

ANÁLISIS DEL CONFORT TÉRMICO DENTRO DEL AUDITORIO DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA SIN OCUPANTES

JUAN PABLO GUARÍN DURAN
JOHN ALEXANDER SCHILLER LOZANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2014

ANÁLISIS DEL CONFORT TÉRMICO DENTRO DEL AUDITORIO DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA SIN OCUPANTES

JUAN PABLO GUARÍN DURAN
JOHN ALEXANDER SCHILLER LOZANO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

PHD. JULIÁN ERNESTO JARAMILLO IBARRA

Codirectora

MSC. FLORELVA ROZO GARCÍA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan profundos agradecimientos a:

A Dios por habernos puesto en este camino.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por la oportunidad de formarnos como hombres de ciencia y de mejorar como seres humanos.

Al Proyecto 5570 de la Vicerrectoría de extensión e investigación de la Universidad Industrial de Santander, por facilitarnos los fondos necesarios para el desarrollo del presente análisis.

Al Doctor Julián Jaramillo por su dedicación, apoyo, asesoría y orientación, lo cual permitió el desarrollo y la culminación exitosa de este proyecto de grado.

A la Msc. Florelva Rozo, por sus oportunos consejos y por la confianza brindada para con nuestro trabajo.

Al Doctor Omar Armando Gelvez, pues su ayuda incondicional, orientación y material facilitado fue útil para la realización de éste proyecto.

A todos aquellos amigos que han estado presentes en los buenos y malos momentos, ayudándonos a sortear los obstáculos que presenta el diario transcurrir de la vida, o simplemente complementando nuestra alegría con la suya en momentos como este.

A nuestros familiares, fuentes de infinita inspiración y cálida compañía, herramientas indispensables a la hora de alcanzar grandes metas.

DEDICATORIA

Primeramente le agradezco al señor Jesús por su infinita misericordia, por haberme dado la oportunidad de nacer, ser parte de este mundo y sobretodo por hacer las cosas conforme a su voluntad.

Le agradezco profundamente a mis padres, a mi madre Cleo, por tener siempre la esperanza y la fe en la superación de sus hijos, por empujarnos y colaborarnos incansablemente sin esperar nada a cambio, a mi padre Tanito, le agradezco las habilidades heredadas, pues gracias a él y a su curiosidad con los elementos mecánicos me encuentro en este camino, también a su fe y sus oraciones en la cuales nos encomienda diariamente.

A mis hermanos, a Jorge pues su ejemplo de esfuerzo y sacrificio en el estudio y la investigación han dado frutos en mí, a Yamit que desde el cielo me ilumina e intercede por mí y siempre quiso verme ingeniero y a mi hermanito Cesar que me ha guiado, ayudado y enseñado como otro padre.

A mi esposa Laura por confiar y tener fe en mis capacidades, habilidades, por escogerme entre miles de hombres como su compañero y por creer que le esperan grandes cosas a mi lado.

A mi bebe Juan Esteban pues es un motor que acelera la consecución de mis sueños y que ahora hace parte de ellos, a mi otro bebe que desde la barriguita de su mami, me anima a seguir con este sueño y me regala una sonrisa diaria en mi rostro.

A mi compañero John, pues gracias a él se hizo posible este proyecto y debido a ello nació una gran amistad que perdurará mientras se prolongue nuestra existencia.

A mis amigos, Virgilio, Danny, Sebas, Carlos, Pedrotelli y Carva, pues su compañía, ayuda y ánimo fueron indispensables para conseguir la finalización de éste proyecto.

Juan Pablo Guarín Duran

A Dios por haberme regalado la inmensa bendición de desarrollarme íntegramente como profesional, guiándome en los caminos de la vida y fortaleciéndome en los momentos de dificultad.

A mis Padres Héctor y Delfina que con su inmenso amor paternal, su apoyo y sacrificio lograron inculcar en mis valores, principios y fortalezas que son parte activa de mi vida y se reflejan en cada acto.

A mis hermanos Claudia y Geovanny que me motivaron diariamente para alcanzar mis metas y mis sueños.

A mi esposa Laura por su inmenso amor y su agradable compañía que han sido parte constante de mi vida.

A mis dos hijos, Juan David y Johncito por ser la gran fuente de motivación, empeño y que dan luz a mi vida.

A mi compañero Juan Pablo, por su esfuerzo, dedicación y su gran amistad.

A todos mis amigos que me brindaron su apoyo incondicional.

John Alexander Schiller Lozano

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	20
1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	21
2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	23
3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO.....	25
3.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	25
3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	27
4 MARCO TEÓRICO.....	29
4.1 CONFORT TÉRMICO.....	29
4.2 TIPOS DE CLIMATIZACIÓN.....	30
4.3 CAMBIOS TÉRMICOS ENTRE EL CUERPO Y EL AMBIENTE	31
4.3.1 CONDUCCIÓN: Misión de los revestimientos, efecto de la temperatura del suelo ..	31
4.3.2 CONVECCIÓN: Efecto de la temperatura y de la velocidad del aire.....	33
4.3.3 RADIACIÓN: Efecto de la temperatura de las paredes.....	33
4.3.4 EVAPORACIÓN: efecto de la humedad del aire, temperatura efectiva	34
4.4 BALANCE ENERGÉTICO ALREDEDOR DEL CUERPO HUMANO	34
4.4.1 ECUACIÓN GENERAL DEL BALANCE TÉRMICO ENTRE EL CUERPO HUMANO Y EL AMBIENTE.....	36
4.5 VARIABLES DIRECTAS QUE DETERMINAN EL CONFORT TÉRMICO.....	37
4.5.1 Temperatura del Aire.....	37
4.5.2 Humedad del Aire.....	38
4.5.3 Velocidad del aire.....	39
4.5.4 Temperatura radiante media	40
4.5.5 Índices de confort básicos.....	41
4.6 NORMA ASHRAE STANDARD 55.....	43
4.6.1 Planteamiento de la temperatura del suelo según la norma ASHRAE standard 55...	45

4.6.2	Planteamiento de la humedad según la norma ASHRAE standard 55.....	46
4.6.3	Diferencia Vertical de Temperatura.....	47
4.6.4	Predicción de la comodidad térmica mediante el método de Fanger.....	49
4.7	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	53
4.8	SENSÓRICA.....	53
4.8.1	Medición de la temperatura.....	53
4.8.2	Medición de la velocidad del aire.....	58
4.8.3	Medición de la temperatura radiante.....	59
4.8.4	Medición de la humedad relativa dentro del auditorio.....	61
4.9	ACONDICIONADOR DE SEÑAL.....	62
4.9.1	Unidad de adquisición.....	63
5	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ADQUISIDOR DE DATOS.....	65
5.1	DISEÑO DEL BANCO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	65
5.1.1	Estructura modular.....	65
5.2	UNIDAD DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	70
5.2.1	Generalidades del equipo de Adquisición de Datos.....	70
5.2.2	Descripción del multiplexor.....	71
5.2.3	Conectores para los termopares y placa de conexiones.....	72
5.2.4	Conexiones eléctricas.....	76
5.2.5	Software de la Unidad de Adquisición de Datos Agilent 32972-A.....	81
5.3	SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURAS EN LABVIEW.....	87
5.3.1	Objetivo del software.....	87
5.3.2	Descripción del software.....	88
6	ESTUDIOS EXPERIMENTALES.....	95
6.1	DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	96
7	RESULTADOS.....	122
7.1	RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DENTRO DEL AUDITORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA CON EL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN ENCENDIDO.....	127
7.1.1	Gráficas del comportamiento de la temperatura del auditorio, con el termostato ajustado a 75 °F (≈24 °C).....	127

7.2	DATOS PARA TODAS LAS ZONAS CON EL TERMOSTATO AJUSTADO A 75 °F (≈24 °C).....	146
7.2.1	Gráficas del comportamiento de la temperatura del auditorio, con el termostato ajustado a 66 °F (≈19 °C).....	150
7.3	DATOS PARA LA ZONA 4D CON EL TERMOSTATO AJUSTADO A 66 °F.....	153
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	154
8.1	PASOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONFORT TÉRMICO UTILIZANDO EL MÉTODO DE FANGER.....	155
8.1.1	DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONFORT TÉRMICO PARA UN AJUSTE DE TERMOSTATO DE 75 °F (≈24 °C).....	157
8.1.2	DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONFORT TÉRMICO PARA UN AJUSTE DE TERMOSTATO DE 66 °F (≈19 °C).....	163
9	CONCLUSIONES.....	166
10	RECOMENDACIONES	169
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
	BIBLIOGRAFÍA.....	171
	ANEXOS.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de adquisicion de datos	28
Figura 2. Esquema de la conducción.....	31
Figura 3. Diagrama psicrométrico	38
Figura 4. Relación entre la temperatura, la velocidad y el confort térmico	40
Figura 5. Nomograma de Temperatura Operativa.....	42
Figura 6. Diagrama psicrométrico con líneas de igual temperatura efectiva estándar	44
Figura 7. Zona de confort para la humedad relativa.....	47
Figura 8. Altura y distribucion de los termopares en posición de sentado y de pie.....	48
Figura 9. Representación gráfica de la escala de sensación térmica.....	52
Figura 10. Proceso de adquisición de datos.....	53
Figura 11. Descripción del funcionamiento de un termopar	54
Figura 12. Medida con un termopar tipo “k”	55
Figura 13. Circuito termostático con bloque isotérmico	56
Figura 14. Eliminación del baño termostático.....	57
Figura 15. Descripción de un termopar	57
Figura 16. Anemómetro TPI 575.....	58
Figura 17. Termómetro de globo y balance energético	59
Figura 18 Balance para un termopar en el aire.....	60
Figura 19. Higrómetro digital	62
Figura 20. Diagrama de un multiplexor.....	63
Figura 21. Agilent 34972A	64
Figura 22. Dimensiones antropométricas relevantes para el diseño de puestos de trabajo	66
Figura 23. Dimensiones Básicas del Banco de Adquisición de Datos	68
Figura 24. Componentes estructurales del banco de adquisición.....	69
Figura 25. Componentes básicos del Agilent 34972A	70
Figura 26. Multiplexor 34901A	72
Figura 27 Conectores para termopar tipo K, hembra y macho.....	73
Figura 28 Conectores para termopar tipo K, hembra.....	73
Figura 29. Conectores tipo microfono de 3 pines	74
Figura 30. Medidas y distribución de las conexiones de los sensores en la placa del banco de adquisición.....	75
Figura 31. Adaptación del ventilador y la fuente de alimentación del banco de adquisición	76
Figura 32. Circuito de Alimentación y Refrigeración	77

