra también son alcanzados en tiempos muy similares. Con respecto a lo anterior podemos decir lo siguiente:

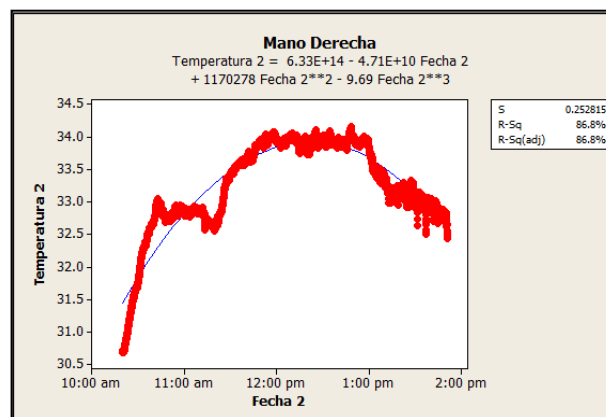
- ✓ Los puntos máximos de estrés fueron alcanzados en tiempos muy similares en ambas muñecas. En la muñeca izquierda a las 12:48:24 con una temperatura de 34.276 °C y en la muñeca derecha a las 12:48:39 con una temperatura de 34.154 °C. Tiempos prácticamente iguales.
- ✓ Se detectaron molestias importantes en la muñeca derecha alrededor de las 12:33:30 y en el palmar derecho una hora después y al mismo tiempo dolor en espalda baja.

- ✓ Se detectaron molestias importantes en los tiempos de alcance de puntos máximos de estrés en hombro derecho.

Por otra parte fue posible ajustar un modelo 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 80.5% para la mano izquierda y de 86.8% para la mano derecha.



Gráfica 3. Ajuste de curva de mano izquierda



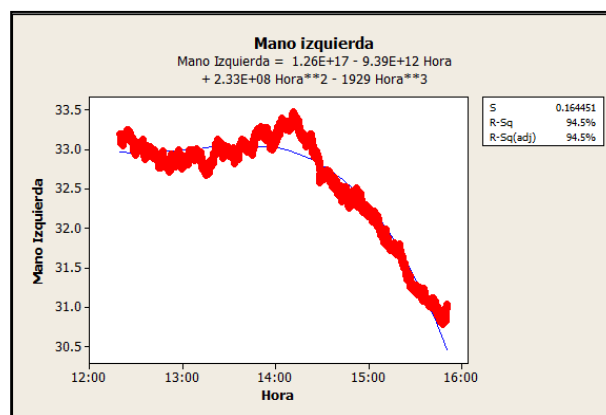
Gráfica 4. Ajuste de curva de mano derecha

4.3 Preliminar 3

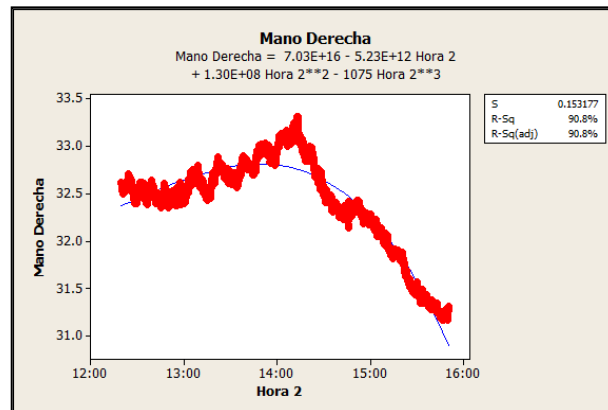
Para esta prueba en particular según las gráficas 5 y 6 podemos apreciar que el patrón de temperatura es muy similar entre una muñeca y otra como sucedió en las pruebas anteriores y que los tiempos de estrés máximo de una muñeca con respecto a la otra también son alcanzados en tiempos muy similares. Con respecto a lo anterior podemos decir lo siguiente:

- ✓ Los puntos máximos de estrés fueron alcanzados en tiempos muy similares en ambas muñecas. En la muñeca izquierda a las 14:11:40 con una temperatura de 33.481 °C y en la muñeca derecha a las 14:13:22 con una temperatura de 33.313 °C. Tiempos prácticamente iguales.
- ✓ Se detectaron dolores en espalda baja alrededor de las 12:55:35 y en la muñeca derecha casi al final de la prueba, alrededor de las 14:54:10.
- ✓ Se detectaron molestias importantes en los tiempos previos de alcance de puntos máximos de estrés en el hombro derecho.

