



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Estadística Aplicada

**APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN
CARLOS DE GUATEMALA**

Ing. Jorge Alejandro Cajas Ochoa

Asesorado por el Mtro. William Eduardo Fagiani Cruz

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN
CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JORGE ALEJANDRO CAJAS OCHOA
ASESORADO POR EL MTRO. WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ESTADÍSTICA APLICADA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
EXAMINADOR	Mtro. Ing. William Eduardo Fagiani Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN
CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 27 de enero de 2020



Ing. Jorge Alejandro Cajas Ochoa

LNG.DECANATO.OI.671.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: **Jorge Alejandro Cajas Ochoa**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Estadística aplicada después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, octubre de 2022

LNG.EEP.OI.671.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA”

presentado por **Jorge Alejandro Cajas Ochoa** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Estadística aplicada** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala 31 de mayo 2022.

M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado **“APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA”** del estudiante **Jorge Alejandro Cajas Ochoa** quien se identifica con número de carné **200815576** del programa de Maestría en Estadística Aplicada.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

MSc. Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
Coordinador
Maestría en Estadística Aplicada
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 15 de octubre de 2021.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

Escuela de Estudios de Postgrado

Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **“APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA”** del estudiante **Jorge Alejandro Cajas Ochoa** del programa de Maestría en **Estadística Aplicada**, identificado con número de carné: **200815576**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



INGENIERO QUÍMICO
WILLIAM EDUARDO FAGIANI CRUZ
COL. 1734

M.A. Ing. William Eduardo Fagiani Cruz

Colegiado No. 1734

Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por todas sus bendiciones y permitirme culminar con éxito una meta más en mi vida.

Mis padres

Jorge Salvador Cajas Aguilar y María de los Ángeles Ochoa. Por ser siempre mi inspiración y modelos de vida. Su amor y cariño siempre me guiaron por el camino correcto. Sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible. Los amo.

Mis hermanos

Mildred Anahí y Ángel Estuardo Cajas Ochoa por su motivación y apoyo en la realización de este trabajo.

Mi familia

Por ser parte importante en mi vida, apoyarme y brindarme su cariño siempre.

Mis amigos

Por apoyarme, brindarme su tiempo, confianza, enseñanzas y darme ánimos para seguir adelante. Gracias a cada uno de ellos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma mater</i> y brindarme oportunidades para desarrollar y mejorar continuamente mis conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por ser medio de formación académica para aplicar los conocimientos adquiridos científica y tecnológicamente.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por brindar conocimientos, ser medio de divulgación y mejora continua en la formación profesional a nivel de postgrado.
Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por motivar y fomentar en mí el desarrollo de tecnología y brindarme las herramientas necesarias para la realización de este trabajo.
Dra. Mayra Castillo	Por toda su ayuda, motivación, compartir todos sus conocimientos y ser una excelente mentora en el campo de la investigación.
Ing. Edwin Bracamonte	Por sus conocimientos, ayuda y apoyo durante la realización de este trabajo de investigación.
Ing. Ramiro Santizo	Por su apoyo y conocimientos en metrología para aplicarlos en esta investigación.

**Mtro. William Eduardo
Fagiani Cruz**

Por ayudarme y compartir su tiempo para asesorarme en este trabajo de investigación.

**Mis catedráticos de la
maestría**

Por brindarme y compartir sus conocimientos relacionados con la aplicación de la estadística en diferentes campos de aplicación.

**Dra. Aura Marina
Rodríguez**

Por compartir su tiempo y conocimientos para estructurar y elaborar el trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XXI
OBJETIVOS	XXV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXXV
1. MARCO REFERENCIAL	1
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Análisis de datos por métodos gráficos	7
2.1.1. Histograma de frecuencias	7
2.1.2. Polígono de frecuencias	10
2.1.3. Diagrama de cajas (Box Plot)	10
2.2. Análisis de datos por estadísticos descriptivos	11
2.2.1. Medidas de tendencias central	11
2.2.1.1. Media aritmética	11
2.2.1.2. Medidas de dispersión	12
2.2.1.3. Rango	12
2.2.1.4. Varianza	12
2.2.1.5. Desviación estándar	12
2.2.1.6. Coeficiente de variación	13
2.2.2. Medidas de posición y forma	13

2.2.2.1.	Asimetría	13
2.2.2.2.	Curtosis	14
2.3.	Contraste de bondad de ajuste	14
2.3.1.	Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov	15
2.3.2.	Prueba de Lilliefors	16
2.4.	Contraste de Levene de igualdad de varianzas	16
2.5.	Prueba de la mediana.....	17
2.6.	Prueba de correlación de Kendall	19
2.7.	Método de análisis de varianza ANOVA	19
2.7.1.	Método de análisis de varianza ANOVA con un factor	20
2.7.2.	Método de análisis de varianza ANOVA con 2 factores	21
2.8.	Control estadístico de la calidad	26
2.8.1.	Repetibilidad y reproducibilidad	26
2.8.2.	Gráficas de control	28
2.8.2.1.	Límites de control	29
2.8.3.	Gráficas de control para variables	30
2.8.3.1.	Gráfica de rangos R.....	30
2.8.3.2.	Gráfica de medias $\bar{X}$	32
2.8.3.3.	Gráfica de desviaciones estándar-S	33
2.8.3.4.	Gráfica de $\bar{X}$ -S	34
2.8.4.	Índice de inestabilidad	35
2.8.5.	Índices de capacidad para procesos con doble especificación	36
2.8.5.1.	Índice C_p	36
2.8.5.2.	Índice C_{ps} , C_{pi} y C_{pk}	37
2.9.	Introducción a la Metrología.....	39

2.9.1.	Conceptos fundamentales	39
2.10.	Medición de temperatura	40
2.11.	Medición de humedad	40
2.12.	Sistemas de medición	41
2.12.1.	Métodos de medición	42
2.12.2.	Características de la medición	44
2.13.	Instrumentos y equipos de medición	45
2.13.1.	Características de los instrumentos de medición	45
2.14.	Fuentes primarias de error	48
2.14.1.	Errores sistemáticos.....	48
2.14.2.	Errores aleatorios.....	49
2.15.	Buenas prácticas de laboratorio	49
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	51
3.1.	Calibración del equipo prototipo	51
3.2.	Análisis de repetibilidad y reproducibilidad del equipo prototipo	53
3.2.1.	Pruebas de normalidad previos a la realización de ANOVA	53
3.2.2.	Pruebas de homocedasticidad previos a la realización de ANOVA	55
3.2.3.	Análisis R&R del sistema de medición de temperatura	56
3.2.4.	Análisis R&R del sistema de medición para la humedad relativa	62
3.3.	Análisis descriptivo de la temperatura y humedad relativa con aire acondicionado a 20 °C	70
3.3.1.	Medidas de tendencia central, variabilidad, forma y coeficiente de variación	70
3.3.2.	Gráficas de tiempo	72

3.3.3.	Histograma de frecuencias	74
3.3.4.	Gráficos de probabilidad normal (Q-Q PLOT).....	76
3.3.5.	Pruebas de normalidad Lilliefors.....	78
3.3.6.	Gráficos de cajas (Boxplot).....	79
3.3.7.	Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas	82
3.3.8.	Prueba de la mediana para comparación de jornadas en mediciones.....	83
3.3.9.	Tendencias de temperatura.....	84
3.3.10.	Tendencias de humedad relativa.....	87
3.4.	Análisis descriptivo de la temperatura y humedad relativa a temperatura ambiente.....	89
3.4.1.	Medidas de tendencia central, variabilidad, forma y coeficiente de variación	89
3.4.2.	Gráficas de tiempo	91
3.4.3.	Histograma de frecuencias	93
3.4.4.	Gráficos de probabilidad normal (Q-QPLOT).....	95
3.4.5.	Pruebas de normalidad Lilliefors.....	96
3.4.6.	Gráficos de cajas (Boxplot).....	97
3.4.7.	Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas	101
3.4.8.	Prueba de la mediana para comparación de jornadas en mediciones.....	102
3.4.9.	Tendencias de temperatura.....	103
3.4.10.	Tendencias de humedad relativa.....	105
3.5.	Gráficas de Control con aire acondicionado a 20 °C.....	107
3.5.1.	Límites de control preliminares	107
3.5.2.	Gráficas de control $\bar{X}$ – S de temperatura	109
3.5.3.	Gráficas de control $\bar{X}$ – S de humedad relativa	113

3.5.4.	Índice de inestabilidad.....	118
3.5.5.	Límites de control $\bar{X} - S$ en control estadístico	119
3.6.	Gráficas de control a temperatura ambiente	120
3.6.1.	Límites de control preliminares	120
3.6.2.	Gráficas de control $\bar{X} - S$ de temperatura.....	122
3.6.3.	Gráficas de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa.....	126
3.6.4.	Índice de inestabilidad.....	130
3.6.5.	Límites de control $\bar{X} - S$ en control estadístico	131
3.7.	Índices de capacidad	132
3.8.	Comportamiento de las mediciones	134
3.9.	Calidad de las mediciones	137
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	141
4.1.	Análisis interno.....	141
4.2.	Análisis externo.....	147
	CONCLUSIONES	153
	RECOMENDACIONES.....	155
	REFERENCIAS	157
	APÉNDICES.....	161

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Q-Q plot y pruebas de normalidad para temperatura	53
2.	Q-Q plot y pruebas de normalidad para humedad relativa	54
3.	Prueba de homocedasticidad para temperatura.....	55
4.	Prueba de homocedasticidad para humedad relativa.....	55
5.	Componentes de variación R&R del sistema de medición para temperatura.....	58
6.	Gráficas de medias y rangos por equipo del sistema de medición de temperatura.....	59
7.	Gráficas de temperatura por hora del sistema de medición de temperatura.....	60
8.	Gráfica de temperatura por equipo del sistema de medición de temperatura.....	60
9.	Gráfica de interacción de equipo por hora del sistema de medición de temperatura.....	61
10.	Componentes de variación R&R del sistema de medición para humedad relativa.	64
11.	Gráficas de medias y rangos por equipo del sistema de medición de humedad relativa.....	66
12.	Gráficas de humedad relativa por hora del sistema de medición de humedad relativa.....	67
13.	Gráfica de humedad relativa por equipo del sistema de medición de humedad relativa.....	67

14.	Gráfica de interacción de equipo por hora del sistema de medición de temperatura.....	68
15.	Mediciones de temperatura por hora del mes de marzo	73
16.	Mediciones de humedad relativa por hora del mes de marzo.....	74
17.	Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de temperatura del mes de marzo	75
18.	Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de humedad relativa del mes de marzo	75
19.	Q-Q Plot de mediciones de temperatura en jornadas laborales del mes de marzo.....	77
20.	Q-Q Plot de mediciones de humedad relativa en jornadas laborales del mes de marzo.....	77
21.	Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada matutina del mes de marzo	79
22.	Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada vespertina del mes de marzo.....	80
23.	Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada matutina del mes de marzo	80
24.	Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada vespertina del mes de marzo.....	81
25.	Gráfica de tendencias en temperaturas máximas, mínimas y medias.....	86
26.	Gráfica de tendencias de humedad relativa máximas, mínimas y media.....	88
27.	Mediciones de temperatura por hora del mes de abril	91
28.	Mediciones de humedad relativa por hora del mes de abril	92
29.	Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de temperatura del mes de abril.	93

30.	Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de humedad relativa del mes de abril.....	94
31.	Q-Q Plot de mediciones de temperatura del mes de abril	95
32.	Q-Q Plot de mediciones de humedad relativa del mes de abril	96
33.	Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada matutina del mes de abril	98
34.	Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada vespertina del mes de abril	98
35.	Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada matutina del mes de abril	99
36.	Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada vespertina del mes	99
37.	Gráfica de tendencias de humedad relativa promedio máximas, promedio mínimas y media	104
38.	Gráfica de tendencias de humedad relativa promedio, promedio mínimas y media	106
39.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 1	109
40.	Gráfica de control S de temperatura de la semana 1.....	110
41.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 2	110
42.	Gráfica de control S de temperatura de la semana 2.....	111
43.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 3	111
44.	Gráfica de control S de temperatura de la semana 3.....	112
45.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 1.....	114
46.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 1.....	114
47.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 2	115
48.	Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 2.....	115

49.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 3.....	116
50.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 3.....	116
51.	Gráfica de control $\bar{X}-S$ de temperatura de la semana 1	122
52.	Gráfica de control S de temperatura de la semana 1	123
53.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 2.....	123
54.	Gráfica de control S de temperatura de la semana 2	124
55.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 3.....	124
56.	Gráfica de control S de temperatura de la semana 3	125
57.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 1.....	126
58.	Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 1	127
59.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 2.....	127
60.	Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 2	128
61.	Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 3.....	128
62.	Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 3	129

TABLAS

I.	Variables de estudio	XXVIII
II.	Tabla auxiliar para encontrar límites aparentes	9
III.	Tabla para prueba de la mediana	18
IV.	Resumen de cálculos ANOVA a un factor	20
V.	Tabla de 2 factores con n réplicas	22
VI.	ANOVA con dos factores.....	23
VII.	Interpretación de resultados del %r&R	28

VIII.	Interpretación del índice C_p	37
IX.	Interpretación del índice C_{pk}	38
X.	Calibración de un punto para el equipo prototipo	51
XI.	Incertidumbres del sensor según su hoja de datos y calibración	52
XII.	Análisis de varianza preliminar de temperatura.....	56
XIII.	Análisis de varianza simplificado de temperatura.....	57
XIV.	Evaluación del sistema de medición de temperatura	58
XV.	Análisis de varianza preliminar de humedad relativa.....	62
XVI.	Análisis de varianza simplificado de humedad relativa.....	63
XVII.	Evaluación del sistema de medición de humedad relativa	64
XVIII.	Medidas de dispersión central, variabilidad y forma coeficiente de variación para la temperatura en jornadas laborales del mes de marzo.....	70
XIX.	Medidas de dispersión central, variabilidad, forma y coeficiente de variación para la humedad relativa por jornadas laborales del mes de marzo.....	71
XX.	Prueba Lilliefors para mediciones de temperatura y humedad relativa en las jornadas laborales del mes de marzo	78
XXI.	Prueba de Levene en mediciones de temperatura y humedad relativa en jornadas laborales del mes de marzo	83
XXII.	Prueba de la mediana entre jornadas laborales en mediciones de temperatura y humedad relativa de marzo	84
XXIII.	Prueba de correlación de Kendall entre temperatura y tiempo	85
XXIV.	Prueba de correlación de Kendall entre humedad relativa y tiempo.....	87
XXV.	Medidas de dispersión central, variabilidad, forma y coeficiente de variación para la temperatura por jornadas laborales del mes de abril.....	89

XXVI.	Medidas de dispersión central, variabilidad, forma y coeficiente de variación para la humedad relativa por jornadas laborales del mes de abril	90
XXVII.	Prueba Lilliefors para mediciones de temperatura y humedad relativa en las jornadas laborales del mes de abril.....	97
XXVIII.	Prueba de Levene en mediciones de temperatura y humedad relativa en jornadas laborales del mes de marzo	101
XXIX.	Prueba de la mediana entre jornadas laborales en mediciones de temperatura y humedad relativa de abril.....	102
XXX.	Prueba de correlación de Kendall entre temperatura y tiempo.....	103
XXXI.	Prueba de correlación de Kendall entre humedad relativa y tiempo	105
XXXII.	Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares.....	108
XXXIII.	Límites de control S preliminares	108
XXXIV.	Índice de inestabilidad y puntos especiales del mes de marzo	118
XXXV.	Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares y en control estadístico	119
XXXVI.	Límites de control S preliminares y en control estadístico	119
XXXVII.	Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares.....	121
XXXVIII.	Límites de control S preliminares	121
XXXIX.	Índice de inestabilidad y puntos especiales del mes de abril	130
XL.	Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares y en control estadístico	131
XLI.	Límites de control S preliminares y en control estadístico.....	132
XLII.	Índices de capacidad real del proceso	133
XLIII.	Precisión y exactitud del equipo prototipo.....	134
XLIV.	Resumen de las mediciones según análisis descriptivo.....	135
XLV.	Resumen de descripción de las mediciones por medio de gráficos de control $\bar{X} - S$	136
XLVI.	Resumen de índices de calidad de la medición de temperatura de los análisis R&R	137

XLVII.	Resumen de índices de calidad de la medición de humedad relativa de los análisis R&R.....	138
XLVIII.	Resumen de los índices de inestabilidad y estabilidad de las mediciones según gráficos de control X – S	139
XLIX.	Resumen de los índices Cp y Cpk de las mediciones según gráficos de control X – S	140

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
S	Desviación estándar
σ	Desviación estándar muestral
EL	Especificación inferior
ES	Especificación superior
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
C_{pi}	Índice de capacidad inferior
C_p	Índice de capacidad real
C_{pk}	Índice de capacidad real con doble especificación
C_{ps}	Índice de capacidad superior
LC	Límite de central
LCI	Límite de control inferior
LCS	Límite de control superior
μ	Media muestral
$\bar{X}$	Media aritmética
α	Nivel de significancia
%HR	Porcentaje de humedad relativa
$\bar{S}$	Promedio de desviación estándar
$\bar{\bar{X}}$	Promedio de medias
$\bar{R}$	Promedio de rangos
τ	Tau de Kendall
σ^2	Varianza muestral

GLOSARIO

Calibración	Operación que establece una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida con sus incertidumbres asociadas y utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.
Corrección	Compensación de un efecto sistemático estimado.
Error	Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.
Exactitud de medida	Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.
Instrumento de medida	Dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociada a uno o varios dispositivos suplementarios.
Medición	Proceso que consiste en obtener uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.
Metrología	Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones.

Precisión de medida	Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.
Repetibilidad	Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.
Reproducibilidad	Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.
Sesgo instrumental	Diferencia entre la media de las indicaciones repetidas y un valor de referencia.
Sistema de medición	Es el conjunto de uno o más instrumentos de medida, otros dispositivos, ensamblados y adaptados para proporcionar información utilizada y obtener valores medidos dentro de intervalos especificados, para magnitudes de naturalezas dadas.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue aplicar el método de cartas de control para describir y monitorear condiciones ambientales, en conjunto con métodos estadísticos para reforzar ensayos de calibración en el área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El objetivo general del estudio se centró en describir con dichas cartas el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del área por medio análisis de control para inferir su tendencia y calidad, así como la precisión del equipo prototipo.

El diseño de la investigación es de tipo no experimental y transversal en el tiempo de forma longitudinal y de tendencia. La metodología de la investigación se planteó con un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y de tipo descriptivo correlacional.

El principal resultado de la investigación muestra que las mediciones del área de presión son relativamente más estables al utilizar aire acondicionado a 20 °C. Concluyendo que el aire acondicionado ayuda al sistema de medición de temperatura y humedad relativa a controlar los efectos ocasionados por variaciones ambientales. Recomendando la implementación de cartas y la utilización de métodos descriptivos para futuras aplicaciones que necesiten el análisis de variables, de temperatura y humedad relativa, en un área específica del laboratorio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contexto general

El Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de ingeniería (CII), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es una entidad encargada de realizar ensayos de calibración y difundir la cultura de metrología a los laboratorios que conforman la Facultad de Ingeniería, la Universidad de San Carlos de Guatemala y a toda la población en general.

En metrología, los laboratorios de ensayo y calibración deben demostrar la confiabilidad de sus mediciones y el monitoreo de condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa. La norma NTG/ISO/IEC 17025:2017 menciona que los laboratorios de calibración y ensayo deben mantener un registro de las condiciones ambientales que pueden afectar a las mediciones y es importante monitorear y controlar las condiciones ambientales. Para ello en el área de presión, se implementó un equipo prototipo de bajo costo compuesto por un sensor de humedad relativa y temperatura DHT21 (AM2301) y un programa realizado en Python controlado por medio de una Raspberry pi 3 que almacena las mediciones de temperatura y humedad relativa sin interrupción, sin embargo, se desconoce la precisión de dichas mediciones, así como la tendencia de sus mediciones.

Descripción del problema

El Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, encargado de realizar ensayos y calibraciones de manómetros, desconoce el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión y necesita un método estadístico que permita estimar la precisión del equipo prototipo, así como la tendencia de sus mediciones realizadas en el área. Para ello, se requiere el uso de estadística descriptiva para un análisis exploratorio en los datos de las series temporales de temperatura y humedad relativa, registradas por el equipo prototipo, hacer uso de métodos gráficos para observar el comportamiento de las series mediante gráficas de control, histogramas y gráficos de dispersión, así como ensayos de repetibilidad y reproducibilidad para estimar la precisión del equipo de medición.

Formulación del problema

Pregunta central

¿Cuál es el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenidas a través de un equipo de medición prototipo, y los métodos necesarios para estimar su precisión, así como la tendencia y la calidad en sus mediciones?

Preguntas auxiliares

- ¿Cómo se determina la precisión del instrumento de medición?
- ¿Cuál es el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión, medidas por el equipo prototipo, cuando se utiliza aire acondicionado a 20 °C y a temperatura ambiente?
- ¿Cómo es la calidad de las mediciones de temperatura y humedad relativa en el área de presión a través del tiempo?

Delimitación del problema

La investigación se realizó en el área de presión del laboratorio de metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala y se analizaron únicamente las mediciones de temperatura y humedad relativa recolectadas por el medidor prototipo en el horario de lunes a viernes en la jornada laboral matutina de 8:00 a.m. a 12:00 p.m. y vespertina de 2:00 p.m. a 6:00 p.m. Durante el mes de marzo con aire acondicionado a 20 °C y el mes de abril a temperatura ambiente en el año 2021.

OBJETIVOS

General

Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenidas a través de un equipo de medición prototipo, por medio de análisis de gráficos de control y métodos estadísticos para estimar su precisión, así como la tendencia y la calidad en sus mediciones.

Específicos

1. Evaluar el instrumento de medición por medio de ensayos de repetibilidad y reproducibilidad para determinar la precisión del instrumento prototipo.
2. Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión cuando se utiliza aire acondicionado a 20 °C y a temperatura ambiente por medio de estadística descriptiva para determinar la tendencia en las mediciones realizadas por equipo prototipo.
3. Analizar la calidad de las mediciones de temperatura y humedad relativa en el área de presión a través del tiempo por medio de gráficos de control para identificar su variabilidad.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto fue cuantitativo ya que se midieron los valores de temperatura y humedad relativa de un equipo prototipo y se analizaron aplicando estadística descriptiva y gráficos de control para determinar su comportamiento.

El alcance del estudio fue descriptivo, dado que se intentaba mostrar el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión del laboratorio de metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala, por medio de un análisis exploratorio de los datos, estadística descriptiva y gráficos que representen su comportamiento, además se determinaron las características del equipo prototipo de medición para definir si es útil para el propósito diseñado. El tipo de estudio fue descriptivo y correlacional debido a que se describieron las variables de estudio y se realizó una relación del tiempo con las mediciones de temperatura y la humedad relativa.

El diseño adoptado fue no experimental, pues la información de la temperatura y humedad relativa del equipo prototipo de medición se analizó en su estado original sin ninguna manipulación, con temperatura a 20 °C y sin temperatura; además, fue transversal pues se estudió de forma longitudinal de tendencia y se analizó el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en un periodo definido tiempo observando la tendencia de la temperatura en las jornadas laborales analizadas con temperatura y sin temperatura.

Unidades de análisis

La población en estudio fue un conjunto de estados ambientales del espacio de estudio registrados por un medidor prototipo en el área de presión del laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante los meses marzo y abril del año 2021 que fueron estudiadas en su totalidad.

Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla I. **Variables de estudio**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Humedad Relativa %HR	Es la relación dada entre la presión parcial del vapor de agua a una temperatura dada y la presión total de vapor saturado a la misma temperatura.	Resultado de una medición con el sensor AM2302, en porcentaje %HR, por método de contacto directo, evaluada a través de: • Estadística descriptiva. • Gráficas de Control
Temperatura °C	Medida del promedio de calor o energía térmica presentes en las partículas de una sustancia.	Resultado de una medición con el sensor AM2302, en grados centígrados °C, por método de contacto directo, evaluada a través de: • Estadística descriptiva. • Gráficas de Control

Fuente: elaboración propia, utilizando datos de Peña (2015). *Viviendo la Metrología*.

Fases del estudio

El estudio se dividió en 5 fases:

Fase 1. Revisión de documentación

Se investigaron las definiciones y conceptos relacionados con metrología, sistemas de medición, temperatura, humedad relativa, cartas de control y calidad de las mediciones, así como los fundamentos estadísticos necesarios para describir el comportamiento de la humedad y temperatura relativa por medio de libros, revistas, publicaciones y artículos científicos.

Fase 2. Recolección de la información

Se recolectaron las mediciones de temperatura y humedad relativa, todos los días, las 24 horas del día, con aire acondicionado a 20 °C durante el mes de marzo, y a temperatura ambiente durante el mes abril, ambos durante el año 2021 por medio del equipo prototipo de medición de temperatura y humedad relativa en el área de presión del laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para realizar la calibración del equipo prototipo se recolectaron 20 mediciones de temperatura y humedad relativa con el instrumento prototipo y el equipo patrón Fluke 971 al mismo tiempo, cada 12 minutos, durante 4 horas con una temperatura fija de 20 °C durante el primer martes del mes de marzo.

Para los análisis de repetibilidad y reproducibilidad se consideró la elección de los operadores y las partes en las que se midieron las variables estudiadas. Como operadores se seleccionaron el equipo patrón y el equipo

prototipo. Debido a que son los únicos equipos con los que se cuentan para realizar este tipo de mediciones, estos no se seleccionaron aleatoriamente. Las partes se seleccionaron tomando en consideración la naturaleza de las variables a medir, temperatura y humedad relativa, considerándose aleatorias, por lo que al seleccionar una medición en un tiempo específico sería una elección aleatoria de las variables medidas, asegurando la independencia entre cada medición realizada.

Adicionalmente se consideró la variabilidad que podría deberse a los días, repitiendo las mediciones el mismo día en dos semanas diferentes. Para que las mediciones fueran lo más homogéneas posibles se aplicó una temperatura de 20 °C al espacio de trabajo. Lo anterior llevo a recolectar una serie de 20 mediciones de temperatura y humedad relativa con el instrumento prototipo y el equipo patrón Fluke 971 al mismo tiempo, cada 12 minutos, durante 4 horas con una temperatura fija de 20 °C durante dos martes del mes de marzo.

Fase 3: Análisis de información

Se analizaron las mediciones del equipo patrón con las del equipo prototipo del primer martes por medio de medidas de tendencia central y de dispersión para calibrar el equipo prototipo utilizando el método de comparación directa.

Las mediciones obtenidas en las dos primeras semanas se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) para realizar análisis de repetibilidad y reproducibilidad. Así mismo, las mediciones del equipo prototipo en el área de presión, se analizaron por medio de medias, desviación estándar, medianas, máximos, mínimos, rangos, coeficientes de variación y distintos gráficos como histograma de frecuencias, Boxplot y gráficos de tiempo para observar el

comportamiento de las variables y su caracterización en el tiempo, con el fin de observar su distribución y clasificar las mediciones realizadas con aire acondicionado y con la ausencia éste y se aplicaron pruebas de correlación de Kendall para observar su tendencia.

En esta fase también se realizaron gráficos de control de variables tomando en cuenta el muestreo por lapso para la selección de subgrupo debido a su practicidad. Se eligió un subgrupo compuesto por 40 muestras de tamaño 5, seleccionando las mediciones en espacios de 12 minutos, obteniendo 8 subgrupos compuestos en conjunto de 8 horas, 4 correspondientes a la jornada matutina y 4 de la vespertina, durante 5 días seguidos y analizándolos durante 3 semanas con aire acondicionado a 20 °C. Este procedimiento se repitió para analizar las mediciones a temperatura ambiente. Con los gráficos elaborados se analizó la calidad de las mediciones y se observó el comportamiento de las variables de temperatura y humedad relativa con sus límites de control y tolerancias especificadas por las normativas de calibración en conjunto de los índices de capacidad derivados del estudio.

Fase 4. Interpretación de información

Se interpretaron los resultados de los análisis de repetibilidad y reproducibilidad para categorizar el instrumento de medición prototipo e indicar su precisión y confiabilidad. Las distintas gráficas y las pruebas de correlación de Kendall definieron el comportamiento y tendencias de la temperatura y humedad relativa en el área de presión. Con las cartas de control y los puntos fuera de control estadístico se interpretó la estabilidad en las mediciones de temperatura y humedad relativa en el área de presión y verificar si se encontraban dentro de las tolerancias permitidas. Con los índices de capacidad se analizó la calidad de las mediciones obtenidas.

Fase 6. Informe final

Con los resultados obtenidos se llegaron a distintas conclusiones, presentando las gráficas y resultados representativos que describen el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el laboratorio de presión del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala. Así como la confiabilidad de los datos del equipo de medición prototipo.

- Técnicas de análisis de información
 - Pruebas de Normalidad: se aplicó la prueba de Kolmogórov-Smirnov Lilliefors en el área de presión del laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante los meses de marzo y abril del año 2021, se ajustan a una distribución Normal y tomar la decisión para la aplicar de análisis paramétrico o no paramétrico, se utilizó la ecuación 10.
 - Prueba de homogeneidad de varianza: se aplicó la prueba de Levene para determinar la igualdad de varianzas en las mediciones obtenidas por el equipo prototipo y el equipo de referencia. También para verificar si existen igualdad de varianzas entre las mediciones realizadas con temperatura a 20° y sin temperatura, utilizando la ecuación 11.
 - Prueba de la mediana: se aplicó la prueba de la mediana para contrastar las medianas en las mediciones en las jornadas matutina y vespertina con temperatura a 20 °C, así como las mediciones a

temperatura ambiente, para comprobar si sus medias son diferentes. Se realizaron por medio de la tabla III y la ecuación 12.

- Análisis de Varianza (ANOVA): se aplicó el análisis de varianza ANOVA para determinar la variabilidad en las mediciones, la precisión del equipo prototipo y determinar si es aceptable para su uso por medio de la tabla VI y las ecuaciones 14,15,16,17,18,19,20, 21, 22, 23, 24, y 25.
- Cálculo de estadísticos descriptivos: se aplicaron medidas de tendencia central, medidas de dispersión y de forma indicadas en las ecuaciones 4, 5 y 6, 7, 8 y 9 en los datos obtenidos por el medidor prototipo para obtener la tendencia en sus mediciones, rangos y obtener una vista previa de su variabilidad. También se utilizaron medidas de tendencia central para realizar la corrección de las mediciones del equipo prototipo.
- Prueba de correlación: se aplicó la prueba de correlación de Kendall para describir la correlación entre las variables de estudio con el tiempo y encontrar sus tendencias en las jornadas matutina y vespertina. Se utilizó la ecuación 13.
- Análisis gráfico: se elaboraron gráficas que permitieran observar el comportamiento de las variables estudiadas por medio de histograma de frecuencias, diagrama de cajas y gráficos de dispersión.
- Gráficos de control: se utilizaron los gráficos de control para observar la calidad y variabilidad de las mediciones de temperatura

y humedad relativa. Para ello se utilizaron los gráficos de medias y desviaciones estándar y observar las variables bajo control estadístico. Se utilizaron las ecuaciones del 34 al 66 para encontrar los límites de control de los gráficos.

- Índices de capacidad real y de doble especificación: se aplicaron estos índices para verificar y caracterizar la calidad de las mediciones realizadas en el área por medio de las ecuaciones: 69, 70, 71 y 72 con ayuda de las interpretaciones de las tablas VIII y IX
- Índice de inestabilidad y estabilidad: se aplicaron estos índices para verificar inestabilidad y la estabilidad de las mediciones realizadas en el área por medio de las ecuaciones: 67 y 68.
- Repetibilidad y reproducibilidad: se aplicó esta prueba para verificar la precisión del medidor prototipo, para ellos se utilizaron las ecuaciones 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33, también se utilizó la tabla V para interpretar sus resultados.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación presenta una sistematización para la aplicación de cartas de control con análisis gráficos y descriptivos en mediciones de temperatura y humedad relativa, realizadas en el área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La investigación es una propuesta para orientar la metodología y técnicas estadísticas que ayuden a calibrar y encontrar la precisión del equipo propuesto, monitorear las condiciones ambientales, observar su variación, calidad, describir sus tendencias y comportamientos en el tiempo. Las cartas de control son recursos que ayudan a monitorear procesos, observar variaciones y comportamientos de una o más variables en un tiempo específico.

El problema de investigación está asociado con el apartado 6.3.3 de condiciones ambientales de la norma NTG/ISO/IEC 17025:2017, donde es requisito documentar, controlar y registrar las condiciones ambientales que puedan influir en validez de los ensayos y calibraciones. El laboratorio no conocía el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en área de presión, y la precisión de la temperatura y humedad relativa del instrumento de medición prototipo y necesitaba métodos estadísticos para estimar la tendencia comportamiento y calidad de sus mediciones en el área.

La importancia de aplicar cartas de control, en laboratorios de ensayo y calibración, ayudan a comprender y observar las mediciones de una variable de interés, registrando de modo gráfico su comportamiento y calidad, teniendo la posibilidad de detectar problemas y monitorearlos para su posible solución. Estas

en conjunto describen las variables e instrumentos de medición utilizados, realizan una mejor comprensión de las observaciones realizadas, así como del instrumento, resultando en la aplicación de cartas de control para variables, gráficas de tiempo, histogramas, Boxplot y pruebas estadísticas para analizar y describir mediciones de temperatura y humedad relativa, reforzando los ensayos de calibración del laboratorio para que puedan ser reproducidos en otros y ayuden a cumplir con la norma técnica NTG/ISO/IEC 17025:2017 referente a las instalaciones y condiciones ambientales, convirtiéndose es una herramienta útil para acreditar el laboratorio de metrología en un futuro. Además de la utilización de análisis de repetibilidad y reproducibilidad para describir la precisión del equipo y dar otro enfoque al análisis de las mediciones en el área.

La metodología del trabajo de investigación se planteó con enfoque cuantitativo, alcance descriptivo y de tipo descriptivo y correlacional. Cada uno aplicado en un diseño no experimental y de forma transversal.

El informe final está estructurado en 4 capítulos que se describen a continuación:

El primer capítulo describe el marco referencial, incluyendo los antecedentes utilizados para realizar esta investigación

El segundo capítulo de la investigación describe el marco teórico con los fundamentos estadísticos y teóricos necesarios para desarrollar el estudio, comienza detallando como se realiza un análisis de datos por métodos gráficos y estadísticos descriptivos, abarcando los procedimientos para realizar las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov, prueba de Levene, prueba de la mediana, prueba de correlación de Kendall y análisis de varianza con ANOVA. También explica y define el control estadístico de la calidad a través de

los gráficos de control para variables, el cálculo de sus límites de control, índices de inestabilidad y la realización de estudios de repetibilidad y reproducibilidad para definir la calidad de sus mediciones. Por último, se introduce al lector en el mundo de la metrología y algunos conceptos básicos. Se observa la definición y medición de las variables de temperatura y humedad, explica lo que es un sistema de medición, métodos que utilizan para medir y sus características. Adicionalmente se describen las características de un equipo de medición, clasificación y aspectos generales de un laboratorio de calibración.

El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos del estudio fundamentadas por medio de tablas y gráficos que explican los objetivos de la investigación y se dividen según del análisis del estudio de repetibilidad y reproducibilidad, análisis descriptivos de la temperatura y humedad relativa en condiciones de temperatura ambiente y a 20 °C, medidas de tendencia central, de dispersión, de posición y forma, gráficos de tiempo, histograma de frecuencias, gráficos de probabilidad normal, gráficos de tendencias, pruebas de Levene, Kolmogórov-Smirnov, Lilliefors y correlaciones de Kendall, Límites y gráficos de control $\bar{X} - S$ Límites y gráficos de control S , con sus respectivos índices de inestabilidad e índices de capacidad C_p , C_{pi} , C_{ps} y C_{PK} .

El cuarto capítulo. presenta la discusión de resultados detallada en términos de la validez interna y externa de la investigación

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, producto de la investigación realizada.

1. MARCO REFERENCIAL

La metrología es una ciencia importante que se relaciona en el ámbito de las mediciones y su calidad. Marbán y Pellecer (2002), hacen énfasis en el concepto de metrología y mencionan que es la ciencia encargada de realizar mediciones a productos o servicios por medio de pruebas y ensayos, determinando su conformidad con normas existentes, a través de instrumentos de medición que aseguren su confiabilidad. Esto explicó lo relevante que son las mediciones en el área de metrología para brindar servicios de calidad referidos a normas.

El uso de instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa, en laboratorios de ensayo y calibración de presión, son útiles para comprobar las condiciones ambientales en el desarrollo de un ensayo o calibración. La norma NTG/ISO/IEC 17025 (2017) menciona, en el apartado sobre instalaciones y condiciones ambientales, que “El laboratorio debe realizar el seguimiento, controlar y registrar las condiciones ambientales de acuerdo con las especificaciones, los métodos o procedimientos pertinentes, o cuando influyen en la validez de los resultados.” (p.14). Esta norma indicó la importancia de tener un instrumento de medición que permita registrar las condiciones ambientales en un laboratorio.

El Centro Español de Metrología [CEM] (2008) recomienda que la exactitud que debe tener un equipo de medición de temperatura debe ser al menos de 1°C y $\pm 5\%\text{HR}$ para la medición de humedad relativa. Esta referencia dio la pauta para definir los límites de la exactitud del instrumento encargado de realizar mediciones de temperatura y humedad relativa.

Así mismo, *The Instrumentation, Systems, and Automation Society* [ISA] (2006) da los lineamientos para las condiciones ambientales aplicables a un laboratorio de presión, definiendo que la temperatura y humedad relativa de un laboratorio debe encontrarse aproximadamente entre $23 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y poseer una humedad relativa entre $40 \pm 5\% \text{HR}$. Esto dio los límites ideales de temperatura y humedad relativa para poder analizarlos en un laboratorio.

Peña (2015) definió los límites de temperatura y humedad relativa según las buenas prácticas de laboratorio, indicando que para un laboratorio el rango de temperatura debe de ser entre (20 a 23) $\pm 1^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa de 40 a 60 %HR

Riu (2005) propuso el uso de gráficas de control de Shewhart y criterios estadísticos para evaluar tendencias y estabilidad de un proceso analítico. Los aportes de este estudio fueron de interés ya que utilizan la estadística descriptiva y fueron aplicados para la representación de la temperatura y humedad relativa comparada por medio de una referencia con los límites considerados normales en un laboratorio, definidos por los estándares de temperatura ambiental.

Ortiz, Escobar y Sepúlveda (2018) presentan la descripción estadística de las variables climatológicas, su interrelación y comportamiento, usando el coeficiente de correlación de Pearson para ello, climogramas y gráficas. Este estudio fue relevante debido a que fue un referente para estudiar las mediciones del equipo prototipo por medio de pruebas de correlación además de observar la concordancia entre las variables de medición con el tiempo.

Castro y Carvajal (2010) presentaron un estudio con herramientas gráficas para efectuar un análisis exploratorio y describir series de precipitación. Este estudio fue un referente para utilizar análisis exploratorio, por medio de gráficas,

diagrama de cajas y gráficas de normalidad para comprobar tendencias en las series de tiempo de temperatura y humedad relativa. También lo fue para comprobar la homogeneidad en una serie de datos con pruebas de Fisher.

Botero, Arbeláez, y Mendoza (2007) desarrollaron un método por pasos para estudiar un sistema de medición con el método ANOVA. Este estudio aportó el uso de ANOVA para evaluar la relación de los operadores, compuestos por instrumentos de medición y sus partes (ensayos realizados).

Botero, Mendoza, y Meza (2009) explicaron sistemáticamente la realización de una gráfica de control de media y desviación estándar con datos obtenidos de un equipo patrón e incluyen un ejemplo para realizarlos. Este estudio aportó los pasos necesarios para trazar gráficos de control de media y desviaciones estándar para notar la variación de un proceso y consejos útiles para interpretarlos.

Llamosa, Meza y Botero (2007) describieron y explicaron de manera sencilla ensayos de repetibilidad y reproducibilidad siguiendo la metodología del rango y promedio. Este estudio fue de relevancia porque incluyó la metodología para categorizar si un equipo de medición es apropiado, requiere mejoras o no es aceptable.