Figura 33 Conector DB 25	78
Figura 34 Conector DB25 Hembra y macho	78
Figura 35. Conectividad Multiplexor	79
Figura 36. Conectores DB 25 hembras, desde el multiplexor (Conector 1 y 2)	80
Figura 37. Conectores DB25 macho, hacia la placa (Conector 1 y 2)	80
Figura 38. Conectividad termopares en la placa	81
Figura 39. Interfaz programa IO (reconocimiento del Agilent)	82
Figura 40. Detalle de la Conexión del Agilent con el PC, en el programa IO	83
Figura 41. Adición de instrumento al BenchLink	84
Figura 42. Remoción del instrumento en el BenchLink	85
Figura 43. Búsqueda y conexión del Agilent al BenchLink	86
Figura 44. Configuración canales en el BenchLink	87
Figura 45. Panel Frontal del Programa	88
Figura 46. Configuración del tiempo de muestreo en el panel frontal	89
Figura 47. Diagrama de Bloques para la Configuración del Tiempo	90
Figura 48. Configuración de la unidad y número de canales en el panel frontal	91
Figura 49. Configuración de canales	91
Figura 50. Proceso de adquisición de datos	92
Figura 51. Carpeta de Almacenamiento de Toma de Datos	93
Figura 52. “Test” actual del muestreo e historial de la toma de datos	94
Figura 53. Opciones para post-procesar los datos	94
Figura 54. Panel de control del aire acondicionado	98
Figura 55. Partes del termostato	99
Figura 56. Termostato con tapa	100
Figura 57. Detalle del visor termostato	101
Figura 58. Termostato sin tapa	101
Figura 59. Auditorio exterior	102
Figura 60. Auditorio interior	102
Figura 61. Unidad del aire acondicionado	103
Figura 62. Ducto y difusores del sistema de aire acondicionado en el auditorio	103
Figura 63. Retorno del aire acondicionado	103
Figura 64. Plano en planta del auditorio de Ingeniería Mecánica (Escala 1:10)	105
Figura 65. Ubicación de los termopares según la norma	107
Figura 66. Utilización de termopares en cada zona de muestreo	108
Figura 67. Estructura soporte para termopares	109
Figura 68. Distribucion de los termopares en las estructuras	110
Figura 69. carrete de cable tipo k para construccion de termopares	111
Figura 70. Circuito del soldador de puntas para termopares	112
Figura 71. Detalle del equipo soldador de puntas para termopares	113

Figura 72. Comportamiento ideal de un sistema de refrigeración con control on-off.....	115
Figura 73. Comportamiento de la temperatura en la tarima del auditorio.....	116
Figura 74. Detalle del ciclo para determinar el rango de temperatura en el termostato.....	117
Figura 75. Ejemplo para el rango de temperatura del termostato.....	118
Figura 76. Ejes Cartesianos en el auditorio.....	121
Figura 77. Posiciones del anemómetro en el muestreo de velocidades.....	121
Figura 78 Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.1, canal 101.....	124
Figura 79. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.2, canal 102.....	124
Figura 80. Gráfica correspondiente a la zona 1, termómetro de globo, canal 103.....	125
Figura 81. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.1, canal 104.....	125
Figura 82. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.2, canal 105.....	126
Figura 83. Ajuste del termostato.....	127
Figura 84. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.1, canal 101.....	128
Figura 85. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.2, canal 102.....	128
Figura 86. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 1, canal 103.....	129
Figura 87. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.1, canal 104.....	129
Figura 88. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.2, canal 105.....	130
Figura 89. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 1.1, canal 101.....	130
Figura 90. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 1.2, canal 102.....	131
Figura 91. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 2, canal 103.....	131
Figura 92. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 2.1, canal 104.....	132
Figura 93. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 2.2, canal 105.....	132
Figura 94. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 1.1, canal 101.....	133
Figura 95. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 1.2, canal 102.....	133
Figura 96. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 2D, canal 103.....	134
Figura 97. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 2.1, canal 104.....	134
Figura 98. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 2.2, canal 105.....	135
Figura 99. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 1.1, canal 101.....	135
Figura 100. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 1.2, canal 102.....	136
Figura 101. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 3, canal 103.....	136
Figura 102. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 2.1, canal 104.....	137
Figura 103. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 2.2, canal 105.....	137
Figura 104. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 1.1, canal 101.....	138
Figura 105. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 1.2, canal 102.....	138
Figura 106. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 3D, canal 103.....	139
Figura 107. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 2.1, canal 104.....	139
Figura 108. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 2.2, canal 105.....	140
Figura 109. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 1.1, canal 101.....	140
Figura 110. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 1.2, canal 102.....	141

Figura 111. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 4, canal 103	141
Figura 112. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 2.1, canal 104	142
Figura 113. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 2.2, canal 105	142
Figura 114. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.1, canal 101	143
Figura 115. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.2, canal 102	143
Figura 116. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 4D, canal 103	144
Figura 117. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.1, canal 104	144
Figura 118. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.2, canal 105	145
Figura 119. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.1, canal 101	150
Figura 120. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.2, canal 101	151
Figura 121. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 4D, canal 103	151
Figura 122. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.1, canal 101	152
Figura 123. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.2, canal 101	152
Figura 124. Relación entre la temperatura del aire, la velocidad del aire y el confort térmico	160
Figura 125. Nomograma de temperatura operativa con los datos	163
Figura 126. Nomograma de temperatura operativa para la zona 4D	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de confortabilidad del auditorio	24
Tabla 2. Calor producido por el cuerpo humano	35
Tabla 3. Mecanismos que utiliza el cuerpo humano para eliminar el exceso de calor	36
Tabla 4. Clasificación de ambientes.....	44
Tabla 5. Rango permitido de temperaturas del suelo.....	46
Tabla 6. Límites admisibles para la diferencia vertical de temperatura.....	48
Tabla 7. Valores del aislamiento de la ropa en unidades Clo	50
Tabla 8. Valores de la tasa metabólica en función de la actividad desarrollada	50
Tabla 9. Descripción de los componentes del banco de adquisición.	69
Tabla 10. Funciones y características del equipo Agilent 34972A.....	71
Tabla 11. Descripción del multiplexor 34901A	72
Tabla 12. Detalle de la configuración de los canales en el BenchLink.....	86
Tabla 13. Especificaciones técnicas del sistema de aire acondicionado del auditorio	97
Tabla 14. Descripción del termostato.....	100
Tabla 15. especificaciones para el muestreo	104
Tabla 16. Termopares a utilizar por zona de muestreo.....	108
Tabla 17. Nomenclatura de los termopares.....	111
Tabla 18. Materiales utilizados en el soldador	113
Tabla 19. Valores promedio del recinto	116
Tabla 20. Rango de temperatura en el termostato	118
Tabla 21. Fecha y resultado de las pruebas.....	122
Tabla 22. Diferencia vertical de temperatura promedio para cada zona.....	146
Tabla 23. Velocidad del aire para cada zona	147
Tabla 24. Humedad relativa promedio del aire para cada zona.....	147
Tabla 25. Resumen de los valores promedios de las variables de confort.....	148
Tabla 26. Resultados del Voto medio Estimado y porcentaje de insatisfacción.....	158
Tabla 27. Escala de sensación térmica.....	158
Tabla 28. Datos para hallar la zona de confort referente a la velocidad	160

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DEL CONFORT TÉRMICO DENTRO DEL AUDITORIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA SIN OCUPANTES*

AUTORES: JUAN PABLO GUARÍN DURAN

JOHN ALEXANDER SCHILLER LOZANO**

PALABRAS CLAVE: Confort, temperatura, control térmico, adquisición, datos, estudio experimental.

DESCRIPCIÓN:

El ser humano desde sus inicios ha desarrollado tecnologías con el propósito de lograr su comodidad y el beneficio común. Entre ellas tenemos los sistemas térmicos que en gran medida han contribuido al desarrollo de la industria y los sistemas de climatización que han brindado comodidad y confort a las personas. Esta investigación trata del análisis del confort térmico dentro del auditorio de Ingeniería Mecánica. Además de esto se construirá un banco flexible para la adquisición de datos con el fin de caracterizar las variables involucradas en dicho análisis, éste equipo se consolidará como una herramienta útil en la escuela de Ingeniería Mecánica para estudios futuros u otras investigaciones referentes al tema de estudio. El proceso de adquisición de datos inicia con la toma de datos por parte los sensores y finaliza con la introducción de estos a una computadora con su respectivo postproceso. Los sensores cuentan con una conectividad a una unidad de adquisición de datos que con anterioridad han sido sometidos a un acondicionamiento de señal; esta unidad cuenta con entradas analógicas y circuitos para realizar funciones de multiplexión, amplificación, conversión analógica a digital, registro y control, a fin de alimentar las señales digitales en el sistema de computación.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Dr. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THERMAL COMFORTS IN THE AUDITORIUM OF MECHANICAL ENGINEERING SCHOOL NO OCCUPANTS*

AUTHORS: JUAN PABLO GUARÍN DURAN

JOHN ALEXANDER SCHILLER LOZANO**

KEY WORDS: Comfort, temperature, thermal control, data acquisition, Experimental study,

DESCRIPTION:

Humanity since its inception has developed technologies in order to achieve its comfort and common benefit. These thermal systems have greatly contributed to the development of industry and air conditioning systems that have provided comfort and convenience to people. This investigation deals with the analysis of thermal comfort inside the auditorium of Mechanical Engineering accompanying. This acquisition will build a bench for the characterization of the variables involved in this analysis which will be consolidate as a useful tool in the School of Mechanical Engineering for future studies or other investigations. The data acquisition process begins with data collection by sensors and ends with the introduction of these to a computer with its own post processing. The sensors have a connectivity to a data acquisition unit that previously have undergone signal conditioning, this unit has analog and circuits to perform functions multiplexing, amplification, analog to digital conversion, recording and control, to feed digital signals to the computer system.