Por otra parte fue posible ajustar un modelo polinomial de tercer orden que representara el comportamiento de las temperaturas del individuo y con un coeficiente de determinación (aproximación de la curva a los datos) del 90.8% para la mano derecha y de 94.5% para la mano izquierda.



Gráfica 5. Ajuste de curva mano izquierda



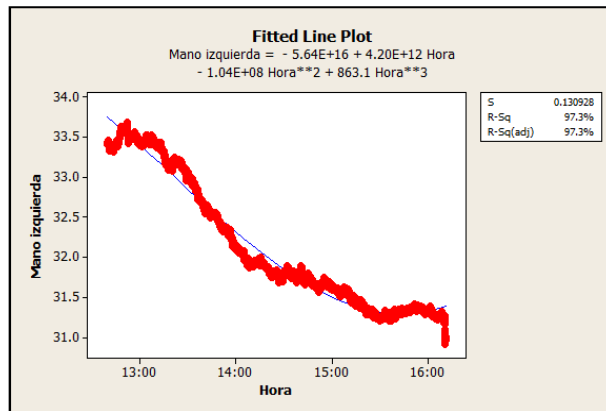
Gráfica 6. Ajuste de curva mano derecha

4.4 Preliminar 4

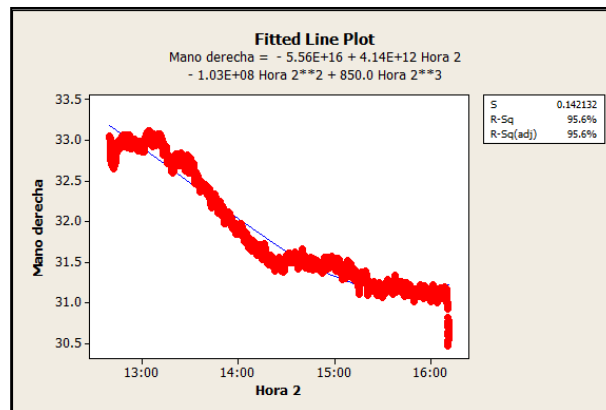
Para esta prueba en particular según las gráficas 7 y 8 podemos apreciar que el patrón de temperatura es muy similar entre una muñeca y otra como sucedió en las pruebas anteriores y que los tiempos de estrés máximo de una muñeca con respecto a la otra también son alcanzados en tiempos similares. Con respecto a lo anterior podemos decir lo siguiente:

- ✓ Los puntos máximos de estrés fueron alcanzados en tiempos similares en ambas muñecas. En la muñeca izquierda a las 12:52:14 con una temperatura de 33.686°C y en la muñeca derecha a las 13:03:53 con una temperatura de 33.114 °C.
- ✓ Se detectaron dolores en hombro derecho durante el periodo que la temperatura empieza en descenso alrededor de la 13:42:52 y dolor en centro de la palma derecha alrededor de las 14:13:43.
- ✓ Al final de la prueba se presentó dolor en hombro izquierdo alrededor de las 3:52:40 y se intensificó el dolor en hombro derecho alrededor de las 3:56:36.

Por otra parte fue posible ajustar un modelo polinomial de tercer orden que representara el comportamiento de las temperaturas del individuo y con un coeficiente de determinación (aproximación de la curva a los datos) del 95.6% para la mano derecha y de 97.3% para la mano izquierda.