Estrada, Márquez y Restrepo (2007) realizaron un análisis acerca del efecto de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en pollos, describiendo estadísticamente el comportamiento de temperatura en los pollos. Este estudio fue relevante para la investigación por el uso del coeficiente de variación CV para comparar las variaciones en las mediciones de Temperatura y Humedad relativa, además del uso del análisis exploratorio y descriptivo de las variables ambientales.

Pérez, Ramírez y Peña (2016) realizaron un análisis temporal de la temperatura del aire en una zona cafetera mediante análisis descriptivo gráfico y estadístico de las temperaturas máximas y mínimas del área. Este estudio fue de importancia para la investigación debido a la interpretación explicada de las temperaturas máximas y mínimas.

Cantor (2011) realizó un análisis de tendencias de temperatura en hidroclimatología en un tiempo especificado, estudiando temperaturas por medio de pruebas de T de sen, Mann Kendall, rho de Spearman. Este estudio es de importancia para la investigación debido a la utilización de pruebas estadísticas para investigar tendencias en una serie de datos de temperatura o incluso humedad relativa.

Para el objeto de estudio, con base en las referencias consultadas se usaron los siguientes elementos para tratar estadísticamente el tema de esta investigación:

Botero *et al.*, (2007) aportaron el análisis de repetibilidad, error de medida y examen de la calidad en una medición efectuada por un dispositivo aplicando ANOVA, adicionalmente Llamosa *et al.*, (2007) aportaron los pasos necesarios para categorizar la utilidad de un dispositivo de medición. Todos estos referentes ayudaron a determinar la precisión de las mediciones realizadas por el equipo prototipo de medición de temperatura y humedad relativa y categorizar si es apropiado según su diseño.

ISA (2016), la norma NTG/ISO/IEC 17025 (2017), Peña (2015) y CEM (2008) aportaron información útil sobre la aplicación de las normas, los límites ideales de temperatura y humedad relativa en un laboratorio (tolerancias) y las características ideales para el instrumento de medición.

Castro *et al.*, (2010) y Carvajal *et al.*, (2017) presentaron herramientas para graficar y analizar cartas de control, diagramas de cajas, gráficas de normalidad. Botero *et al.*, (2009) y Carvajal *et al.*, (2017) aportaron los procedimientos para realizar gráficos de control de medias y desviaciones y consejos útiles para interpretarlos. Asimismo, Castro *et al.*, (2010) y Pérez *et al.*, (2011) reforzaron la representación gráfica de los máximos, mínimos y promedio de variables medidas.

Estrada *et al.*, (2007), Castro *et al.*, (2010) y Pérez *et al.*, (2011) utilizaron estadística descriptiva para analizar datos, esto fue útil para explicar el comportamiento de las mediciones obtenidas por el equipo prototipo, Estrada *et al.*, (2007), utilizaron coeficientes de variación, útiles para comprender la variación de las mediciones. Adicionalmente Cantor (2011) utilizó métodos para la evaluación de tendencia en series meteorológicas, útiles para identificar la tendencia en la medición de temperatura y humedad relativa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis de datos por métodos gráficos

Según Martínez (2012) la finalidad de una gráfica es observar de una mejor manera la información que se está analizando y las define como un medio de expresión utilizado por la estadística para representar los datos de manera sencilla.

Un buen análisis gráfico puede dar un breve resumen de la información analizada y darle sentido a su distribución.

2.1.1. Histograma de frecuencias

Los histogramas son una herramienta fundamental en el análisis de datos para determinar qué distribución de probabilidad poseen los datos que se analizan.

“Un histograma de frecuencias es un gráfico de barras verticales u horizontales. Describe la distribución de valores de tal forma que el área de cada barra es proporcional al número de objetos en la categoría o clase representada por la barra” (Milton, 2007, p.21).

Para realizar un histograma de frecuencias se deben definir las clases óptimas para representar a los datos. Este mismo autor sugiere paso a paso la forma de hacerlo:

- Encontrar número de clases: utilizar regla de Sturges.

$$k = 1 + 3.322 * \log_{10}(n) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde k es la cantidad de clases y n la cantidad de los datos para analizar.

- Encontrar rango: hallar la cantidad máxima y mínima en los datos recopilados y luego restarlos.

$$R = \text{Valor Máximo} - \text{Valor mínimo} \quad (\text{Ec. 2})$$

- Hallar la amplitud: se encuentra la amplitud de los datos dividiendo el rango por el número de clase.

$$\text{Amplitud} = \frac{R}{k} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde R representa el rango y k el número de clases.

- Encontrar los límites aparentes: se encuentran los límites aparentes inferiores para cada intervalo sumando la amplitud encontrada. El límite aparente inferior se resta a la cantidad correspondiente de los datos mínimos de la unidad según la tabla I, de esta. Por ejemplo, si la amplitud fuera de 1 y el límite aparente inferior es de 1.1 se le sumará 1 para encontrar los siguientes límites inferiores de las clases siguientes (2.1,3.1,4.1...entre otros), mientras que el límite aparente superior en la primera clase será (1.1-0.1=2), y a las siguientes se les sumará la amplitud (3,4,5...entre otros).

Tabla II. **Tabla auxiliar para encontrar límites aparentes**

Datos	Unidad	Media unidad
Enteros	1	0.5
1 decimal	0.1	0.05
2 decimales	0.01	0.005
3 decimales	0.001	0.0005
4 decimales	0.0001	0.00005

Fuente: Milton (2007). *Estadística para Biología y Ciencias de la Salud*.

- Encontrar límites reales: se comparan los decimales que poseen los límites aparentes, luego se resta la media unidad representada en la tabla II a los límites inferiores aparentes y también se suma la media unidad a los límites aparentes superiores. Por ejemplo, si los límites aparentes son (1.1, 2) dado que tiene 1 decimal, se restará 0.05 a límite interior y se le sumará 0.05 al superior, y los límites reales serán: (1.05, 2.05).
- Encontrar frecuencias relativas: luego de contar con las clases definidas, se procede a encontrar las coincidencias de la clase en los datos analizados.
- Graficar: finalmente se realiza un gráfico de barras para ver las frecuencias observadas

2.1.2. Polígono de frecuencias

Wayne (2002) explica que los polígonos de frecuencia son representaciones gráficas de una distribución de frecuencias. Un polígono de frecuencias puede determinar qué forma posee la distribución de los datos. Estos gráficos se utilizan para describir la variación mostrada por una distribución de frecuencias.

2.1.3. Diagrama de cajas (Box Plot)

Wayne (2002) define un diagrama de cajas como “Un dispositivo visual, útil para comunicar la información contenida en un conjunto de datos” (p.45).

También define los pasos para realizar este gráfico:

- Paso 1. Representar a la variable de interés como el eje x.
- Paso 2. Dibujar sobre el eje y dos cuadrados, uno alineado en una parte por primer cuartil Q_1 , y otro alineado al tercer cuartil Q_3 .
- Paso 3. Dividir el cuadro en dos partes con una línea que tome a la mediana Q_2 como referencia.
- Paso 4. Dibujar una línea desde el extremo del cuadro hasta el punto con la medición más pequeña.
- Paso 5. Dibujar otra línea desde el otro extremo del cuadro hasta el punto con la medición más grande.

Luego de dibujar el diagrama si existen datos inusuales y mayores que los demás se representarán por un punto. A este tipo valores se les llaman valores atípicos.

2.2. Análisis de datos por estadísticos descriptivos

Webster (2001) define la estadística descriptiva como: “El proceso de recolectar, agrupar y presentar datos de una manera tal que describa fácil y rápidamente dichos datos” (p.10).

Se puede decir que el uso de estadísticos descriptivos complementa el análisis realizado por métodos gráficos y caracterizan la variable analizada.

La estadística descriptiva se divide en 3 medidas importantes: tendencia central, dispersión, posición y forma.

2.2.1. Medidas de tendencias central

Martínez (2012) explica que “las medidas de tendencia central son conocidas como promedios y permiten determinar la posición de un valor con respecto a un conjunto de datos (...) para el total de observaciones” (p.92). Por lo que una medida de tendencia central representa el punto central donde se concentran los datos que se analizan.

2.2.1.1. Media aritmética

Se denomina normalmente como $\bar{X}$. En datos no agrupados se utiliza la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde X_i es el i-ésimo elemento de la muestra y n el tamaño de los datos analizados.

2.2.1.2. Medidas de dispersión

Webster (2001) menciona que una medida de dispersión mide qué tanto se dispersan las mediciones alrededor de su media.

2.2.1.3. Rango

Webster (2001) menciona que “es una de las medidas de dispersión más simples, es simplemente la diferencia entre la observación más alta y la más bajase. Su desventaja es que considera solo dos observaciones de un conjunto de datos.” (p.48).

2.2.1.4. Varianza

Martínez (2012) menciona que: “la varianza es la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones respecto a sus grados de libertad” (p.144).

$$S^2 = \frac{1}{n-1}(\sum X_i - \bar{X})^2 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: S^2 es la varianza, X_i la i-ésima muestra, $\bar{X}$ la media y n-1 los grados de libertad relacionados a la varianza.

2.2.1.5. Desviación estándar

Moore (2005) explica que: “la desviación estándar es el valor de la raíz cuadrada de la varianza” (p.144).

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}(\sum X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde S es la desviación estándar

2.2.1.6. Coeficiente de variación

Del puente (2009) explica que: “el coeficiente de variación es la estandarización de la desviación típica al eliminar la unidad de medida de la variable” (p.78)

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde S es la desviación estándar y la media por $\bar{X}$

Este autor considera que este coeficiente es aceptable si su valor se encuentra debajo del 50 %, la dispersión será baja cuando este se acerque a 0 %

2.2.2. Medidas de posición y forma

Las medidas de posición y forma ayudan a definir los datos desde el punto de vista de su distribución.

2.2.2.1. Asimetría

Monroy (2008) indica que la forma de calcular la simetría de un conjunto de datos puede realizarse por medio del coeficiente de asimetría, el cual es definido como: “el tercer momento con respecto a la media” (p.106). Para calcular el coeficiente de asimetría se utiliza la siguiente ecuación:

$$g_3 = \frac{(1/n) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{S^3} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde la desviación estándar es representada por S , n la cantidad de datos a evaluar, X_i es la observación i , $\bar{X}_L$ es la media de i -ésima observación.

Para evaluarlo se considera lo siguiente:

- Si es 0, la distribución analizada es simétrica.
- Si es mayor a 0, la distribución analizada es asimétrica positiva.
- Si es menor a 0, la distribución analizada es asimétrica negativa

2.2.2.2. Curtosis

Monroy (2008) define la curtosis como: “el cuarto momento con respecto a la media” (p.113). Esta define la altura de una distribución. Para calcular la curtosis se utiliza la siguiente ecuación:

$$g_4 = \frac{(1/n) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{4} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde por S es la desviación estándar, n la cantidad de datos por evaluar, X_i es la observación i , $\bar{X}_L$ es la media de i ésima observación.

El valor del coeficiente de asimetría se evalúa de la siguiente manera:

- Si es 3, la distribución analizada es de tipo normal
- Si es mayor a 3, la distribución analizada es leptocúrtica
- Si es menor a 3, la distribución analizada es platicúrtica

2.3. Contraste de bondad de ajuste

Este contraste es útil para verificar si una distribución de datos concuerda con una distribución de datos específica, en el caso de este trabajo se utilizó para compararlo con una distribución normal.

2.3.1. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov

La prueba Kolmogórov-Smirnov sirve para evaluar los datos y determinar si se ajustan a una determinada distribución, en el caso de esta investigación a una normal. Wayne (2002) indica los pasos y las hipótesis necesarias para realizar la prueba.

La prueba inicia por la comparación entre una función teórica $F_t(x)$ determinada por la distribución normal y una función de distribución acumulada para valores observados $F_s(x)$, medida por medio del estadístico D.

$$D = \max[F_s(x) - F_t(s)] \quad (\text{Ec. 10})$$

donde: $F_s(x)$ es el conjunto acumulado de las observaciones, $F_t(x)$ la función teórica de distribución y D es valor absoluto máximo entre la diferencia de $F_s(x)$ y $F_t(x)$.

La hipótesis planteada es la siguiente y se aplica bilateralmente:

$$H_0: F(x) = F_t(x) \text{ para toda } x \text{ desde } -\infty \text{ hasta } +\infty$$

$$H_1: F(x) \neq F_t(x) \text{ para al menos una } x$$

La evaluación de la hipótesis se rechaza en el caso que D sea mayor al valor indicado por Kolmogórov-Smirnov a un nivel α .

Para usar la prueba de Kolmogórov-Smirnov se debe suponer que la muestra es aleatoria y la distribución hipotética $F_t(x)$ es continua.

Las ventajas de utilizar la prueba de Kolmogórov-Smirnov son las siguientes:

- Se puede utilizar en muestras de tamaño variable
- No se requiere que las observaciones estén agrupadas

2.3.2. Prueba de Lilliefors

Saldaña (2016) menciona que esta prueba se trabaja igual que la prueba de Kolmogórov-Smirnov, pero con una corrección, en la función teórica $F_t(x)$ no es necesario la media y la varianza poblacional, basta únicamente calcularlos con los datos recopilados.

2.4. Contraste de Levene de igualdad de varianzas

Correa, Iral y Rojas (2006) mencionan que este contraste ofrece una alternativa robusta cuando las distribuciones muestradas no son normales. El estadístico se calcula con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{(N-k) \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z}_{...})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2} \quad (\text{Ec. 11})$$

donde Z_{ij} puede ser:

$Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i|$ donde X_{ij} es la medida para la observación j del conjunto y $\bar{X}_i$ es la media de i ésimo grupo.

$Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i|$ donde X_{ij} es la medida para la observación j del conjunto y $\bar{X}_i$ es la mediana de i ésimo grupo

$\bar{Z}_i$ es la media del i ésimo subgrupo de Z_{ij} , $\bar{Z}_{...}$ es la media total de Z_{ij} , k es el número de los grupos, N es el número completo de observaciones de todos los grupos, n_i es la cantidad de objetos en el grupo i .

La hipótesis planteada para esta prueba es:

H_0 : Las varianzas son iguales

H_1 : Las varianzas no son iguales

La evaluación de la hipótesis es rechazada cuando el p-valor se encuentra por debajo a un nivel α o cuando el estadístico W sea menor al valor crítico de F con un nivel α , k-1 y N-k grados de libertad

2.5. Prueba de la mediana

Wayne (2002) definen la prueba de la mediana como “un procedimiento no paramétrico que puede emplearse para probar la hipótesis nula de que dos muestras fueron extraídas de poblaciones con medianas iguales” (p.674). También mencionan que es esencial que las muestras estudiadas sean aleatorias e independientes, y el nivel de medición sea ordinal.

La hipótesis planteada para la prueba es la siguiente:

H_0 : Las medianas son iguales

H_1 : Las medianas son diferentes

Así mismo caracterizan los pasos para realizar esta prueba:

- Paso 1. Calcular la mediana combinando las dos muestras.
- Paso 2. Determinar, en cada muestra, la cantidad de datos mayores y menores a la mediana.
- Paso 3. Se construye la siguiente tabla con las frecuencias obtenidas.

Tabla III. **Tabla para prueba de la mediana**

	Grupo 1	Grupo 2	Total
Arriba de la mediana	A	B	C
Debajo de la mediana	D	E	F
Total	G	H	I

Fuente: elaboración propia.

- Paso 4. Se encuentra $\chi^2_{critico}$ tomando en cuenta 1 nivel de grado de libertad y el nivel de confianza escogido para la prueba.

Se calcula χ^2 de la siguiente manera:

$$\chi^2 = \frac{I * [(A * E) - (B * D)]^2}{G * H * C * F} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde: A es la frecuencia del primer grupo arriba de la mediana, E es la frecuencia del segundo grupo debajo de la mediana, B es la frecuencia del segundo grupo arriba de la mediana, D es la frecuencia del primer grupo debajo de la mediana, G es el total de muestras del primer grupo, H es el total de muestras del segundo grupo, C es la cantidad total arriba de la mediana y F la cantidad total debajo de la mediana.

- Paso 5. Por último, evaluar el estadístico con el estadístico $\chi^2_{critico}$. La hipótesis nula se rechaza si el estadístico χ^2 es mayor a $\chi^2_{critico}$

2.6. Prueba de correlación de Kendall

Badi, Guillen, Lugo y Aguilar (2014) indican que la prueba se basa en intervalos jerarquizados y se interpreta por medio de la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{(S_a - S_b)}{n(n-1)/2} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde τ es el estadístico de Kendall, n la cantidad de datos observados, S_a , la suma total de los rangos mayores y S_b la suma total de los rangos menores.

La hipótesis planteada para la prueba es la siguiente:

H_0 : No existe correlación

H_1 : Existe correlación

La evaluación de la hipótesis es rechazada cuando el p-valor se encuentra por debajo a un nivel α o cuando el estadístico τ sea diferente de cero.

Para evaluar la tendencia, se observa el signo de τ , un signo positivo, indica una tendencia creciente, un signo negativo indica una tendencia decreciente. Cuando τ es igual a cero indicaría que no existe una tendencia clara.

2.7. Método de análisis de varianza ANOVA

Una técnica en la que la varianza total de un conjunto de datos se divide en dos o más componentes y cada uno de ellos se asocia con una fuente de variación, de manera que durante el análisis es posible encontrar la magnitud con la que contribuye cada una de esas fuentes de variación. (Wayne, 2002, p.295)

2.7.1. Método de análisis de varianza ANOVA con un factor

Walpole *et al.*, (2012) explican el análisis de ANOVA por medio de un modelo estadístico y lo definen como:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad (\text{Ec. 14})$$

donde ϵ_{ij} mide la desviación en la observación de la muestra, α_i es el error del tratamiento y μ es la media total.

Así mismo definen los cálculos para un análisis ANOVA:

Tabla IV. Resumen de cálculos ANOVA a un factor

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Tratamientos	$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y})^2$	k-1	$S_1^2 = \frac{SCT}{k-1}$	$\frac{S_1^2}{S_2^2}$
Error	$SCE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	k(n-1)	$S_2^2 = \frac{SCE}{k(n-1)}$	
Total	$STC = n * \sum_{i=1}^k (y_{ij} - \bar{y})^2$	kn-1		

Fuente: Walpole *et al.*, (2012). *Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias*.

Donde: SCT simboliza la adición de todos los cuadrados, STC la suma de cuadrados entre las muestras, SCE la suma de los cuadrados de los residuos, k los tratamientos, n la cantidad de datos analizados, i son las filas y j las columnas.

Para evaluar la hipótesis del análisis se cuenta con lo siguiente:

H_0 : Todos los α_i son iguales a cero

H_1 : Al menos una de las α_i no es igual a cero

Se rechaza H_0 cuando F calculada es menor al valor Fisher con grados de libertad k-1 y k(n-1) grados de libertad.

2.7.2. Método de análisis de varianza ANOVA con 2 factores

Botero *et al.*, (2007) mencionan que este método es necesario para valorar un sistema de medición y estudiar sus efectos de variación.

Walpole *et al.*, (2012) sugieren que para realizar ANOVA con dos factores es necesario que los datos posean una distribución normal.

El modelo estadístico para ANOVA a dos factores es:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad (\text{Ec. 15})$$

donde: μ es la media de las medidas de cada factor, α_i la variación del primer factor, β_j la variación del segundo factor y ϵ_{ij} la variación aleatoria.

También mencionan que es necesario la realizar la siguiente tabla:

Tabla V. **Tabla de 2 factores con n réplicas**

A	B						Tb
	1	2	3	...	b		
1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	$\dots$	y_{1b}	$\sum_{j=1}^b y_{1j}$	
2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	$\dots$	y_{2b}	$\sum_{j=1}^b y_{2j}$	
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
A	y_{a1}	y_{a2}	y_{a3}	$\dots$	y_{ab}	$\sum_{j=1}^b y_{aj}$	
							To
Ta	$\sum_{i=1}^a y_{i1}$	$\sum_{i=1}^a y_{i2}$	$\sum_{i=1}^a y_{i3}$	$\dots$	$\sum_{i=1}^a y_{ib}$	$= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}$	

Fuente: Walpole et al., (2012). *Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias*.

Donde: A es el factor representado en las filas, B el factor representado en las columnas, Tb la sumatoria de los elementos de cada factor b, Ta la sumatoria de las observaciones de cada factor a, To la sumatoria de todos los elementos, j es el número de columna de cada factor e i es el número de fila de cada factor A.

Así mismo el resumen de los cálculos de ANOVA con dos factores se presenta en la siguiente tabla:

Tabla VI. ANOVA con dos factores

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F
A	SCA	a-1	$S^2_1 = \frac{SCA}{a-1}$	$f1 = \frac{S^2_1}{S^2}$
B	SCB	b-1	$S^2_2 = \frac{SCB}{b-1}$	$f2 = \frac{S^2_2}{S^2}$
Interacción	SC(AB)	(a-1) (b-1)	$S^2_3 = \frac{SC(AB)}{(a-1)(b-1)}$	$f3 = \frac{S^2_3}{S^2}$
Error	SCE	ab(n-1)	$S^2 = \frac{SCE}{ab(n-1)}$	
Total	STC	abn-1		

Fuente: Walpole et al., (2012). *Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias*.

Donde: STC simboliza la adición de los cuadrados (variación total), SCA la adición de cuadrados de la fuente de variación A, SCB la suma de todos los cuadrados de la fuente de variación B, SCAB la suma de todos los elementos elevados al cuadrado entre A y B, SCE la suma de todos los elementos elevados al cuadrado de los residuos, S^2_1 la variación de la fuente A, S^2_2 la variación de la fuente B, S^2_3 la variación entre A y B, S^2 la variación completa del sistema, a es el total en la fuente A, b es el total de la fuente B y n la cantidad de subgrupos de la fuente B.

Botero *et al.*, (2007) dan 6 pasos por seguir para determinar cada valor mostrado en la tabla IV como:

- Paso 1. Sumar todos los datos.

$$T_o = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad (\text{Ec. 16})$$

donde: a es la cantidad de las filas, b la cantidad de columnas, y_{ijk} los datos individuales y n la cantidad de observaciones por factor b.

- Paso 2. Sumar los cuadrados de los datos.

$$T_y^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 \quad (\text{Ec. 17})$$

donde: T_y^2 es la suma de los elementos al cuadrado, y_{ijk} cada valor muestreado, n es el total de elementos del factor B, a es la cantidad de filas y b es la cantidad de columnas.

- Paso 3. Sumar los cuadrados totales de la interacción entre factores y luego dividirlo por el valor total de la muestra.

$$T_c^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij}^2 \quad (\text{Ec. 18})$$

donde: T_c^2 es la adición completa de todos los cuadrados de interacción entre A y B, T_{ij} el elemento en la posición i-j, n son las observaciones de B, b el total de columnas y a la cantidad de filas.

- Paso 4. sumar los cuadrados totales de cada factor A y dividirlo por su tamaño.

$$T_1^2 = \frac{1}{bn} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n T_{jk}^2 \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde: T_1^2 es la suma completa de todos los factores A, T_{jk} el elemento de cada factor en la posición j-k A, n la cantidad de observaciones por factor B y b es la cantidad de columnas.

- Paso 5. Sumar el cuadrado de los totales para cada factor B y dividirlo por su tamaño.

$$T_2^2 = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n T_{ik}^2 \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde: T_2^2 es la suma completa de todos los factores B, T_{ik} el elemento de cada factor en la posición i-k, n la cantidad de observaciones por factor B y a es la cantidad de las filas.

- Paso 6. Calcular las sumas de los cuadrados del factor A, del factor B, la interacción entre factores, del error y el total.

$$SCA = T_1^2 - \frac{T_0^2}{N} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde: SCA es la adición de cuadrados de A, T_1^2 la adición de las filas de A, T_0^2 la adición suma de los elementos al cuadrado y N la cantidad total de todos los datos.

$$SCB = T_2^2 - \frac{T_0^2}{N} \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde: SCB es la adición completa de los cuadrados del factor B, T_2^2 la suma completa de todas las columnas de los factores B, T_0^2 la adición de todos los datos al cuadrado y N la cantidad total de todos los datos.

$$SC(AB) = T_c^2 - \frac{T_0^2}{N} - T_1^2 - T_2^2 \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde: SC(AB) es la suma completa de todos los cuadrados involucrados en A y B, T_1^2 la adición total de a., T_2^2 la adición total de b, T_c^2 la adición de los

elementos al cuadrado entre a y b, T_0^2 la suma completa de los elementos al cuadrado y N la cantidad de datos en análisis.

$$SCE = T_y^2 - T_c^2 \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde: SCE es la suma completa de los cuadrados de la fuente de variación, T_y^2 la suma completa de todos los elementos al cuadrado, T_c^2 la suma de la interacción entre factores a y b completa de todos los cuadrados.

$$SST = T_y^2 - \frac{T_0^2}{N} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde: SST es la suma completa de todos los cuadrados, T_y^2 la suma completa de todos los factores A, T_0^2 la suma completa de todos los datos al cuadrado y N la cantidad total de todos los datos

2.8. Control estadístico de la calidad

El control estadístico de la calidad ayuda a visualizar los procesos y mejorarlos mientras se monitorean, y comprobar su calidad en mediciones. En esta investigación se utilizaron las siguientes herramientas estadísticas:

2.8.1. Repetibilidad y reproducibilidad

Cuando el análisis ANOVA haya finalizado se puede efectuar un estudio r&R. Botero *et al.*, (2007) mencionan que: “un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (r&R) permite calcular la variabilidad dentro de cualquier tipo de proceso y determinar si esta variación es aceptable o no” (p.533). Al mismo

tiempo sugieren las siguientes ecuaciones para determinar los valores de repetibilidad y reproducibilidad de una de medición:

$$r = 5.15\sqrt{S^2} \quad (\text{Ec. 26})$$

$$\%r = \frac{r}{T} * 100\% \quad (\text{Ec. 27})$$

$$R = 5.15 \sqrt{\frac{S_1^2 - S_3^2}{bn}} \quad (\text{Ec. 28})$$

$$\%R = \frac{R}{T} * 100\% \quad (\text{Ec. 29})$$

$$I = 5.15 \sqrt{\frac{S_3^2 - S^2}{n}} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$\%I = \frac{I}{T} * 100\% \quad (\text{Ec. 31})$$

$$r\&R = \sqrt{r^2 + R^2 + I^2} \quad (\text{Ec. 32})$$

$$\begin{aligned} \%r\&R \\ = \sqrt{\%r^2 + \%R^2 + \%I^2} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:, T es valor de interés en el que se debe encontrar la medición, r es el valor que tiene la cualidad de repetirse en la medición, $\%r$ es r dada en porcentaje, R es el valor que tiene la cualidad de reproducirse en una medición, $\%R$ es R dada en porcentaje, I la correlación en los factores que intervienen en la operación, $\%I$ es I dado en porcentaje, $r\&R$ la concordancia entre la reproducibilidad y repetibilidad, $\%r\&R$ es el porcentaje de $r\&R$, S_1^2 es la variación de los sistemas, S_3^2 es la variación que posee la interacción de la muestra con el sistema y S^2 la variación total del sistema.

Gutiérrez y de la Vara (2013) caracteriza y califica un sistema de medición por medio del porcentaje de relación entre reproducibilidad y repetibilidad. La interpretación de estos porcentajes se puede apreciar en la tabla VII.

Tabla VII. Interpretación de resultados del %r&R

Valor de %r&R	Interpretación	Decisión
menor del 10%	Aceptable	Aceptable y es preciso
entre 10% y 30%	Según utilización y costo puede ser aceptable	Aceptable, pero con el tiempo debe mejorar su precisión.
Mayor del 30%	No aceptable y el equipo solicita mejoras	No es aceptable, no es preciso

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Gutiérrez *et al.*, (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigmas*.

2.8.2. Gráficas de control

Walpole *et al.*, (2012) explican que una gráfica de control ayuda a determinar la calidad de un sistema, en pocas palabras “El propósito de una gráfica de control es que funcione como un dispositivo para detectar el estado no aleatorio o fuera de control de un proceso” (p.682). Básicamente el objetivo del gráfico de control es determinar la calidad de un proceso.

Según Gutiérrez *et al.*, (2013):

Las variaciones de los procesos se reconocen fácilmente con cartas de control. Donde dichas variaciones pueden ser especiales o comunes.

Una variación por causas comunes es aquella que permanece día a día (...) y es aportada de forma natural.

Una variación por causas especiales es causada por situaciones o circunstancias especiales que no están de manera permanente en el proceso.

Dependiendo con que causas se trabaje, cuando un proceso trabaja sólo con causas comunes de variación se dice que está en control estadístico. (...) En contraste, se dice que un proceso en el que están presentes causas especiales de variación está fuera de control estadístico (o simplemente que es inestable. (p.174).

2.8.2.1. Límites de control

Gutiérrez *et al.*, (2013) indican que los límites de control definen el principio y final del rango de variación sobre la media del proceso. Para calcularlos mencionan que se debe de actuar de forma que, bajo condiciones de control estadístico, los datos que se grafican en la carta tengan una alta probabilidad de caer dentro de los límites (pp. 176-177).

Estos están definidos como:

$$LCI = \mu - 3\sigma \quad (\text{Ec. 34})$$

$$LC = \mu \quad (\text{Ec. 35})$$

$$LCS = \mu + 3\sigma \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde: LCI es el límite inferior, LC el límite central, LCS es el límite superior, μ la media del proceso, σ es la desviación estándar del proceso.

2.8.3. Gráficas de control para variables

Gutiérrez *et al.*, (2013) mencionan que este tipo de gráficas se utilizan cuando se aplican características de naturaleza continua, por ejemplo: peso, volumen, ángulo, temperatura, humedad, tiempo, entre otros.

Estas gráficas se clasifican en cuatro: rangos, medias, desviaciones estándar, medias y desviaciones estándar.

2.8.3.1. Gráfica de rangos R

Gutiérrez *et al.*, (2013) mencionan que la gráfica de rangos “detecta cambios en la amplitud o magnitud de la variación del proceso y sus límites se determinan a partir de la media y la desviación estándar de los rangos de los subgrupos” (p.183). Los límites de los rangos se obtienen con la siguiente expresión:

$$\mu_R \pm 3\sigma_R \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde: μ_R es el promedio de todos los rangos involucrados y σ_R su desviación estándar.

Cuando se realiza un control de rangos por primera vez, la desviación estándar es:

$$\sigma_R = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde: $\bar{R}$ es la media de los rangos presentes en los subgrupos y d_2 una constante.

Los límites de los rangos quedan así:

$$LCI = D_3 \bar{R} \quad (\text{Ec. 39})$$

$$LC = \bar{R} \quad (\text{Ec. 40})$$

$$LCS = D_4 \bar{R} \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde: D_3 y D_4 son constantes, $\bar{R}$ es el promedio de todos los rangos presentes en los subgrupos, LCI el límite inferior, LC el límite central, LCS el límite superior.

Besterfield (2009) menciona que “la mayor parte de los procesos no están bajo control cuando se analizan por primera vez, (...) los que no son parte de una variación natural, se desechan, y se calculan nuevos valores con los datos que restan” (p.196). Por consiguiente, la nueva desviación estándar cambiará de la siguiente forma:

$$\sigma_o = \frac{\bar{R}_{nuevo}}{d_2} \quad (\text{Ec. 42})$$

Donde: $\bar{R}_{nuevo}$ es el nuevo promedio de los rangos sin los puntos fuera de control y d_2 una constante.

Los nuevos límites quedarán así:

$$LCI = D_1 \sigma_o \quad (\text{Ec. 43})$$

$$LC = \bar{R}_{nuevo} \quad (\text{Ec. 44})$$

$$LCS = D_2 \sigma_o \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde: D_1 y D_2 son constantes, LCI el límite inferior, LC el límite central, LCS el límite superior y $\bar{R}_{nuevo}$ el nuevo valor promedio del rango.

2.8.3.2. Gráfica de medias $\bar{X}$

Webster (2001) indica que estos gráficos miden los cambios en las medias muestrales.

Sus límites son definidos por Gutiérrez *et al.*, (2013) como:

$$\mu_{\bar{X}} \pm 3\sigma_{\bar{X}} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde: $\mu_{\bar{X}}$ representa la media de las medias y $\sigma_{\bar{X}}$ su desviación estándar.

Cuando se realiza un control de medias por primera vez, la desviación estándar es:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde: $\bar{R}$ es el promedio de los todos los rangos y d_2 es una constante.

Por lo tanto, sus límites son:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (\text{Ec. 48})$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (\text{Ec. 49})$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde: LCI es el límite de control inferior, LC el límite central, LCS el límite de control superior, $\bar{\bar{X}}$ la media de medias de cada elemento, $\bar{R}$ es la media de rangos, A_2 una constante.

Del mismo modo que con los rangos Besterfield (2009) menciona que la media como la desviación cambiará, utilizando como desviación estándar el valor por la ecuación 42, por lo tanto, recalculando sus límites como:

$$LCI = \bar{\bar{X}}_{nuevo} - A\sigma_o \quad (\text{Ec. 51})$$

$$LC = \bar{\bar{X}}_{nuevo} \quad (\text{Ec. 52})$$

$$LCS = \bar{\bar{X}}_{nuevo} + A\sigma_o \quad (\text{Ec. 53})$$

Donde: LCI es el límite inferior, LC límite central, LCS límite superior $\bar{\bar{X}}_{nuevo}$ el nuevo promedio de las medias, A una constante y σ_o la nueva desviación estándar del subgrupo sin los puntos fuera de control.

2.8.3.3. Gráfica de desviaciones estándar-S

Según Besterfield (2009):

Una gráfica S es más exacta que una R, de las gráficas de control para desviaciones estándar son contrapartes de los gráficos de rangos cuando el tamaño de la muestra es menor a 10. Sin embargo, cuando el tamaño de subgrupo aumenta hasta 10 o más (...) se debe usar la gráfica S.

Definiendo sus límites como:

$$LCI = B_3\bar{S} \quad (\text{Ec. 54})$$

$$LC = \bar{S} \quad (\text{Ec. 55})$$

$$LCS = B_4\bar{S} \quad (\text{Ec. 56})$$

Donde: B_3 y B_4 son constantes definidas por tablas para realizar cartas de control, LCI el límite inferior, LC el límite centra, LCS es el límite superior, $\bar{S}$ la media de desviaciones estándar.

De la misma manera que se realizó con los rangos, para las medias se sugiere realizar nuevos cálculos cuando el análisis preliminar no se encuentre en control estadístico:

$$\sigma_o = \frac{\bar{S}_{nuevo}}{c_4} \quad (\text{Ec. 57})$$

$$LCI = B_5\sigma_o \quad (\text{Ec. 58})$$

$$LC = \bar{S}_{nuevo} \quad (\text{Ec. 59})$$

$$LCS = B_6\sigma_o \quad (\text{Ec. 60})$$

Donde: LCI es el límite inferior, LC es el límite central LCS es el límite de control superior. $\bar{S}_{nuevo}$ es la nueva media de desviación estándar, σ_o la nueva desviación estándar, B_5 , B_6 y c_4 son constantes. (p.202)

2.8.3.4. Gráfica de $\bar{X}$ -S

Gutiérrez *et al.*, (2013) los define como “Diagramas para variables que se aplican a procesos masivos, en los que se requiere tener una mayor potencia para detectar pequeños cambios” (p.185). Determinando los límites utilizando las siguientes ecuaciones:

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \quad (\text{Ec. 61})$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (\text{Ec. 62})$$

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S} \text{ (Ec. 63)}$$

Donde: LCI es el límite inferior, LC es el límite central, LCS es el límite superior. $\bar{\bar{X}}$ la media de promedios, A_3 una constante.

De la misma manera que se realizó con los rangos, Besterfield (2009) sugiere realizar nuevos cálculos cuando el análisis preliminar no se encuentre en control estadístico:

$$LCI = \bar{\bar{X}}_{nuevo} - A\sigma_o \text{ (Ec. 64)}$$

$$LC = \bar{\bar{X}}_{nuevo} \text{ (Ec. 65)}$$

$$LCS = \bar{\bar{X}}_{nuevo} + A\sigma_o \text{ (Ec. 66)}$$

Donde: LCI es el límite inferior, LC es el límite central LCS es el límite superior. $\bar{\bar{X}}_{nuevo}$ es el nuevo promedio, σ_o es la nueva desviación estándar como la descrita en la ecuación 57 y A es una constante.

2.8.4. Índice de inestabilidad

Gutiérrez *et al.*, (2013) mencionan que: “el índice de inestabilidad proporciona una medición de que tan estable es un proceso” (p.192) Este se obtiene al realizar gráficas de control, calculándose como:

$$S_t = \frac{\text{Numero de puntos especiales}}{\text{Número total de puntos}} \times 100 \text{ (Ec. 67)}$$

Donde S_t representa el porcentaje de inestabilidad presentada en el sistema, *Numero de puntos especiales* los puntos fuera de los límites obtenidos

en el gráfico, y *Número total de puntos* todos los puntos obtenidos y observados en las gráficas.

Análogamente la estabilidad del sistema de medición como el complemento de este índice, se define como:

$$\%Estabilidad = 100 - S_t \quad (\text{Ec. 68})$$

2.8.5. Índices de capacidad para procesos con doble especificación

Según Gutiérrez *et al.*, (2013) “la capacidad de proceso consiste en conocer la amplitud de variación natural de este para una característica de calidad dada, (...) lo que permite saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria” (p. 98).

2.8.5.1. Índice C_p

Gutiérrez *et al.*, (2013) lo definen como un: “Indicador de la capacidad potencial del proceso que resulta de dividir el ancho de las especificaciones (variación tolerada) entre la amplitud de la variación natural del proceso” (p,99).

De esta manera el C_p se calcula de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma} \quad (\text{Ec. 69})$$

Donde: *ES* la especificación superior de la característica de calidad, *EI* es la especificación inferior de la característica de la calidad y σ la desviación estándar del proceso.

Para interpretar este índice Gutiérrez y de la Vara (2013) definen la siguiente tabla:

Tabla VIII. Interpretación del índice C_p

Valor de C_p	Clase	Decisión
Mayor a dos	internacional	Posee calidad Six Sigma
Mayor a 1.33	1	Adecuado
Entre 1 y 1.33	2	En cierta medida adecuado, necesita de controles estadísticos
Entre 0.67 y 1	3	Es necesario analizar y modificar el proceso para alcanzar calidad.
Menor de 0.67	4	No es útil para la aplicación

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Gutiérrez *et al.*, (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigmas*.

2.8.5.2. Índice C_{ps} , C_{pi} y C_{pk}

Según Gutiérrez *et al.*, (2013):

Los índices C_{ps} , C_{pi} , son correcciones de C_p , estos índices usan la media para calcularse, utilizando las ecuaciones siguientes:

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \quad (\text{Ec. 70})$$

$$C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma} \quad (\text{Ec. 71})$$

Donde C_{pi} representa la capacidad del proceso de la especificación inferior, C_{ps} la capacidad del proceso de la especificación superior y σ la desviación estándar del proceso.

Así mismo definen al índice C_{pk} como un: indicador de la capacidad real del proceso y es un ajuste al indicador C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso. Utilizando la siguiente ecuación

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad (\text{Ec. 72})$$

Donde C_{pk} es la capacidad real del proceso. (p.102)

Para interpretar este índice se utiliza la siguiente tabla de interpretación para usos prácticos:

Tabla IX. **Interpretación del índice Cpk**

Valor de Cpk	Interpretación	Decisión
Mayor de 1.45	Proceso capaz	Posee una calidad adecuada
Menor a 1	No cumple con al menos una de las especificaciones	No cuenta con cualidad adecuada
0 o valores negativos	La media del proceso está fuera de las especificaciones	No útil para la aplicación

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Gutiérrez *et al.*, (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigmas*.

2.9. Introducción a la Metrología

Marbán y Pellecer (2002) explican el concepto de metrología como: “la ciencia de las mediciones” (p. 1). La metrología está relacionada con nuestra vida cotidiana, por ejemplo, la podemos encontrar en la comida (con los productos que consumimos), en la medicina (en las mediciones de peso, sangre, colesterol, entre otros), en la casa (en los contadores eléctricos y de agua), en el deporte (con dispositivos que miden nuestro rendimiento), entre otras aplicaciones. Cada una relacionada con la calidad en la que realizan sus mediciones, y la metrología le da esa validez.