*Thesis

**Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Director Dr. Julian Ernesto Jaramillo Ibarra

INTRODUCCIÓN

En la formación de profesionales competentes para la industria y para la investigación, la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander se destaca, pues se encarga de fortalecer el carácter científico, investigativo y técnico de sus estudiantes, a lo cual se debe sumar el fomento de principios éticos y humanos, que en gran medida ayudan a formar una mejor sociedad y unos mejores individuos.

Con la modalidad de investigación en proyectos de grado, se busca fortalecer la competencia dando un valor agregado a los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de ésta; el presente trabajo de grado realiza un análisis del confort térmico del auditorio de Ingeniería Mecánica el cual se implementa con el diseño y construcción de un banco de adquisición de datos que permite la caracterización de la variables involucradas en el presente estudio.

El análisis aquí realizado, servirá como base para futuras mejoras, arreglos o investigaciones, referentes a la habitabilidad dentro del recinto e inclusive la realización de estudios económicos en el sistema.

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El ser humano desde sus inicios ha desarrollado tecnologías con el propósito de lograr su comodidad y el beneficio común. Entre ellas tenemos los sistemas térmicos que en gran medida han contribuido al desarrollo de la industria y los sistemas de climatización que han brindado comodidad y confort a las personas.

La climatización es una técnica que proporciona condiciones ambientales artificiales óptimas para diferentes aplicaciones tales como la conservación de alimentos o el acondicionamiento de recintos cerrados para mejorar la habitabilidad de sus ocupantes.

El objetivo del confort es mantener unas condiciones idóneas y con base en ellas diseñar e instalar equipos, que garanticen que los usuarios se encuentren en un ambiente agradable, que brinde comodidad y salubridad. En ciertos casos también es necesario revisar los valores de las variables referentes al confort térmico, en instalaciones que cuenten ya con equipos de climatización, esto con el fin de constatar si la instalación cumple con los estándares establecidos por normas que rigen dicho tema y así poder determinar el bienestar de los ocupantes de un recinto que cuente con climatización.

En la Universidad Industrial de Santander se encuentra el aula máxima de Ingeniería Mecánica, dicho edificio cuenta con un equipo de aire acondicionado que busca generar un ambiente artificial brindándole comodidad a las personas que lo ocupan.

El presente equipo cuenta con un control On/Off, el cual tiene como característica mantener un rango de temperatura, cuyo promedio garantiza un punto óptimo (Set Point) por medio de un termostato.

Es por tanto necesario realizar un estudio de las variables relevantes en el confort térmico del auditorio, aplicando así la respectiva teoría concerniente al tema y así comprobar si la edificación esta dentro de los parámetros establecidos en las normas. Para ello es necesario diseñar y utilizar un equipo capaz de registrar las variables involucradas en este análisis, las cuales una vez postprocesadas, serán analizadas y a partir de este estudio extraer conclusiones sobre el confort térmico de los ocupantes del recinto.

Es de gran importancia para la Escuela de Ingeniería Mecánica contar con un equipo experimental para medir las variables que determinan las condiciones de confort térmico, de allí la relevancia que asume este proyecto, que entre sus objetivos tiene la construcción de un banco capaz de realizar las mediciones requeridas por el usuario y que contará con un diseño flexible para la toma de grandes muestreos; en consecuencia éste banco se convertirá en una de las herramientas prácticas e investigativas con que contará la facultad para la realización de posteriores estudios.

2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Esta investigación se hace necesaria con el fin de comprobar si las personas que hacen uso del Aula Máxima de Ingeniería Mecánica se encuentran en las condiciones adecuadas de confort mencionadas. En la puesta en marcha del equipo de refrigeración del aula máxima, quizá no se contó con un estudio sobre las condiciones de confort térmico en el recinto donde éste funciona; este proyecto busca subsanar esta deficiencia por medio de un análisis del confort térmico mediante el desarrollo de un banco experimental que disponga de un sistema de adquisición de datos integrado y su posterior aplicación en la medición de temperaturas en el recinto estudiado.

En eventos realizados en el aula máxima de Ingeniería Mecánica se ha evidenciado que las condiciones en algunas ocasiones no son las mejores, esto se basa en la incomodidad de las personas que hacen uso del auditorio, es decir, se evidencia que las variables implicadas en el análisis del confort no cumple con lo estipulado en la norma. Es por ello necesario investigar y verificar estas variables, determinando así si dichas apreciaciones son verídicas. Vale la pena resaltar que también se dará cabida a investigaciones posteriores que propongan mejoras a este sistema tomando como referencia los resultados obtenidos en este proyecto.

Para la realización del análisis de confort térmico se realizó una encuesta con el fin de corroborar los rumores acerca de la comodidad ofrecida por éste recinto.

Esta encuesta fue realizada a un grupo de estudiantes que se encontraban presentando un examen y se pondero entre 1 y 5, siendo 5 muy confortable, 4 confortable, 3 Aceptablemente confortable, 2 inconfortable y 1 muy inconfortables, los resultados de la encuesta se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de confortabilidad del auditorio

Personas encuestadas	46	100%
Satisfechas	34	74%
Insatisfechas	12	26%

La clasificación de personas satisfechas se considero con puntuación mayor o igual a tres (3), de ésta puntuación hacia abajo corresponde a las personas insatisfechas.

3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO

3.1.1 OBJETIVO GENERAL

Cumpliendo con los objetivos referentes a la misión y la visión de la Universidad Industrial de Santander, con los de la Escuela de Ingeniería Mecánica en el ámbito de la investigación y fortaleciendo los conocimientos científicos inculcados, se pretende determinar si las variables que determinan el confort térmico cumplen con la norma.

3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer las condiciones teóricas de acuerdo a las normas ASHRAE e ISO de un auditorio similar al aula máxima de Ingeniería Mecánica, para que cumpla con los parámetros de confort térmico.

Los siguientes objetivos se han dividido en dos bloques; el primero referente al montaje experimental y el segundo al diseño del experimento, como se mostrará a continuación:

DISEÑO DEL MONTAJE EXPERIMENTAL

Este bloque busca también cumplir con uno de los objetivos del proyecto No 5570 financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS.

- Diseñar y construir un sistema flexible para el registro y monitoreo de las temperaturas del aula máxima de Ingeniería Mecánica en la Universidad

Industrial de Santander, con sus respectivos sensores y la placa para el ensamble de los circuitos electrónicos y los diferentes módulos que componen el sistema.

- Acondicionar el equipo de adquisición de datos AGILENT 34972A con sus respectivos multiplexores (34901A).
- Diseñar e implementar un software que sirva como interfaz gráfica entre el humano y la maquina de fácil comprensión y ejecución para la adquisición y postproceso de los datos.
- Diseñar y construir una estructura donde, se proteja y se transporte el equipo.
- Construir un dispositivo capaz de medir la temperatura de globo del recinto.
- Seleccionar un equipo para el registro de las velocidades del aire en el recinto.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

- Establecer las condiciones necesarias que garanticen el buen funcionamiento del experimento, tales como:
 - Determinar las zonas relevantes dentro del auditorio, para la toma de datos en el análisis.
 - Establecer tiempos necesarios para tener un número adecuado de mediciones que permita un postproceso estadístico con el objeto de caracterizar el ambiente de los ocupantes.
- Registro de los siguientes factores de incomodidad térmica local:
 - Diferencia vertical de temperatura del aire.
 - Humedad
 - Registro de la temperatura radiante.

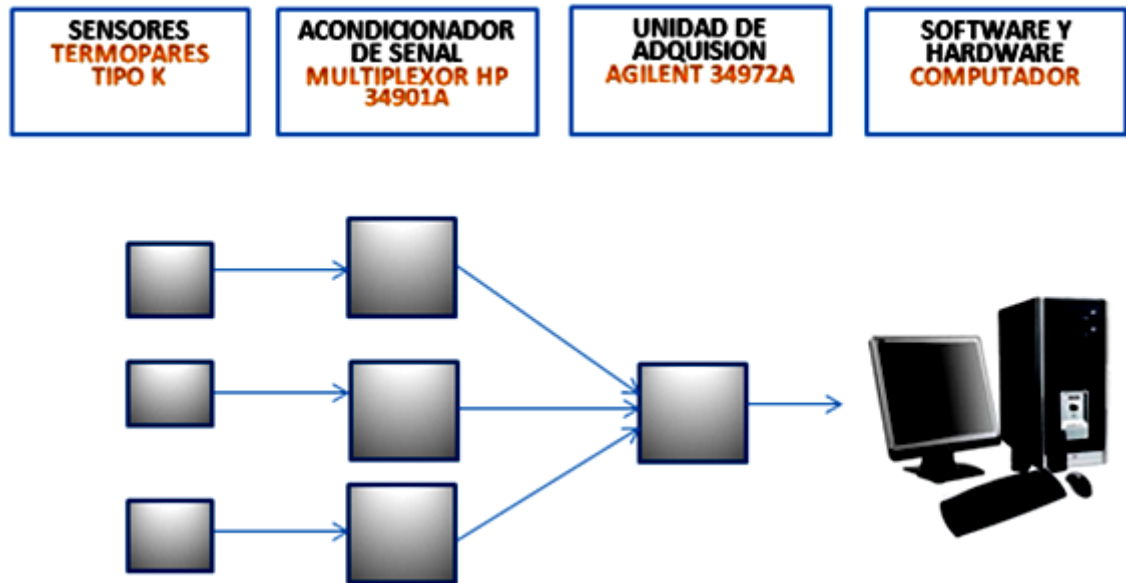
- Velocidad media del aire.
- Postproceso de los datos obtenidos.
- Analizar e interpretar los datos postprocesados en la etapa de recolección y compararlos con las condiciones estándar que establecen las normas para generar conclusiones y recomendaciones acerca del confort térmico que ofrece el Aula Máxima de Ingeniería Mecánica.