Gráfica 7. Ajuste de curva mano izquierda



Gráfica 8. Ajuste de curva mano derecha

4.5 Medias

Tomando en cuenta las temperaturas máximas alcanzadas como puntos de estrés de todas las pruebas preliminares de ambas manos se calcularon las medias encontrando y dado que los patrones de temperaturas y periodos de alcance de estrés fueron muy similares, las medias también fueron muy similares, teniendo para la muñeca izquierda una $\bar{y} = 33.50 \text{ }^\circ\text{C}$ y para la muñeca izquierda $\bar{y} = 33.591 \text{ }^\circ\text{C}$. Todo lo anterior partiendo de la formula general para el cálculo de una media, según la ecuación 1.

$$\bar{y} = (\sum_{i=1}^n y_i) / n \tag{1}$$

5. CONCLUSIONES

Se llevo a cabo un estudio experimental preliminar por una parte, para estudiar la factibilidad del uso de la termografía sensorial en el análisis de operaciones repetitivas, y por otra para la identificación de puntos máximos de estrés, comportamientos y patrones de temperaturas como resultado de la actividad. En particular este estudio muestra que el uso de la termografía sensorial es adecuado con la finalidad de detectar patrones de temperatura, que para este caso, en todas las pruebas se pudo concluir que los patrones se repetían en ambas muñecas del individuo independientemente de la mano dominante, cambiando su comportamiento de acuerdo al paso de los días en condiciones similares de la temperatura ambiente. Además de lo anterior fue posible en cada una de las pruebas el hacer ajustes de curvas de tercer orden, que representan el comportamiento de las temperaturas de los datos presentados en cada prueba, y como resultado un coeficiente de determinación para representar el nivel de ajuste de la curva a los datos.

6. RECOMENDACIONES

Se debe de remarcar que estas conclusiones no pueden ser consideradas como universales dado que el estudio hecho con un solo sujeto, un individuo en condiciones normales tomo parte del estudio. Sin embargo, las conclusiones nos hacen pensar considerar un estudio estadístico completo como un mayor número de individuos (hombres y mujeres) y verificar si existe similitud en los comportamientos de varios sujetos.

7. REFERENCIAS

- E.Y.K NG and E.C. KEE, *Advanced integrated technique in breast cancer Thermography*, Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 32, 103-114, March/April 2008.
- Feldman Frieda, *Thermography of the hand and wrist: Practical applications*, Hand Clinics, Vol. 7, No.1, 1991.
- Gold Judith, Cherniack Martin, Hanlon Alexandra, T. Dennerlein, Dropkin Jonathan, *Skin temperature in dorsal hand of office workers and severity of upper extremity musculoskeletal disorders*, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 82:1281-1292, 2009.
- Gold E. Judith, Cherniack Martin, Buchholz Bryan, *Infrared Thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand office workers*, Eur J. Apply Physiol 93: 245-251, 2004.
- Kroemer Elbert, Kroemer Henrike, Kroemer Karl, *“Ergonomics: How to design for ease and efficiency”*, second edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-725478-1, Page 97, 113, 2001.
- Lopez Bonilla Roberto Oscar, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California. *Termógrafo digital submarino, Desarrollo e instrumentación*, Vol. 3 No.2, 1992
- http://polaris.unisabana.edu.co/prevencion/adicciones/alcohol/alcohol_3.html
- Puig Adan Ana, *Smoking influence in the variations of biochemical, physiological and performance parameters*, Barcelona, September 1993
- Zaidi H., Tañar R., Fohanno S., Polidori G., *The influence of swimming type on the skin-temperature maps of a competitive swimmer from infrared Thermography*, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 9, No.1, 2007
- Zontak Alla, Sideman Samuel, Verbitsky Oleg, Beyar Rafael, *Dynamic Thermography: Analysis of hand temperature*, Annals of Biomedical Engineering, Vol. 26, pp. 998-993, 1998.