2.9.1. Conceptos fundamentales

La metrología maneja términos que son importantes, por esa razón Peña (2015) menciona que la incomprensión de sus términos puede conducir a una confusión al momento de ser aplicados, caracterizando dichos términos para una fácil comprensión de la siguiente manera:

- **Magnitud:** es definida como la característica específica de una sustancia, cuerpo o fenómeno, que puede ser medida, controlada y expresada numéricamente. Por ejemplo: temperatura, presión, humedad, entre otros. Se expresa cuantitativamente mediante la lectura de un instrumento o equipo de medición con su respectiva unidad de medición.
- **Unidad de medida:** es una magnitud particular que se puede comparar con otra de la misma naturaleza expresada por medio de un número.
- **Error máximo permitido:** es el valor máximo permitido de desviación o error presentado en un instrumento de medición bajo prueba.

- Tolerancia: es el valor máximo o mínimo que se permite de desviación a un proceso, sin que se altere su control o sus especificaciones.
- Medición: es el acto o proceso para encontrar una magnitud o una cantidad.

2.10. Medición de temperatura

Peña (2015) explica brevemente la definición de temperatura como: “la presencia de calor o frío en un objeto, una presencia intangible pero perceptible en un objeto” (p.178).

Adicionalmente explica que la medición de temperatura puede realizarse por medio de dos métodos: mecánicos y eléctricos.

Los métodos mecánicos realizan la medición de temperatura mediante el contacto directo del fenómeno a medir y utilizan partes mecánicas para realizar la medición de la magnitud, por ejemplo, los termómetros de vidrio, por otro lado, los métodos eléctricos hacen uso de componentes electrónicos para transformar un fenómeno en el ambiente a una cantidad eléctrica, por ejemplo, termopares o termistores.

2.11. Medición de humedad

Peña (2015) menciona que la humedad es “una cantidad de vapor de agua en el aire” (p.196). También explica que puede ser expresada de 3 formas:

- Humedad absoluta: es la porción de agua formada de vapor en gramos contenida en un metro cúbico en el aire.

- Humedad relativa: es el vínculo entre la presión que ejerce el agua en forma de vapor sobre la presión total del vapor saturado a igual temperatura y expresado en porcentaje.
- Humedad específica: es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire húmedo.

Así mismo también explica que los métodos de medición para humedad relativa pueden ser mecánicos, eléctricos. Los métodos mecánicos se caracterizan por utilizar una serie de mecanismos para poder realizar su medición. Por otro lado, los eléctricos utilizan la conversión de un fenómeno natural a valores eléctricos.

2.12. Sistemas de medición

Peña (2015) menciona que un sistema de medición se puede definir como: “una serie de actividades que incluyen medir, evaluar, ajustar (...) su objetivo es proporcionar datos numéricos, que permiten identificar si el proceso va por el camino correcto” (p.243).

Así mismo también define un sistema de medición si cumple con las siguientes características:

- Define la variable o magnitud que será medida y el rango dentro del cual se realizará la medición.
- Explica los instrumentos o equipos necesarios que se utilizarán en la medición.

- Detalla los métodos de medición que serán utilizados para obtener valores exactos y precisos de la magnitud durante la medición.
- Establece el intervalo de tiempo en que se realizará la medición.
- Establece el uso que se le dará a las mediciones obtenidas.

2.12.1. Métodos de medición

Peña (2015) menciona que “Los métodos de medición se establecen de acuerdo con su principio de medición, su uso está relacionado con los elementos que intervienen en la medición” (p. 245).

También los clasifica y define de la siguiente manera:

- Método de medición directa: es la medición que se obtiene mediante el contacto directo del instrumento o equipo de medición con la magnitud, variable o fenómeno por conocer. Por ejemplo, el medir temperatura es considerada como medición directa.
- Método de medición indirecta: es el resultado de una medición que se obtiene por medio de una magnitud o variable a través de leyes físicas, químicas o teóricas. Por ejemplo, la medición de resistencia se realiza midiendo voltaje y utilizando la ley de ohm para encontrar su valor.
- Método de medición por sustitución: este método se utiliza cuando se sustituye un equipo o instrumento de medición cuando se emplea un equipo de medición auxiliar, el cual se utiliza para medir inicialmente la indicación de un instrumento patrón, y luego se repite el mismo

procedimiento para el equipo bajo prueba. Un ejemplo de este método se puede encontrar cuando se realiza calibración de una balanza comparando 2 balanzas, un patrón y la que se pondrá a prueba, se utiliza una masa patrón para ver la indicación de la medición de las 2 balanzas y luego se comparan.

- Método de medición diferencial: este método es el resultado el resultado de una diferencia de una cantidad conocida con otra desconocida. Un ejemplo de este método se puede encontrar en la medición de temperatura por medio de una termocupla, el cual su valor está relacionado en la diferencia eléctrica de los materiales que conforman el sensor.
- Método de medición por cero o nulo: este método se utiliza cuando se compara una cantidad desconocida con una referencia y el resultado se determina por la referencia, el cual se ajusta hasta que el valor sea cero, poniendo el indicador del medidor en cero antes de la medición.
- Método de medición por transferencia: este método se presenta cuando el resultado de una medición se presenta en unidades diferentes a las magnitudes medidas, es decir ocurre una conversión de unidades.
- Método de medición por relación: Este método es similar al de medición por cero o nulo, con la diferencia de que el valor de referencia no es ajustable, sino que es fijo.

2.12.2. Características de la medición

Peña (2015) hace énfasis en que las mediciones poseen características que las define y que todo instrumento de medición debería poseer. Algunas de estas características son:

- Estabilidad: es una medición estable que tiene la cualidad de conservar su condición o características a través del tiempo.
- Sensibilidad: es la capacidad de responder a una pequeña variación en su entorno, esta característica es más visible cuando una medición es muy estable.
- Variabilidad: es una condición que se presenta en una medición generando datos ligeramente dispersos. Se debe identificar e indicar si es aceptable o no.
- Exactitud: es una característica que está definida por la proximidad que presenta una medición a su valor verdadero.
- Precisión: es una característica que está definida por la proximidad que se presenta entre los valores medidos, en condiciones específicas.
- Repetibilidad: es una característica que se identifica por obtener en una medición valores similares o consistentes, cuando las condiciones ambientales, procedimiento de medición y operador del instrumento o equipo no cambian y se efectúan en periodos de tiempo diferentes.

- Reproducibilidad: es la variación que se presenta entre los resultados de una medición, sus promedios y desviaciones estándar, cuando las condiciones de las mediciones cambian, se utiliza el mismo instrumento o equipo de medición, diferentes métodos de medición, en diferente tiempo.
- Sesgo: es el valor numérico que describe la proximidad en la media de una serie de mediciones a un valor de referencia.

2.13. Instrumentos y equipos de medición

Peña (2015) menciona que los instrumentos o equipos de medición son una parte importante para realizar una medición debido a que son útiles para obtener el valor de una magnitud, y control de procesos.

2.13.1. Características de los instrumentos de medición

Peña (2015) define algunas características que un instrumento de medición debe poseer y las clasifica como:

- Tipo de instrumento o equipo de medición: esta característica se relaciona con la tecnología que utiliza el instrumento o equipo. Puede ser análogo, digital o la combinación de ambas. Los análogos poseen un dispositivo indicador para reportar el valor medido, mientras que los digitales lo hacen por medio de una pantalla
- Tecnología del instrumento: en esta característica se relacionan los principios por los cuales se realiza la medición, estos se clasifican en:

- Eléctricos: utilizan dispositivos o elementos eléctricos como bobinas, alternadores, transformadores, estos utilizan voltajes altos.
 - Electrónicos: utilizan dispositivos o elementos electrónicos, como circuitos electrónicos, resistencias, transistores, diodos, entre otros. Estos utilizan voltajes con valores bajos.
 - Hidráulicos: utilizan fluidos, aceites u otros.
 - Neumáticos: utilizan gases, aire comprimido u oxígeno.
 - Mecánicos: utilizan elementos mecánicos como rodillos, piñones, entre otros.
 - Energía solar: utilizan la energía solar como su principal fuente de energía y utilizan transductores.
 - Energía nuclear: utilizan energía de fuentes radiactivas y utilizan los mismos principios que los equipos electrónicos y eléctricos.
- Magnitud medida: es la característica que poseen los instrumentos o equipos de medición al momento de escoger la magnitud que medirán: temperatura, humedad, volumen, presión, entre otros.
 - Unidad de medida: es la característica del instrumento de dar el resultado de la medición en las unidades establecidas como: grados centígrados, porcentaje de humedad, segundos, entre otros.
 - Rango: son los valores mínimos y máximos que son capaces de medir el instrumento o equipo de medición.

- Resolución: es el valor mínimo que puede ser leído por el instrumento. Esta característica también se le conoce como lectura mínima o división de escala.
- Zona muerta: es el rango o conjunto de valores donde la magnitud medida no hace variar la indicación del instrumento o equipo a partir de cierto valor.
- Histéresis: es la diferencia máxima que se presenta en los datos ascendentes o descendientes de un instrumento o equipo de medición cuando se realiza a través de todo el rango de medición.
- Fiabilidad: es la probabilidad que tiene un instrumento o equipo de medición de conservar a través del tiempo su comportamiento o error máximo dentro de los valores máximos permitidos.
- Condiciones ambientales: es la característica que define el funcionamiento óptimo del instrumento o equipo de medición bajo especificaciones del fabricante de temperatura, humedad, presión, entre otras.
- Vida útil: tiempo máximo en el cual se considera que el instrumento o equipo de medición conservará sus características y especificaciones.

2.14. Fuentes primarias de error

Peña (2015) clasifica y explica los errores en dos: sistemáticos y aleatorios.

2.14.1. Errores sistemáticos

Peña (2015) menciona que los errores sistemáticos “son los que se repiten permanentemente en una serie de mediciones, (...) pueden ser identificados y controlados. (...) Pueden ser calculados mediante la media aritmética de las mediciones y el valor de referencia medida” (p.252). También mencionan las causas en las que se presenta este tipo de error sistemático, y las clasifica de la siguiente manera:

- Errores causados por el instrumento o equipo de medición
 - Error por la deriva del instrumento: este tipo de error se presenta cuando el instrumento presenta incrementos o variaciones continuas en las mediciones.
 - Histéresis: este error se presenta cuando no se toma en cuenta el equilibrio para estabilizar la medición.
 - Fallas de calibración: se presenta cuando los instrumento o equipos superan el error máximo permitido o se encuentran fuera de las fechas de calibración sin saber cuál es su condición actual.

- Evaluación de cero en la indicación: se presenta cuando no se verifica que el instrumento indica un cero antes de tomar la medición.
- Errores causados por el operador del instrumento.

Estos errores se presentan cuando las personas encargadas de realizar una medición no están entrenadas para el manejo del instrumento, presentan alguna alteración emocional y tienden a no prestar atención al momento de realizar las mediciones.

2.14.2. Errores aleatorios

Estos errores se presentan cuando las mediciones varían constantemente como producto del azar y son difíciles de predecir. Pueden ser identificados por medio de estadística bajo condiciones de repetibilidad.

2.15. Buenas prácticas de laboratorio

Según Peña (2015):

Las buenas prácticas de laboratorio hacen referencia a un conjunto de reglas, procedimientos operacionales y prácticas, que deben ser establecidas y documentadas con el objetivo de proporcionar adecuada normalización, uniformidad, consistencia, reproducibilidad, integridad, confiabilidad y minimización y control de riesgos, con el objetivo de proporcionar mediciones confiables. (p.357)

Peña (2015) explica que las buenas prácticas de laboratorio se basan en 4 principios básicos:

- Adecuada infraestructura: el laboratorio debe contar con instalaciones adecuadas para determinar su finalidad y alcance, en la caracterización de condiciones ambientales, estabilidad en las condiciones ambientales y humedad relativa, limpieza del aire, iluminación, vibraciones, ruido, corriente eléctrica, presión atmosférica, lugares adecuados para realizar reparaciones, áreas de calibración.
- Personal técnico competente: el laboratorio debe contar con personal capaz de realizar las tareas asignadas con habilidad y experticia.
- Instrumentos y equipos asegurados metrológicamente: el laboratorio debe desarrollar con detalle actividades que realiza, el aseguramiento metrológico de los equipos ayuda a tener certeza y validez del desempeño de un equipo o instrumento.
- Procedimientos documentados: el laboratorio debe poseer procedimientos y actividades que realiza por escrito, para establecer todo lo que involucra una calibración o servicio para generar mediciones con resultados confiables. Esto es la clave para que los laboratorios puedan asegurarse de que todo funcione correctamente.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos se presentan los siguientes resultados:

Objetivo 1. Evaluar el instrumento de medición por medio de ensayos de repetibilidad y reproducibilidad para determinar la precisión del instrumento prototipo.

3.1. Calibración del equipo prototipo

Para obtener mediciones confiables en este trabajo de investigación fue necesario calibrar el equipo prototipo. Para ello se utilizó el método de calibración por comparación directa.

Tabla X. Calibración de un punto para el equipo prototipo

Magnitud	Equipo Patrón	Prototipo	Corrección	Incertidumbre Prototipo
Temperatura	19.9 °C	20.6°C	- 0.7°C	±0.3°C
Humedad relativa	57.4 %HR	58.7%HR	- 1.3%HR	±4.2%HR

Fuente: elaboración propia.

En la tabla X, el prototipo presenta valores más elevados que los del equipo patrón, el error sistemático del equipo prototipo es alrededor de -0.7°C para la temperatura y -1.3%HR para la humedad relativa, estos valores deben

aplicarse a todas las mediciones realizadas con el medidor prototipo en conjunto con una incertidumbre de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ en temperatura y $\pm 4.2\%\text{HR}$ en humedad relativa. Para la incertidumbre se utilizaron: la incertidumbre del equipo patrón (0.1°C y $0.49\%\text{HR}$), la resolución del equipo patrón (0.1°C y $0.1\%\text{HR}$) y la resolución del equipo prototipo (0.1°C), un factor de cobertura $k=2$ con un 95% de confianza.

Tabla XI. **Incertidumbres del sensor según su hoja de datos y calibración**

Magnitud	Hoja de datos del sensor	Calibración
Temperatura	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa	$\pm 3\%\text{HR}$	$\pm 4.2\%\text{HR}$

Fuente: elaboración propia.

Usualmente en estadística la desviación estándar describe la variación de un conjunto de valores, en metrología la incertidumbre de medida describe esta variación, pero está compuesta por varios valores que influyen en la medición incluyendo la desviación estándar en su cálculo. Los valores obtenidos muestran que para la medición de temperatura el equipo prototipo varia en sus mediciones 0.3°C y $4.2\%\text{HR}$.

En la tabla XI se observa la comparación entre la incertidumbre descrita en la hoja de datos del medidor prototipo y encontrada por medio de calibración. Se puede apreciar que la incertidumbre de temperatura se sigue manteniendo igual, sin embargo, en la humedad relativa, esta incrementó en $1.2\%\text{HR}$.

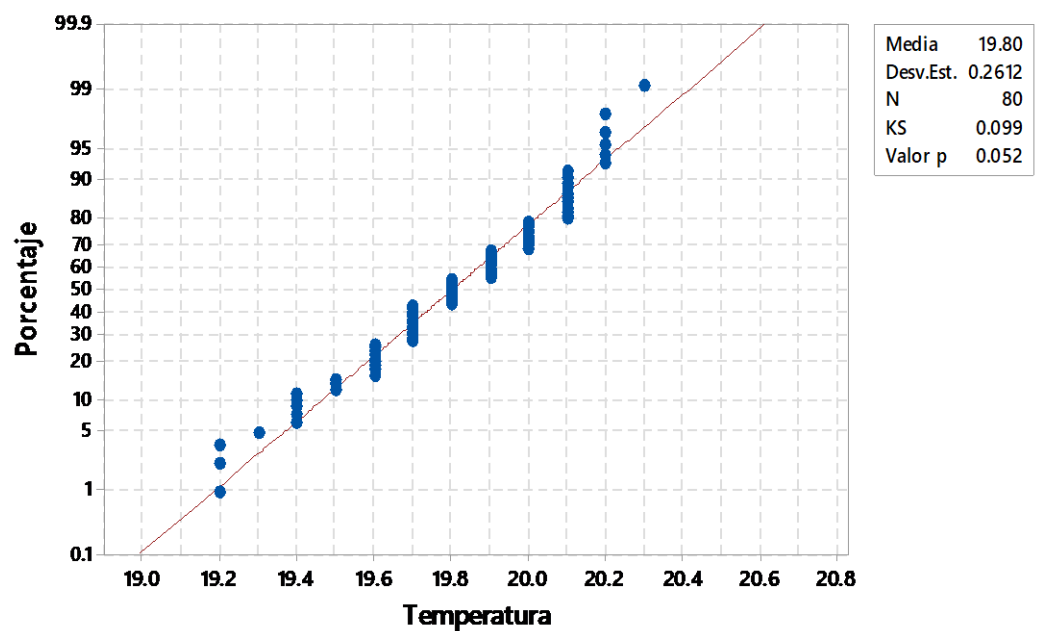
3.2. Análisis de repetibilidad y reproducibilidad del equipo prototipo

En esta investigación el sistema de medición este compuesto por el aire acondicionado que mantiene una temperatura de 20 °C, el área de trabajo donde se realizan las calibraciones de presión y el medidor prototipo de temperatura y humedad relativa.

3.2.1. Pruebas de normalidad previos a la realización de ANOVA

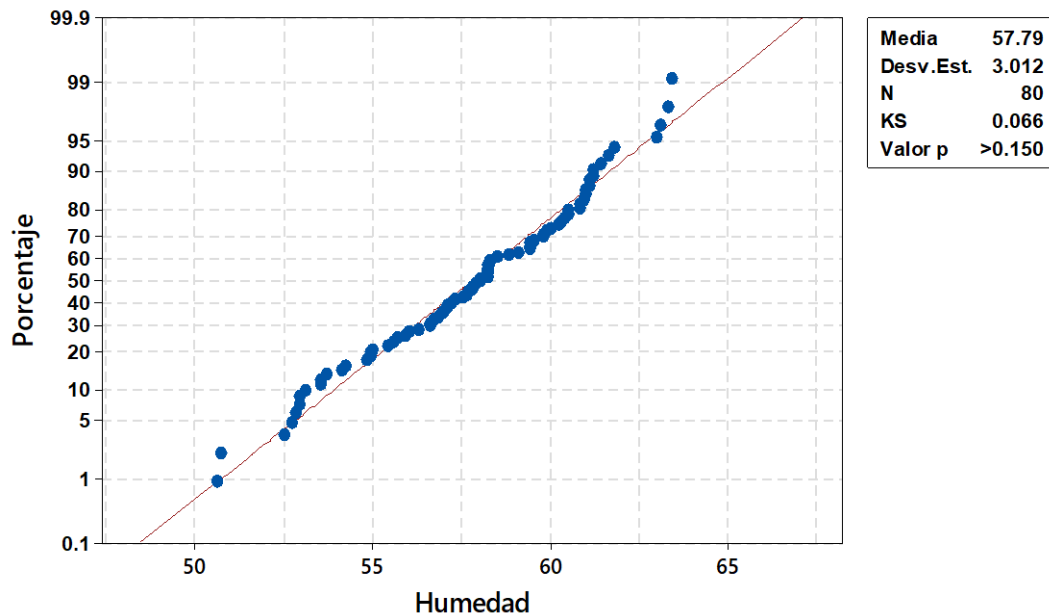
Al efectuar pruebas de normalidad a las mediciones obtenidas por el equipo prototipo, se obtuvo lo siguiente:

Figura 1. Q-Q plot y pruebas de normalidad para temperatura



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Figura 2. Q-Q plot y pruebas de normalidad para humedad relativa



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

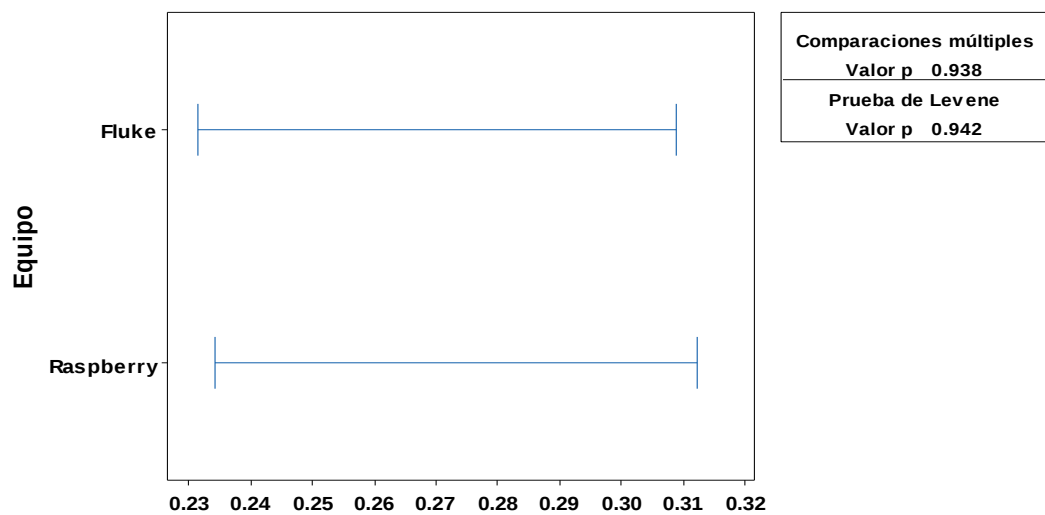
Es preferible para utilizar ANOVA, que presente normalidad en sus datos. Al aplicar la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov y gráficas de probabilidad normal Q-Q plot, la figura 1 y 2 muestran sus resultados. Las figuras indican que los datos siguen aproximadamente una distribución normal. En ambos casos con un nivel de confianza del 95 %.

El estadístico $D_{\text{crítico}}$, un tamaño de muestra de 80 y un nivel de significancia del 5 % es 0.15. Los resultados obtenidos de la prueba de Kolmogórov-Smirnov muestran su estadístico KS menor a 0.15, además por medio del p-valor se observa que sus valores son mayores al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, los datos recolectados cumplen con la característica de que su distribución es normal.

3.2.2. Pruebas de homocedasticidad previos a la realización de ANOVA

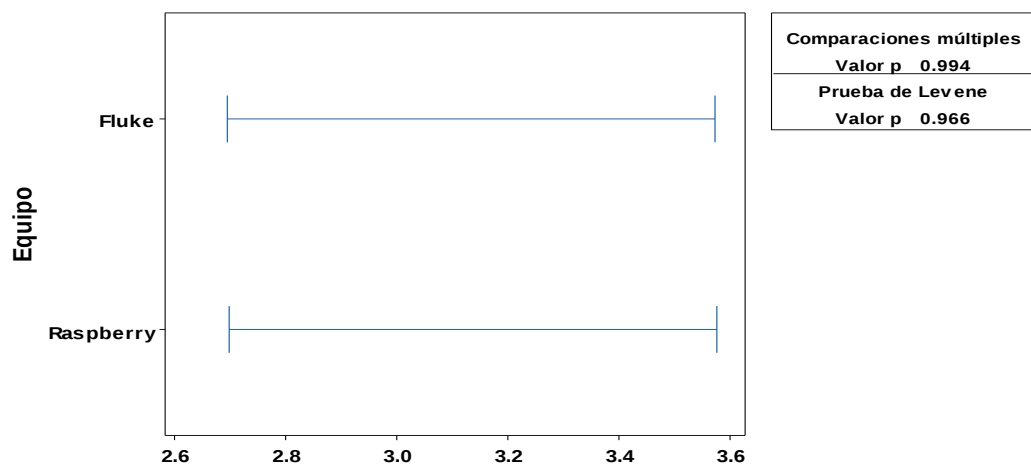
Al aplicar pruebas de homocedasticidad a los datos obtenidos por el prototipo se obtuvo lo siguiente:

Figura 3. Prueba de homocedasticidad para temperatura



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Figura 4. Prueba de homocedasticidad para humedad relativa



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Otro aspecto importante en la elaboración de ANOVA es que los datos cumplan con el criterio de homocedasticidad. La prueba de Levene realizada por el programa Minitab, muestra los resultados de las figuras 3 y 4. Con un nivel de significancia del 5 %, sus valores de probabilidad, p-valor, son mayores al 5 %, rechazando la hipótesis nula, indicando con un 95 % de confianza que las varianzas en las mediciones de temperatura y humedad relativa son iguales.

Al comprobar que los resultados cumplen con los criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, y recordando la independencia de los datos definida con anterioridad al seleccionar las partes y los operadores, los datos cumplen con los criterios suficientes para analizar y aplicarlos en el ANOVA.

3.2.3. Análisis R&R del sistema de medición de temperatura

Aplicando ANOVA a las mediciones de temperatura se obtuvo lo siguiente:

Tabla XII. Análisis de varianza preliminar de temperatura

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Hora	19	3.54	0.19	8.08	0
Equipo	1	0.03	0.03	5.12	0.09
Día	1	1.17	1.18	94.54	0
Hora*Equipo	19	0.20	0.01	2.00	0.07
Hora*Día	19	0.37	0.02	3.29	0.01
Día*Equipo	1	0.00	0.00	0.02	0.88
Error (Repetibilidad)	19	0.10	0.01		
Total	79	5.39			

Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Los resultados preliminares de la tabla XII muestran que la interacción de la parte hora por equipo y día por equipo en el nivel de significancia α de 0.05, no poseen un valor significativo, son mayores a 0.05, indicando que existe la probabilidad que no sean fuentes significativas de variación en las mediciones de temperatura, por lo cual se descartaron del modelo para repetir la prueba sin tomar en cuenta estas interacciones.

Tabla XIII. **Análisis de varianza simplificado de temperatura**

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Hora	19	3.54	0.19	10.53	0
Equipo	1	0.03	0.03	3.57	0.07
Día	1	1.18	1.18	66.43	0
Hora*Dia	19	0.34	0.02	2.25	0.02
Error (Repetibilidad)	39	0.31	0.01		
Total	79	5.39			

Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

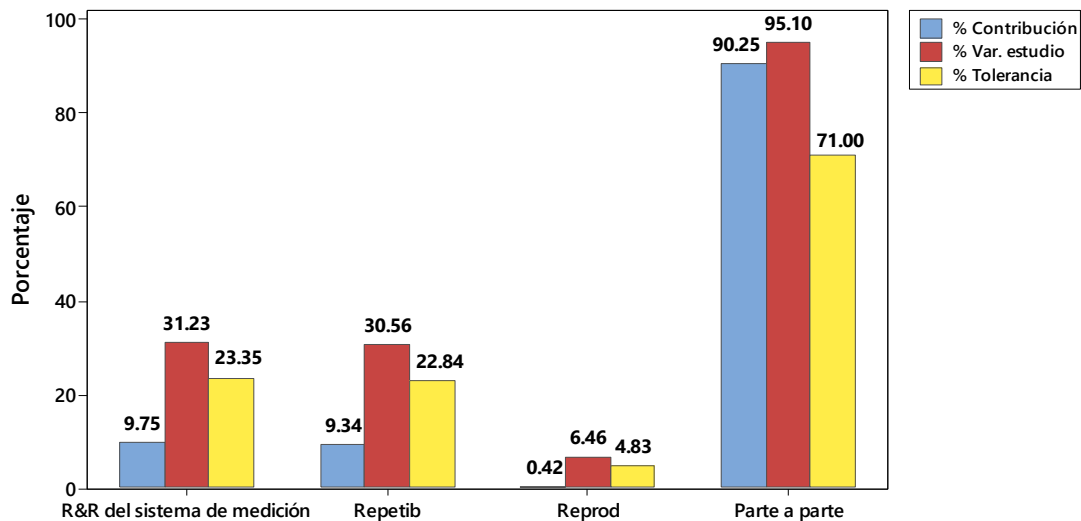
La tabla XIII muestra el análisis final descartando las fuentes no significativas de variación. Es de interés observar que las medias entre Equipos en el nivel de significancia α de 0.05, no poseen un valor significativo, aceptando la hipótesis nula e indicando que existe la probabilidad de que las medias en las medidas de temperaturas sean relativamente similares. En cuanto a los demás términos, sus efectos son significativos estadísticamente indicando que son posibles fuentes de variabilidad.

Tabla XIV. Evaluación del sistema de medición de temperatura

Fuente de variación	σ^2 Varianza	% σ^2	σ	Variación del estudio VE (5.15 $\times \sigma$)	%VE	%Tolerancia $\frac{VE}{Tolerancia}$
Gage R&R total	0.01	9.75	0.09	0.47	31.23	23.35
Repetibilidad	0.01	9.34	0.09	0.46	30.56	22.84
Reproducibilidad	0.00	0.42	0.02	0.10	6.46	4.83
Equipo	0.00	0.42	0.02	0.10	6.46	4.83
Parte a parte	0.08	90.25	0.28	1.42	95.00	71.01
Hora	0.04	50.04	0.21	1.06	70.74	52.88
Día	0.03	34.37	0.17	0.88	58.62	43.82
Hora*Día	0.01	5.84	0.07	0.36	24.16	18.06
Variación total	0.084	100.00	0.3	1.495	100.00	94.36
Número de categorías distintas 4						

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos con Minitab 18.

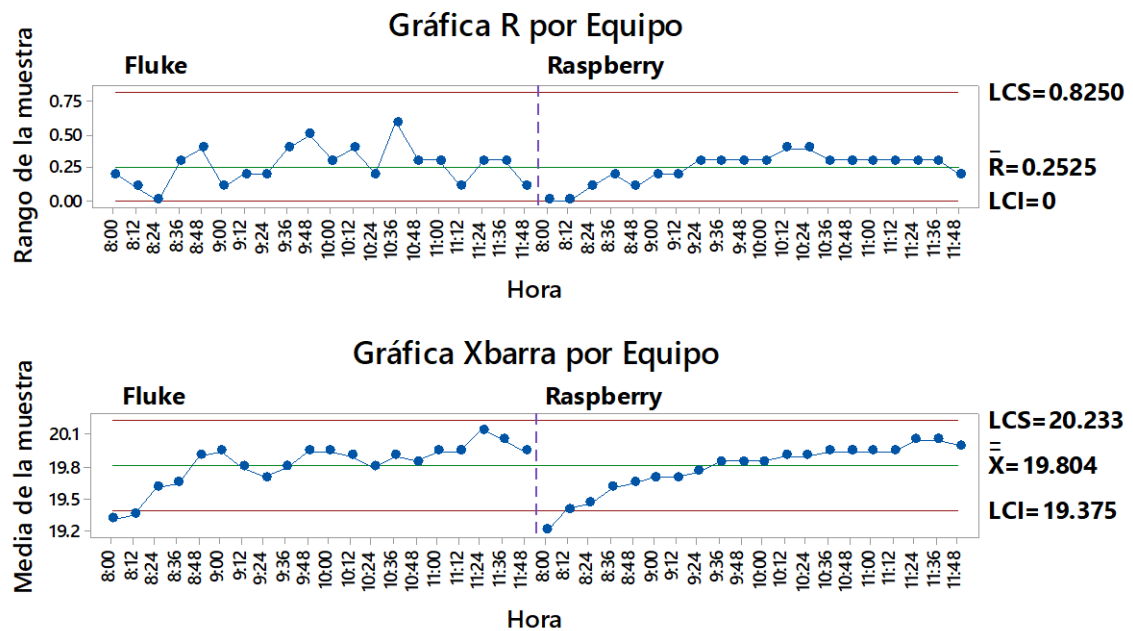
Figura 5. Componentes de variación R&R del sistema de medición para temperatura



Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

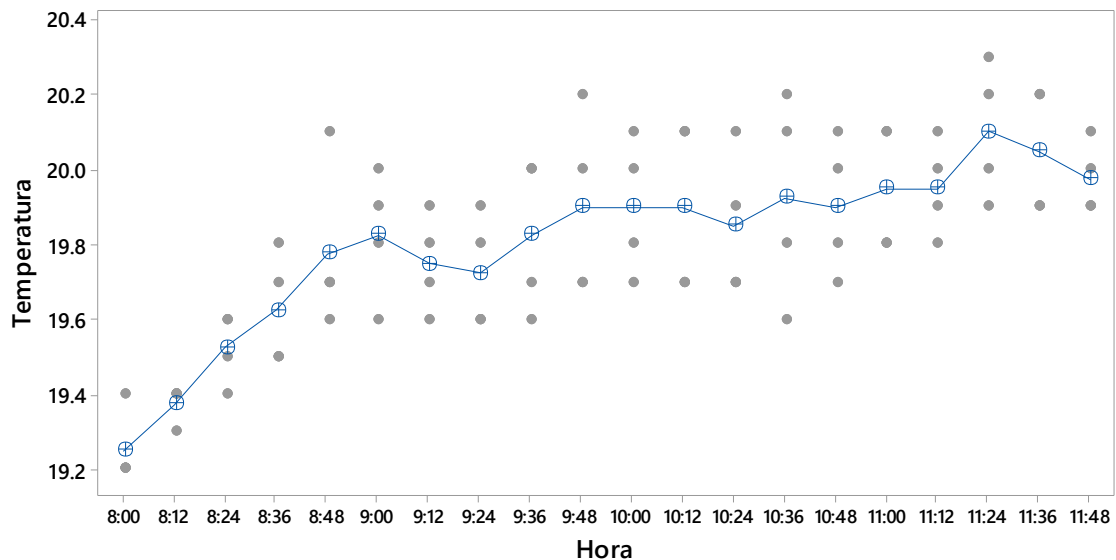
La tabla XIV muestran los resultados calculados a partir del ANOVA final para evaluar el sistema de medición de temperatura: Estos resultados en conjunto con la figura 5 muestran que el error de medición cubre 23.35 % de la tolerancia y posee el 31.23 % de la variación total. Otro resultado importante es la variación ocupada entre parte y parte, esta cubre 71.01 % de la tolerancia y representa el 95 % de la variación total, este indica que entre horas y días se presenta la mayor variación, donde la mayor se concentra entre horas. También se observa que la repetibilidad aporta más al error de medición. Por último, el número de categorías distintas, indica que al equipo le falta resolución.

Figura 6. **Gráficas de medias y rangos por equipo del sistema de medición de temperatura**



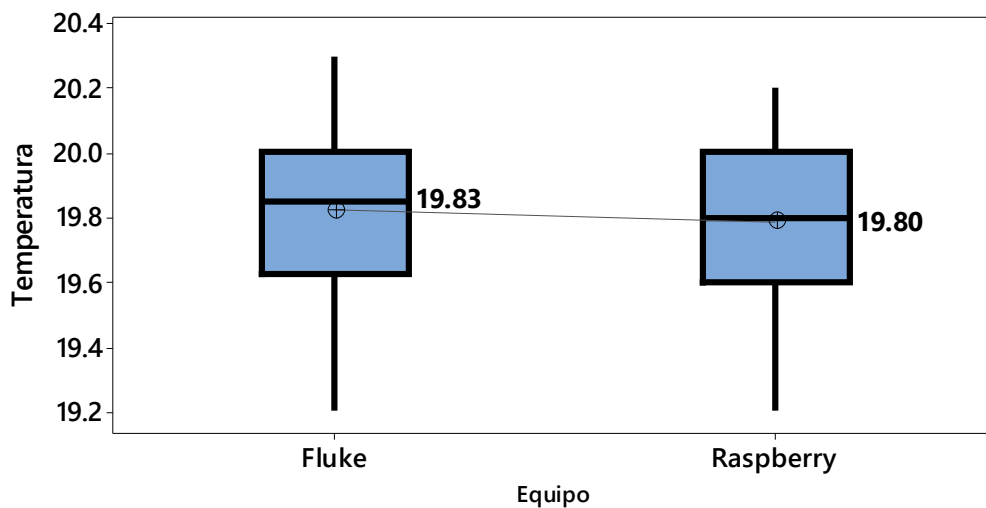
Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Figura 7. **Gráficas de temperatura por hora del sistema de medición de temperatura**



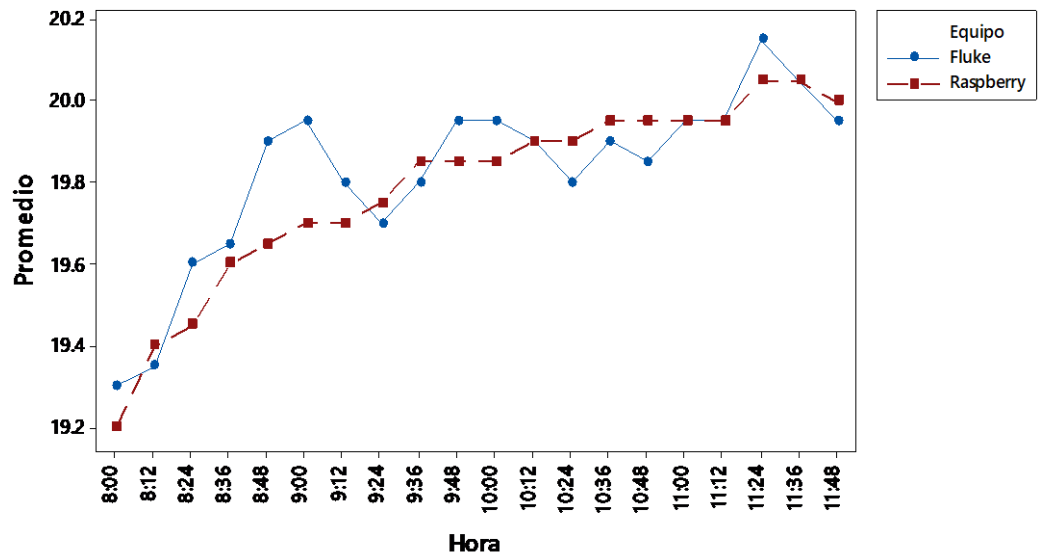
Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Figura 8. **Gráfica de temperatura por equipo del sistema de medición de temperatura**



Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Figura 9. **Gráfica de interacción de equipo por hora del sistema de medición de temperatura**



Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Las figuras 6, 7, 8 y 9 muestran gráficas de interés para terminar de comprender el sistema de medición de temperatura. La figura 6 representa los gráficos de control de rangos y medias. Por medio del gráfico de control de Rangos se distingue la consistencia en las mediciones realizadas por los equipos y la gráfica Xbarra por equipo, gráfico de control de medias, indica la similitud de la medición de temperatura en los equipos. La gráfica de temperatura por hora representada por la figura 7 muestra el comportamiento de las mediciones realizada por los dos equipos a través del tiempo.

La figura 8 muestran los gráficos de caja de las mediciones de temperatura por equipo y una diferencia entre sus mediciones. Las mediciones realizadas con el equipo patrón Fluke 971 fueron de 19.83 y las del prototipo de 19.80, sin embargo, con los resultados de la tabla XIII se logra concretar que las mediciones de temperatura por equipo son iguales.

Por último, la figura 9 muestra una gráfica de interacción de los equipos por hora, se puede observar que el desempeño de los equipos no es afectado por las horas, ya que poseen mediciones relativamente similares, este se puede observar también en la tabla XII donde se encontró que interacción del equipo y la hora no eran significativas.

El error de medición para las mediciones de temperatura es de 0.467 °C, indicando que la precisión del equipo prototipo es aproximadamente de 0.5 °C. Por otro lado, la precisión del sistema de medición de temperatura está dado por dos componentes principales, la reproducibilidad que es de 0 °C, indicando que el equipo prototipo entrega mediciones relativamente similares a las del patrón en condiciones de reproducibilidad, y la repetibilidad ocasionada por mediciones repetidas con el mismo instrumento que es de 0.5 °C.

3.2.4. Análisis R&R del sistema de medición para la humedad relativa

En el ANOVA de las mediciones de humedad relativa se obtuvo lo siguiente:

Tabla XV. Análisis de varianza preliminar de humedad relativa

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Hora	19	470.22	24.75	4.92	0.00
Equipo	1	3.00	3.00	22.65	0.10
Día	1	146.07	146.07	28.67	0
Hora*Equipo	19	1.11	0.06	1.27	0.30
Hora*Día	19	95.40	5.02	108.73	0
Día*Equipo	1	0.12	0.12	2.6	0.12
Error	19	0.88	0.05		
Total	79	716.80			

Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Los resultados preliminares mostrados en la tabla XV indican que la interacción de hora por equipo y equipo por día en el nivel de significancia α de 0.05, no poseen un valor significativo, indicando que existe la probabilidad que no sean fuentes significativas de variación en las mediciones, por lo cual se eliminaron estas interacciones para volver realizar la prueba.