3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Cumpliendo con el propósito misional de la Universidad Industrial de Santander y con el de la Escuela de Ingeniería Mecánica y buscando satisfacer las necesidades de comodidad de los estudiantes y ocupantes del aula máxima de Ingeniería Mecánica referente a confort térmico se realiza el presente estudio.

El proceso de adquisición de datos inicia con el registro por parte de los sensores que posteriormente se someten a un acondicionamiento de señal, éstos cuentan con una conectividad a una unidad de adquisición de datos que se caracteriza por sus entradas analógicas y circuitos para realizar funciones de multiplexión, amplificación, conversión analógica a digital, registro y control, con el propósito de alimentar las señales digitales en el sistema de computación.

Figura 1. Proceso de adquisicion de datos



Parte del presente proyecto es el proceso de diseño y construcción de un banco experimental, el cual estará dispuesto para la adquisición y acondicionamiento de señales provenientes de termopares y sensores con salidas de voltaje de 0-5V y 4-20mA. A su vez con la adecuación del equipo adquirente de datos se busca cumplir con un objetivo específico del plan de proyecto No 5570 de la vicerrectoría de investigación de la Universidad Industrial de Santander, y paralelamente brindarle también una herramienta experimental de medición al proceso educativo de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 CONFORT TÉRMICO

Una definición objetiva de “Confort” puede tomarse como todo aquel estado en que el ser humano siente comodidad y placer, siendo éste influenciado por diversos factores que actúan de una manera directa **[1]**.

De éste modo el confort posee una dependencia de factores fisiológicos (edad, sexo, metabolismo) que afectan la percepción del entorno térmico; factores subjetivos en donde las expectativas psicológicas ante un determinado ambiente térmico tienen una relación con la sensación de confort térmico es así que una persona de clima cálido se siente confortable en un ambiente que resultaría caluroso para una persona de clima frío; y finalmente factores físicos (nivel de actividad de la persona, humedad del aire, temperatura del aire, entre otros) que establecen unas condiciones de confort en donde se alcanza el equilibrio entre el calor generado por el cuerpo humano por su metabolismo y actividad y el disipado al ambiente, logrando que la temperatura interna permanezca constante y no se genera sensación alguna de malestar e incomodidad.

Está comprobado que en ciertas condiciones ambientales (aproximadamente 40% y 60% de humedad relativa) se proporciona una sensación agradable para el ser humano. Hablar de humedad es importante pues no solo la temperatura es un factor vital en el confort térmico, un ambiente aprobado para el ser humano también tiene como variable directa la humedad; un ambiente seco puede generar una mejor sensación que uno húmedo, pero si ésta sequedad del aire es sobre proporcionada puede causar ciertos inconvenientes como sequedad de las mucosas, exceso de electricidad estática, resequedad y picazón corporal. Como contraparte un ambiente muy húmedo puede ocasionar dificultad en la respiración, con el agravio en la persona de no poder eliminar de una manera fácil el sudor corporal **[2]**.

El ruido puede producir molestias a la persona, sobre todo si ésta vive en un lugar con mucho tránsito, el aire puede llevar agentes patógenos o simplemente polvo; aunque estos factores no son los únicos a tomarse en cuenta para el confort, si son los más importantes, resumiéndolos:

- Velocidad
- Temperatura
- Humedad del aire
- Ruido
- Renovación y recirculación del aire

4.2 TIPOS DE CLIMATIZACIÓN

El control de los factores anteriores es fundamental para obtener un ambiente cómodo para sus ocupantes, de esto se conceptualizan dos líneas de actuación para este control: la climatización pasiva y la climatización activa [3].

CLIMATIZACIÓN PASIVA:

Este tipo de climatización busca lograr un ambiente de confort por medios naturales: utilización de la energía solar como medio de calefacción, un diseño efectivo de la vivienda, entre otros.

CLIMATIZACIÓN ACTIVA:

La climatización activa emplea medios mecánicos para impulsar el aire o el agua en las instalaciones, logrando conseguir un confort apropiado, este tipo de climatización se califica como más “agresiva” pero sin duda es más efectiva que la anterior.

4.3 CAMBIOS TÉRMICOS ENTRE EL CUERPO Y EL AMBIENTE

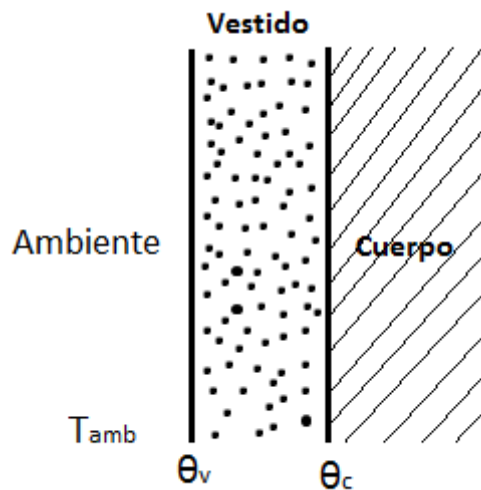
Los cambios térmicos en el cuerpo humano son debidos a los siguientes fenómenos:

- Conducción
- Convección
- Radiación
- Evaporación

4.3.1 CONDUCCIÓN: Misión de los revestimientos, efecto de la temperatura del suelo

Pueden presentarse dos tipos de conducción la cual sucede entre el cuerpo y los objetos que entran en contacto con él.

Figura 2. Esquema de la conducción



En la Figura 2 se muestra que el contacto es permanente y las temperaturas no varían con el tiempo. Sea θ_c la temperatura del cuerpo, que es igual a la de la superficie de los vestidos en contacto con él y θ_v la temperatura de la superficie exterior de los vestidos, se define que los cambios de conducción a través de los vestidos son proporcionales a la diferencia de temperatura ($\theta_c - \theta_v$) e inversamente proporcional a la resistencia térmica de los vestidos “r”.

$$q = \frac{\theta_c - \theta_v}{r} \quad (1)$$

Se ha supuesto hasta el momento que la temperatura no ha variado con el tiempo, es decir, se ha considerado “Régimen Permanente”, aunque no es así, cuando el cuerpo humano entra en contacto circunstancialmente con una superficie, como es el caso de marchar descalzo sobre un suelo frío; las temperaturas en contacto, la de los pies y la del suelo, que inicialmente son temperaturas diferentes, tienden a igualarse, el pie se enfría y la parte del suelo que esta en contacto con el pie tiende a calentarse.

Efecto de la vestimenta en la persona

El tipo de ropa usada en la persona sirve como aislamiento de ésta; la unidad que normalmente se usa para medir este aislamiento es el Clo (proviene del ingles “clothes” que significa vestido), de modo que su escala se basa en que una persona desnuda posee un Clo=0 y una con traje formal tiene un Clo=1 [3].

Su equivalencia en unidades:

$$1 \text{ Clo} = 0.155 \frac{m^2 * ^\circ C}{W} = 0.18 \frac{m^2 * ^\circ C * H}{KCal} \quad (2)$$

La unidad anteriormente explicada se utilizará en la valoración del confort térmico por medio del método de Fanger, proporcionando información que hace parte del cálculo de los índices “PMV” (Voto medio estimado) y “PPD” (Porcentaje de

personas insatisfechas) [Ver Pág. 48], los cuales aportan información clara y concisa para la evaluación del confort térmico.

4.3.2 CONVECCIÓN: Efecto de la temperatura y de la velocidad del aire

La convección tiene lugar entre el cuerpo y el aire, éste desprende o absorbe calor según que el aire sea más frío o más caliente; estos cambios son proporcionales a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el aire, y a un coeficiente de convección (α_c) que es función de la velocidad del aire.

$$q_c = \alpha_c(\theta_c - t_a) \quad (3)$$

4.3.3 RADIACIÓN: Efecto de la temperatura de las paredes

El intercambio de calor por radiación, tiene lugar entre el cuerpo y las paredes y los objetos próximos. Éste intercambio es proporcional a la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la temperatura radiante, y a un coeficiente de radiación " α_r ".

$$q_r = \alpha_r(\theta_c - \theta_r) \quad (4)$$

Suma de la convección y radiación, temperatura ambiente y temperatura resultante

Sumando los valores de convección y radiación se tiene:

$$q_c + q_r = \alpha_c(\theta_c - t_a) + \alpha_r(\theta_c - \theta_r) = (\alpha_c + \alpha_r) \left(\theta_c - \frac{\alpha_c t_a + \alpha_r \theta_r}{\alpha_c + \alpha_r} \right) \quad (5)$$

Expresión que puede escribirse:

$$(\alpha_c + \alpha_r)(\theta_c - t_{amb}) \quad (6)$$

T_{amb} es una temperatura ficticia, intermedia entre la temperatura del aire y la temperatura radiante que se da por la expresión (7), en la que se plantea que los cambios térmicos del cuerpo con el ambiente están determinados en partes iguales por la temperatura del ambiente y la del recinto [3].

$$t_{amb} = \frac{\alpha_c t_a + \alpha_r \theta_r}{\alpha_c + \alpha_r} \quad (7)$$

4.3.4 EVAPORACIÓN: efecto de la humedad del aire, temperatura efectiva

Los cambios por evaporación en el cuerpo humano son provocados por diferentes factores:

- La respiración, el aire expulsado por los pulmones contiene vapor de agua.
- La transpiración, o liberación de vapor de agua a través de los poros.
- La transpiración o liberación de agua líquida a través de los poros después de la evaporación en la superficie de la piel.

La suma de estos factores representan al menos el 20% de los cambios entre el cuerpo y el ambiente, estos cambios son función directa de la humedad del aire y su respectiva velocidad [3].

4.4 BALANCE ENERGÉTICO ALREDEDOR DEL CUERPO HUMANO

El calor generado o producido por el metabolismo (Q_m) deberá ser igual al calor disipado por conducción, convección y radiación, más el calor eliminado por evaporación y un calor acumulado o almacenado (Q_a) en el cuerpo que está sujeto a pequeñas variaciones muy frecuentes, pero que para un periodo (más o menos largo) éste se considera nulo.

$$Q_m = Q_{conducc} + Q_{convec} + Q_{rad} + Q_{evap} + Q_a \quad (8)$$

La cantidad de energía que es extraída por diferentes reacciones químicas, que generalmente consiste en quemar grasas y otras sustancias de reserva, es proporcional a la cantidad de trabajo realizado en simultaneidad con factores como el tamaño del cuerpo. Es fundamental el conocimiento como dato de cálculo de este calor para el estudio de la climatización, generalmente se emplean valores medios y aproximados ya que el conocimiento exacto es riguroso y arduo de conseguir.