Tabla XVI. **Análisis de varianza simplificado de humedad relativa**

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Hora	19	470.22	24.75	4.93	0
Equipo	1	3.00	3.00	55.46	0
Día	1	146.07	146.07	29.09	0
Hora*Dia	19	95.40	5.02	92.72	0
Error	39	2.11	0.05		
Total	79	716.8			

Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

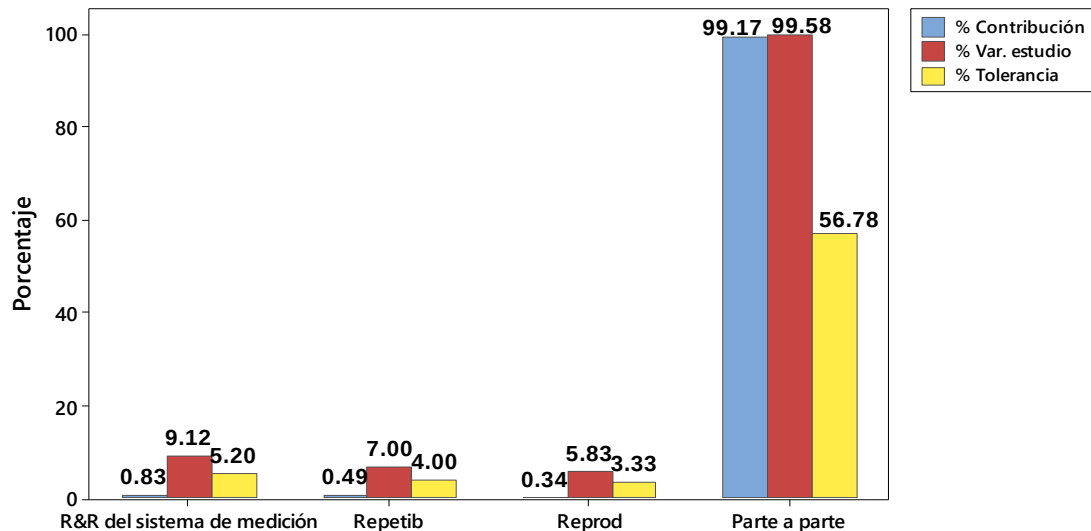
En la tabla XVI se aprecia que las medias entre equipos en un nivel de significancia α de 0.05, poseen un valor significativo, rechazando la hipótesis nula e indicando que existe la probabilidad que las medias en las medidas de humedad relativa sean diferentes. Los demás términos también son significativos estadísticamente indicando que son posibles fuentes de variabilidad.

Tabla XVII. Evaluación del sistema de medición de humedad relativa

Fuente de variación	σ^2 Varianza	$\% \sigma^2$	σ	Variación del estudio VE ($5.15 \times \sigma$)	%VE	$\frac{\%Tolerancia \cdot VE}{Tolerancia}$
Gage R&R total	0.09	0.83	0.30	1.6	9.12	5.2
Repetibilidad	0.05	0.49	0.23	1.20	7.01	3.99
Reproducibilidad	0.04	0.34	0.19	0.99	5.83	3.33
Equipo	0.04	0.34	0.19	0.99	5.83	3.33
Parte a parte	10.94	99.17	3.31	17	99.58	56.78
Hora	4.93	44.7	2.22	11.44	66.86	38.12
Día	3.53	31.96	1.88	9.67	56.53	32.24
Hora*Día	2.48	22.51	1.58	8.12	47.44	27.05
Variación total	11.03	100	3.32	17.11	100	57.02
Número de categorías distintas 30						

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Minitab 18.

Figura 10. Componentes de variación R&R del sistema de medición para humedad relativa



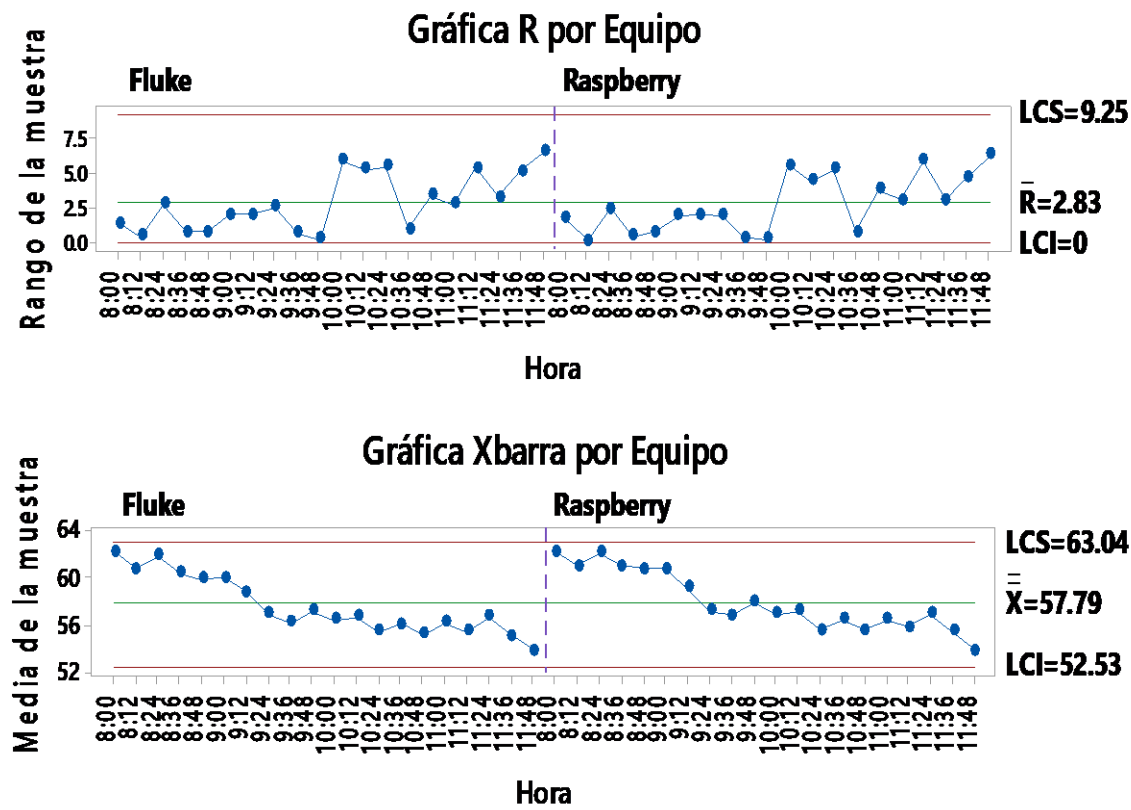
Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

La tabla XVII muestra los resultados con base en los cálculos realizados con el ANOVA simplificado para mediciones de humedad relativa. Estos resultados en conjunto con la figura 10 muestran que el error de medición (R&R) cubre el 5.2 % de la tolerancia y representa el 9.12 % de la variación total, donde la repetibilidad es la que más brinda al error de medición.

Otro resultado importante se da en la variación ocupada entre parte y parte, esta ocupa el 99.58 % de la tolerancia y representa el 56.78 % de la variación total, esto indica que las horas, días y su interacción son los que más contribuyen a la variación.

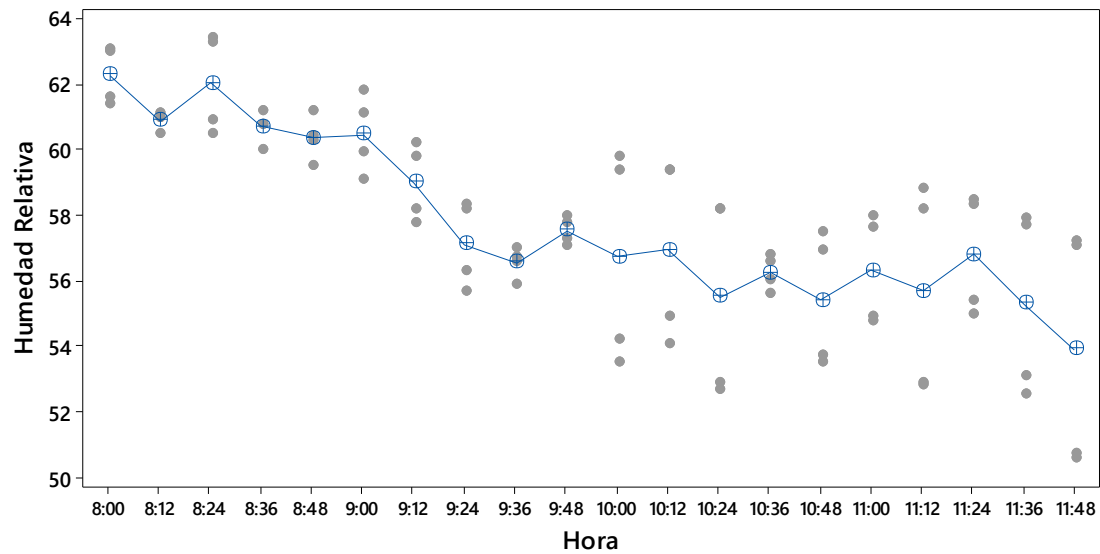
Por último, el número de categorías distintas de valor 30 indica que el equipo posee una resolución adecuada.

Figura 11. Gráficas de medias y rangos por equipo del sistema de medición de humedad relativa



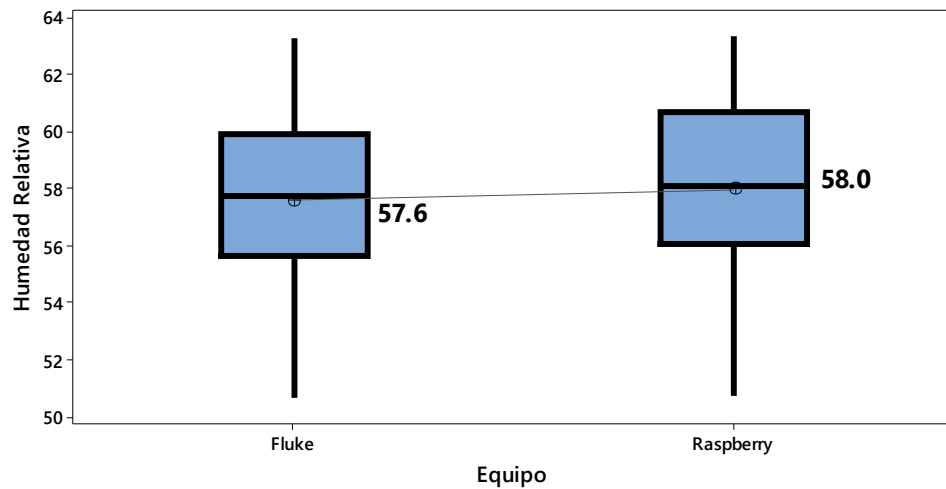
Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Figura 12. **Gráficas de humedad relativa por hora del sistema de medición de humedad relativa**



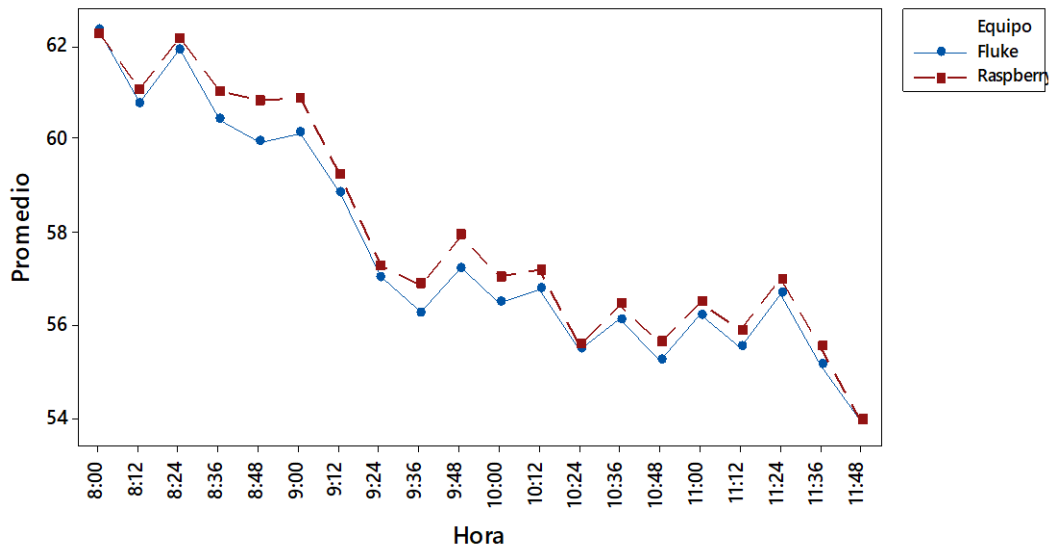
Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Figura 13. **Gráfica de humedad relativa por equipo del sistema de medición de humedad relativa**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Figura 14. **Gráfica de interacción de equipo por hora del sistema de medición de temperatura**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

En la figura 11, 12, 13 y 14 se observan las gráficas que explican el sistema de medición de humedad relativa, por medio del gráfico de control de rangos representado en la figura 11, se distingue que los equipos miden consistentemente.

La gráfica de control de medias, Xbarra por equipo de la figura 11 indica que los dos equipos miden de una manera similar debido a ello se puede decir que las mediciones del equipo prototipo son reproducibles. La figura 12 muestra la gráfica de humedad por hora y rectifica la consistencia de las mediciones realizada por los dos equipos, indicando que las mediciones son afectadas a medida que avanza el tiempo, una tendencia decreciente indica que las mediciones son afectadas por el ambiente.

La figura 13 muestran los gráficos de caja de las mediciones de humedad por equipo, estas presentan una pequeña diferencia entre sus mediciones. Con los resultados la tabla XVI se puede rectificar que las mediciones de humedad por equipo son diferentes.

Por último, la figura 14 representa la interacción de los equipos por hora, en ella el desempeño de los equipos no es afectado por las horas, ya que poseen mediciones similares, este se puede observar también en la tabla XV donde se encontró que interacción del equipo y la hora no eran significativas, a pesar de que las mediciones sean similares se observa que las condiciones ambientales afectan a que las mediciones de humedad relativa no sean estables.

Con los resultados anteriores se observa que el error de medición en Humedad Relativa es de 1.6%HR, indicando que la precisión del equipo prototipo es 1.6%HR. La precisión de Humedad Relativa dividida en sus componentes principales son la reproducibilidad que es de 0.99%HR, indicando que las mediciones del equipo prototipo varían relativamente poco a las del patrón en condiciones de reproducibilidad, y la repetibilidad ocasionada por mediciones repetidas con el mismo instrumento que será de 1.2%HR.

Objetivo 2. Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión cuando se utiliza aire acondicionado a 20 °C y a temperatura ambiente por medio de estadística descriptiva para determinar la tendencia en las mediciones realizadas por equipo prototipo

Para analizar los siguientes resultados se tomaron en cuenta todas las mediciones de temperatura y humedad relativa obtenidas por el medidor prototipo en marzo con una temperatura a 20 °C y en abril a temperatura ambiente. Ambos

en los horarios de las jornadas matutina, de 8 :00 a.m. a 12:00 p.m. y vespertina, de 2:00 p.m. a 6:00 p.m., de lunes a viernes, excluyendo los fines de semana.

3.3. Análisis descriptivo de la temperatura y humedad relativa con aire acondicionado a 20 °C

Aplicando un análisis descriptivo a las variables de temperatura y humedad relativa, obtenidas por el equipo prototipo cuando se aplicó aire acondicionado a 20 °C en el área de presión, se obtuvieron los siguientes resultados:

3.3.1. Medidas de tendencia central, variabilidad, forma y coeficiente de variación

Aplicando las ecuaciones y los cálculos de las medidas de dispersión, variabilidad, forma y coeficientes de variación en las mediciones registradas, se presentaron los siguientes resultados:

Tabla XVIII. Medidas de dispersión central, variabilidad y forma coeficiente de variación para la temperatura en jornadas laborales del mes de marzo

Jornada	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Media	Máximo	Rango	Curtosis	Asimetría	CV	N
Matutina	19.4	0.3	18.4	19.4	20.4	2	3.02	0.77	2 %	4320
Vespertina	19.7	0.1	18.9	19.7	20	1.1	3.34	-0.45	1 %	4320

Fuente: elaboración propia.

Al observar la tabla XVIII es evidente que para la variable de temperatura en la jornada matutina es más baja que la vespertina, entre las 8 y las 12 de la mañana se desvía de la media 0.3 °C y de las 2 a las 6 de la tarde se desvía de la media 0.1°C, por lo tanto, se podría decir que en promedio cuando se aplica una temperatura a 20 °C en el área de presión ambas jornadas mantienen una temperatura de 19.6 °C con una desviación de 0.2 °C.

Al observar los coeficientes de variación se puede inferir que ambos presentan una variabilidad de temperatura muy baja indicando también que es homogéneo, donde la jornada vespertina parece ser más homogéneo que en la mañana.

En términos de la asimetría, la jornada matutina presenta una curva de asimetría positiva, indicando que su distribución se concentra a la izquierda de la media mientras que la jornada vespertina presenta una curva de asimetría negativa, indicando que su distribución se concentra a la derecha de su media. En cuanto la curtosis ambas jornadas presentan una curtosis positiva y mayor a 3 indicando que sus distribuciones son de tipo leptocúrtica, con la información de la asimetría y la curtosis se deduce que las distribuciones de las mediciones de temperatura matutina y vespertina no son normales.

Tabla XIX. Medidas de dispersión central, variabilidad, forma y coeficiente de variación para la humedad relativa por jornadas laborales del mes de marzo

Jornada	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Media	Máximo	Rango	Curtosis	Asimetría	CV	N
Matutina	59.4	4	49.7	60.1	69.8	20.1	2.47	0.2	7 %	4320
Vespertina	56	4.5	43.3	55.6	64.8	21.5	3.07	-0.52	8 %	4320

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIX para humedad relativa, muestra que la jornada vespertina presenta la humedad relativa más baja que la matutina, entre las 8 y las 12 de la mañana la humedad relativa se desvía de la media 4%HR y de las 2 a las 6 de la tarde se desvía de la media 4.5%HR, por lo tanto, se podría decir que en promedio cuando se aplica una temperatura a 20 °C en el área de presión ambas jornadas mantienen una humedad relativa de 57.9%HR y desviación de 4.3%HR.

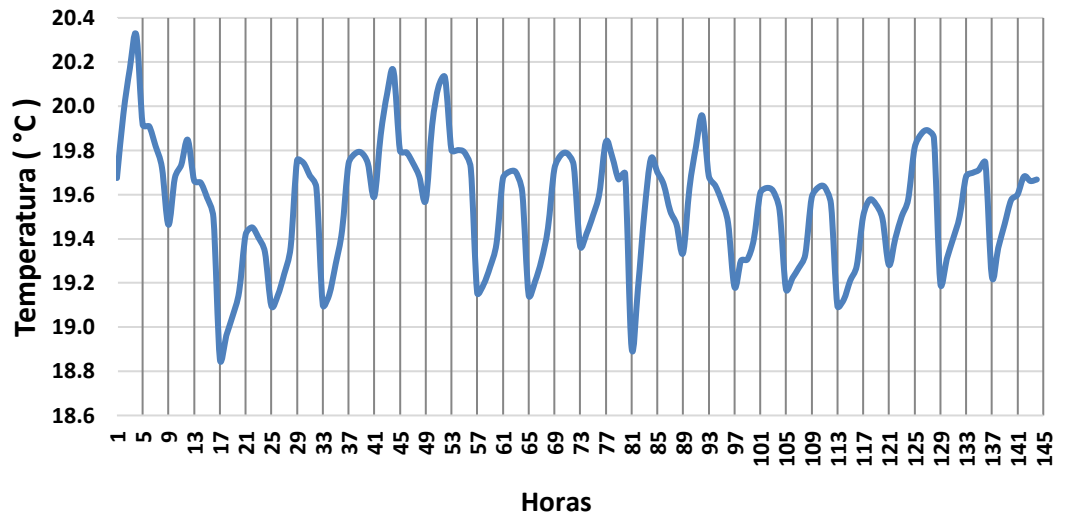
Al observar su coeficiente de variación se puede deducir que ambas jornadas presentan una variabilidad de humedad relativa muy baja, indicando que la humedad relativa es homogénea, siendo la jornada matutina más homogénea que la vespertina.

En términos de la asimetría, la jornada matutina la presenta positiva, su distribución se concentra a la izquierda de su media mientras que la jornada vespertina presenta una curva de asimetría negativa. En cuanto a su curtosis, la jornada matutina es menor a 3 tres, indicando que su distribución es de forma platicúrtica. En el caso de la jornada vespertina es mayor a 3 indicando que su distribución es de forma leptocúrtica. Con la información de la asimetría y la curtosis se deduce que las distribuciones de las mediciones de humedad relativa matutina y vespertina no son normales.

3.3.2. Gráficas de tiempo

El comportamiento de las variables de temperatura y humedad relativa durante la aplicación de una temperatura de 20 °C en el área de presión dieron lugar a las siguientes gráficas de tiempo:

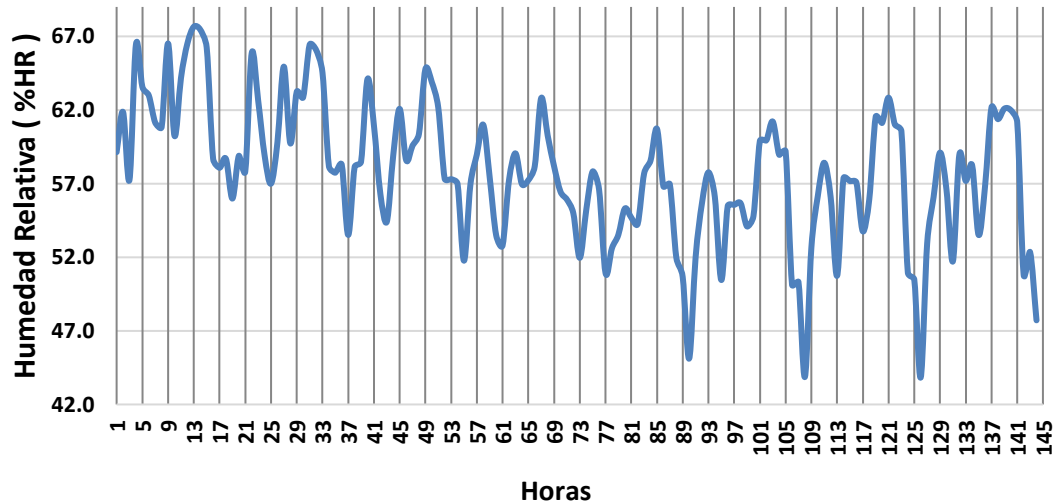
Figura 15. **Mediciones de temperatura por hora del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia.

La figura 15 muestra las mediciones de temperatura promediadas en horas, cada división en la gráfica representa una jornada laboral. Se puede observar un patrón y comportamiento cíclico, donde la temperatura en la jornada matutina tiene la tendencia a subir hasta terminar la jornada y disminuye en la jornada vespertina. Esta gráfica puede evidenciar la influencia de algún factor externo, como la temperatura ambiente sobre el área de presión, mostrando que, a pesar de contar con aire acondicionado a 20 °C, este no presenta una estabilidad observable.

Figura 16. **Mediciones de humedad relativa por hora del mes de marzo**



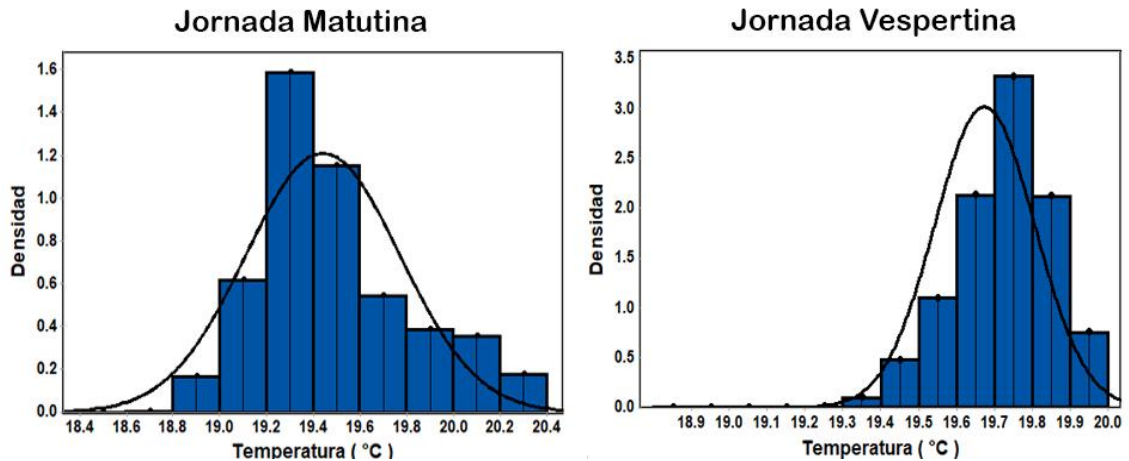
Fuente: elaboración propia.

La figura 16 muestra las mediciones de humedad relativa promediadas en horas, de la misma forma que con la temperatura sus divisiones representan una jornada laboral. También presentan un comportamiento cíclico, con una tendencia a decrecer con el tiempo, esto evidencia aún más que el uso del aire acondicionado a 20 °C ocasiona un efecto en la humedad relativa de decrecer con el tiempo y que además existe la posibilidad de que un factor externo puede estar afectando la humedad relativa.

3.3.3. Histograma de frecuencias

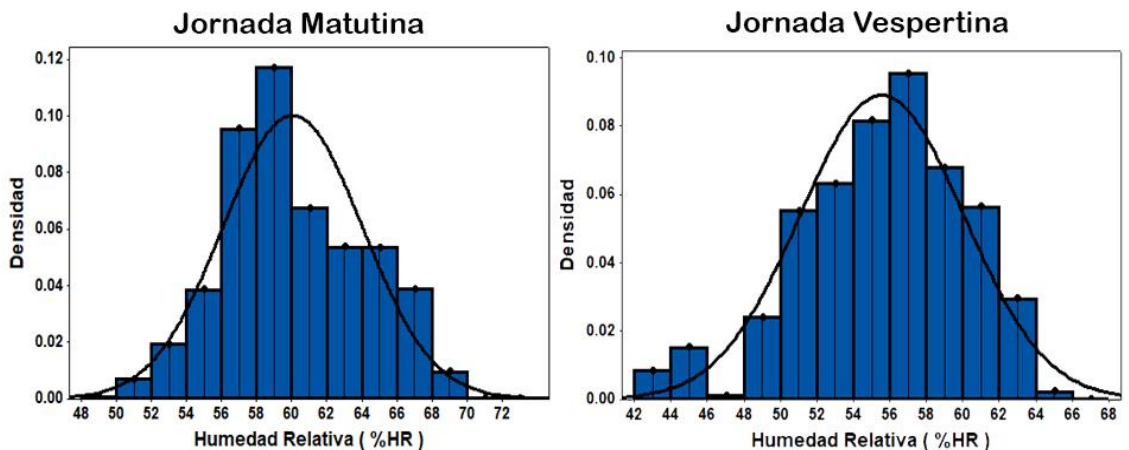
La distribución de las variables cuando se utiliza aire acondicionado a 20 °C se representa en los siguientes histogramas de frecuencias:

Figura 17. **Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de temperatura del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

Figura 18. **Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de humedad relativa del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia, realizada con Minitab 18.

La figura 17 muestra los histogramas de frecuencias en mediciones de temperatura cuando se utiliza una temperatura a 20 °C en el área de presión. Se puede apreciar de un modo más visual los resultados observados en la tabla XIX,

Las mediciones de la jornada matutina están sesgadas a la izquierda de su media y la vespertina a la derecha.

Se observa que el 32 % de las mediciones de temperatura en la jornada matutina se encuentra entre 19.2 °C y 19.4 °C y el 33 % de las mediciones de temperatura en la vespertina entre 19.7 °C y 19.8 °C, estas mediciones son las que se registraron con más frecuencia entre las jornadas. Comparando la línea de distribución normal con la del histograma se puede deducir a simple vista que las distribuciones en ambas jornadas no son normales.

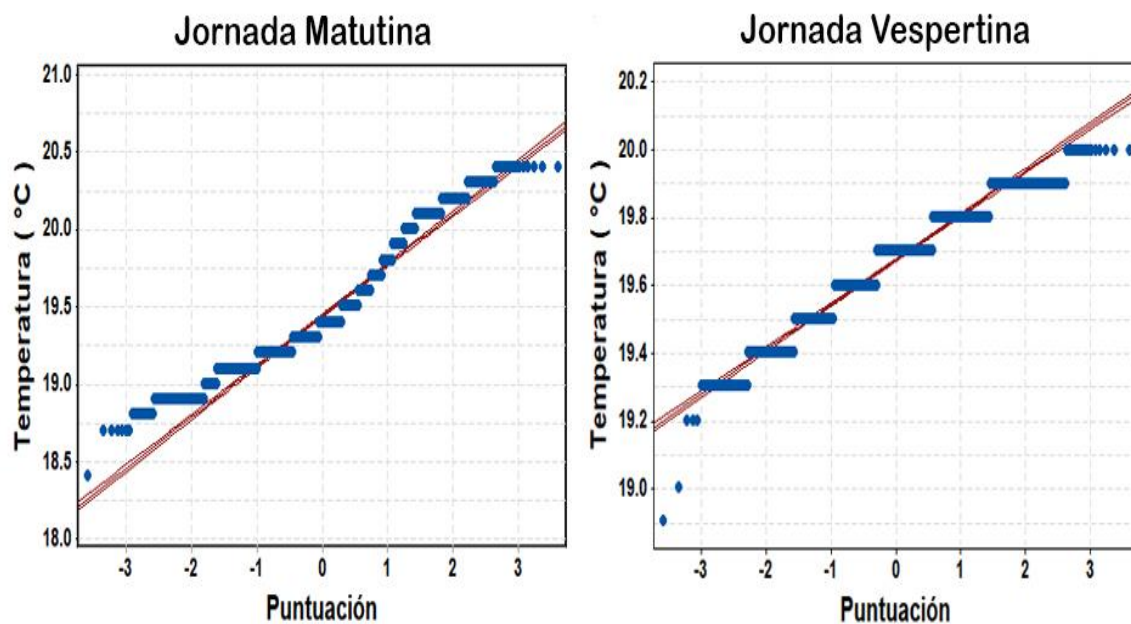
La figura 18 muestra los histogramas de frecuencias en mediciones de humedad relativa cuando se utiliza una temperatura a 20 °C en el área de presión. De igual manera que con el histograma de temperatura, se aprecia de mejor manera los resultados observados en la tabla XIX.

Las mediciones de la jornada matutina están sesgadas a la izquierda de su media y la vespertina a la derecha. Se observa que el 24 % de la jornada matutina se encuentra entre 58%HR y 60%HR y el 20 % de la vespertina entre 56%HR y 58%HR, estas mediciones son las que se registraron con más frecuencia entre las jornadas. Comparando la línea de distribución normal con la del histograma se puede deducir a simple vista que las distribuciones en ambas jornadas no son normales. Y se puede apreciar mediciones atípicas en la jornada vespertina con valores entre el 42 y 46%HR.

3.3.4. Gráficos de probabilidad normal (Q-Q PLOT)

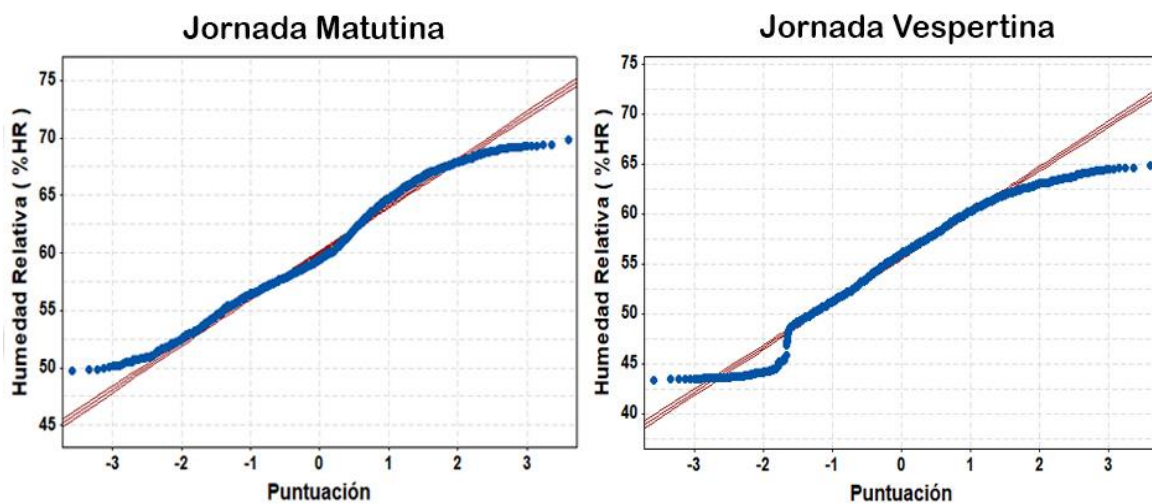
Al efectuar gráficos de probabilidad normal se obtuvo lo siguiente:

Figura 19. **Q-Q Plot de mediciones de temperatura en jornadas laborales del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Figura 20. **Q-Q Plot de mediciones de humedad relativa en jornadas laborales del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab 18.

Las figuras 19 y 20, muestran de una forma visual que tanto las mediciones de temperatura como humedad relativa en ambas jornadas no se ajustan a la recta, indicando que la distribución en las mediciones no es normal.

3.3.5. Pruebas de normalidad Lilliefors

Para inferir si existe normalidad en las distribuciones de temperatura y humedad relativa en ambas jornadas laborales se utilizó la prueba Lilliefors.

Tabla XX. **Prueba Lilliefors para mediciones de temperatura y humedad relativa en las jornadas laborales del mes de marzo**

Medición	Jornada	α	H0	H1	D	p-valor	Decisión
Temperatura	Matutina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1161	2.2E-16	No es normal
	Vespertina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1952	2.2E-16	No es normal
Humedad Relativa	Matutina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1161	2.2E-16	No es normal
	Vespertina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1952	2.2E-16	No es normal

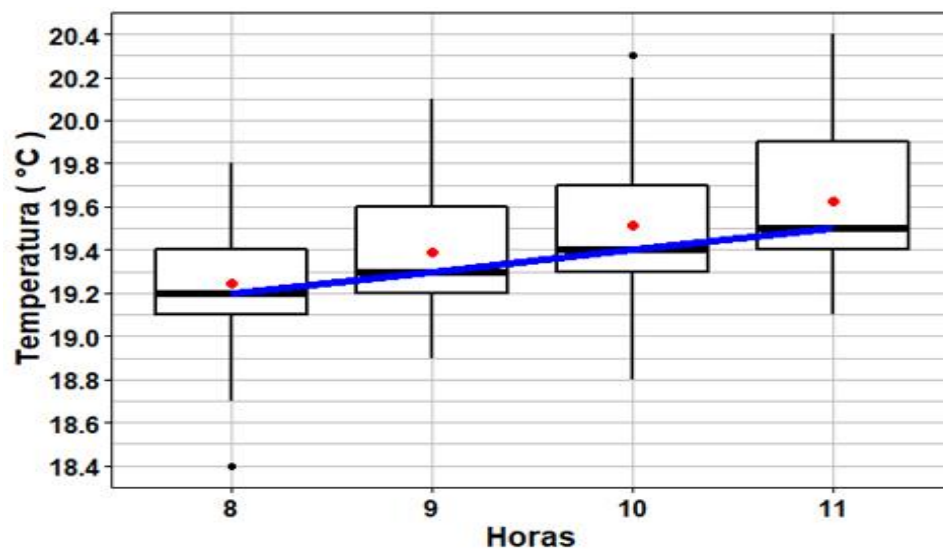
Fuente: elaboración propia.

La tabla XX muestra los resultados al aplicar la prueba, por medio del p-valor se puede inferir con un 95 % de confianza que las distribuciones de humedad relativa y temperatura de las jornadas matutina y vespertina no son normales, concretando lo que se vio en la asimetría, curtosis y gráficas de probabilidad normal.

3.3.6. Gráficos de cajas (Boxplot)

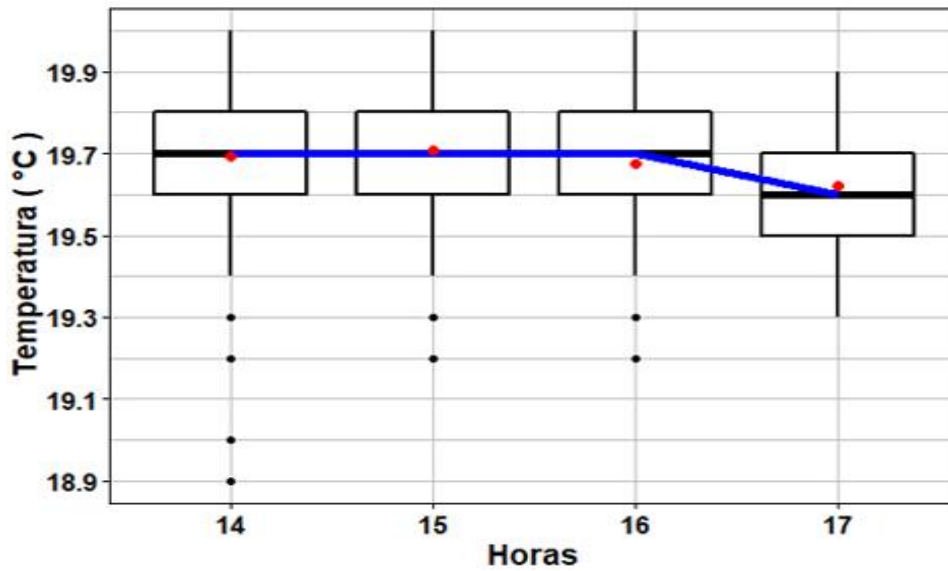
Para visualizar la distribución de las variables en las distintas jornadas laborales se realizaron los siguientes gráficos de caja.

Figura 21. **Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada matutina del mes de marzo**



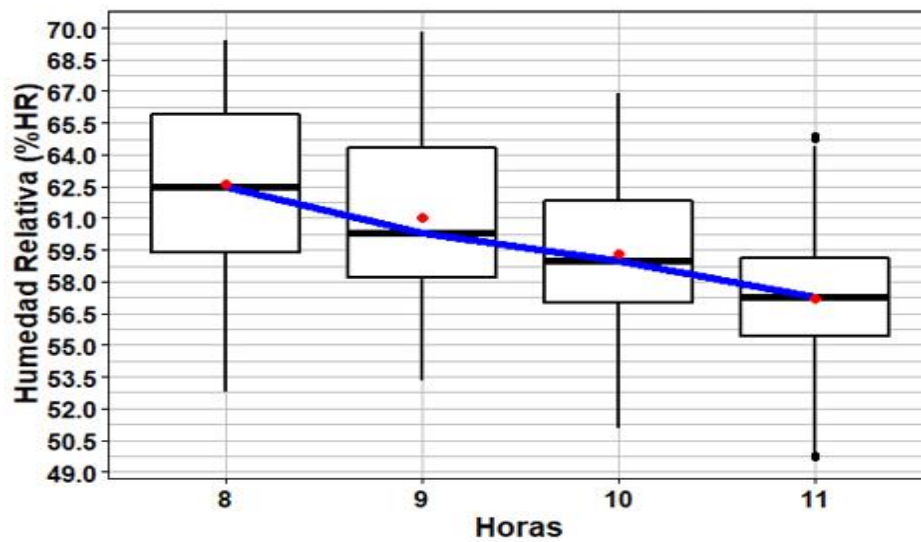
Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 22. **Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada vespertina del mes de marzo**



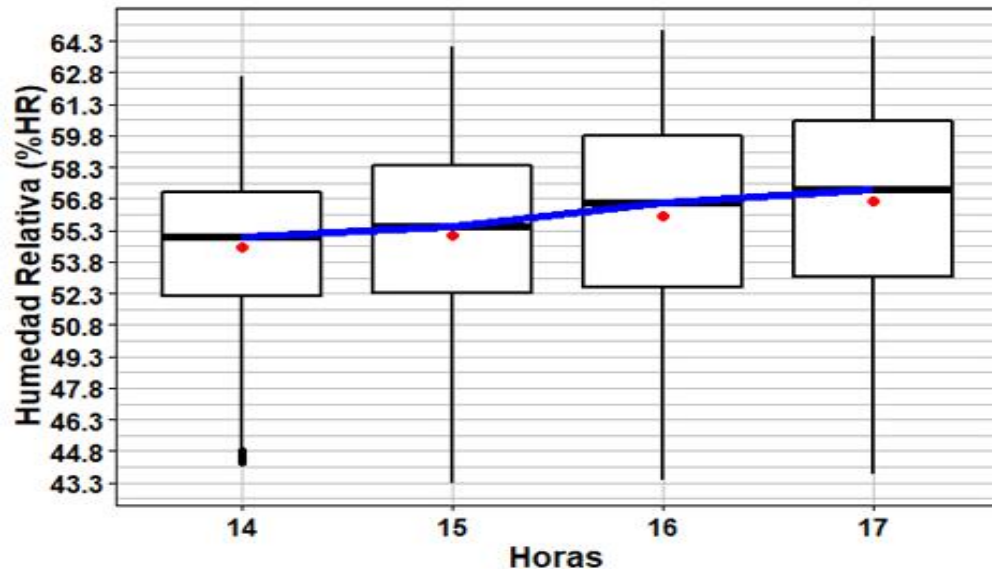
Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 23. **Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada matutina del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 24. **Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada vespertina del mes de marzo**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

La figura 21 y 22 muestran los gráficos de cajas para las mediciones de temperatura en las jornadas matutina y vespertinas clasificadas en horas. En la figura 21 se puede observar que para la jornada matutina las medias de temperatura son diferentes para cada hora. La mediana para cada hora de la jornada matutina crece 0.1 °C. En todas las horas se aprecia que sus distribuciones son asimétricas a la izquierda. A las 8 y a las 10 de la mañana se pueden observar datos atípicos, indicando que pudo existir un evento externo que pudo influir en esas mediciones. De las 4 horas de la jornada se aprecia que a las 8 de la mañana la temperatura tiende a variar poco.

Por otro lado, en la jornada vespertina la figura 22 muestra que las medias son iguales en las primeras horas y difieren las últimas 2 horas, la mediana tiende a ser estable las primeras 3 horas y mantenerse en 19.7 °C decreciendo 0.1°C la última hora. Se pueden observar valores atípicos de 2 a 4 de la tarde. Se aprecia

que las distribuciones parecen ser simétricas y la temperatura es menos variable en esta jornada.

La figura 23 y 24 muestran los gráficos de cajas para las mediciones de humedad relativa en las jornadas matutina y vespertinas clasificadas en horas. En la figura 23 se puede observar que para la jornada matutina las medias de humedad relativa son diferentes para cada hora. La mediana para cada hora de la jornada matutina es decreciente. Las 8, 10 y 11 de la mañana presentan aparentemente distribuciones simétricas, y las 9 presenta una distribución asimétrica a la izquierda. A 11 de la mañana se pueden observar datos atípicos, indicando que pudo existir un evento externo como cambios de temperatura que pudieron influir en esas mediciones. De las 4 horas de la jornada matutina se aprecia a las 11 de la mañana la humedad relativa tiende a variar poco.

Por otro lado, en la figura 24, la jornada vespertina muestra que las medias son diferentes, la mediana tiende a crecer en el tiempo. Se aprecia que las distribuciones de todas las horas parecen ser asimétricas a la derecha. Se pueden observar valores atípicos a las 2 de la tarde y que la humedad relativa es menos variable.

3.3.7. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

Dado que las distribuciones de las mediciones no son de tipo normal, se realizaron pruebas de Levene por medio de la mediana, donde no es influida por valores atípicos.

Tabla XXI. **Prueba de Levene en mediciones de temperatura y humedad relativa en jornadas laborales del mes de marzo**

Medición	Jornada	α	H0	H1	F	p-valor	Decisión
Temperatura	Matutina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	0.35	2.2E-16	No Homogéneo
	Vespertina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	2.02	3.8E-14	No Homogéneo
Humedad Relativa	Matutina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	8.491	2.2E-16	No Homogéneo
	Vespertina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	3.769	2.9E-15	No Homogéneo

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXI con un nivel de confianza del 95 % se puede inferir que las distribuciones de temperatura y humedad relativa en ambas jornadas no son homogéneas. Las varianzas no homogéneas de temperatura y humedad relativa empiezan a indicar que existen problemas con mantener la temperatura de 20 °C en horas de jornadas en el área de presión. Como se observó en los anteriores resultados esta prueba sería el complemento a las gráficas Boxplot donde se observaba gráficamente lo que la prueba de Levene describe.

3.3.8. Prueba de la mediana para comparación de jornadas en mediciones

Para comparar las mediciones de las variables obtenidas entre la mañana y la tarde se utilizó la prueba de la mediana.

Tabla XXII. **Prueba de la mediana entre jornadas laborales en mediciones de temperatura y humedad relativa de marzo**

Medición	α	H ₀	H ₁	χ^2	$\chi^2_{critico}$	Decisión
Temperatura	0.05	Las medianas son iguales	Las medianas son distintas	3.33	3.84	Las medianas son iguales
Humedad Relativa	0.05	Las medianas son iguales	Las medianas son distintas	3.33	3.84	Las medianas son iguales

Fuente: elaboración propia, realizado con R.

En la tabla XXII con un α del 95 % se puede inferir que las medianas de temperatura de la jornada matutina y la jornada vespertina son iguales, de la misma manera las medianas de humedad relativa de la jornada matutina y vespertina son iguales. Esto demuestra que las jornadas matutina y vespertina, al aplicar una temperatura de 20 °C, las medianas en sus mediciones mantienen presentan aproximadamente el valor.

3.3.9. Tendencias de temperatura

Para comprobar las distintas tendencias de temperatura en el área se utilizó el coeficiente de Kendall entre la variable analizada y el tiempo, obteniendo lo siguiente:

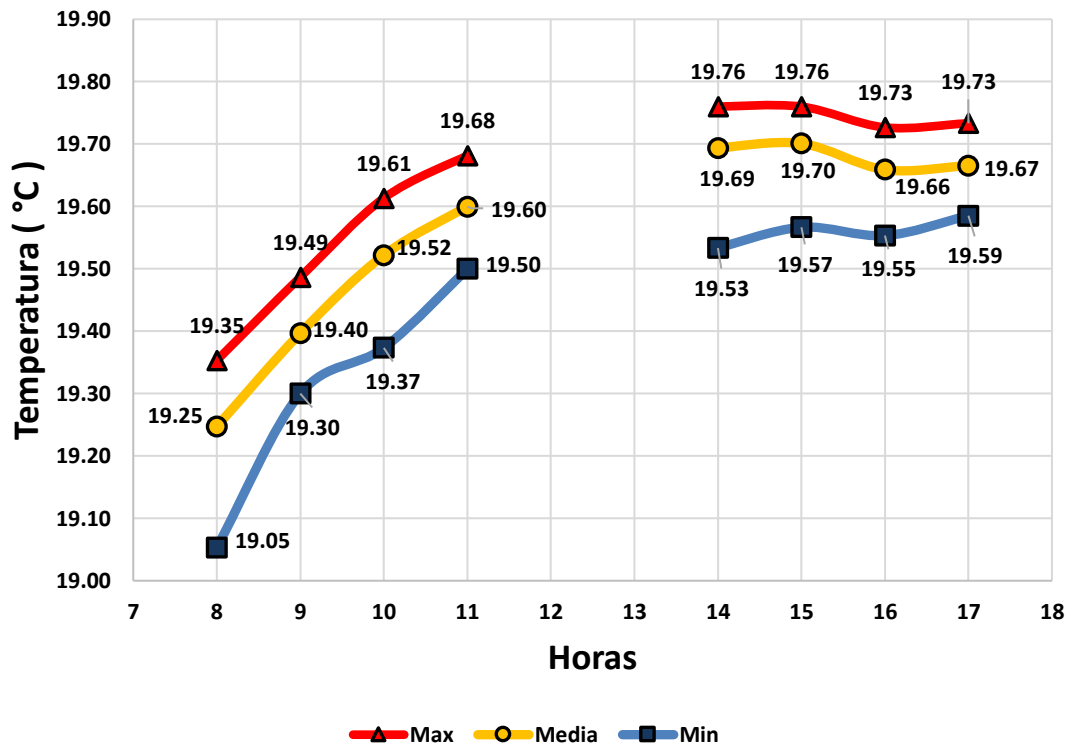
Tabla XXIII. **Prueba de correlación de Kendall entre temperatura y tiempo**

Temperatura	Jornada	α	H_0	H_1	p-valor	τ	Decisión	Tendencia
Media	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.75	-0.33	No existe correlación	Decreciente moderada
Máxima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.12	-0.82	No existe correlación	Decreciente fuerte
Mínima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.33	0.67	No existe correlación	Creciente moderado

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIII se puede apreciar los resultados de aplicar la prueba de correlación de Kendall entre las horas de las jornadas y las temperaturas máximas, mínimas y promedio, los resultados con un 95 % de confianza indican que no existe correlación significativa entre las temperaturas registradas y las horas que componen a cada jornada, indicando con esto que las mediciones de temperaturas son independientes de la hora de cada jornada, esta independencia refleja que las tendencias no se comportan linealmente.

Figura 25. Gráfica de tendencias en temperaturas máximas, mínimas y medias



Fuente: elaboración propia.

La tabla XXIII comparada con la figura 25, indican que la temperatura promedio, promedio máximo y promedio mínimo en la jornada matutina presentan una tendencia creciente, el valor de τ indica una fuerte tendencia creciente. Por otro lado, en la jornada vespertina, la temperatura promedio presenta una tendencia decreciente moderada, el promedio máximo presenta una creciente fuerte y el promedio mínimo una decreciente moderada.

3.3.10. Tendencias de humedad relativa

Para comprobar las distintas tendencias de la humedad relativa, se utilizó el coeficiente de Kendall entre la variable analizada y el tiempo, obteniendo lo siguiente:

Tabla XXIV. **Prueba de correlación de Kendall entre humedad relativa y tiempo**

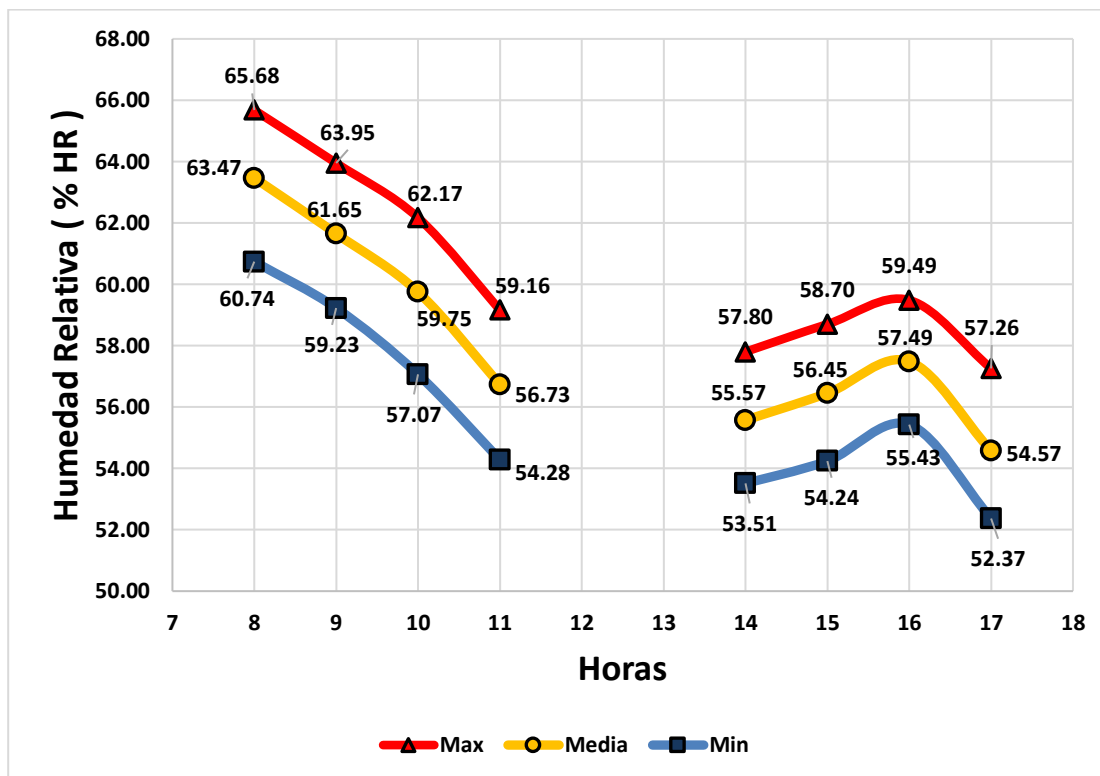
Humedad Relativa	Jornada	α	H_0	H_1	p-valor	τ	Decisión	Tendencia
Media	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	1	0	No existe correlación	No existe tendencia
Máxima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	1	0	No existe correlación	No existe tendencia
Mínima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIV se puede apreciar los resultados de aplicar la prueba de correlación de Kendall entre las horas de las jornadas y las humedades relativas promedio máximas, promedio mínimas y promedio, los resultados con un 95 % de confianza indican que no existe correlación entre las temperaturas registradas y las horas que componen a cada jornada, indicando con esto que las mediciones

de humedad relativa son independientes de la hora de cada jornada, esta independencia refleja que las tendencias no se comportan linealmente.

Figura 26. **Gráfica de tendencias de humedad relativa máximas, mínimas y media**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XXIV comparada con la figura 26, indican que la humedad relativa promedio, promedio máximo y promedio mínimo en la jornada matutina presentan una tendencia decreciente, el valor de τ indica una fuerte tendencia decreciente. En la jornada vespertina, la humedad relativa promedio, promedio máximo y mínimo no presentan una tendencia, indicando es posible que la humedad relativa se mantenga estable en esa jornada.

3.4. Análisis descriptivo de la temperatura y humedad relativa a temperatura ambiente

Para este análisis descriptivo es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

3.4.1. Medidas de tendencia central, variabilidad, forma y coeficiente de variación

Aplicando las ecuaciones y los cálculos de las medidas de dispersión, variabilidad, forma y coeficientes de variación en las mediciones registradas, se presentaron los siguientes resultados:

Tabla XXV. **Medidas de dispersión central, variabilidad, forma y coeficiente de variación para la temperatura por jornadas laborales del mes de abril**

Jornada	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Media	Máximo	Rango	Curtosis	Asimetría	CV	N
Matutina	22.5	0.7	21.0	22.6	24.4	3.4	2.28	0.32	3%	4080
Vespertina	23.1	0.6	21.5	23.1	24.4	2.9	2.6	0.42	3%	4080

Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Al observar la tabla XXV es evidente que para la variable de temperatura en la jornada matutina es más baja que la vespertina, entre las 8 y las 12 de la mañana se desvía de la media 0.7 °C y de las 2 a las 6 de la tarde se desvía de la media 0.6 °C, por lo tanto, se podría decir que en promedio a temperatura ambiente en el área de presión ambas jornadas mantienen una temperatura de 22.9 °C con una desviación de 0.7 °C. Al observar los coeficientes de variación

se puede inferir que ambos presentan una variabilidad de humedad relativa muy baja indicando también que el conjunto de datos puede ser homogéneo. En términos de la asimetría, las jornadas matutina y vespertina presentan una curva de simetría positiva, indicando que su distribución se concentra a la izquierda de su media. En cuanto la curtosis ambas jornadas presentan una curtosis positiva y menor a 3 indicando que sus distribuciones son de tipo platicúrtica, con la información de la asimetría y la curtosis se deduce que las distribuciones de las mediciones de temperatura matutina y vespertina no son normales.

Tabla XXVI. Medidas de dispersión central, variabilidad, forma y coeficiente de variación para la humedad relativa por jornadas laborales del mes de abril

Jornada	Mediana	Desviación Estándar	Mínimo	Media	Máximo	Rango	Curtosis	Asimetría	CV	N
Matutina	63.9	3.6	53.7	64.2	71.4	17.7	2.36	-0.02	6%	4080
Vespertina	64.8	3.8	49.5	63.9	71.4	21.9	2.52	-0.44	6%	4080

Fuente: elaboración propia, realizado con R.

En el caso de la humedad relativa, en la tabla XXVI, la jornada vespertina presenta la humedad relativa más baja que la matutina, entre las 8 y las 12 de la mañana la humedad relativa se desvía 3.6%HR y de las 2 a las 6 de la tarde se desvía de la media 3.8%HR, por lo tanto, se podría decir que en promedio a temperatura ambiente en el área de presión ambas jornadas mantienen una humedad relativa de 64.1%HR con una desviación de 3.7%HR.

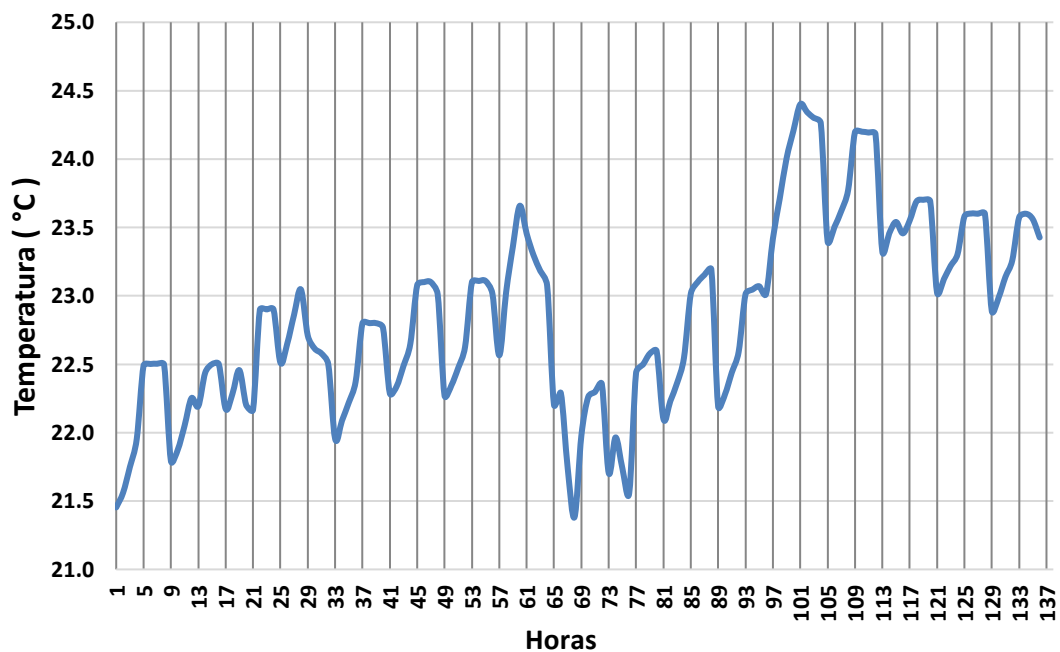
Al observar su coeficiente de variación ambas jornadas presentan una variabilidad de humedad relativa muy baja, indicando las mediciones de humedad relativa pueden ser homogénea. En términos de asimetría, la jornada matutina y

vespertina presentan asimetría negativa indicando que su distribución se concentra a la derecha de su media. En cuanto a su curtosis, la jornada matutina es menor a 3 tres, indicando que su distribución es de forma platicúrtica. Con la información de la asimetría y la curtosis se deduce que las distribuciones de las mediciones de humedad relativa matutina y vespertina no son normales.

3.4.2. Gráficas de tiempo

El comportamiento de las variables de temperatura y humedad relativa durante la aplicación de temperatura ambiente en el área de presión dieron lugar a las siguientes gráficas de tiempo:

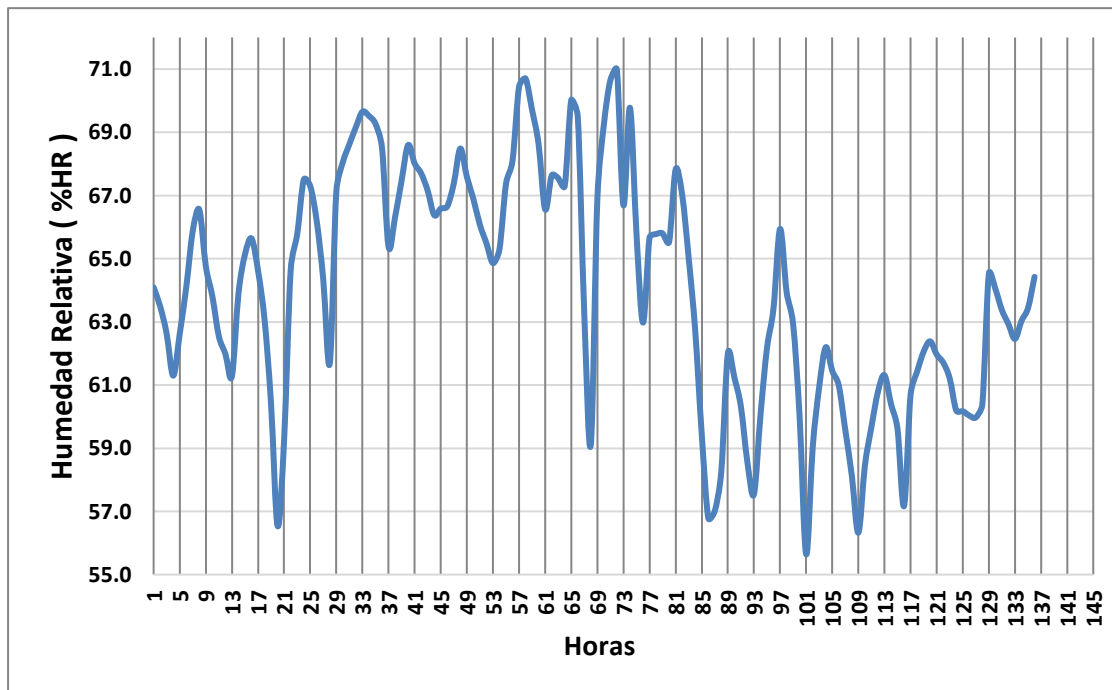
Figura 27. Mediciones de temperatura por hora del mes de abril



Fuente: elaboración propia.

La figura 27 muestra las mediciones de temperatura promediadas en horas, cada división en la gráfica representa una jornada laboral. Se puede observar un patrón y comportamiento cíclico con variación aleatoria, no existe una tendencia fija entre jornadas. Esta gráfica puede evidenciar cómo se comporta la temperatura cuando no se aplica aire acondicionado, es más inestable que cuando se aplica una temperatura de 20 °C.

Figura 28. **Mediciones de humedad relativa por hora del mes de abril**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

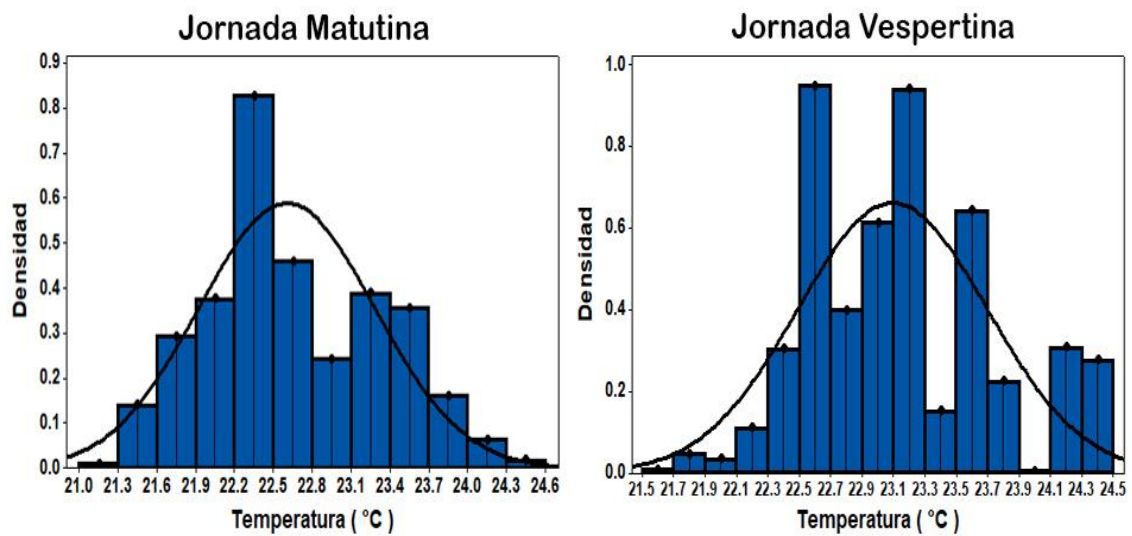
La figura 28, por otro lado, muestra las mediciones de humedad relativa promediadas en horas, de la misma forma que con la temperatura sus divisiones representan una jornada laboral. Presentan un comportamiento cíclico, con una tendencia a decrecer en la jornada matutina y decrecer en la jornada vespertina,

esto evidencia aún más el efecto que el aire acondicionado a 20 °C ocasiona al área, a temperatura ambiente a humedad relativa es más variable.

3.4.3. Histograma de frecuencias

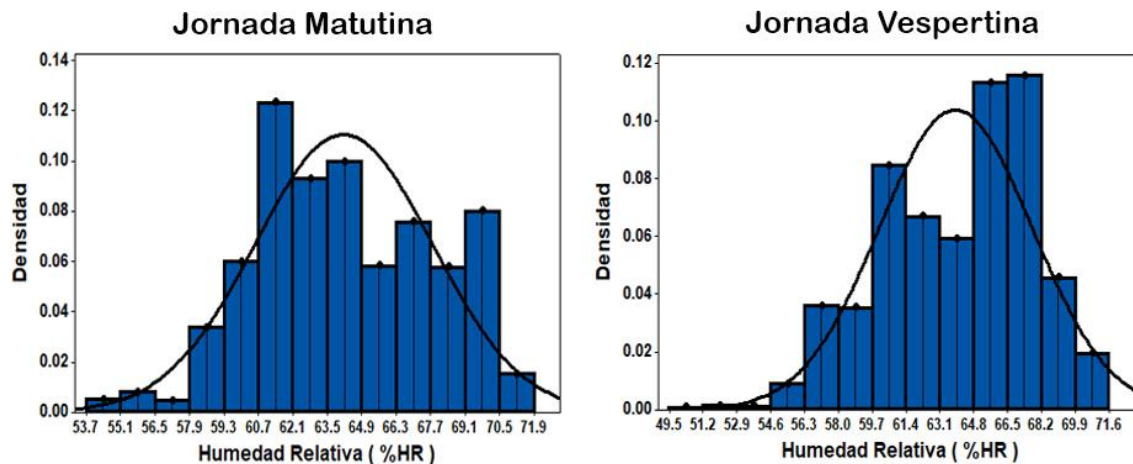
La distribución de las variables cuando existe temperatura ambiente se representa en los siguientes histogramas de frecuencias:

Figura 29. **Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de temperatura del mes de abril**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 30. **Histograma de frecuencias por jornada en mediciones de humedad relativa del mes de abril**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

La figura 29 muestra los histogramas de frecuencias en mediciones de temperatura a temperatura ambiente en el área de presión. Se puede apreciar de un modo más visual los resultados observados en la tabla XXVI, Las mediciones están sesgadas a la izquierda de su media.

Se observa que el 25 % de las mediciones de temperatura en la jornada matutina se encuentra entre 22.2 °C y 22.5 °C y el 29 % de las mediciones de temperatura en la vespertina entre 22.5 °C y 22.7 °C, estas mediciones son las que se registraron con más frecuencia entre las jornadas. Comparando la línea de distribución normal con la del histograma se puede deducir a simple vista que las distribuciones en ambas jornadas no son normales. También se puede observar la presencia de datos atípicos en la jornada vespertina entre 23.9 °C y 24.1 °C

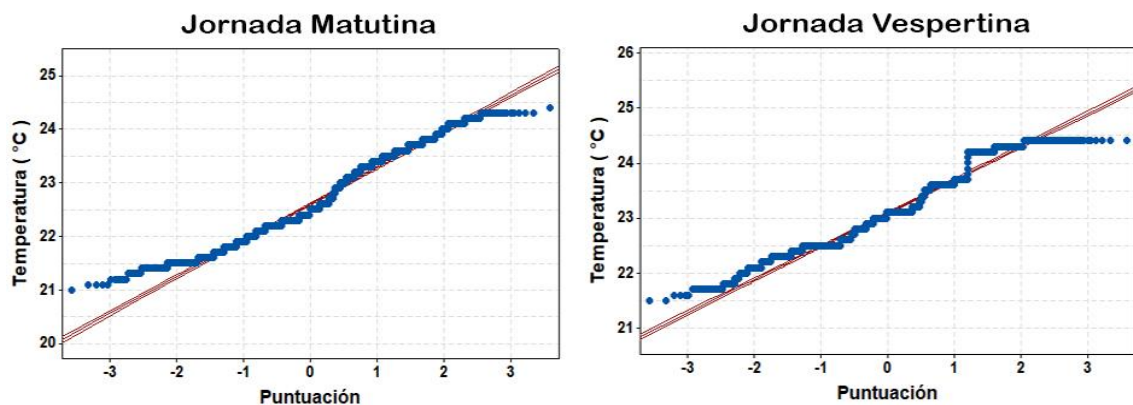
La figura 30 muestra los histogramas de frecuencias en mediciones de humedad relativa a temperatura ambiente. De igual manera que con el histograma de temperatura, se aprecia de mejor manera los resultados observados en la tabla XXVI. Las mediciones de la jornada matutina están sesgadas a la izquierda de su media y la vespertina a la derecha.

Se observa que el 17 % de las mediciones de humedad relativa en la jornada matutina se encuentra entre 60.7%HR y 62.1%HR y el 20 % de las mediciones de humedad relativa en la vespertina entre 66.5%HR y 68.2%HR, estas mediciones son las que se registraron con más frecuencia entre las jornadas. Comparando la línea de distribución normal con la del histograma se puede deducir a simple vista que las distribuciones en ambas jornadas no son normales.

3.4.4. Gráficos de probabilidad normal (Q-QPLOT)

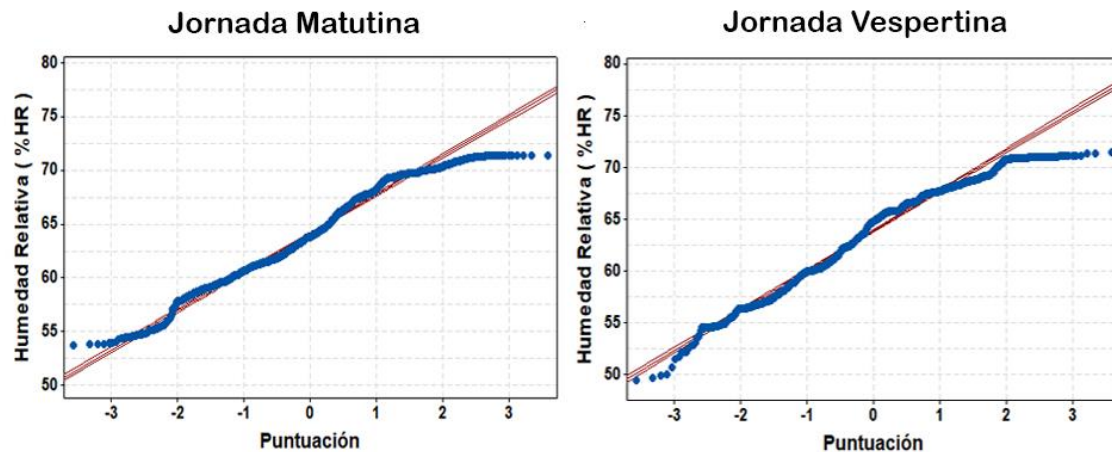
Al efectuar los gráficos de probabilidad normal se obtuvo lo siguiente:

Figura 31. Q-Q Plot de mediciones de temperatura del mes de abril



Fuente: elaboración propia, realizada con R.

Figura 32. Q-Q Plot de mediciones de humedad relativa del mes de abril



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Las figuras 31 y 32, muestran de una forma visual que, tanto las mediciones de temperatura como humedad relativa, en ambas jornadas no se ajustan a la recta, indicando que la distribución en las mediciones no es normal.

3.4.5. Pruebas de normalidad Lilliefors

Para inferir si existe normalidad en las distribuciones de temperatura y humedad relativa cuando se realizan mediciones en temperatura ambiente en ambas jornadas laborales se utilizó la prueba Lilliefors.

Tabla XXVII. Prueba Lilliefors para mediciones de temperatura y humedad relativa en las jornadas laborales del mes de abril

Medición	Jornada	α	H0	H1	D	p-valor	Decisión
Temperatura	Matutina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1150	2.2E-16	No es normal
	Vespertina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1376	2.2E-16	No es normal
Humedad Relativa	Matutina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.06026	2.2E-16	No es normal
	Vespertina	0.05	Distribución normal	Distribución no normal	0.1047	2.2E-16	No es normal

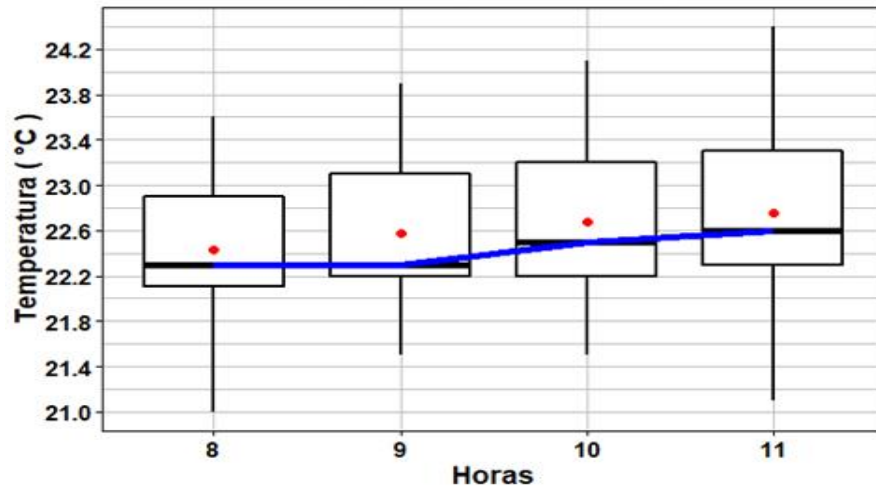
Fuente: elaboración propia.

Para determinar si existe normalidad en las distribuciones de temperatura y humedad relativa en ambas jornadas laborales se utilizó la prueba Lilliefors, la tabla XVIII muestran el estadístico y el criterio de decisión, por medio del p-valor se puede inferir con un 95 % de confianza que las distribuciones de humedad relativa y temperatura de las jornadas matutina y vespertina no son normales, concretando lo que se vio en la asimetría, curtosis y gráficas de probabilidad normal.

3.4.6. Gráficos de cajas (Boxplot)

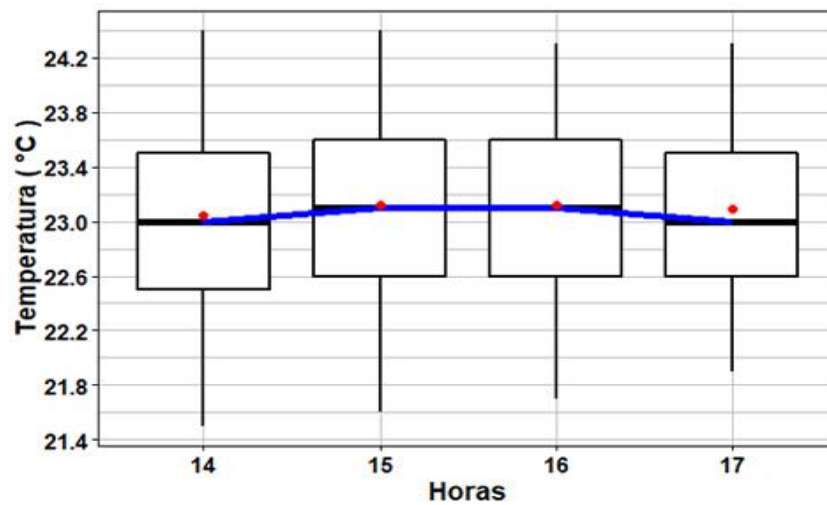
Para visualizar la distribución de las variables en las distintas jornadas laborales se realizaron los siguientes gráficos de caja.

Figura 33. **Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada matutina del mes de abril**



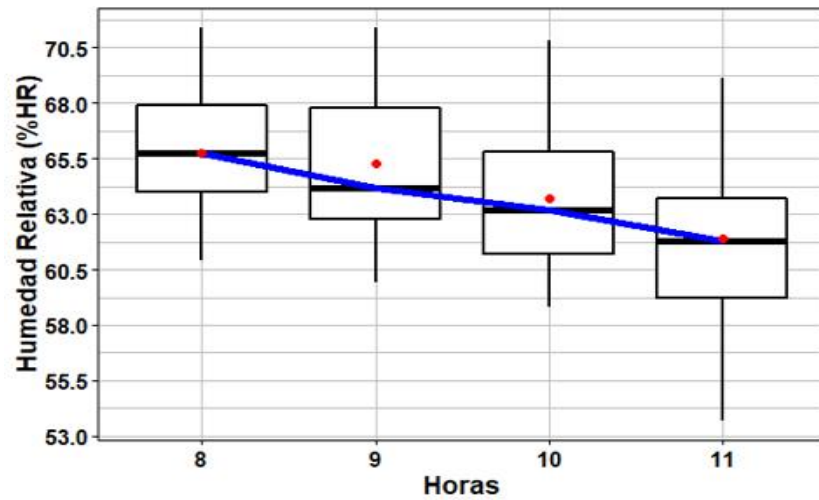
Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 34. **Boxplot de mediciones de temperatura por hora en la jornada vespertina del mes de abril**



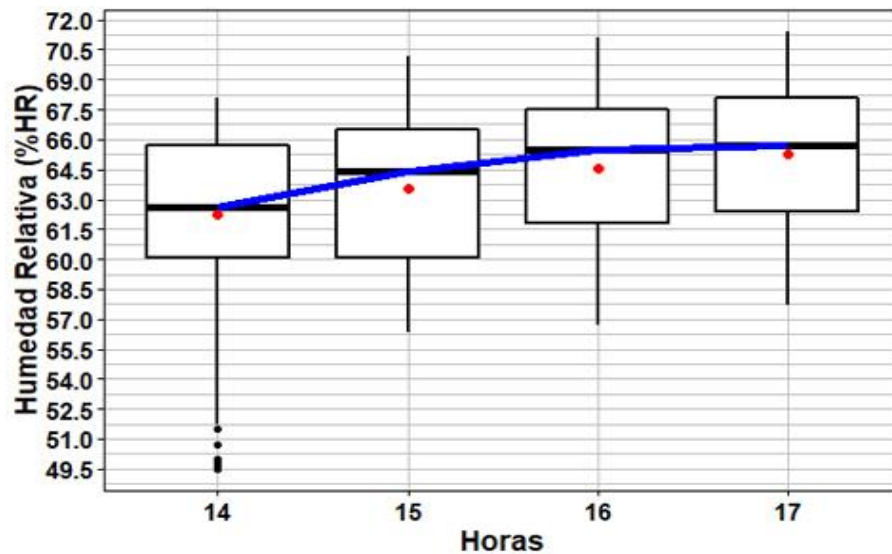
Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 35. **Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada matutina del mes de abril**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Figura 36. **Boxplot de mediciones de humedad relativa por hora en la jornada vespertina del mes**



Fuente: elaboración propia, realizado con R.

Las figuras 33 y 34 muestran los gráficos de cajas para las mediciones de temperatura en las jornadas matutina y vespertinas clasificadas en horas. En la figura 33 se puede observar que para la jornada matutina las medias de temperatura son diferentes para cada hora. La mediana para cada hora de la jornada matutina crece $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. En todas las horas se aprecia que sus distribuciones son asimétricas a la izquierda. De las 4 horas de la jornada se aprecia que a las 8 de la mañana la temperatura tiende a variar menos.