Tabla 2. Calor producido por el cuerpo humano

Clase de Trabajo	Actividad	Calor por unidad de tiempo (W)
Ligero	Durmiendo	73
	Sentando	116
	Sentando con movimiento	161
Moderado	Sentando con movimiento	176
	Trabajo ligero	176
Pesado	Trabajo de pico y pala	513

Fuente: Hazim B. Awbi, Ventilation of Buildings, segunda edición.

El cuerpo humano tiene un sistema de adaptación a los cambios de temperatura, para ello utiliza diferentes mecanismos según las condiciones climáticas exteriores con el fin de regular su temperatura corporal interior (ver Tabla 3).

Tabla 3. Mecanismos que utiliza el cuerpo humano para eliminar el exceso de calor

Calor Extremo	Efectos desastrosos si es prolongado
Calentamiento Inevitable	Produce agotamiento, calambres
Calentamiento medio	Regulación por evaporación
	Operan las glándulas sudoríparas
Calentamiento ligero	Regulación vaso-motora.
	Dilatación de los vasos superficiales e incremento de la irrigación.
	Aumento de la temperatura de la piel.
Zona neutra	No hay reacción. Confort.
Enfriamiento ligero	Regulación vaso-motora. Descenso de la temperatura de la piel.
	Disminución del riesgo y contracción de los vasos.
Enfriamiento fuerte	Escalofríos. Movimiento.
Enfriamiento extremo	Efectos desastrosos si es prolongado.

Fuente: Hazim B. Awbi, Ventilation of Buildings, segunda edición.

4.4.1 ECUACIÓN GENERAL DEL BALANCE TÉRMICO ENTRE EL CUERPO HUMANO Y EL AMBIENTE

La ecuación del balance de calor del cuerpo humano es obtenida igualando la rata de calor producida por el metabolismo y la pérdida de éste hacia el medio ambiente por los procesos de evaporación, radiación, convección, conducción y respiración de la persona, de este modo:

$$Q_d + Q_a = Q_m - W \left[\frac{w}{m^2} \right] \quad (9)$$

Q_a = Calor almacenado

Q_m = Calor metabólico

W = Energía calorífica producida por el trabajo mecánico

Q_d = Calor disipado por el cuerpo

$Q_d = \pm R \pm C - E \pm C_{Res} \pm E_{Res} - E_d \pm C_{Cond}$

R = Intercambio de calor por radiación

C = Intercambio de calor por convección

E = Pérdida de calor por evaporación en la sudoración

C_{Res} = Intercambio de calor por convección respiratoria

E_{Res} = Intercambio por evaporación respiratoria

E_d = Pérdida de calor por difusión en la piel

C_{Cond} = Intercambio de calor por conducción

4.5 VARIABLES DIRECTAS QUE DETERMINAN EL CONFORT TÉRMICO

Los parámetros que influyen en el confort térmico son índices directos lo cual implica que son medibles con instrumentos sencillos que responden a las variables ambientales. Estas variables afectan al balance térmico, a través de los diferentes mecanismos de transferencia de calor (convección, evaporación, radiación).

- Temperatura y velocidad del aire (Transferencia de calor por convección)
- Humedad del aire (Transferencia de calor por evaporación)
- Temperatura radiante (Transferencia de calor por radiación)

4.5.1 Temperatura del Aire

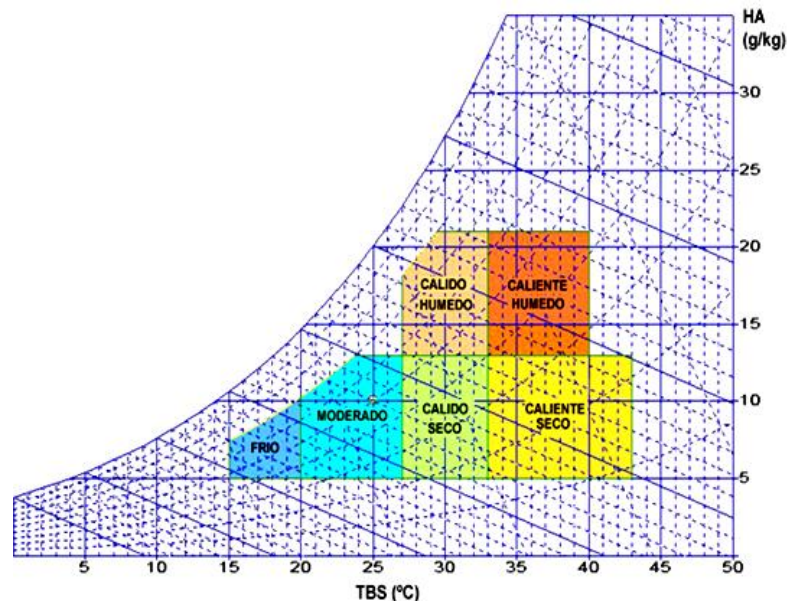
La temperatura del aire se conoce en términos técnicos como la temperatura de bulbo seco, es por lo general utilizada como índice del estado térmico de un ambiente, ésta mide la temperatura del aire sin considerar factores ambientales como la radiación, la humedad o el movimiento del aire, los cuales tienen el potencial de afectar de manera significativa la sensación térmica.

4.5.2 Humedad del Aire

La humedad del aire se debe a la cantidad de vapor que se encuentra en éste bajo ciertas condiciones atmosféricas; en un recinto cerrado resalta su importancia ya que determina la eficacia del proceso de evaporación del sudor condicionando de esta manera la disipación de calor en el cuerpo humano.

Existen dos índices para expresar la humedad, en términos absolutos como el contenido absoluto de vapor en el agua y en términos relativos como el porcentaje de vapor de agua que se tiene respecto a la saturación a una temperatura dada [2]. El diagrama psicrométrico es una de las herramientas más utilizadas para ubicar un estado higrotérmico del aire, éste logra relacionar múltiples parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo (temperatura, humedad absoluta, humedad relativa, punto de rocío, entre otros).

Figura 3. Diagrama psicrométrico



Fuente: GELVEZ AROCHA, OMAR ARMANDO. Diapositivas del diplomado en aire acondicionado y refrigeración.

4.5.3 Velocidad del aire

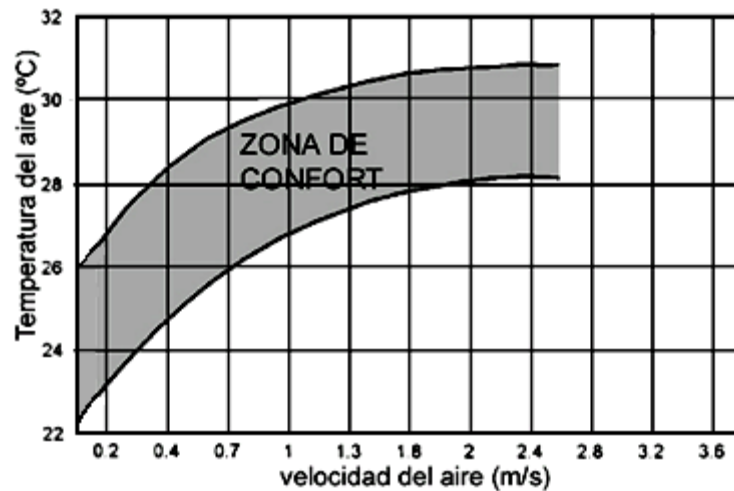
La velocidad influye de forma directa en la sensación de confort térmico en la persona de dos maneras, al modificar la cantidad de flujo de calor por convección e incrementar la eficacia de la evaporación del sudor en el individuo. Una capa de aire fijo se crea en las proximidades de la piel la cual mantiene una temperatura cercana a ésta y una humedad relativa alta, el movimiento del aire desplaza esa capa y permite un mayor intercambio de calor con el ambiente y una eficiente evaporación del sudor.

Cuando la velocidad del aire es mayor a los 0.4 m/s se hace perceptible al público [2]. Además, para los límites de temperatura establecidos en la Figura 4, las personas se sentirán cómodas.

Valores entre 1 y 2 m/s generan situaciones incómodas. Es interesante resaltar que por encima de 2 m/s cualquier aumento de velocidad deja de tener influencia en el confort, pero puede generar irritación ocular [2].

La Figura 4 es una herramienta útil para comprobar si la velocidad del aire en el recinto en función de la temperatura de bulbo seco cumple con las condiciones estándar de confort establecidas por la norma.

Figura 4. Relación entre la temperatura, la velocidad y el confort térmico



Fuente: Norma ASHRAE, Standard 55

4.5.4 Temperatura radiante media

La temperatura radiante media es aquella procedente del intercambio de calor en forma de radiación entre el elemento de estudio y el entorno, generalmente en espacios interiores. Técnicamente se define como la temperatura superficial uniforme de un recinto hipotético de paredes “negras” en el que se intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación que el ambiente real considerado. De esta manera el término “media” se refiere al promedio de calor radiante emitido por todas y cada una de las superficies del recinto [4].

Es posible medir la temperatura radiante media a partir de todas las temperaturas de las superficies interiores que hacen parte del recinto, considerando los factores de ángulo entre el punto de medición y dichas superficies. Sin embargo el valor que se obtiene posee una variación significativa debido a la geometría, emisividad y orientación de las superficies; por este motivo en la práctica se realizan

mediciones de manera aproximada e indirecta a partir de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de globo y la velocidad del aire.

La temperatura de globo se puede calcular mediante la lectura de un termómetro cuyo bulbo se encuentra dentro de una esfera de cobre de espesor fino, pintada de color negro para aumentar la absorción de radiación infrarroja, a éste termómetro se le denomina “Termómetro de globo”[5].

Conocida la temperatura de globo, es posible calcular la temperatura radiante media (TMR) con la siguiente expresión:

$$TMR(^{\circ}C) = T_{globo}(^{\circ}C) + 1.9 \sqrt{Velocidad\ del\ Aire\ \left(\frac{m}{s^2}\right)} * (T_{globo} - T_{bulbo\ seco}) \quad (10)$$

4.5.5 Índices de confort básicos

Se ha evidenciado que las variables anteriormente descritas contribuyen a un estado de comodidad, pero dentro de campo del confort térmico se establecen dos índices de confort térmicos.

- Temperatura operativa
- Temperatura efectiva

Temperatura operativa

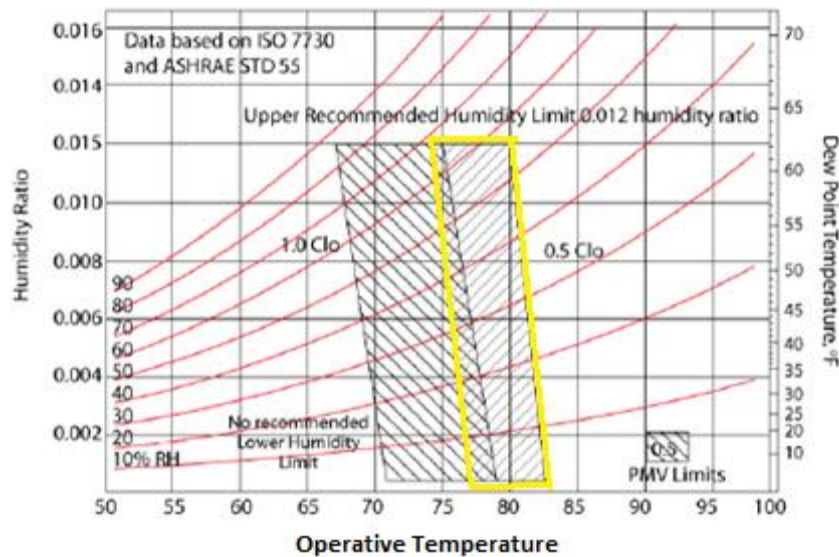
Se define como la temperatura uniforme en un recinto negro radiante en el que un ocupante tendría que intercambiar la misma cantidad de calor por radiación y por convección, que en una ambiente real no uniforme [5].

Si la velocidad relativa del aire es menor de 0.2 [m/s], y la diferencia entre la temperatura radiante media y la temperatura del aire es menor de 4°C; la temperatura operativa puede calcularse como un promedio entre la temperatura radiante media y la temperatura del aire, según la ecuación (11).

$$T_{op} = \frac{T_a + TMR}{2} \quad (11)$$

El rango aceptable para la temperatura operativa se plantea en la Figura 5, donde se resalta las condiciones para verano e invierno con los índices de 0.5 Clo y 1 Clo respectivamente. En la gráfica se observa que el rango de confort térmico, está en función de la humedad específica y la temperatura operativa. En el presente proyecto se resalta la zona de verano, dada la ubicación del recinto en estudio.

Figura 5. Nomograma de Temperatura Operativa



Fuente: ASHRAE Estándar 55

Temperatura efectiva

La temperatura efectiva puede definirse como la temperatura de un ambiente con un 50% de humedad que produce el mismo intercambio de calor desde la piel que provocaría un medio real; engloba estos parámetros en un solo índice de manera

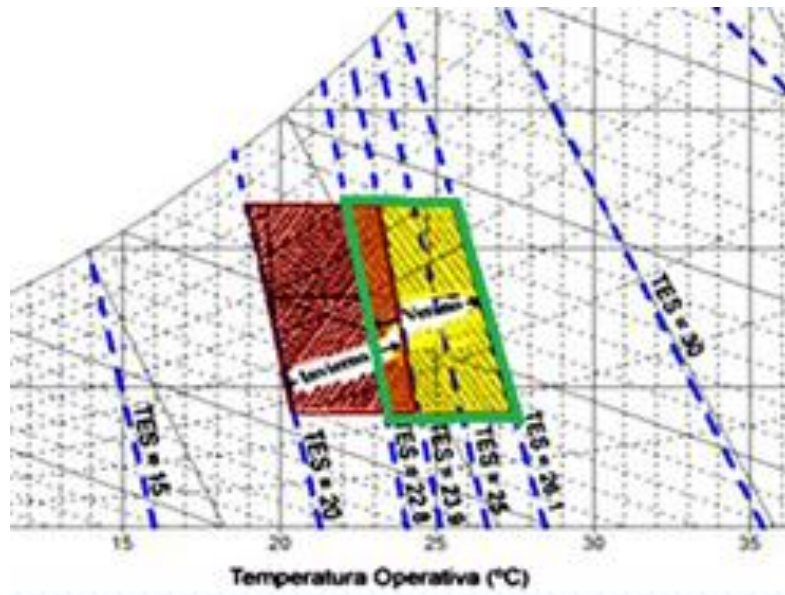
tal que dos ambientes pueden tener la misma temperatura efectiva, su cálculo puede ser tedioso, es por ello que para condiciones típicas se define una temperatura efectiva estándar la cual se obtiene de manera empírica sobre el diagrama psicométrico (ver Figura 6).

4.6 NORMA ASHRAE STANDARD 55

Define el rango de factores ambientales (temperatura, humedad, velocidad del aire, radiación térmica) y factores personales (actividad de la persona y vestimenta de ésta), para generar condiciones ambientales térmicas favorables y aceptables para la mayoría de las personas.

Las variables involucradas que esta norma establece como principales involucradas en el análisis de confort térmico y que deben ser revisadas en este estudio, son la temperatura del aire o en términos técnicos la temperatura de bulbo seco la cual es comúnmente utilizada como un índice del estado térmico de un ambiente; la temperatura radiante media, definida como una temperatura superficial uniforme de un recinto hipotético de paredes negras en el que se intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación que en el ambiente real considerado, ésta se considera como uno de los factores más importantes en la medición de confort en zonas cálidas o soleadas. A estas dos temperaturas se adjunta la humedad y la velocidad del aire, cuatro factores en que se fundamenta el análisis del confort térmico.

Figura 6. Diagrama psicrométrico con líneas de igual temperatura efectiva estándar



Fuente: Norma ASHRAE, Standard 55

Lo primero a establecer según la norma es la categoría a la cual pertenece el recinto en estudio, desde el punto de vista de clasificación ambiental.

Los tipos de entorno establecidos son:

Tabla 4. Clasificación de ambientes

Clase A	Se utiliza cuando se desea adherirse a los estándares más altos de confort.
Clase B	Es para aplicaciones típicas.
Clase C	Se utiliza cuando los estándares típicos de confort son bajos

Fuente: GELVEZ AROCHA, OMAR ARMANDO. Diapositivas del diplomado en aire acondicionado y refrigeración.

Considerando que el recinto a tratar es un auditorio, donde se albergarán seres humanos, cuya percepción es subjetiva, lo cual implica tener un rango apreciable de confort, es necesario ser preciso y establecer que la categoría a la cual pertenece el sitio objeto de estudio es Clase A, garantizando así altos estándares de comodidad.

La norma postula criterios para obtener un clima térmicamente aceptable, en los que se plantean requisitos de comodidad térmica, como:

- La temperatura operativa
- La velocidad del aire
- La humedad

De igual manera factores de incomodidad térmica local:

- Corrientes de aire
- Diferencia vertical de temperatura del aire
- Asimetría de la temperatura radiante
- Temperatura del suelo

4.6.1 Planteamiento de la temperatura del suelo según la norma ASHRAE standard 55

En ocasiones pueden presentarse molestias en los pies debido a la temperatura del suelo, ya sea que ésta se encuentre muy alta o muy baja, la pérdida de calor dependerá del tipo de calzado, el aislamiento que el piso tenga, la conductividad de éste y el calor específico que el material del piso posea.

La Norma ASHRAE plantea unos rangos admisibles de temperatura del suelo para cada clase de ambiente (Tabla 5).

Tabla 5. Rango permitido de temperaturas del suelo

RANGO DE TEMPERATURA PERMITIDO PARA EL PISO	
Clase	Rango de temperatura de la superficie del piso °C(°F)
A	19-29 (66.2-84.2)
B	19-29 (66.2-84.2)
C	17-31 (62.6-87.8)

Fuente: Norma ASHRAE Standard 55

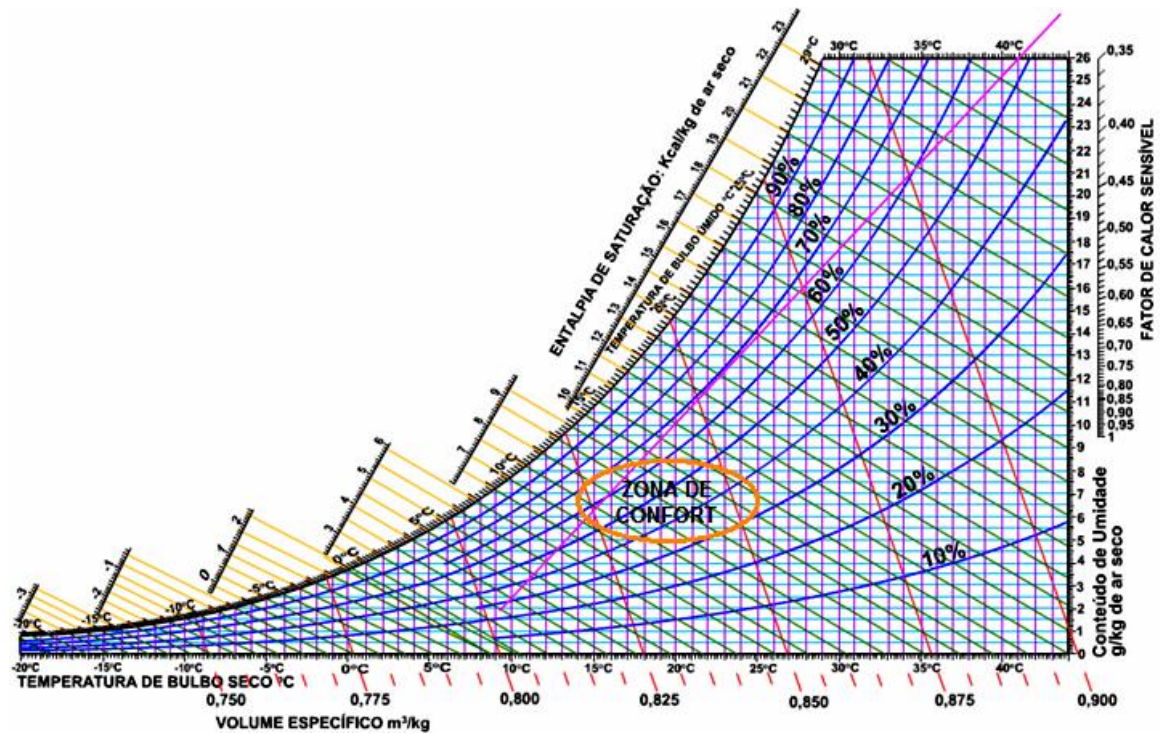
Ya que el auditorio se encuentra en la línea ecuatorial, donde la temperatura del piso no es baja, ni crítica y además éste cuenta con una alfombra que sirve como aislamiento térmico, por lo tanto se obviará la consideración de la temperatura del suelo para el presente análisis.