En la figura 34, se observa que en la jornada vespertina las medias son diferentes, la mediana tiende a ser estable de las 3 a las 4 de la tarde y tiende a decrecer al finalizar la jornada.

Las figuras 35 y 36 muestran los gráficos de cajas para las mediciones de humedad relativa en las jornadas matutina y vespertinas clasificadas en horas. En la figura 35 se puede observar que para la jornada matutina las medias de humedad relativa son diferentes para cada hora. La mediana para cada hora de la jornada matutina es decreciente. Las 8 y 10 de la mañana presentan aparentemente distribuciones simétricas, y las 9 presenta una distribución asimétrica a la izquierda mientras que las 11 es asimétrica a la derecha. De las 4 horas de la jornada matutina se aprecia a las 8 de la mañana la humedad relativa tiende a variar poco.

Por otro lado, la figura 36 muestra la jornada vespertina y es notable que las medias son diferentes, la mediana tiende a crecer en el tiempo. Se aprecia que las distribuciones de las 8 de la mañana parecen ser asimétrica a la izquierda, mientras que de las 3 a las 5 presentan ser asimétricas a la derecha. Se pueden observar valores atípicos a las 2 de la tarde y que la humedad relativa es menos variable.

3.4.7. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

Dado que las distribuciones de las mediciones no son de tipo normal, se realizaron pruebas de Levene por medio de la mediana, donde no es influida por valores atípicos.

Tabla XXVIII. **Prueba de Levene en mediciones de temperatura y humedad relativa en jornadas laborales del mes de marzo**

Medición	Jornada	α	H0	H1	F	p-valor	Decisión
Temperatura	Matutina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	27.19	2.2E-16	No Homogéneo
	Vespertina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	16.40	1.4E-10	No Homogéneo
Humedad Relativa	Matutina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	9.93	1.6E-6	No Homogéneo
	Vespertina	0.05	Homogéneo	No Homogéneo	8.98	6.3E-6	No Homogéneo

Fuente: elaboración propia, realizado con R.

En la tabla XXVIII se pueden apreciar los resultados de la prueba de Levene aplicados a las mediciones de humedad relativa y temperatura. Dado que las distribuciones de estas mediciones no son de tipo normal, esta prueba se realizó por medio de la mediana, donde no es influida por valores atípicos.

Con un nivel de confianza del 95 % se puede inferir que las distribuciones de temperatura y humedad relativa en ambas jornadas no son homogéneas, esto significaría al mismo tiempo que al menos una de las medianas entre las horas

es distintas. Las varianzas no homogéneas de temperatura y humedad relativa empiezan a indicar que la temperatura ambiente en el área de trabajo es muy variable.

3.4.8. Prueba de la mediana para comparación de jornadas en mediciones

Para comparar las mediciones de las variables obtenidas entre la mañana y la tarde se utilizó la prueba de la mediana.

Tabla XXIX. **Prueba de la mediana entre jornadas laborales en mediciones de temperatura y humedad relativa de abril**

Medición	α	H0	H1	χ^2	$\chi^2_{critico}$	Decisión
Temperatura	0.05	Las medianas son iguales	Las medianas son distintas	0.56	3.84	Las medianas son iguales
Humedad Relativa	0.05	Las medianas son iguales	Las medianas son distintas	0.13	3.84	Las medianas son iguales

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIX con un α del 95 % se puede inferir que las medianas de temperatura de la jornada matutina y la jornada vespertina son iguales, de la misma manera las medianas de humedad relativa de la jornada matutina y vespertina son iguales.

3.4.9. Tendencias de temperatura

Para comprobar las distintas tendencias de temperatura en el área se utilizó el coeficiente de Kendall entre la variable analizada y el tiempo, obteniendo lo siguiente:

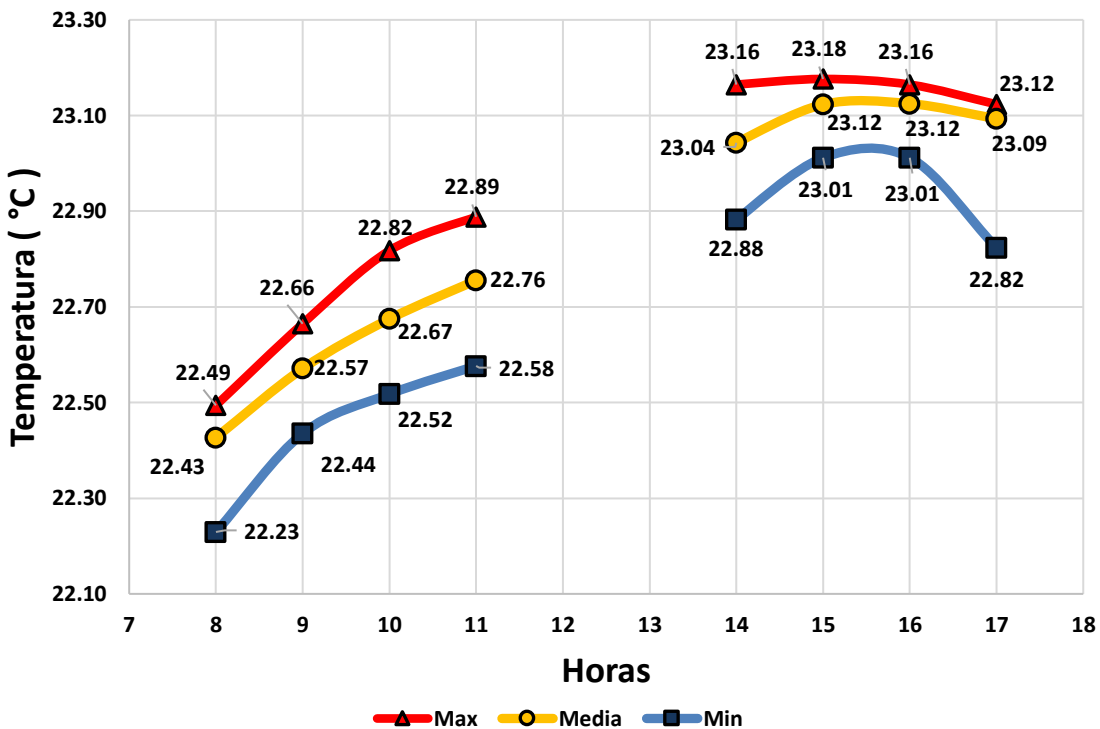
Tabla XXX. **Prueba de correlación de Kendall entre temperatura y tiempo**

Temperatura	Jornada	α	H_0	H_1	p-valor	τ	Decisión	Tendencia
Media	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.72	0.18	No existe correlación	Creciente débil
Máxima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.28	-0.55	No existe correlación	Decreciente moderado
Mínima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.72	-0.18	No existe correlación	Decreciente débil

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXX se puede apreciar los resultados de aplicar la prueba de correlación de Kendall entre las horas de las jornadas y las temperaturas máximas, mínimas y promedio, los resultados con un 95 % de confianza indican que no existe correlación entre las temperaturas registradas y las horas que componen a cada jornada, indicando con esto que las mediciones de temperaturas son independientes de la hora de cada jornada, esta independencia refleja que las tendencias no se comporten linealmente.

Figura 37. Gráfica de tendencias de humedad relativa promedio máximas, promedio mínimas y media



Fuente: elaboración propia

Comparando los resultados de la tabla XXX con la figura 37, indican que la temperatura promedio, promedio máximo y promedio mínimo en la jornada matutina presentan una tendencia creciente, el valor de τ indica una fuerte tendencia creciente. Por otro lado, en la jornada vespertina, la temperatura promedio presenta una tendencia creciente débil, el promedio máximo presenta una decreciente moderado y el promedio mínimo una decreciente débil.

3.4.10. Tendencias de humedad relativa

Para comprobar las distintas tendencias de la humedad relativa, se utilizó el coeficiente de Kendall entre la variable analizada y el tiempo, obteniendo lo siguiente:

Tabla XXXI. **Prueba de correlación de Kendall entre humedad relativa y tiempo**

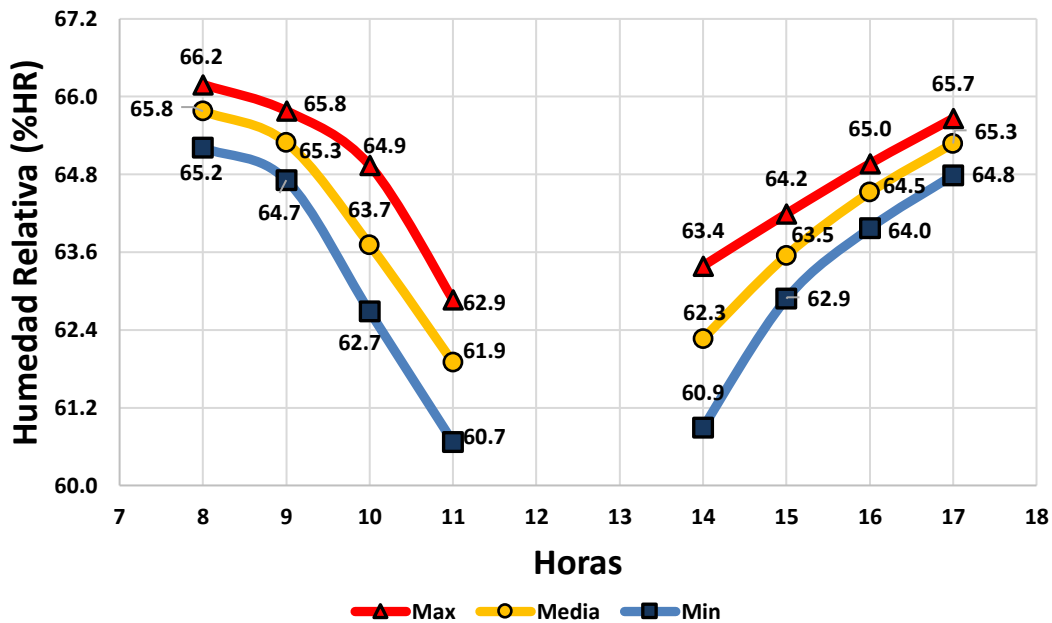
Temperatura	Jornada	α	H_0	H_1	p-valor	τ	Decisión	Tendencia
Media	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
Máxima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	1	No existe correlación	Creciente fuerte
Mínima	Matutina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.083	-1	No existe correlación	Decreciente fuerte
	Vespertina	0.05	$\tau = 0$	$\tau \neq 0$	0.04	1	Existe correlación	Creciente fuerte

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXI se pueden apreciar los resultados de aplicar la prueba de correlación de Kendall entre las horas de las jornadas y las humedades relativas promedio máximas, promedio mínimas y promedio, los resultados con un 95 % de confianza indican que no existe correlación entre las temperaturas registradas y las horas que componen a cada jornada, indicando con esto que las mediciones

de humedad relativa son independientes de la hora de cada jornada, esta independencia refleja que las tendencias no se comporten linealmente.

Figura 38. **Gráfica de tendencias de humedad relativa promedio, promedio mínimas y media**



Fuente: elaboración propia.

Comparando estos resultados con la figura 38, se puede observar que la humedad relativa promedio, promedio máximo y promedio mínimo en la jornada matutina presentan una tendencia decreciente, el valor de τ indica una fuerte tendencia decreciente. Por otro lado, en la jornada vespertina, la humedad relativa promedio, promedio máximo y mínimo presentan una tendencia creciente fuerte, donde los mínimos promedio poseen correlación indicando que las humedades relativas mínimas promedio son dependientes de la hora en la jornada vespertina.

Objetivo 3. Analizar la calidad de las mediciones de temperatura y humedad relativa en el área de presión a través del tiempo por medio de gráficos de control para identificar la variabilidad de la temperatura y humedad relativa a través del tiempo.

Las mediciones de temperatura y humedad relativa se analizaron por medio de gráficos de control para variables, específicamente las cartas de control $\bar{X} - S$. Estas cartas son basadas en función de la distribución normal, y aunque existan distribuciones no normales, la propiedad del límite central al momento de analizar los subgrupos permite que la no normalidad no sea un problema.

3.5. Gráficas de Control con aire acondicionado a 20 °C

Utilizando las mediciones obtenidas en el área de presión a una temperatura de 20 °C y las ecuaciones correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados:

3.5.1. Límites de control preliminares

Para realizar los gráficos de control preliminares se calcularon los límites de control central, inferior y superior para cada variable de temperatura y humedad relativa

Tabla XXXII. Límites de control $\bar{X}$ – S preliminares

Medición	Semana	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	19.40	19.54	19.69
	2	19.50	19.65	19.79
	3	19.31	19.46	19.60
Humedad Relativa	1	55.67	57.24	58.81
	2	55.59	57.45	59.30
	3	59.84	61.70	63.56

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Límites de control S preliminares

Medición	Semana	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	0	0.10	0.21
	2	0	0.10	0.21
	3	0	0.10	0.21
Humedad Relativa	1	0	1.10	2.30
	2	0	1.30	2.72
	3	0	1.30	2.72

Fuente: elaboración propia.

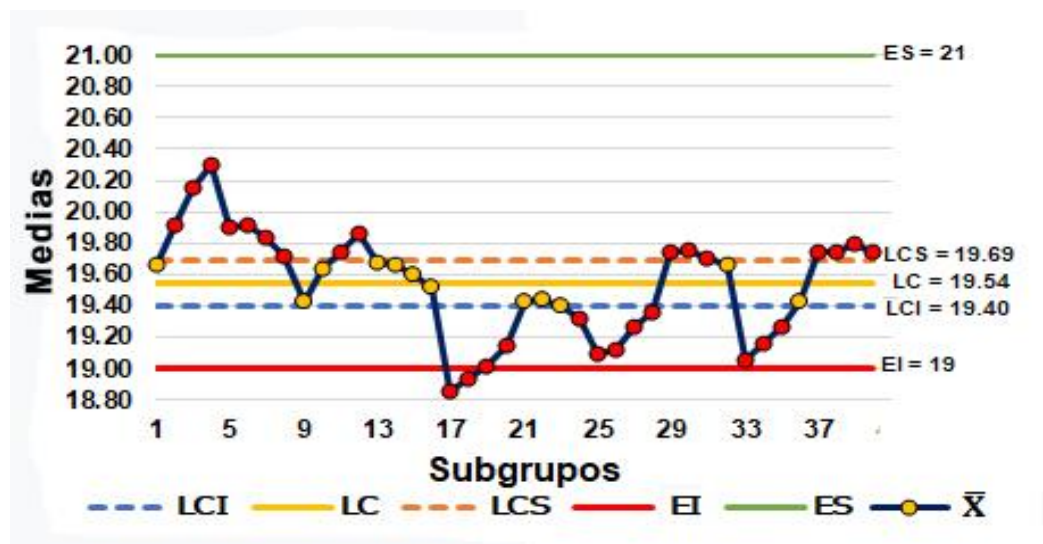
La tabla XXXII muestran los límites de control preliminares para utilizar gráficas de control de medias y desviación estándar, en la temperatura los tres límites fueron variables las 3 semanas, siendo la semana 1 la que presentan los límites altos y la 3 sus límites más bajos, en la parte de humedad relativa ocurre lo contrario, la semana 1 posee sus límites más bajos y la semana 3 el más alto.

La tabla XXXIII también muestra los límites preliminares para utilizar gráficos de control de desviación estándar, en temperatura los límites se mantuvieron en las 3 semanas, para la humedad relativa se mantuvieron estables las semanas 2 y 3, mientras que la semana uno presenta los límites más bajos, indicando la probabilidad de que la humedad relativa varió en menor media en esa semana.

3.5.2. Gráficas de control $\bar{X} - S$ de temperatura

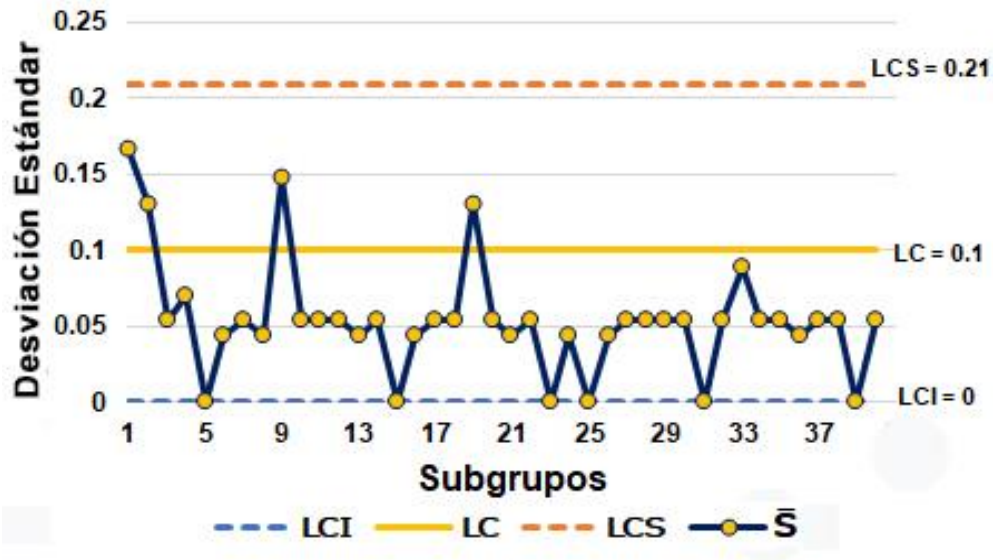
Con los límites de control $\bar{X} - S$, y las mediciones realizadas, se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 39. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 1



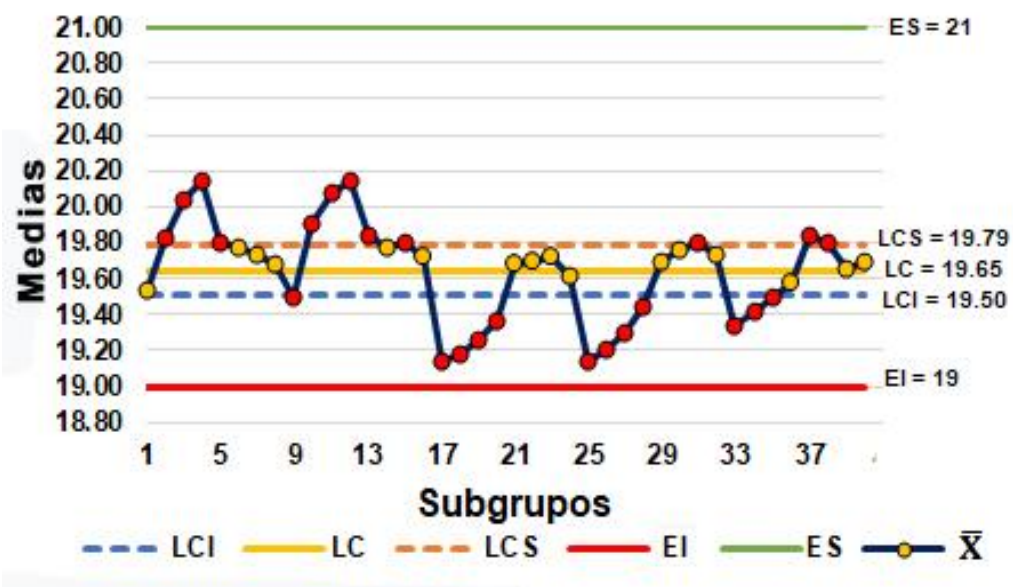
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Gráfica de control S de temperatura de la semana 1



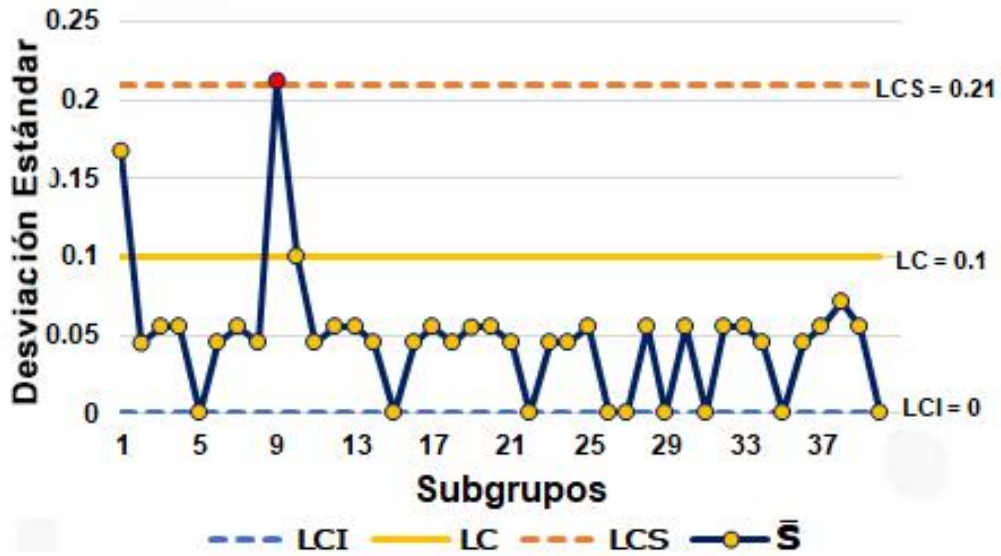
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 2



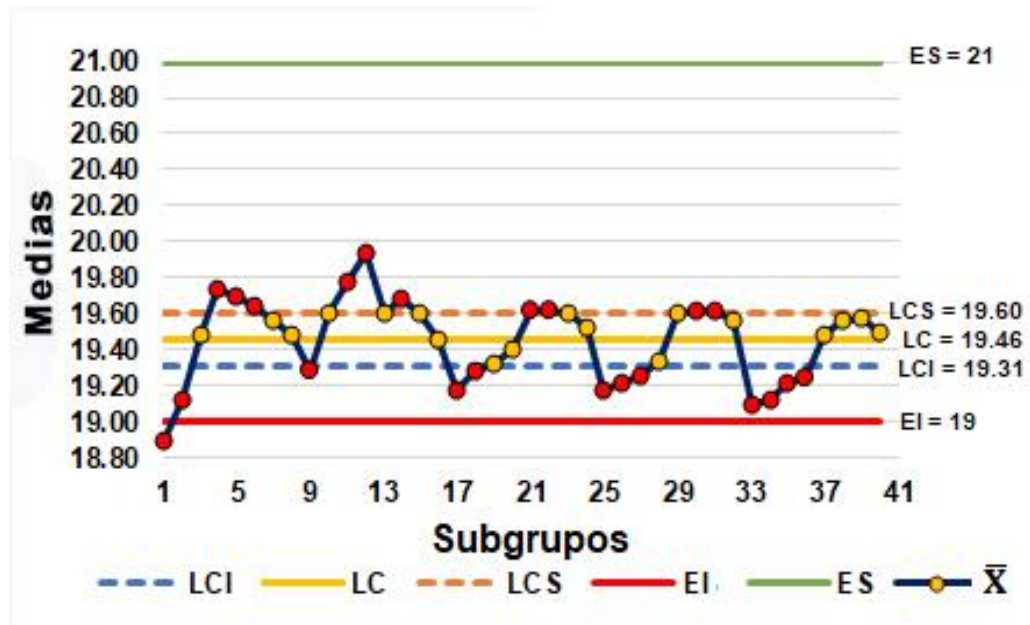
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Gráfica de control S de temperatura de la semana 2



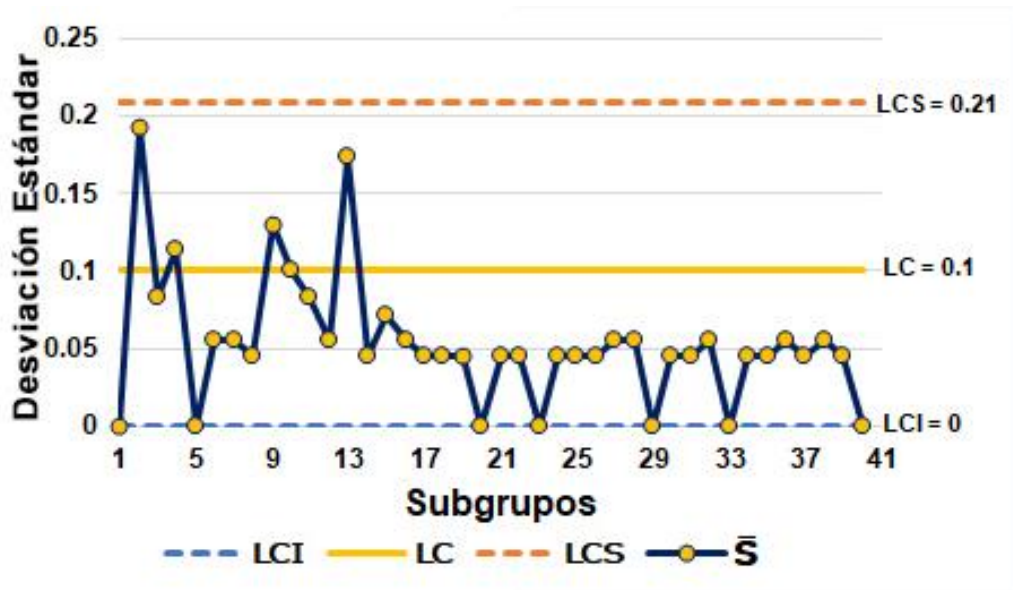
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Gráfica de control S de temperatura de la semana 3**



Fuente: elaboración propia.

Las figuras 39, 40, 41, 42, 43 y 44 muestran las gráficas de control de temperatura cuando se utiliza aire acondicionado a 20 °C, se puede notar el comportamiento de las mediciones semana a semana, una hora es representada por un subgrupo, un día de la semana es representado cada 8 subgrupos, del subgrupo 1 al 8 representa el lunes, el martes del 9 al 16, el miércoles del 17 al 24, el jueves de 25 al 32 y el viernes del 33 al 40.

En la figura 39 la primera semana posee una tendencia variable con ciclos recurrentes, la temperatura tiende a crecer al inicio de cada día de la semana. La figura 40 muestra una gráfica de control de desviación estándar, en ella se observa que la mayoría del tiempo existe una desviación en las mediciones por debajo de 0.1 °C, se nota que la variación es constante cada hora a excepción del lunes que fue el día con mayor variación.

Las figuras 41 y 43, representan las gráficas de control $\bar{X} - S$ de temperatura en las semanas dos y tres, en ellas se observa el mismo patrón que la semana 1, una tendencia variable con ciclos recurrentes, la frecuencia del ciclo sigue repitiéndose al inicio de cada día, en estas dos semanas el número de puntos dentro de los límites de control va aumentando conforme cada semana.

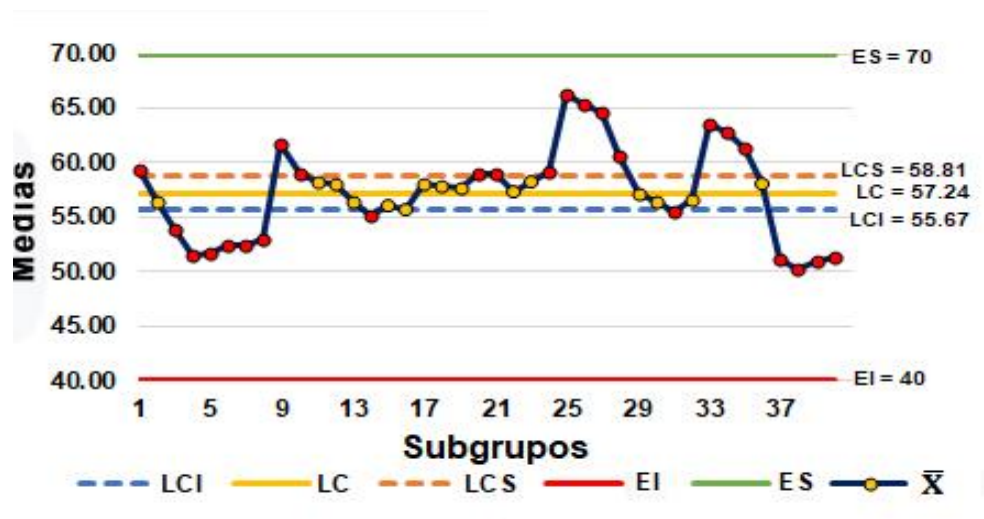
En las figuras 42 y 44, las gráficas de control de desviación estándar presentaron subgrupos que se desvían aproximadamente a 0.1 °C, las horas siguen manteniendo su variación, pero lo diferente de estas semanas es que las variaciones se presentaron en los lunes y martes.

Las mediciones de temperatura se mantuvieron en la mayoría del tiempo dentro los límites de especificación en la semana 2, a excepción de la semana 1 y 3 donde presentaron puntos afuera del límite de especificación inferior.

3.5.3. Gráficas de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa

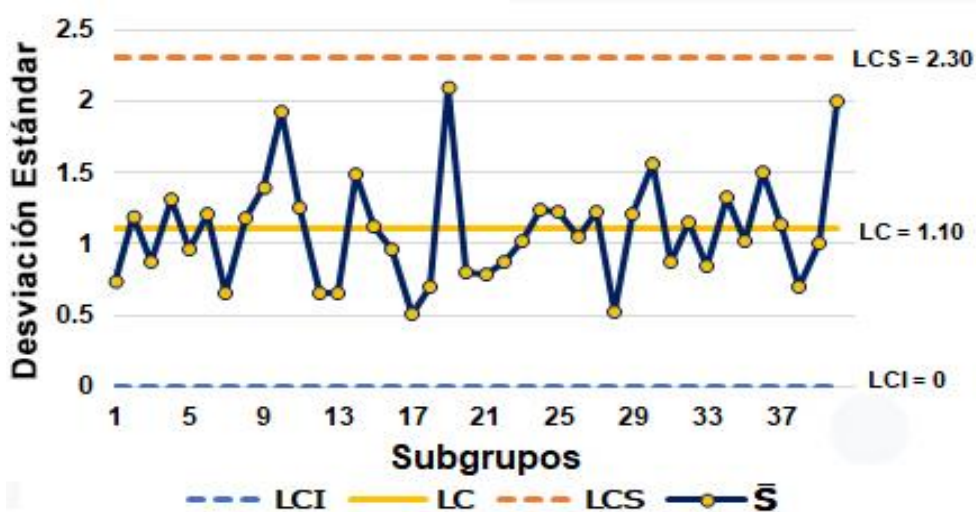
Con los límites de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa y las mediciones realizadas, se obtuvieron las siguientes gráficas de control de las 3 semanas analizadas.

Figura 45. Gráfica 1 de Control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 1



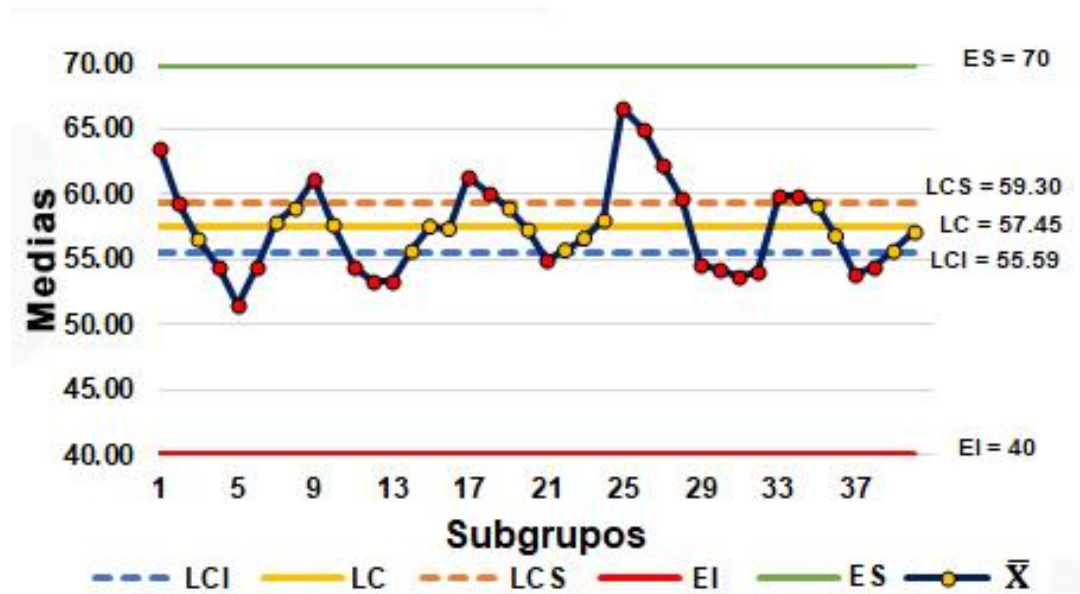
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Gráfica 2 de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 1



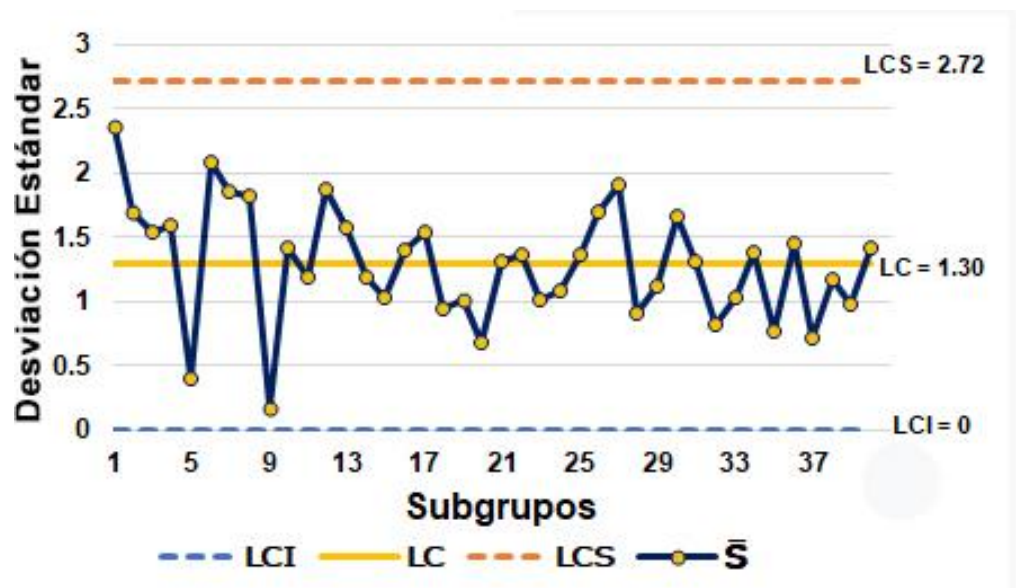
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 2



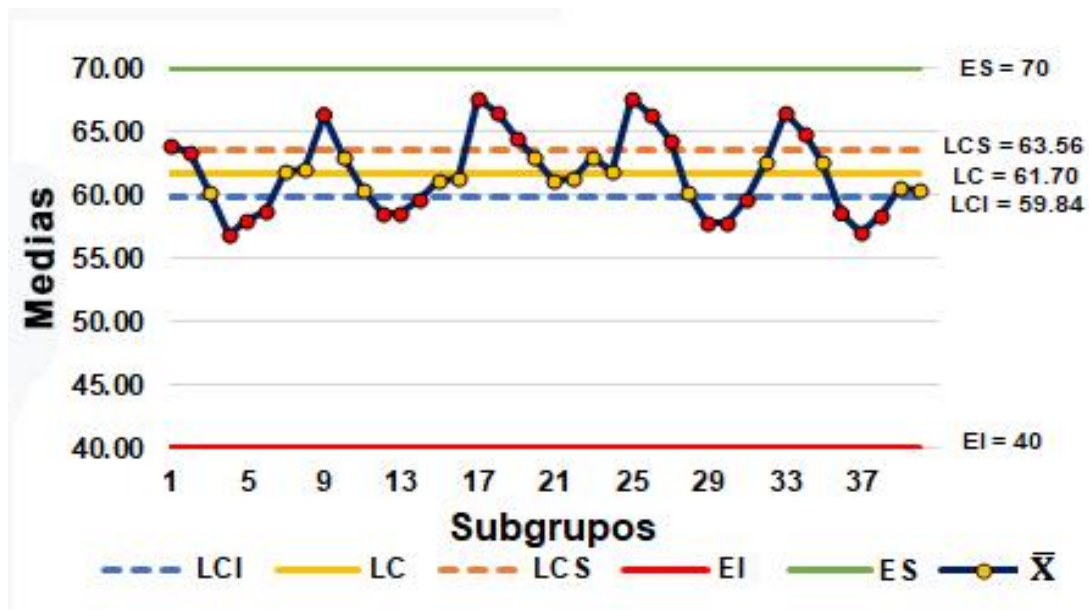
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 2



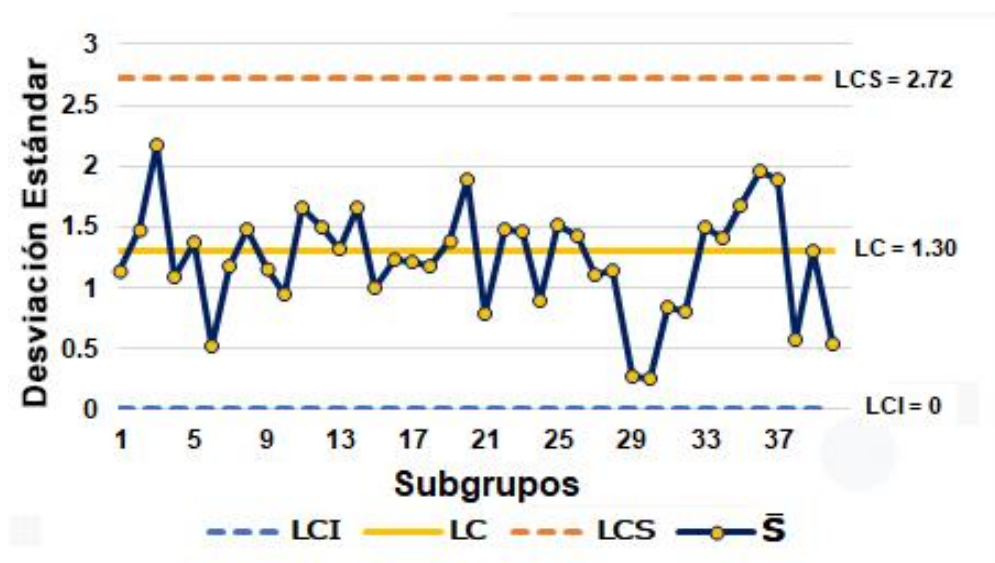
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Gráfica 1 de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Gráfica 2 de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 3**



Fuente: elaboración propia.

Las figuras 45, 46, 47, 48, 49 y 50 muestran las gráficas de control de medias y desviación estándar de las mediciones de humedad relativa cuando se utiliza aire acondicionado a 20 °C durante tres semanas, las divisiones en cada gráfica representada por los subgrupos se trabajan de la misma manera que las de temperatura.

La figura 45 muestra la humedad relativa en la semana 1, se puede notar que posee una tendencia variable con ciclos recurrentes, la humedad relativa tiende a decrecer al inicio de cada día de la semana. Se puede observar un comportamiento cíclico.

La figura 46, gráfica de control de desviación estándar, muestra una variabilidad entre mediciones de subgrupos entre 0 y 2.30%HR.

La figura 47 y 49 presentan las gráficas de control de medias y desviación estándar en las semanas dos y tres para mediciones de humedad relativa, en ellas se observa el mismo patrón que la semana 1, una tendencia variable con ciclos recurrentes, la frecuencia del ciclo sigue repitiéndose al inicio de cada día, en estas dos semanas se observa que el número de puntos dentro de los límites va aumentando conforme cada semana.

En las figuras 48 y 50, las gráficas de control de desviación estándar presentaron subgrupos que se desvían aproximadamente entre 0 y 2.72%HR indicando variabilidad entre subgrupos, las horas siguen manteniendo su variación. Algo común y observable en las 3 semanas es que las mediciones de humedad relativa se mantuvieron dentro los límites de especificación inferior y superior.

3.5.4. Índice de inestabilidad

Con los puntos especiales que se obtuvieron en las gráficas de control se obtuvieron los siguientes índices de inestabilidad:

Tabla XXXIV. Índice de inestabilidad y puntos especiales del mes de marzo

Medición	Semana	Puntos no especiales	Puntos especiales	Índice de Inestabilidad %
Temperatura	1	12	28	70
	2	16	24	60
	3	18	22	55
Humedad Relativa	1	15	25	63
	2	16	24	60
	3	18	22	55

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXIV muestra, en la medición de temperatura y humedad relativa, que la semana con más puntos dentro de los límites de control fue la semana 3, donde hay una mejora en el proceso de medición de las variables.

3.5.5. Límites de control $\bar{X} - S$ en control estadístico

En control estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XXXV. Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares y en control estadístico

Medición	Semana	Preliminares			En control Estadístico		
		LCI	LC	LCS	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	19.40	19.54	19.69	19.40	19.54	19.68
	2	19.50	19.65	19.79	19.56	19.70	19.85
	3	19.31	19.46	19.60	19.39	19.54	19.68
Humedad Relativa	1	55.67	57.24	58.81	55.67	57.24	58.81
	2	55.59	57.45	59.30	55.60	57.45	59.31
	3	59.84	61.70	63.56	59.82	61.67	63.53

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Límites de control S preliminares y en control estadístico

Medición	Semana	Preliminares			En control Estadístico		
		LCI	LC	LCS	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	0	0.10	0.21	0	0.11	0.21
	2	0	0.10	0.21	0	0.11	0.21
	3	0	0.10	0.21	0	0.11	0.21
Humedad Relativa	1	0	1.10	2.30	0	1.17	2.30
	2	0	1.30	2.72	0	1.38	2.72
	3	0	1.30	2.72	0	1.38	2.72

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXV muestra el cambio en los límites en control estadístico, en las mediciones de temperatura los límites se expanden un poco, siendo similares en la semana 1 y 3, siendo la semana 2 el que presenta mayor valor. En humedad relativa los límites se mantienen relativamente igual a excepción de la semana 3.

En la tabla XXXVI se muestran los límites en control estadístico de desviaciones estándar comparados con sus límites preliminares, se nota que para la temperatura los límites de control no cambian, para la humedad relativa se observa que el límite central aumenta con respecto a su límite preliminar, los límites de la semana 2 y 3 se mantienen similares.

3.6. Gráficas de control a temperatura ambiente

Utilizando las mediciones obtenidas en el área de presión a una temperatura ambiente y las ecuaciones correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados:

3.6.1. Límites de control preliminares

Para realizar los gráficos de control preliminares se calcularon los límites de control central, inferior y superior para cada variable de temperatura y humedad relativa

Tabla XXXVII. Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares

Medición	Semana	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	22.49	22.63	22.77
	2	22.42	22.56	22.70
	3	23.58	23.64	23.70
Humedad Relativa	1	65.50	66.21	66.93
	2	64.06	64.92	65.77
	3	60.55	61.12	61.69

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. Límites de control S preliminares

Medición	Semana	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	0	0.10	0.21
	2	0	0.10	0.21
	3	0	0.04	0.09
Humedad Relativa	1	0	0.50	1.04
	2	0	0.60	1.25
	3	0	0.40	0.84

Fuente: elaboración propia.

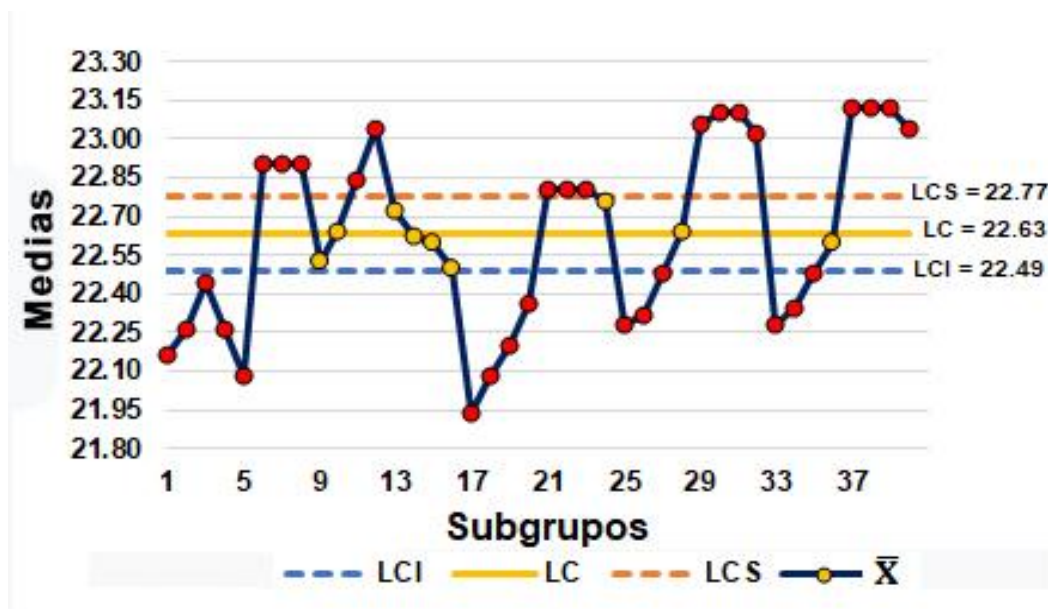
La tabla XXXVII muestran los límites preliminares La variabilidad en los límites a través de las semanas tiende a crecer, siendo la semana 3 la que presenta los límites más altos, en la parte de humedad relativa es inverso al de la temperatura, tiene tendencia a decrecer, siendo la semana 3 el que presenta los límites de control más bajos.

La tabla XXXVIII muestran los límites preliminares, en temperatura se nota que los límites se mantuvieron en las 2 semanas y disminuyeron en la última, para la humedad relativa los límites de control tienden a decrecer, la semana dos presenta altos límites de control.

3.6.2. Gráficas de control $\bar{X} - S$ de temperatura

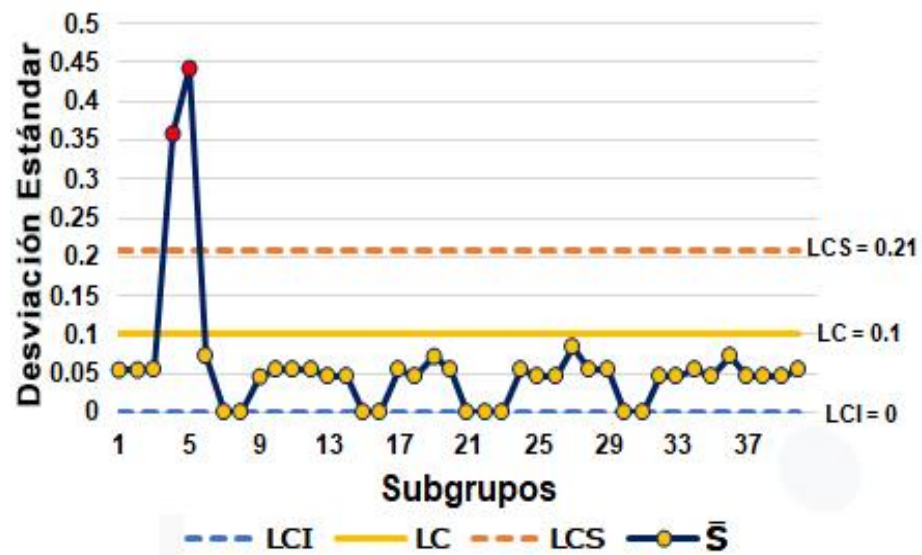
Con los límites de control $\bar{X} - S$, y las mediciones realizadas, se obtuvieron las siguientes gráficas:

Figura 51. Gráfica de control $\bar{X}$ -S de temperatura de la semana 1



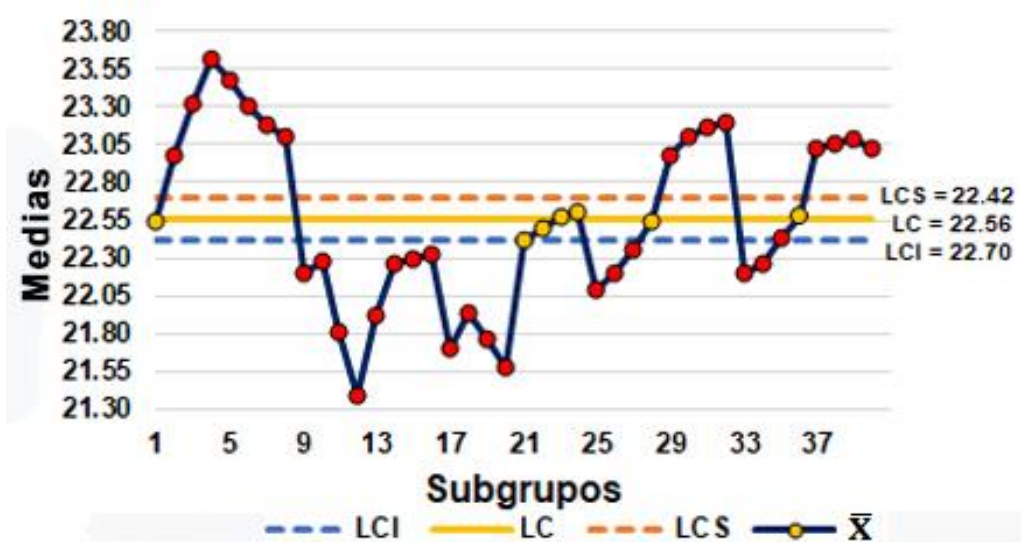
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Gráfica de control S de temperatura de la semana 1



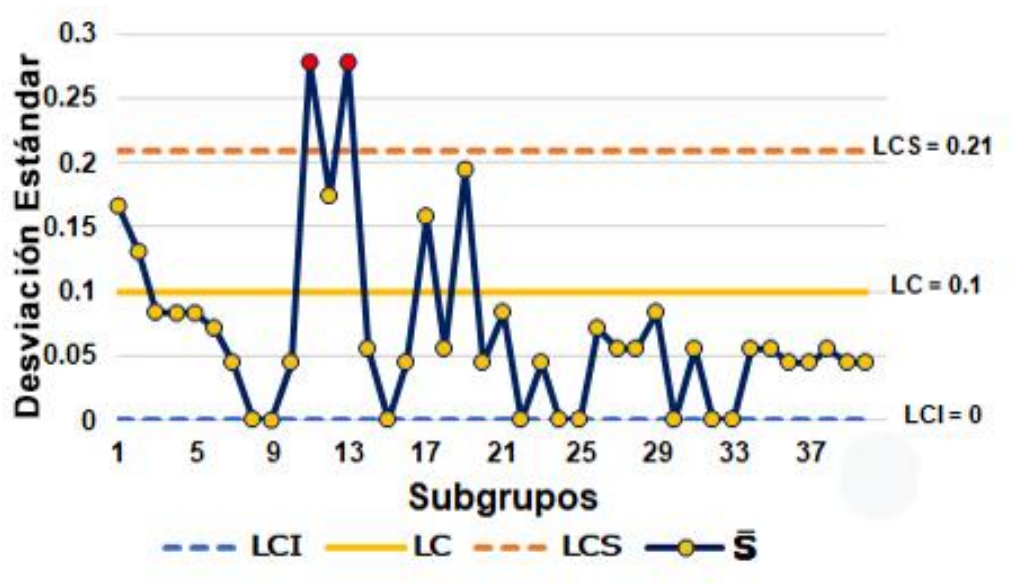
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 2



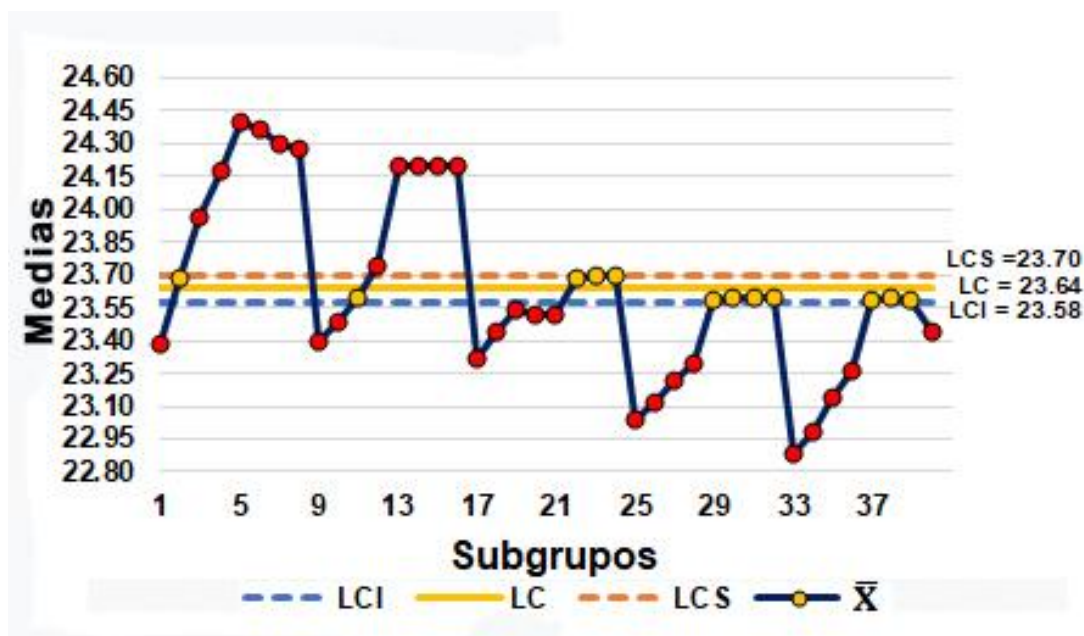
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Gráfica de control S de temperatura de la semana 2



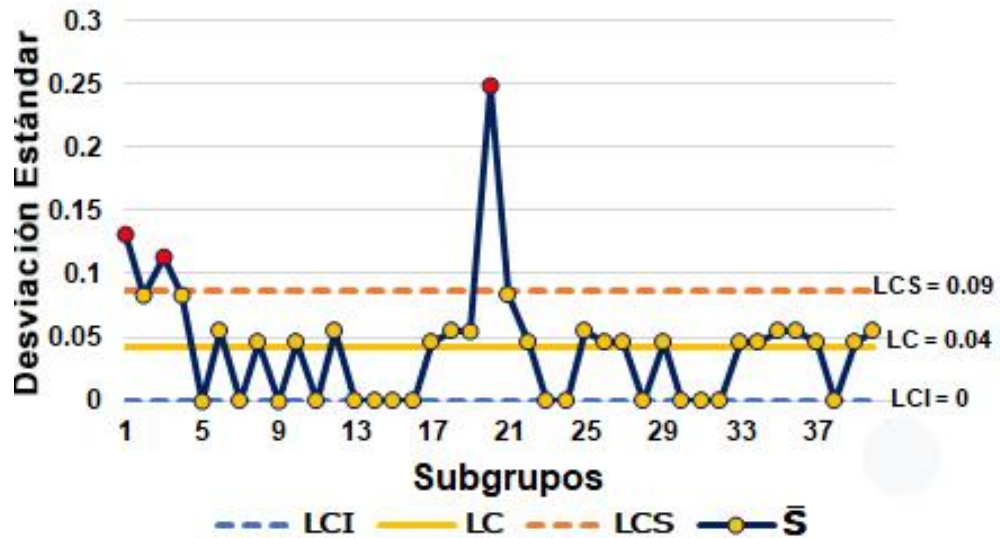
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de temperatura de la semana 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Gráfica de control S de temperatura de la semana 3**



Fuente: elaboración propia.

Las figuras 51, 52, 53, 54, 55 y 56 muestran las gráficas de control de temperatura cuando existe temperatura ambiente semana a semana.

En la figura 51 la temperatura en la primera semana posee una tendencia variable con ciclos recurrentes.

La figura 52 muestra la gráfica de control de desviación estándar, la mayoría del tiempo existe una desviación en las mediciones por debajo de 0.1 °C, se nota que la variación es constante cada hora a excepción del lunes que fue el día con mayor variación.

Las figuras 53 y 55, representan las gráficas de control de medias y desviación estándar de temperatura en las semanas dos y tres, en ambas gráficas se observa aproximadamente el mismo comportamiento que influencia en su variabilidad entre martes y miércoles, ambas gráficas presentan una

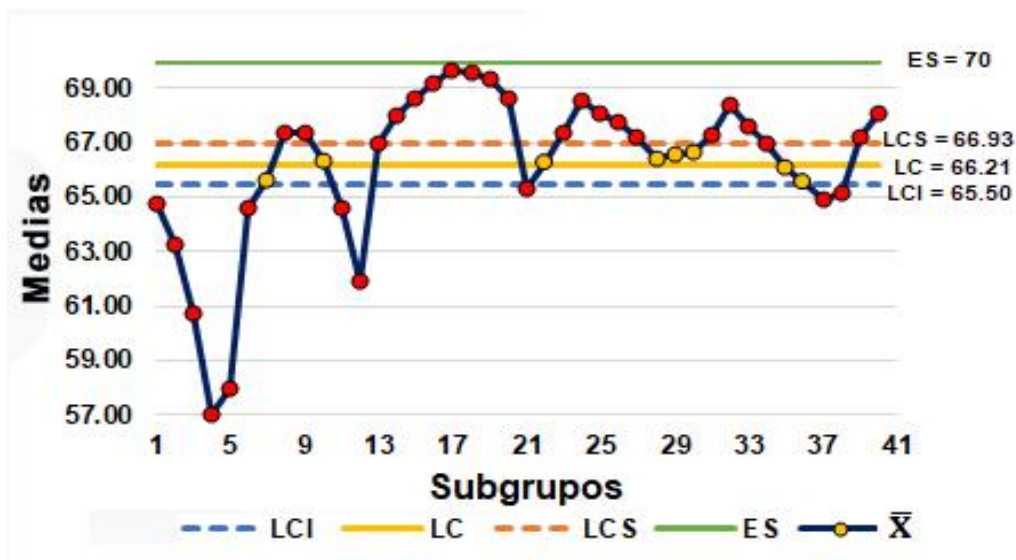
tendencia variable con ciclos recurrentes, la frecuencia del ciclo sigue repitiéndose al inicio de cada día, en estas dos semanas el número de puntos dentro de los límites de control van aumentando conforme cada semana.

Las figuras 54 y 56 presentan las gráficas de desviación estándar, donde es notable que los subgrupos se desvían de diferente manera, siendo la semana 2 la que menos desviación presenta, la segunda semana presenta comportamiento variable el martes mientras que la semana 3 presenta unas variaciones en lunes y miércoles. Algo común y observable en las 3 semanas es que las mediciones de temperatura están fuera de los límites de especificación.

3.6.3. Gráficas de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa

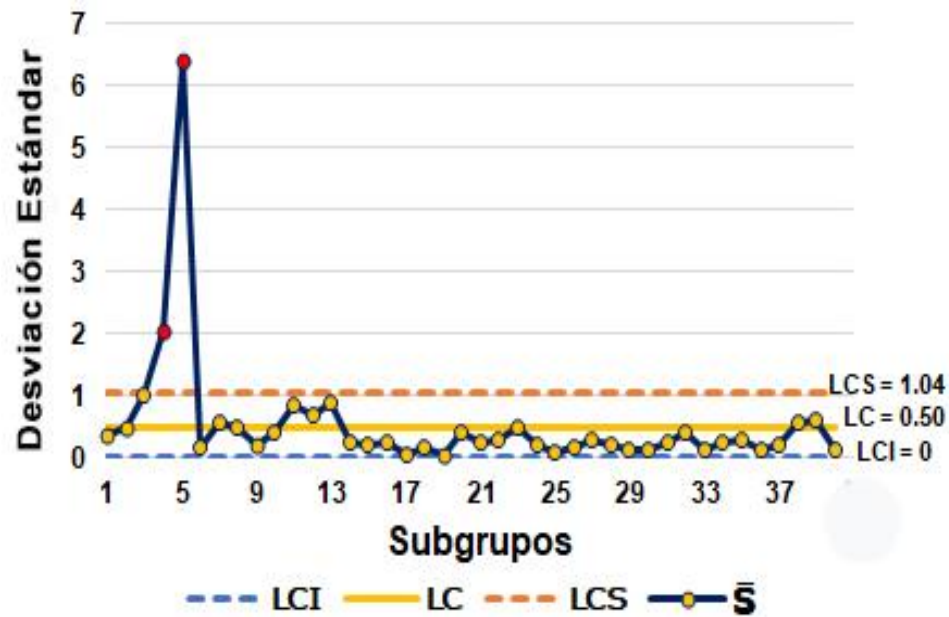
Con los límites de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa y las mediciones realizadas, se obtuvieron las siguientes gráficas de control de las 3 semanas analizadas.

Figura 57. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 1



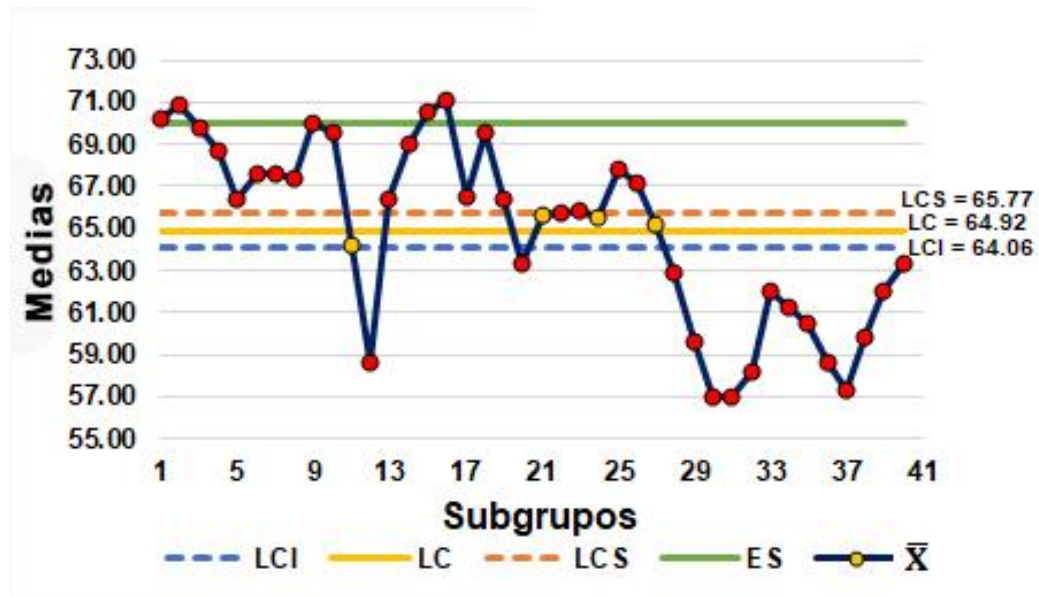
Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 1



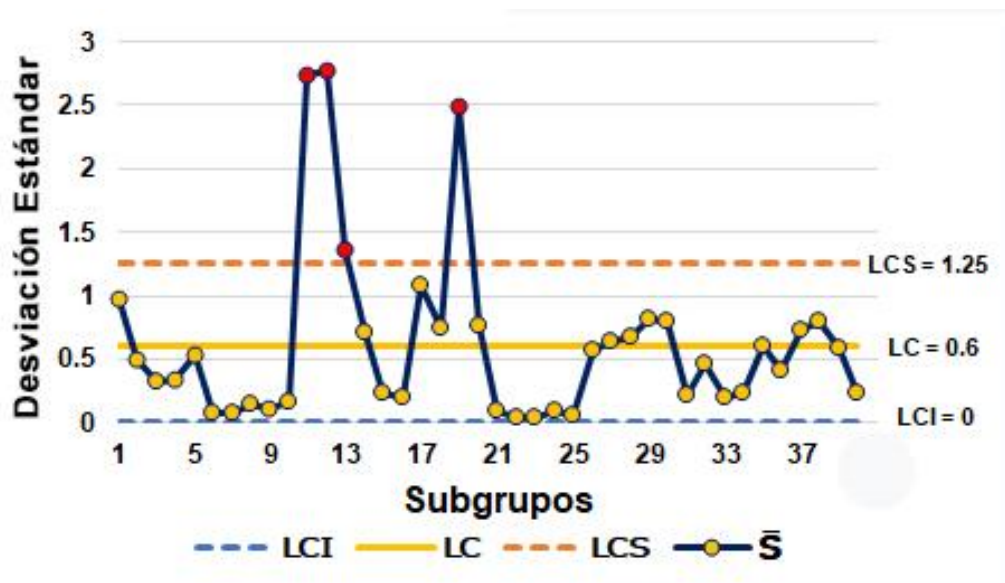
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 2



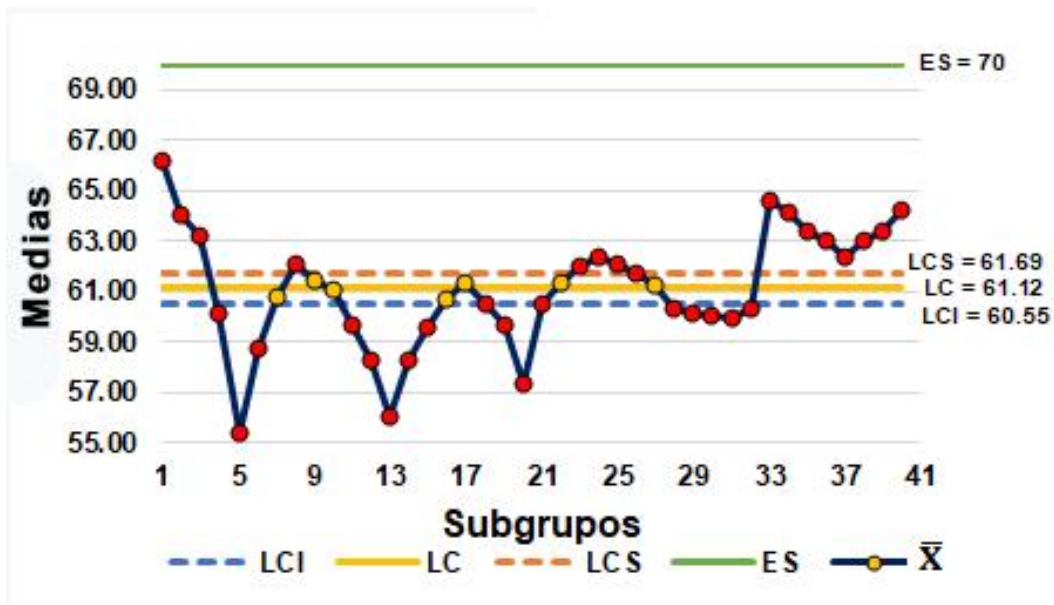
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 2



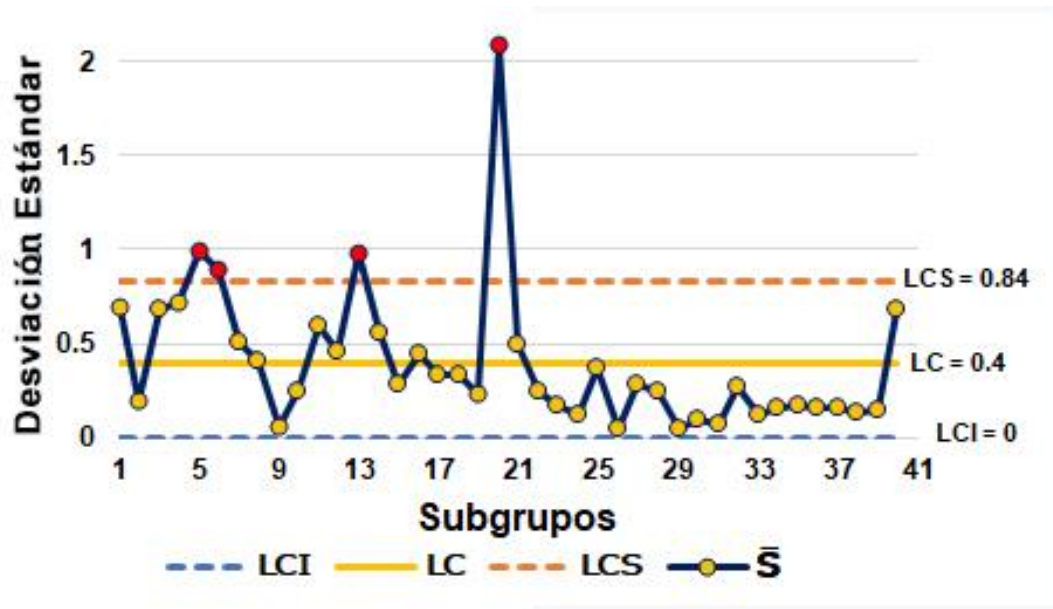
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Gráfica de control $\bar{X} - S$ de humedad relativa de la semana 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Gráfica de control S de humedad relativa de la semana 3**



Fuente: elaboración propia.

Las figuras 57, 58, 59, 60, 61 y 62 muestran las gráficas de control de medias y desviación estándar de las mediciones de humedad relativa a temperatura ambiente durante tres semanas.

La figura 57 muestra una tendencia variable con ciclos recurrentes, la humedad relativa tiende a ser muy variable de cada día de la semana. Se puede observar un comportamiento cíclico, indicando que las condiciones ambientales también tienen efecto en la humedad relativa.

La figura 58 muestra la gráfica de control de desviación estándar, en ella se observa una variabilidad entre mediciones de subgrupos entre 0 y 1.04%HR, donde el lunes posee una variación diferente a los demás días de la semana.

Las figuras 59 y 61, presentan los gráficos de control de humedad relativa en las semanas dos y tres, en ellas se aprecia una tendencia variable con ciclos

recurrentes, en estas dos semanas se observa que a medida que pasa cada semana el número de puntos dentro de control es diferente.

Las figuras 60 y 62 muestran gráficas de desviación estándar en las semanas dos y tres, ambas presentaron subgrupos donde la desviación va disminuyendo, la semana 2 presenta puntos fuera de control el martes y jueves, indicando problemas en la desviación de sus valores, la semana 3, presenta puntos fuera de control lunes, martes y miércoles, indicando una alta variabilidad de las mediciones entre subgrupo.

Algo común y observable en las 3 semanas es que las mediciones de humedad relativa se mantuvieron dentro los límites de especificación, excepto la semana 2 que presenta algunos puntos fuera de los límites de especificación superior.

3.6.4. Índice de inestabilidad

Con los puntos especiales que se obtuvieron en las gráficas de control se obtuvieron los siguientes índices de inestabilidad:

Tabla XXXIX. **Índice de inestabilidad y puntos especiales del mes de abril**

Medición	Semana	Puntos no especiales	Puntos especiales	Índice de Inestabilidad %
Temperatura	1	9	31	78
	2	8	32	80
	3	10	30	75
Humedad Relativa	1	8	32	80
	2	4	36	90
	3	7	33	83

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXIX muestran los puntos especiales y el índice de inestabilidad de cada gráfico elaborado en cada semana, en temperatura la semana con más puntos dentro de los límites fue la semana 3. En humedad relativa la semana 1 fue la que tuvo más puntos en control.

3.6.5. Límites de control $\bar{X} - S$ en control estadístico

En control estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XL. Límites de control $\bar{X} - S$ preliminares y en control estadístico

Medición	Semana	Preliminares			En control Estadístico		
		LCI	LC	LCS	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	22.49	22.63	22.77	22.56	22.62	22.68
	2	22.42	22.56	22.70	22.49	22.56	22.63
	3	23.58	23.64	23.70	23.56	23.59	23.62
Humedad Relativa	1	65.50	66.21	66.93	65.90	66.33	66.76
	2	64.06	64.92	65.77	65.08	65.47	65.85
	3	60.55	61.12	61.69	60.98	61.30	61.63

Fuente: elaboración propia.

La tabla XL muestra los puntos fuera de control y en control estadístico, en temperatura los límites disminuyeron relativamente con los límites preliminares, también durante el transcurso de las semanas los límites de control decrecen. En humedad relativa los límites en control estadístico disminuyen relativamente a sus límites preliminares, también van decreciendo conforme pasan las semanas.

Tabla XLI. Límites de control S preliminares y en control estadístico

Medición	Semana	Preliminares			En control Estadístico		
		LCI	LC	LCS	LCI	LC	LCS
Temperatura	1	0	0.10	0.21	0	0.04	0.08
	2	0	0.10	0.21	0	0.05	0.10
	3	0	0.04	0.09	0	0.02	0.04
Humedad Relativa	1	0	0.50	1.04	0	0.32	0.63
	2	0	0.60	1.25	0	0.29	0.56
	3	0	0.40	0.84	0	0.24	0.48

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XLI se muestran los límites en control estadístico de las gráficas de desviación estándar comparados con sus límites preliminares, se nota que para la temperatura los límites de control decrecen, para la humedad relativa se observa el mismo comportamiento de disminución.

3.7. Índices de capacidad

Utilizando las especificaciones superiores e inferiores de las variables de temperatura y humedad relativa, la media de los procesos y sus desviaciones estándar se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XLII. Índices de capacidad real del proceso

Condición Ambiental	Medición	Semana	C _p	C _{pk}
Temperatura 20°C	Temperatura	1	3.13	1.70
		2	3.13	2.21
		3	3.13	1.68
	Humedad Relativa	1	4.27	3.63
		2	3.62	3.02
		3	3.62	2.01
Temperatura Ambiente	Temperatura	1	7.83	-12.69
		2	6.27	-9.76
		3	15.67	-40.62
	Humedad Relativa	1	15.67	3.84
		2	17.41	5.26
		3	20.43	11.85

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLII muestra los índices de capacidad y los índices de capacidad real de las mediciones de temperatura y humedad relativa realizadas cada semana con temperatura a 20 °C y a temperatura ambiente. Tanto en temperatura como humedad relativa se puede observar que los procesos fueron efectuados con una capacidad satisfactoria, los índices c_p en temperatura a 20 °C se mantienen mayor a 3 indicando una adecuada calidad para el sistema, también con el índice c_{pk} se puede inferir que el sistema de medición cuenta con una calidad adecuada. En comparación con temperatura ambiente, los índices c_{pk} y c_p en temperatura indican que no cumplen con capacidad satisfactoria indicando que su calidad no es adecuada, caso contrario en humedad relativa, si cumple.

Objetivo general. Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenidas a través de un equipo de medición prototipo, por medio de análisis de gráficos de control y métodos estadísticos para estimar su precisión, así como la tendencia y la calidad en sus mediciones.

3.8. Comportamiento de las mediciones

El comportamiento de las mediciones se define obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XLIII. **Precisión y exactitud del equipo prototipo**

Magnitud	Precisión	Exactitud
Temperatura	0.5°C	0.7°C
Humedad Relativa	1.6%HR	1.3%HR

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLIII presenta los valores de precisión y exactitud del equipo prototipo, estos son el resultado de los análisis R&R y la calibración del equipo prototipo.

Tabla XLIV. **Resumen de las mediciones según análisis descriptivo**

Temperatura	Magnitud	Jornada	Distribución	Mediana	Tendencia
20 °C	Temperatura	Matutina	No normal y no homogénea	19.4	Creciente
		Vespertina		19.7	Decreciente
	Humedad relativa	Matutina	No normal y no homogénea	59.4	Decreciente
		Vespertina		56	Sin una tendencia clara
Temperatura ambiente	Temperatura	Matutina	No normal y no homogénea	22.5	Creciente
		Vespertina		23.1	Creciente
	Humedad relativa	Matutina	No normal y no homogénea	63.9	Decreciente
		Vespertina		64.8	Creciente

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLIV presenta en resumen los datos más relevantes del análisis descriptivo de las mediciones de temperatura y humedad relativa del equipo prototipo.

Tabla XLV. **Resumen de descripción de las mediciones por medio de gráficos de control $\bar{X} - S$**

Temperatura	Magnitud	Semana	Tendencia en $\bar{X} - S$	Tendencia en S	Puntos fuera de control
20 °C	Temperatura	1	Variable con ciclos recurrentes	Variación constante	28
		2			24
		3			22
	Humedad relativa	1		Variación constante con tendencias crecientes y decrecientes	25
		2			24
		3			22
Temperatura ambiente	Temperatura	1	Variable con ciclos recurrentes	Variación constante con tendencias crecientes y decrecientes	31
		2			32
		3			30
	Humedad relativa	1		Variación constante con tendencias crecientes y decrecientes	32
		2			36
		3			33

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLV presenta en resumen los datos más relevantes observados en los gráficos de control $\bar{X} - S$, estos fueron la tendencia observada y los puntos fuera de control en cada una de las semanas analizadas.

3.9. Calidad de las mediciones

La calidad de las mediciones se define según el valor obtenido en su índice y la interpretación de estos.

Tabla XLVI. **Resumen de Índices de calidad de la medición de temperatura de los análisis R&R**

Índice	Valor	Interpretación del sistema de medición	Decisión
$\frac{\text{Precisión}}{\text{Tolerancia}}$	23.35 %	Aceptable según aplicación, uso y, costo	Equipo aceptable, pero con el tiempo debe mejorar su precisión
$\frac{\text{Precisión}}{\text{Variación Total}}$	9.75 %	Aceptable	Equipo aceptable y preciso
Número de categorías distintas	4	Resolución insuficiente	Equipo aceptable, debe mejorar su precisión para mejorar su resolución

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLVI presentan índices que indican la calidad de medición de temperatura del equipo prototipo. En ella también se presenta el criterio de

decisión interpretando la precisión del equipo prototipo en mediciones de temperatura.

Tabla XLVII. **Resumen de índices de calidad de la medición de humedad relativa de los análisis R&R**

Índice	Valor	Interpretación del	
		sistema de medición	Decisión
$\frac{\text{Precisión}}{\text{Tolerancia}}$	5.2%	Aceptable	Equipo aceptable, y preciso.
$\frac{\text{Precisión}}{\text{Variación Total}}$	0.83%	Aceptable	Equipo aceptable y preciso
Número de categorías distintas	30	Resolución adecuada	Equipo aceptable, con buena resolución

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLVII presentan los índices para interpretar la calidad de las mediciones de humedad relativa del equipo prototipo por medio de los análisis R&R. En ella también se presenta el criterio de decisión interpretando la precisión del equipo prototipo en mediciones de humedad relativa.

Tabla XLVIII. **Resumen de los índices de inestabilidad y estabilidad de las mediciones según gráficos de control $\bar{X} - S$**

Condición Ambiental	Medición	Semana	Puntos especiales	Índice de Inestabilidad %	Índice de estabilidad %	
Temperatura 20 °C	Temperatura	1	28	70	30	
		2	24	60	40	
		3	22	55	45	
	Promedio		25	62	38	
	Humedad Relativa	1	25	63	37	
		2	24	60	40	
		3	22	55	45	
	Promedio		16	59	41	
	Temperatura ambiente	Temperatura	1	31	78	22
			2	32	80	20
3			30	75	25	
Promedio			31	78	23	
Humedad Relativa		1	32	80	20	
		2	36	90	10	
		3	33	83	17	
Promedio			34	84	16	

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLVIII presentan la calidad de medición en el área de presión por medio de los gráficos de control $\bar{X} - S$. y los promedios totales de las 3 semanas para interpretar la calidad de una mejor manera y diferenciarlos de las condiciones de temperatura.

Tabla XLIX. **Resumen de los índices Cp y Cpk de las mediciones según gráficos de control $\bar{X} - S$**

Condición Ambiental	Medición	Semana	C _p	C _{pk}	Interpretación
Temperatura 20°C	Temperatura	1	3.13	1.7	Calidad adecuada del sistema de medición con una capacidad satisfactoria
		2	3.13	2.21	
		3	3.13	1.68	
	Promedio		3.13	1.86	
	Humedad Relativa	1	4.27	3.63	Calidad adecuada del sistema de medición con una capacidad satisfactoria
		2	3.62	3.02	
		3	3.62	2.01	
	Promedio		3.84	2.89	
Temperatura Ambiente	Temperatura	1	7.83	-12.69	No adecuado para el para el trabajo
		2	6.27	-9.76	
		3	15.67	-40.62	
	Promedio		9.92	-21.02	
	Humedad Relativa	1	15.67	3.84	Calidad adecuada del sistema de medición con una capacidad satisfactoria
		2	17.41	5.26	
		3	20.43	11.85	
	Promedio		17.84	6.98	

Fuente: elaboración propia.