4.6.2 Planteamiento de la humedad según la norma ASHRAE standard 55

Otra de las variables importantes en la definición del confort térmico, es la humedad relativa, esta se define como el nivel de agua o vapor de agua disuelto en el aire, la norma define que los sistemas deben ofrecer una humedad inferior o igual al 60%, ésta no especifica un rango mínimo, sin embargo, factores no térmicos como sequedad en la piel, irritación en las membranas mucosas, sequedad en los ojos y generación de corrientes estáticas, pueden poner límites inferiores a esta variable [1].

Un valor permisible y aceptable, con fin ilustrativo puede ser el mostrado en la Figura 7.

Figura 7. Zona de confort para la humedad relativa



Fuente: Norma ASHRAE Standard 55

4.6.3 Diferencia Vertical de Temperatura

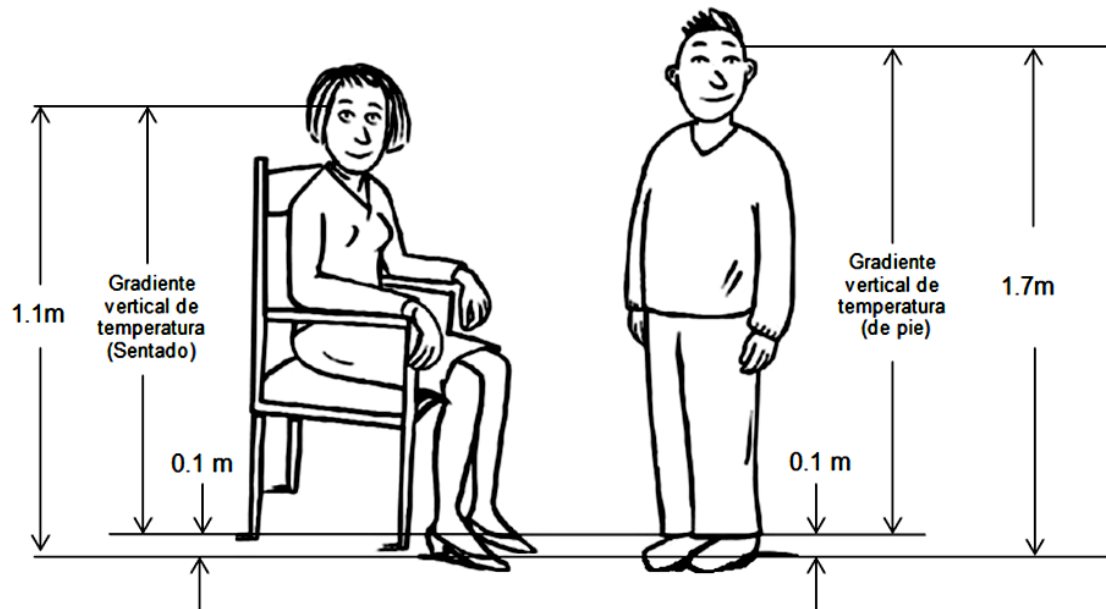
Referente a la temperatura, la norma aclara que es importante revisar el gradiente vertical de dicha variable, esta recomienda un máximo de 2 °C (Tabla 6), según la caracterización del tipo de ambiente (A), este gradiente se encuentra comprendido entre la distancia que hay entre los tobillos y la cabeza, para las posiciones de pie y sentado, respectivamente estas distancias son: 0.1 y 1.1 [m] por encima del suelo en posición de sentado y 0.1 y 1.7 [m] por encima del suelo en posición de pie.

Tabla 6. Limites admisibles para la diferencia vertical de temperatura

DIFERENCIA PERMISIBLE DE LA TEMPERATURA VERTICAL DEL AIRE ENTRE LA CABEZA Y LOS TOBILLOS	
Clase	Diferencia vertical de la temperatura del aire °C (°F)
A	<2(<3.6)
B	<3(<5.4)
C	<4(<7.2)

Fuente: Norma ASHRAE Standard 55

Figura 8. Altura y distribucion de los termopares en posición de sentado y de pie.



4.6.4 Predicción de la comodidad térmica mediante el método de Fanger

Este método⁵ en la actualidad es uno de los más extendidos para la estimación del confort térmico, además de estar incluido en la norma ASHRAE Standard 55; a partir de la información que proporciona la vestimenta, la temperatura del aire, la tasa metabólica, la temperatura radiante, la velocidad del aire y la humedad relativa, el método brinda información sobre la comodidad térmica mediante el cálculo de dos índices. El primero es denominado **Voto Medio Estimado** (PMV-predicted mean vote), el cual refleja el valor de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas dentro de una escala de sensación térmica valorada entre +3 y -3 (Mucho calor-Mucho frío, respectivamente) Figura 9, el segundo es el **Porcentaje de Personas Insatisfechas** (PPD-predicted percentage dissatisfied) que indica el porcentaje de personas que consideran el entorno como desagradable o incómodamente térmico.

Para la identificación de la sensación térmica global del auditorio de la escuela de Ingeniería Mecánica mediante el cálculo del voto medio estimado (PMV) es necesario la compilación de algunos datos.

En lo que se refiere a las características del ambiente se tiene:

- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Temperatura radiante
- Velocidad del aire

Estos datos se recopilarán en el análisis mediante el proceso de censado y adquisición de datos.

⁵ El método Fanger para la valoración del confort térmico fue propuesto en 1973 por P.O. Fanger, en la publicación Thermal Confort (New York, McGraw-Hill, 1973)

En cuánto a las personas:

- Tasa metabólica, la cual mide el gasto energético muscular que experimenta una persona cuando desarrolla una tarea.
- Aislamiento de la ropa

Para estas dos características se procederá a seleccionar los valores correspondientes de acuerdo a las siguientes tablas, en donde se muestra los valores de la tasa metabólica en función de la actividad desarrollada y el rango de valores que puede tomar la variable de aislamiento térmico de la ropa, respectivamente.

Tabla 7. Valores del aislamiento de la ropa en unidades Clo

Tipo de ropa	Aislamiento (clo.)
Desnudo	0 clo.
Ropa Ligera (ropa de verano)	0,5 clo.
Ropa Media (traje completo)	1 clo.
Ropa Pesada (uniforme militar de invierno)	1,5 clo.

Fuente: www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php

Tabla 8. Valores de la tasa metabólica en función de la actividad desarrollada

CLASE	Tasa metabólica en W/m²	EJEMPLOS DE ACTIVIDADES
Descanso	65	Descansando, sentado cómodamente.
Tasa metabólica baja	100	Escribir, teclear, dibujar, coser, anotar contabilidad, manejo de herramientas pequeñas, caminar sin prisa (velocidad hasta 2,5 Km/h)
Tasa metabólica moderada	165	clavar clavos, limar, conducción de camiones, tractores o máquinas de obras, caminar a una velocidad de 2,5 Km/h hasta 5,5 Km/h.
Tasa metabólica alta	230	Trabajo intenso con brazos y tronco, transporte de materiales pesados, Pedalear, empleo de sierra, caminar a una velocidad de 5,5 Km/h hasta 7 Km/h.
Tasa metabólica muy alta	260	Actividad muy intensa a ritmo de muy rápido a máximo, trabajo con hacha, cavado o pelado intenso, subir escaleras, caminar a una velocidad superior a 7 Km/h.

Fuente: www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php

Para el presente análisis se ha seleccionado un factor de aislamiento de la ropa de 0.5 Clo debido a la zona geográfica en donde está ubicado el auditorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica, y por el poco nivel de actividad que desarrollan los ocupantes de éste recinto se escoge un valor de 65 [W/m²] para la tasa metabólica de las personas.