La tabla XLIX presenta en resumen los índices de capacidad cp y cpk de temperatura y humedad relativa con el promedio de ellos para evaluar la calidad promedio de todas las semanas incluidas en cada medición según sus condiciones ambientales.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con base en los resultados y experiencias obtenidas al realizar la investigación, se presentan los siguientes análisis:

4.1. Análisis interno

La precisión del equipo prototipo se determinó realizando un análisis de repetibilidad y reproducibilidad, sin embargo, era necesario calibrar el equipo prototipo debido a la integración de sus componentes, estos podían agregar errores al realizar mediciones y dar mediciones menos confiables. Algunos sensores digitales que se encuentran en el mercado vienen normalmente con una hoja de datos indicando su incertidumbre y tienen valores de calibración predefinidos, pero en la práctica, al momento de tomar mediciones no puede comprobarse que el valor medido sea exacto. La calibración es un medio metrológico por el cual se obtiene la certeza que las mediciones son cercanas al fenómeno que se desea observar o medir, por lo que únicamente con ella se obtuvo certeza que el equipo prototipo las brindaba de forma adecuada.

La calibración realizada por comparación directa es utilizada por los laboratorios de metrología para comparar la medida de un equipo a calibrar con uno equipo patrón, donde es deseable que el equipo patrón presente mayor resolución que el equipo a calibrar. En la calibración efectuada los equipos tienen resoluciones similares, aun así, se efectuó de esta manera debido a que no se contaba con otro equipo patrón de mayor resolución.

Las condiciones de la calibración a una temperatura de 20 °C obtenidas por el aire acondicionado del área de presión, no es una forma convencional de calibrar, pero se realizó para disminuir el costo operativo, no interrumpir las actividades del área y las mediciones que registraba el prototipo.

Normalmente para calibrar equipos de temperatura y humedad relativa se utilizan cámaras que controlan la temperatura y humedad relativa, o con reactivos que mantienen valores fijos de temperatura o humedad relativa, sin embargo, sin el equipo correspondiente para hermetizar y realizar ese tipo de procedimientos, el efectuarlo en el área de presión con el aire acondicionado fue la opción más válida, porque el área está aislada de las demás y posee una puerta que permite que el aire acondicionado no escape del lugar. Aunque realizarlo de esta manera pueda restar validez al procedimiento de calibración, los resultados de la calibración indicaron que el sesgo del equipo prototipo calibrado comparado con el patrón es aceptable, esto puede observarse de mejor manera en el apéndice 1 y 2, donde se observa que la corrección realizada al equipo prototipo realiza mediciones aproximadas a las del equipo patrón.

Los análisis de repetibilidad y reproducibilidad se realizan normalmente por medio de un diseño experimental, sin embargo, al tomar ciertas consideraciones para efectuar el análisis de forma no experimental, los resultados de los histogramas, gráficas de probabilidad normal y las pruebas de Kolmogórov-Smirnov por medio del p-valor muestran valores mayores al nivel de significancia del 5 %, presentando una distribución normal. De la misma manera las pruebas de Levene indicaron con un 95 % de confianza que tanto las varianzas en las mediciones de temperatura y humedad relativa son iguales y que poseen una distribución homogénea en el tiempo. Con lo anterior se demostró que, aunque no es un diseño experimental, los resultados fueron aceptables para realizar el análisis de repetibilidad y reproducibilidad.

Al realizar los análisis de repetibilidad y reproducibilidad, es notable que el equipo prototipo y el patrón presentan aproximadamente el mismo comportamiento en sus mediciones, indicando que son repetible y reproducibles.

El equipo prototipo presentó una mayor repetibilidad comparada con su reproducibilidad, tanto en las mediciones de temperatura como las de humedad relativa. Esto podría inferir que el equipo de medición tiene problemas para medir las variables de temperatura y humedad relativa, sin embargo la evidencia de los gráficos de control de medias de la figura 6 y 11, donde los equipos presentan una tendencia de variar conforme pasa el tiempo, y con las gráficas de interacción de los equipos por hora de las figuras 7 y 12, que presentan el mismo comportamiento, se descartó la posibilidad de que el equipo prototipo sea el problema e indican que la causa se encuentra en las condiciones ambientales del área de presión, este varía entre las partes de la medición. Esto significa que existen condiciones en el área de presión como la temperatura ambiental que no permiten que el aire acondicionado se mantenga fijo.

Los análisis de temperatura y humedad relativa contrastaron las diferentes jornadas laborales en cada medición, se basaron en métodos no paramétricos como la prueba de Levene, prueba de la mediana y prueba de correlación de Kendall a raíz de que presentaron distribuciones no normales en sus datos, aunque en teoría los análisis no paramétricos le pueden restar validez a los resultados, no se deben descartar los resultados encontrados.

Los análisis descriptivos muestran que, al utilizar aire acondicionado a 20 °C, las medias y medianas de temperatura y humedad relativa disminuyen relativamente comparadas con las obtenidas a temperatura ambiente del área de presión. Aunque esta comparación esta realizada sobre meses diferentes, es clara la influencia del aire acondicionado en el área de presión.

La comparación entre las jornadas matutina y vespertina realizada por la prueba de la mediana mostraron estadísticamente medianas parecidas en temperatura y humedad relativa cuando existe una temperatura a 20 °C en el ambiente, este mismo comportamiento se observa a temperatura ambiente.

Lo anterior indica que, tanto a temperatura ambiente, como a una temperatura controlada a 20 °C, las dos jornadas mantienen medianas similares, con la única diferencia que a temperatura ambiente las medianas son más altas, esto es importante debido a que para realizar ensayos de calibración la temperatura y humedad relativa debe mantenerse en un rango aceptable para que no influya en los resultados de las pruebas y esto evidencia aún más la importancia de tener una temperatura controlada en el área de trabajo.

La prueba de Levene aplicada en las jornadas laborales no presenta homogeneidad de varianza en sus mediciones, indicando a su vez que sus medianas son diferentes entre horas laborales. Esto se observa de mejor manera en los gráficos de caja, presentando una tendencia creciente en cada hora de las jornadas matutinas y una decreciente en cada una de las vespertinas en mediciones de temperaturas, caso contrario en mediciones de humedad relativa donde presentan un comportamiento inverso. Estos resultados resaltan que la temperatura de 20 °C sobre el área de presión es afectada por otros factores especialmente la temperatura ambiente, esto puede deberse a gradientes de temperatura que afectan el área, como ventanas o las paredes del área.

Las pruebas de correlación son útiles para encontrar la tendencia y la asociación entre dos variables, en los resultados con la prueba de correlación de Kendall es notable la independencia entre los resultados de la medición y el tiempo, tanto en temperatura a 20 °C como en temperatura ambiente, indicando que el transcurso del tiempo no afecta las mediciones, sin entrar en causalidad

se puede inferir que, aunque estas variables no estén relacionadas, el tiempo juega un papel importante que afecta la homogeneidad y las tendencias en las mediciones según las condiciones ambientales como la temperatura ambiente.

Si se comparan las mediciones obtenidas en temperatura ambiente se observa que poseen una tendencia similar a las que se poseen con una temperatura a 20 °C. Por el momento se puede inferir que la temperatura ambiental afecta el comportamiento de las mediciones con temperatura a 20 °C, sin embargo, es necesario diseñar un experimento para encontrar estos efectos y otras condiciones ambientales que afecten a la medición.

Las gráficas de control son recursos importantes para controlar procesos, en este trabajo se utilizaron para observar el proceso de medida de temperatura y humedad relativa, aunque los análisis descriptivos mostraron que las distribuciones de los datos no eran normales. Con el teorema del límite central en el cual están basados los cálculos para obtener los límites de control, analizar los subgrupos no fue un problema.

Al observar los gráficos de control semana a semana en las mediciones de humedad relativa y temperatura los ciclos recurrentes que se pueden observar pueden ser explicados por el proceso del aire acondicionado para mantener la temperatura del aire, donde en caso que el termostato detecte que el área de trabajo se encuentre debajo 20 °C empieza a emitir aire frío para mantener las condiciones, cuando alcanza la condición deseada el aire acondicionado queda únicamente en función de ventilador, este proceso se repite y puede ser la causa de este comportamiento.

En los gráficos de control también se pueden observar muchos puntos fuera de control estadístico, pero no tantos como los que presentaría tener el área

de presión sin aire acondicionado, donde las mediciones fueron más inestables a temperatura ambiente. En la tabla XXXIV la inestabilidad del proceso se mantiene menor al 80 %, indicando que la temperatura y humedad relativa del área no se mantuvo todo el tiempo en 20 °C. En la tabla XXXIX los índices de inestabilidad se mantuvieron menor al 90 % esto explica la una alta variabilidad en la temperatura y humedad relativa del área de presión a temperatura ambiente.

La situación de inestabilidad y los puntos fuera de control pueden ser efecto de los gradientes de temperatura causados por las condiciones ambientales. Esto tendría coherencia con los escenarios observados en los resultados descriptivos y en los análisis repetibilidad y reproducibilidad, los cuales presentan evidencias de los gradientes de temperatura que afectan la temperatura y humedad relativa del área.

Considerando el espacio de trabajo, se tiene la sospecha que la inestabilidad y los puntos fuera de control se deban a las ventanas ubicadas cerca del área de trabajo como se observa en el apéndice 4 y que estas son las causantes de los gradientes de temperatura.

El proceso de mantener una temperatura y una humedad relativa en el laboratorio de presión se desarrolla dentro del sistema de medición de temperatura y humedad relativa del laboratorio. Para evaluar si este proceso es adecuado y cumple con los límites de especificación se utilizó el índice de capacidad real C_p y con doble especificación c_{pk} , observando que las mediciones obtenidas en el sistema de medición de temperatura y humedad relativa son aceptables en temperatura de 20 °C, indicando que el aire acondicionado es un factor que ayuda al sistema de medición, caso contrario a temperatura ambiente donde únicamente la humedad relativa es la aceptable.

Aunque los gráficos de control mostraron inestabilidad en sus 3 semanas de análisis con aire acondicionado a 20 °C, los índices de capacidad para las mediciones de humedad relativa y temperatura mostraron que las mediciones son aceptables en el criterio de sus tolerancias, caso contrario en los análisis a temperatura ambiente, donde estos índices mostraron que no son aceptables para el proceso de medición excepto el proceso de mediciones de humedad relativa.

Por lo tanto, según las buenas prácticas del laboratorio, aunque sistema de medición de temperatura y humedad relativa necesiten mejoras para controlar la inestabilidad de sus mediciones y mejorar su precisión, especialmente del sistema de medición de temperatura, el equipo prototipo puede utilizarse para la tarea que se diseñó con un proceso de medición aceptable.

Los gráficos de control ayudan a visualizar los problemas que existan en el proceso, la mayoría de estas causas que afectan el proceso son variación por causas comunes, por lo que poseen la oportunidad de mejorar a largo plazo, el objetivo de estas mejoras es llegar a controlar y mejorar el ambiente para evitar la posible aparición de errores aleatorios cuando se realicen ensayos y calibraciones.

4.2. Análisis externo

Llamosa *et al.*, (2007) y Botero *et al.*, (2007) exponen el análisis de repetibilidad y reproducibilidad por medio de análisis de varianzas y por el método de promedios y rangos para su cálculo, ambos exponen su utilización para el aseguramiento de las mediciones según la norma NTG/ISO/IEC 17025, Botero *et al.*, (2007) aseguran que el método ANOVA para analizar R&R es efectivo debido a que considera la variación de las partes y los operadores. Este trabajo

de investigación contrasta con Botero en que los operadores tomaron el papel de los equipos de medición, los días, las horas y la interacción se consideraron como variación de las partes de la medición y que el diseño propuesto fue de tipo no experimental.

Esto dio lugar a los resultados mostrados en las tablas XII y XV ,donde mostraron la igualdad de las mediciones entre equipo patrón y prototipo, a excepción de la humedad relativa, y en las tablas XIII y XVI donde la variación del equipo es igual a la reproducibilidad, debido a que los equipos de medición fueron considerados como operadores explicando otra manera de interpretar un equipos prototipo comparado con un patrón y encontrando su error de medición en la partes de precisión al mismo tiempo

Gutiérrez *et al.*, (2013) y Botero *et al.*, (2007) categorizan los resultados del análisis R&R del sistema de medición en términos de porcentaje y según su error de medición, variación y tolerancia. Estos criterios fueron útiles y se consideraron para evaluar y categorizar la calidad de las mediciones y los sistemas de medición de esta investigación.

En temperatura el 31.23 % en función de la varianza total, indican que el sistema a una temperatura de 20 °C posee un proceso de medición con una calidad que no es aceptable, indicando que deben realizarse mejoras a la precisión de sus mediciones, sin embargo en función de tolerancia el 23.32 % señala que la calidad en el sistema se mantiene al margen de lo aceptable, por lo tanto el equipo prototipo, en mediciones de temperatura, puede usarse en el laboratorio pero debe mejorar si precisión con el tiempo.

En humedad relativa que presento un error de medición de 9.12 % de la variación total muestra una excelente calidad a 20 °C al igual que en función de

su tolerancia con un 5.2 %, por lo tanto, el equipo prototipo, en mediciones de humedad relativa, es apto y puede utilizarse en el laboratorio.

La exactitud de la medición se determinó según los criterios para la calibración del prototipo de CEM (2008) por medio del sesgo entre el equipo prototipo y el patrón, recomendando una exactitud aproximada para un equipo de medición, 1 °C para la temperatura y 5%HR para la humedad relativa. La exactitud se expresa por dos componentes, la linealidad y el sesgo, el sesgo obtenido por la calibración puede expresar la exactitud del instrumento a 20 °C, aunque no se realizó un estudio de linealidad para complementar la exactitud, la parte del sesgo a 20 °C determinó una exactitud de 0.7 °C y 1.3%HR, en conjunto con la precisión encontrada en los análisis R&R de 0.3 °C y 1.6%HR, las buenas prácticas del laboratorio indican que los equipos de medición deben contar con una precisión de 1°C y 10%HR, estas son menores a las recomendadas, por lo tanto el equipo prototipo brinda mediciones exactas y precisas.

Los análisis descriptivos tienen un papel fundamental en el análisis de la humedad relativa y temperatura del área de presión. Castro *et al.*, (2010) realizan análisis exploratorio en series hidrológicas, útiles para detectar tendencias y analizar la naturaleza de sus datos, aunque realizó análisis en mediciones hidrológicas, en esta investigación se acoplaron a las variables de humedad relativa y temperatura, pero por análisis descriptivos de datos.

El proceso descriptivo de los datos de esta investigación muestra que no poseen normalidad, debido a ello se utilizaron pruebas no paramétricas para analizarlos. También realiza un análisis exploratorio con gráficos. En esta investigación se trabajaron gráficas adicionales como histogramas y gráficos de tiempo para comprender los datos.

Estrada *et al.*, (2007) utiliza medias, desviaciones estándar y variabilidad para la descripción y análisis de los datos, haciendo énfasis en el coeficiente de variación. En esta esta investigación se trabajaron en conjunto las dos técnicas utilizadas por Estrada y Castro, aunque es un largo trabajo se pueden observar las tendencias y comportamiento en diferentes puntos de vista complementándose entre sí, como por ejemplo utilizando el coeficiente de variación en comparación con los gráficos Boxplot presentados en este trabajo obtienen una perspectiva a priori de los datos antes de aplicar técnicas estadísticas.

Ortiz *et al.*, (2018) y Pérez *et al.*, (2016) presentan un análisis descriptivo de tendencias por medio de la representación de los máximos, mínimos y promedios de variables climatológicas debido a su fácil comprensión. En el trabajo de investigación planteado, aunque el análisis haya sido enfocado de forma no paramétrica, se tomó en consideración mostrar gráficas de las medias, la mayor parte del tiempo una media es más fácil de explicar cuando se trata de representar temperaturas y humedades relativas.

En el análisis no paramétrico, se analizaron las tendencias en las mediciones con la prueba de correlación de Kendall, por ser un análogo a la prueba de Mann-Kendall. Cantor (2011) sugiere varias pruebas para evaluar las tendencia y Castro *et al.*, (2010) sugieren la utilización de correlación de Spearman, en este trabajo se optó por la prueba de correlación de Kendall, debido a que permite ser generalizado como un coeficiente de correlación parcial, permitiendo interpretar la tendencia de una mejor manera en conjunto de gráficos de tendencia.

La teoría de como elaborar gráficos de control por variables de Riu (2005) y Botero *et al.*, (2009) ayudaron a entender y construir sus límites y tomar

consideraciones básicas para la selección de datos. Botero *et al.*, (2009) enfoca su análisis en un ejemplo basado sobre 4 pruebas de aptitud realizadas sobre equipos de medición de variables eléctricas, este estudio trabajó con el enfoque de Botero *et al.*, (2009) pero aplicado en variables de humedad relativa y temperatura, complementando los procedimientos y análisis en los gráficos de control con Gutiérrez *et al.*, (2013) en forma teórica.

La diferencia con este trabajo de investigación es que se utilizaron 40 muestras de tamaño 5 y por medio de estos mismos autores se aplicó la teoría en el análisis de los patrones que aparecieron en las diferentes cartas de control de medias y desviación estándar, su índice de inestabilidad y la evaluación de la capacidad potencial y de capacidad real del proceso con doble especificación, todo esto en conjunto terminaron por describir el comportamiento de las gráficas de control, utilizando también el índice de estabilidad, para describir la estabilidad en la mediciones y hacer comparaciones sobre mediciones con temperatura a 20 °C y a temperatura ambiente.

CONCLUSIONES

1. La precisión de las mediciones del equipo prototipo son aproximadamente de 0.5 °C en temperatura y 1.6%HR en humedad relativa con exactitud de 0.7°C en temperatura y 1.3%HR en humedad relativa.
2. Al utilizar aire acondicionado a 20 °C, la temperatura es creciente de 8:00 a.m. a 12:00 p.m. y decreciente de 2:00 p.m. a 6:00 p.m., en humedad relativa es decreciente de 8:00 a.m. a 12:00 p.m. y sin una tendencia clara en la tarde. En temperatura ambiente, presenta crecimiento de 8:00 a.m. a 6:00 p.m. y en humedad relativa reducción de 8:00 a.m. a 12:00 p.m. en y creciente de 2:00 p.m. a 6:00 p.m.
3. Al aplicar una temperatura de 20 °C las mediciones poseen una estabilidad de 38 % en la temperatura y 59 % en humedad relativa, contrastando las obtenidas en temperatura ambiente de 23 % en temperatura y 16 % en humedad relativa.
4. El equipo prototipo de medición de temperatura y humedad relativa posee una exactitud y precisión adecuadas al utilizar aire acondicionado a 20 °C, en dicha temperatura los gráficos de control y los análisis descriptivos demuestran que la calidad del sistema de medición de temperatura y humedad relativa del área es aceptable en términos de tolerancias y son más estables que a temperatura ambiente.

RECOMENDACIONES

En función de los resultados derivados de la investigación se presentan las siguientes recomendaciones para el Laboratorio de Metrología del CII-USAC:

1. Repetir los análisis de repetibilidad y reproducibilidad con un enfoque de diseño experimental para comparar la precisión obtenida por la metodología planteada en esta investigación y encontrar otras variables que afecten considerablemente el sistema de medición de temperatura y humedad relativa. Adicionalmente también se sugiere realizar un estudio de linealidad y sesgo, para verificar la exactitud del equipo prototipo en todo el rango de su medición.
2. Colocar más de un medidor de temperatura y humedad relativa en diferentes puntos del área de presión, para encontrar la ubicación de la fuente de variación que afecta la tendencia de las mediciones en el tiempo, además de la aplicación de diferentes temperaturas que permitan identificar tendencias más estables en el área en conjunto de un análisis de series de tiempo para ampliar la comprensión de dichas tendencias.
3. Es necesario la implementación de las gráficas de control durante un año en el área de presión para dar seguimiento a las mediciones de temperatura y humedad relativa, observando las tendencias y la calidad que deriven mes a mes para una mejor comprensión de los fenómenos ambientales y la posibilidad de corregirlos.

4. El mantenimiento preventivo de las partes que integran el sistema de medición de humedad relativa y temperatura para que no influyan en las mediciones realizadas, en conjunto de un programa de calibración que permita mantener la confiabilidad de las mediciones del equipo prototipo para la correcta la implementación de cartas de control y de métodos descriptivos en futuros análisis del laboratorio.

REFERENCIAS

1. Badi, M.; Guillen, O., Lugo, S. y Aguilar, G. (agosto, 2014). Correlación no paramétrica y su Aplicación en la Investigación Científica. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 9 (2), 31-40.
2. Besterfield, D. (2009). Control de calidad.(8. ed).México: Pearson Educación.
3. Botero, M., Arbeláez, O. y Mendoza, J. (diciembre, 2007). Método ANOVA utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. *Scientia et technica*. (37), 533-537.
4. Botero, M., Mendoza, J. y Meza, L. (mayo, 2009). Elaboración de cartas de control x barra –s en el laboratorio de metrología de variables eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et technica*. 15 (41), 241-245.
5. Cantor, D., (2011). *Evaluación y análisis espaciotemporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatología colombiana*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
6. Castro, L. y Carvajal, Y. (junio, 2010). Análisis de Tendencia y Homogeneidad de Series Climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. (9), 15-25.

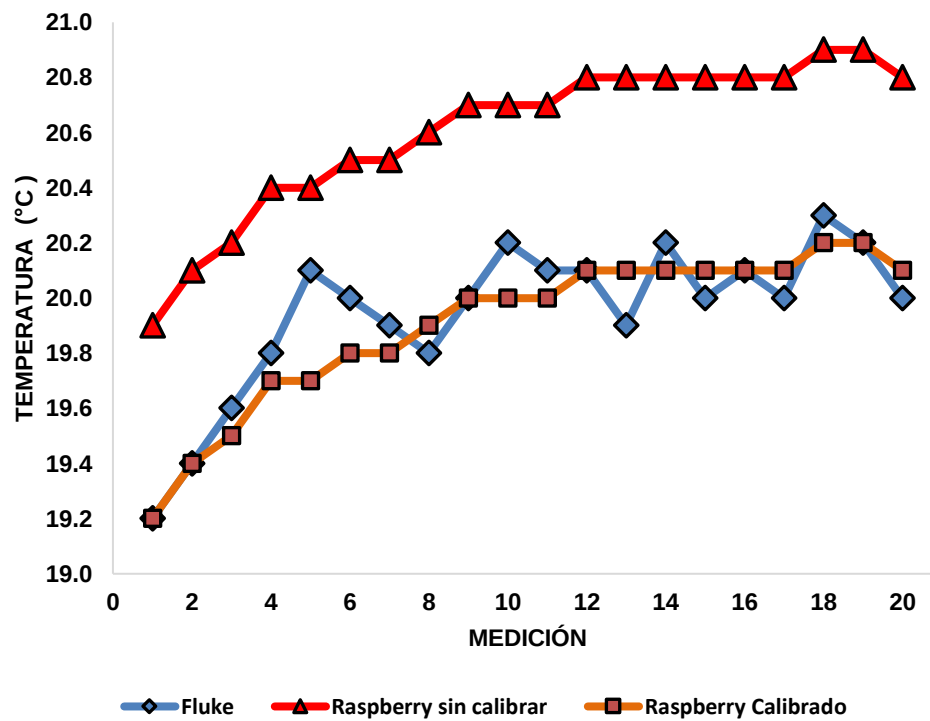
7. CEM. (2008). *Procedimiento ME-003 para la calibración de manómetros, vacuómetros y manovacúómetros*. España: Centro Español de Metrología.
8. CEM. (2012). *Vocabulario Internacional de metrología. Conceptos fundamentales y generales y terminos asociados (VIM)*. España: Centro Español de Metrología.
9. Correa, J., Iral, R. y Rojas, L. (junio, 2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*. 20 (1), 57-76.
10. De la puente, C. (2009). *Estadística descriptiva e inferencial y una introducción al método científico*. (1ª edición) España: Computense.
11. Estrada, M., Márquez, S. y Restrepo, L. (2007). Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de engorde. *RCCP Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20 (3), 288-303. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023025007.pdf>
12. Gutiérrez, H. y de la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. (3ª edición). España: McGraw-Hill.
13. ISA (2006). *Technical Report ISA-TR52.00.01 Recommended Environments for Standards Laboratories, Temperature and Humidity Environment Standards*. United States of America: The Instrumentation, Systems, and Automation Society

14. Llamosa, L., Meza, L. y Botero, M. (agosto, 2007). Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la Norma Técnica NTC. -ISO/IEC 17025. *Scientia et technica*. 13 (35), 455-460.
15. Marbán., R. M. y Pellecer, J.A. (2002). *Metrología para no-metrólogos*.(2ª edición). Guatemala: Piedra Santa.
16. Martínez, C. (2012). *Estadística y muestreo*.(13ª edición).Bogotá: Ecoe.
17. Monroy, S. (2008). *Estadística descriptiva*. (1ª edición). México: Instituto Politécnico Nacional.
18. Moore, D. (2005). *Estadística aplicada básica*. (2ª edición). España: Antoni Bosch.
19. Milton, J. (2007). *Estadística para Biología y Ciencias de la Salud*.(3ª edición).España: McGraw-Hill Interamericana de España S.A.U.
20. Norma NTG/ISO/IEC 17025. (2017). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y medición*. Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas.
21. Ortiz Diaz, H. A., Escobar Amado, C. D. y Sepúlveda Mora, S. B. (enero, 2018). Análisis estadístico de variables climatológicas en la ciudad de Cúcuta. *Respuestas*, 23(1), 39-44. doi: <https://doi.org/10.22463/0122820X.1328>

22. Pérez, E., Ramírez, V. y Peña, A. (abril, 2016), Variabilidad espacial y temporal de la temperatura del aire en la zona cafetera colombiana. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía* (89), 23-40. [dx.doi.org/10.14350/rig.38707](https://doi.org/10.14350/rig.38707)
23. Peña, M. (2015). *Viviendo la Metrología*. Colombia: ICONTEC Internacional.
24. Riu,J. (julio, 2005). Gráficas de Control de Shewart. *Tecnicas de Laboratorio*. (306) 1016-1019
25. Saldaña, M., R. (septiembre, 2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista enfermería del trabajo*. 6 (3), 105-114.
26. Walpole, R. E., Myers, R. H., y Myers, S. L. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. (9ª edición.). México: Pearson
27. Wayne, W., D., (2002). *Bioestadística, base para el análisis de las ciencias de la salud*. (4ª edición). México: LIMUSA Wiley .
28. Webster, A., L.(2001). *Estadística aplicada a negocios y la economía*. (3ª edición). Bogotá: MacGraw-Hill

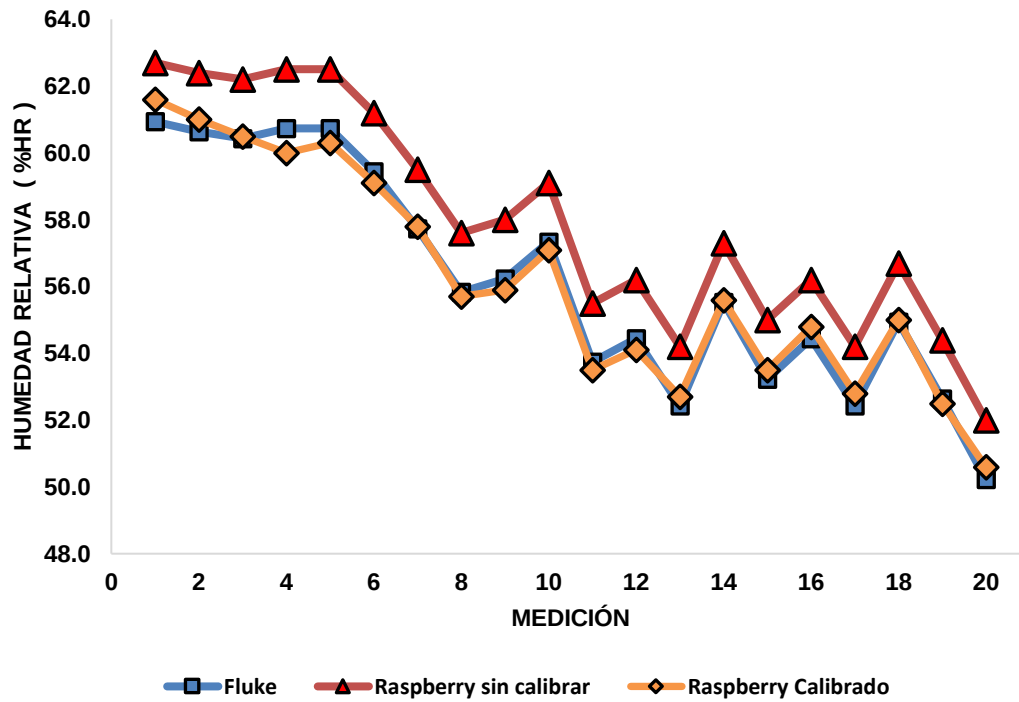
APÉNDICES

Apéndice 1. Comparación de mediciones de temperatura sin calibrar y calibradas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Comparación de mediciones de humedad relativa sin calibrar y calibradas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Matriz de coherencia

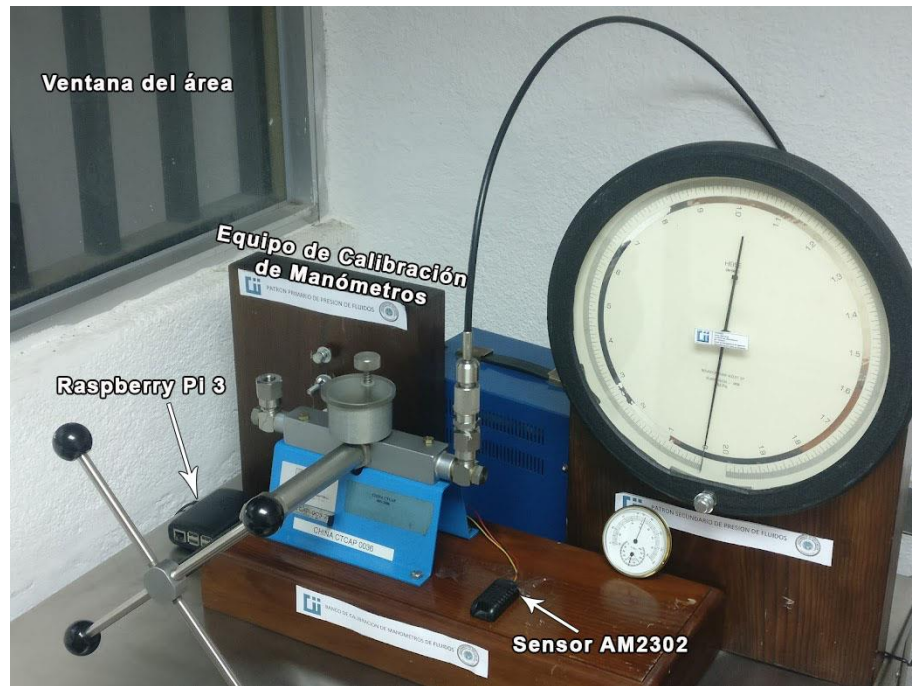
APLICACIÓN DE CARTAS DE CONTROL EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DE PRESIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA (CII) DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

Problema: El Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, encargado de realizar ensayos y calibraciones de manómetros, desconoce el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión y necesita un método estadístico que permita estimar la precisión de un equipo prototipo, así como la tendencia de sus mediciones realizadas en el área.

	Formulación del problema	Objetivos	Metodología	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
1	¿Cómo se determina la precisión del instrumento de medición?	Evaluar el instrumento de medición por medio de ensayos de repetibilidad y reproducibilidad para determinar la precisión del instrumento prototipo.		Precisión de Temperatura 0.5°C Precisión Humedad Relativa: 1.6%HR Exactitud Temperatura 0.7°C Exactitud Humedad Relativa: 1.3%HR	La precisión de las mediciones del equipo prototipo son aproximadamente de 0.5°C en temperatura y 1.6%HR en humedad relativa con exactitud con 0.7°C en temperatura y 1.3%HR en humedad relativa.	Se sugiere repetir los análisis de repetibilidad y reproducibilidad con un enfoque de diseño experimental para comparar la precisión obtenida por la metodología planteada en esta investigación y encontrar otras variables que afecten considerablemente el sistema de medición de temperatura y humedad relativa. Adicionalmente también se sugiere realizar un estudio de linealidad y sesgo, para verificar la exactitud del equipo prototipo en todo el rango de su medición.
2	¿Cuál es el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión, medidas por el equipo prototipo, cuando se utiliza aire acondicionado a 20°C y a temperatura ambiente?	Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa en el área de presión cuando se utiliza aire acondicionado a 20°C y a temperatura ambiente por medio de estadística descriptiva para determinar la tendencia en las mediciones realizadas por equipo prototipo.	* Diseño de tipo no experimental y transversal en el tiempo, de forma longitudinal y de tendencia.	Tendencia de Temperatura a 20°C: Creciente en la mañana y decreciente en la tarde. Tendencia de Humedad Relativa a 20°C: Decreciente en la mañana y sin una tendencia clara en la tarde. Tendencia a temperatura ambiente: Creciente en la mañana y tarde. Tendencia de Humedad Relativa a temperatura ambiente: Decreciente en la mañana y creciente en la tarde.	Al utilizar aire acondicionado a 20°C, la temperatura es creciente en la mañana y decreciente en la tarde, mientras que en humedad relativa es decreciente en la mañana y sin una tendencia clara en la tarde. En temperatura ambiente, presenta crecimiento desde la mañana hasta la tarde, y en humedad relativa reducción en la mañana y creciente en la tarde.	Se sugiere ubicar más de un medidor de temperatura y humedad relativa en diferentes puntos del área de presión, para encontrar la ubicación de la fuente de variación que afecta la tendencia de las mediciones en el tiempo, además de la aplicación de diferentes temperaturas que permitan identificar tendencias más estables en el área en conjunto de un análisis de series de tiempo para ampliar la comprensión de las tendencias.
3	¿Cómo es la calidad de las mediciones de temperatura y humedad relativa en el área de presión a través del tiempo?	Analizar la calidad de las mediciones de temperatura y humedad relativa en el área de presión a través del tiempo por medio de gráficos de control para identificar su variabilidad.	*Enfoque cuantitativo *Alcance descriptivo y de tipo descriptivo correlacional.	Temperatura 20°C: Temperatura variable en 62% y estable en 38%. Humedad Relativa variable en 24% y estable en 59%. Calidad adecuada y capacidad satisfactoria. Temperatura ambiente: Temperatura variable en 78% y estable en 23%. Humedad relativa variable en 84% y estable en 16%. Calidad no adecuada en temperatura y satisfactoria en humedad relativa.	Al aplicar una temperatura de 20°C las mediciones poseen una estabilidad de 38% en la temperatura y 59% en humedad relativa, contrastando las obtenidas en temperatura ambiente de 23% en temperatura y 16% en humedad relativa.	Se hace necesario la implementación de las gráficas de control durante un año en el área de presión para dar seguimiento a las mediciones de temperatura y humedad relativa, observando las tendencias y la calidad que denven mes a mes para una mejor comprensión de los fenómenos ambientales y la posibilidad de corregirlos.
4	¿Cuál es el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenidas a través de un equipo de medición prototipo, por medio de análisis de gráficos de control y métodos estadísticos para estimar su precisión, así como la tendencia y la calidad en sus mediciones?	Describir el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del área de presión del Laboratorio de Metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenidas a través de un equipo de medición prototipo, por medio de análisis de gráficos de control y métodos estadísticos para estimar su precisión, así como la tendencia y la calidad en sus mediciones.		Equipo prototipo preciso y exacto. Oportunidad de mejora en precisión de temperatura y excelente precisión en humedad relativa. Mejor calidad y estabilidad en mediciones realizadas a 20°C que a temperatura ambiente	El equipo prototipo de medición de temperatura y humedad relativa posee una precisión y exactitud adecuadas al utilizar aire acondicionado a 20°C, en estas condiciones las cartas de control y los análisis descriptivos demuestran que el sistema de medición de temperatura y humedad relativa del área poseen una calidad aceptable en términos de tolerancias y son más estables que a temperatura ambiente.	Se sugiere el mantenimiento preventivo de las partes que integran el sistema de medición de temperatura y humedad relativa para que no influyan en las mediciones realizadas, en conjunto de un programa de calibración que permita mantener la confiabilidad de las mediciones del equipo prototipo para la correcta implementación de cartas de control y de métodos descriptivos en futuros análisis de las variables de temperatura y humedad relativa en un área específica del laboratorio.

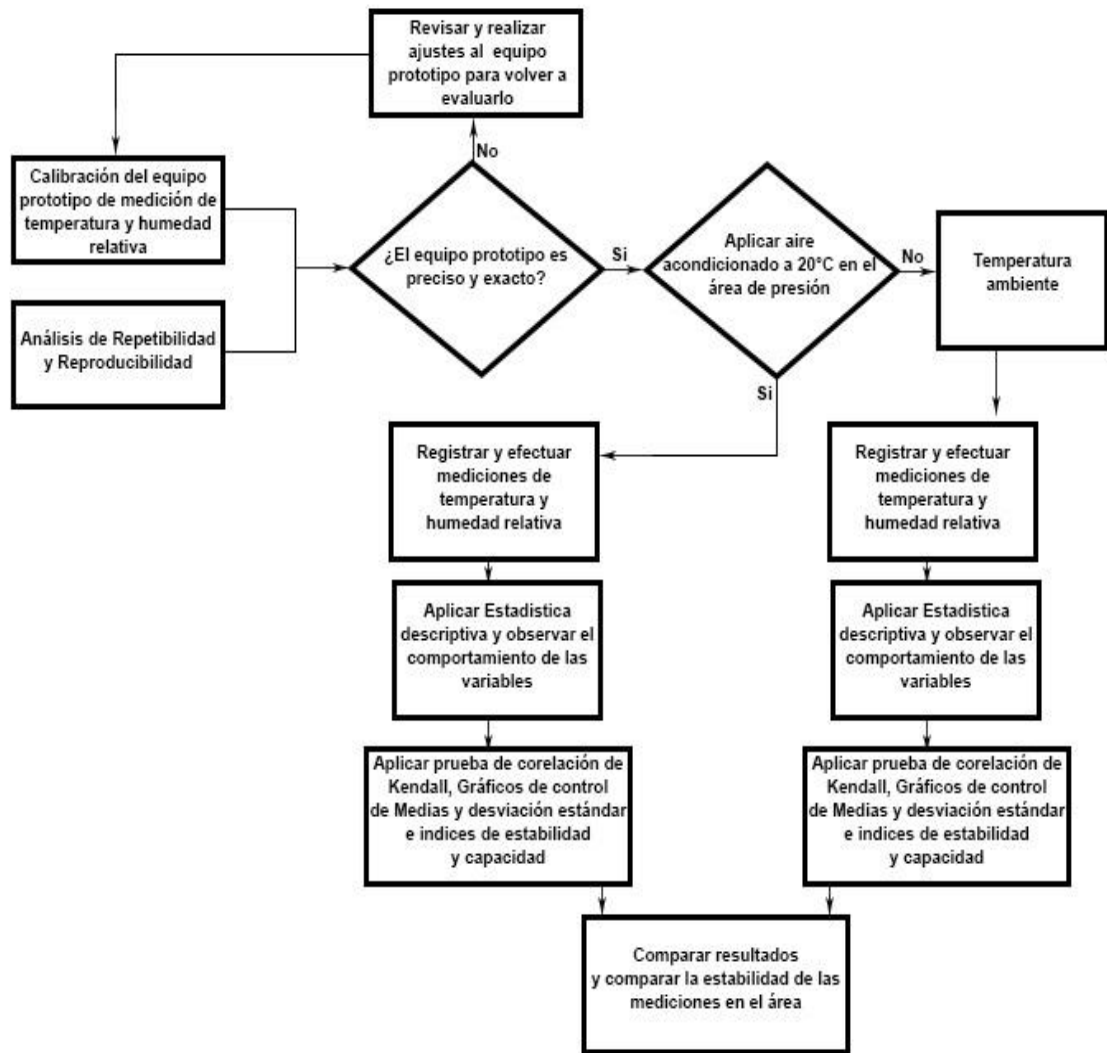
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4 **Base de calibración de manómetros con sensor de
humedad y temperatura instalado**



Fuente: [Fotografía de Jorge Alejandro Cajas Ochoa]. (Área de presión del laboratorio de metrología del Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 4 Diagrama de flujo para la descripción y comportamiento de la temperatura y humedad relativa



Fuente: elaboración propia.