Una vez recopilada la información anterior se procede al cálculo del índice del voto medio mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0.303 * e^{-0.036*M} + 0.028] * \{(M - W) - 3.05 * 10^{-3} \\
 & * [5733 - 6.99 * (M - W) - P_a] - 0.42 * [(M - W) - 58.15] \\
 & - 1.7 * 10^{-5} * M * (5867 - P_a) - 0.0014 * M * (34 - t_a) \\
 & - 3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c \\
 & * (t_{cl} - t_a)\} \quad (12)
 \end{aligned}$$

Dónde:

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35.7 - 0.028 * (M - W) - I_{cl} * \{3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 \\
 & - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad (13)
 \end{aligned}$$

$$h_{cl} = \begin{cases} 2.38 * |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{para } 2.38 * |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 * \sqrt{v_{air}} \\ 12.1 * \sqrt{v_{air}} & \text{para } 2.38 * |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 * \sqrt{v_{air}} \end{cases} \quad (14)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1.29 * I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0.078 [m^2 * K/W] \\ 1.05 + 0.645 * I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0.078 [m^2 * K/W] \end{cases} \quad (15)$$

M= Tasa Metabólica en W/m²

W= Potencia mecánica efectiva en W/m² (puede estimarse en 0)

I_{cl}= Aislamiento de la ropa en m²*K/W

f_{cl} = Factor de superficie de la ropa

t_a = Temperatura del aire en °C

$\bar{t}_r$ =Temperatura radiante media en °C

V_{air} = Velocidad del aire en [m/s]

h_c = Coeficiente de calor por convección [$W/m^2 \cdot K$]

t_{cl} = Temperatura de la superficie de la ropa

P_a = Presión parcial del vapor de agua en [Pa]

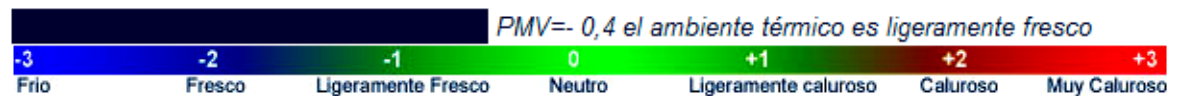
Donde:

$$P_a = \frac{RH}{100 * e^{\left(\frac{16.6536 - 4030.183}{(t_a + 235)}\right)}} \quad (16)$$

RH es la humedad relativa del aire medida en porcentaje

Una vez se calcula el índice de Voto Medio Estimado (PMV) con el valor obtenido, se podrá caracterizar el ambiente en la escala mostrada en la Figura 9 y calcular así el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) con la ecuación (17):

Figura 9. Representación gráfica de la escala de sensación térmica



Fuente: www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0.03353 * PMV^4 - 0.2179 * PMV^2)} \quad (17)$$

4.7 ADQUISICIÓN DE DATOS

Es el proceso mediante el cual se caracterizan sistemas, por medio de la recolección o medición de las variables relevantes o de interés en el análisis propuesto.

En la de adquisición de datos se debe tener en cuenta una serie de dispositivos o subsistemas enlazados (Figura 10) capaces de cumplir una función definida, es decir se necesita un equipo de censado, un equipo transmisor, un sistema de almacenamiento y por ultimo, el equipo que traduzca toda la información y cree una interfaz entendible para el ser humano, a continuación se muestra el proceso particular para el análisis de las variables involucradas en el confort térmico de auditorio de la escuela de Ingeniería Mecánica.

Figura 10. Proceso de adquisición de datos



Para entender un poco más este tema es necesario desglosar el proceso de adquisición de datos, se empezará a hablar sobre cada subsistema, para así entender su funcionamiento y sus componentes.

4.8 SENSÓRICA

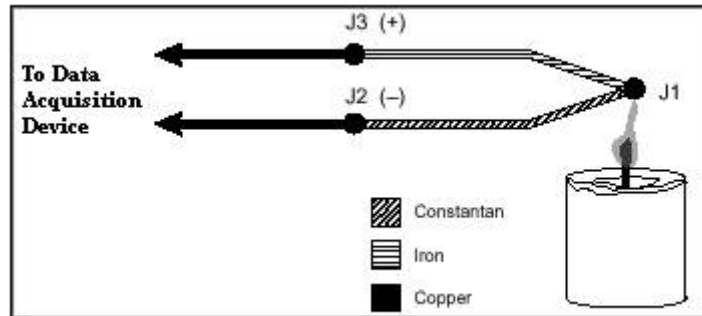
4.8.1 Medición de la temperatura

En la técnica de registro de medidas de temperatura existe una gran variedad de sensores o elementos útiles para dicho oficio, entre ellos se tienen los termopares, las resistencias variables (RTD y termistores), los diodos y sensores de silicio entre otros [6].

Los termopares son unos de los sensores más utilizados en la toma de temperaturas debido a su exactitud, su operación en grandes rangos de medición y su bajo costo.

Un termopar se logra cuando dos metales diferentes se unen y en su punto de contacto se produce un pequeño voltaje. Si se considera el termopar mostrado en la Figura 11, donde su intención es medir la temperatura de la llama, se nota que los dos hilos están conectados a los cables de cobre que van hacia el dispositivo de adquisición. Se puede observar que hay tres uniones distintas en el termopar (J1, J2, J3), la unión del termopar (J1) genera un voltaje que es proporcional a la llama de la vela, mientras que las otras dos uniones (J2, J3) que representan la unión entre el termopar y el cable de adquisición de datos, los cuales al ser de diferentes materiales generan una diferencia de potencial llamada fuerza electromotriz termoeléctrica (efecto Seebeck), lo cual se conoce técnicamente como “junta fría” y es una función de la temperatura de la unión y del tipo de materiales unidos.

Figura 11. Descripción del funcionamiento de un termopar



Fuente: BOLTON, W. *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería*

Para cambios pequeños de temperatura, la tensión de seebeck guarda una relación lineal con ésta misma, de esta manera:

$$V_{Seebeck} = \alpha * T \quad (18)$$

Donde:

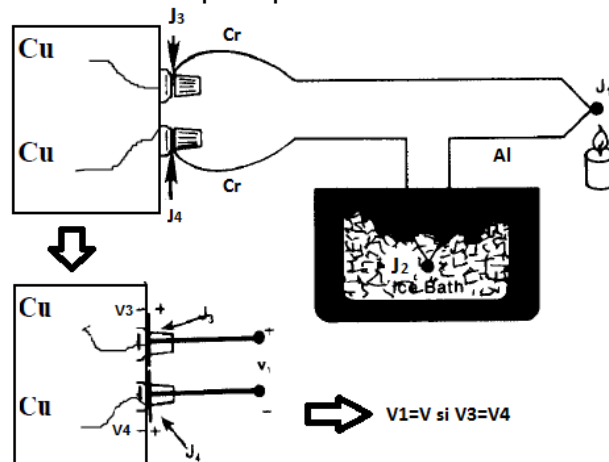
$V_{Seebeck}$ = Tensión de Seebeck

α = Coeficiente de Seebeck

T = Temperatura

Cuando un termopar no contiene cobre como uno de sus metales, el circuito termoeléctrico puede ser distinto. En el presente caso, en donde se tiene un termopar tipo “k” (Cromo-Alumel), el cable de cromo aumenta el número de diferentes uniones y por consiguiente el número de tensiones de seebeck. Las uniones de los cables de cobre de la unidad de adquisición de datos (J_3 y J_4) con los cables de cromo generan un voltaje V_3 y V_4 (Figura 12), las cuales no influirán en la lectura de la unidad de adquisición de datos si ambas están a la misma temperatura, lo cual da que $V_3=V_4$, en cuyo caso se cancelarían en el circuito termoeléctrico formado; la unión J_2 se dispone en un baño de hielo termostático que se sabe está a 0° Celsius; ésta unión J_2 recibe el nombre de unión de referencia “ J_{ref} ” (ver Figura 12).

Figura 12. Medida con un termopar tipo “k”

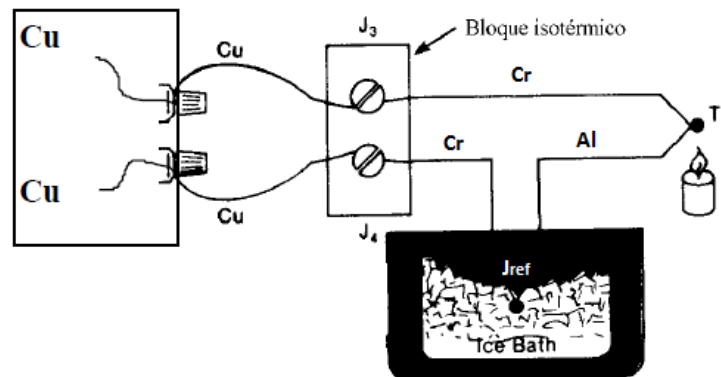


Fuente: BOLTON, W. Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería

Para asegurar que las uniones J_3 y J_4 estén a la misma temperatura y así poder efectuar medidas de mayor precisión, no es suficiente con la disposición mostrada en la Figura 12, puesto que no se garantiza que J_3 y J_4 estén a igual temperatura. Para ello se extienden los cables de cobre de la unidad de adquisición de datos y

se realizan las uniones Cromo-Cobre en un bloque isotérmico (ver Figura 13), el cual es un buen conductor térmico y aislante eléctrico que permite mantener la uniones J3 y J4 a la misma temperatura.

Figura 13. Circuito termostático con bloque isotérmico



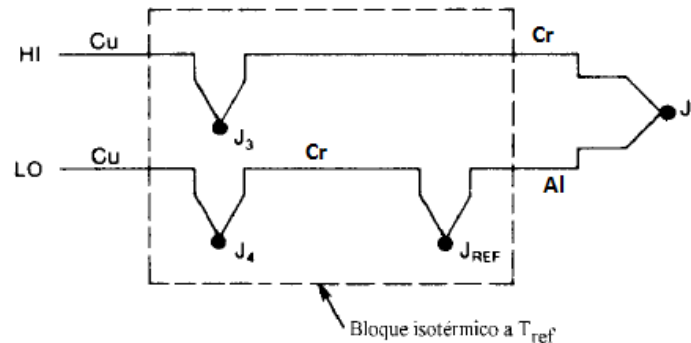
Fuente: BOLTON, W. *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería*

Dado el planteamiento del circuito termostático, la lectura de la unidad de adquisición viene dada por:

$$V_{Seebeck} = \alpha * (T_1 - T_{ref}) \quad (19)$$

En la práctica no es operativo utilizar un circuito termostático que incluya un baño de hielo termostático y un bloque isotérmico. Por ello la solución consiste en observar que las uniones existentes en el cable inferior (J4 y Jref) comparten un mismo cable de cromo, el cual si se incluye dentro del mismo bloque isotérmico podrá eliminarse el baño de hielo termostático, y la lectura de la unidad de adquisición de datos seguirá siendo la misma puesto que si J3 y J4 están a la misma temperatura de referencia, sus tensiones de seebeck siguen cancelándose (ver Figura 14).

Figura 14. Eliminación del baño termostático



Fuente: BOLTON, W. *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería*

Se hace necesario resaltar que todo este proceso de conversión de la lectura de voltaje a temperatura “Efecto Seebeck”, es realizado por la unidad de adquisición de datos (Agilent 34972A).

Los termopares tipo “K” tienen gran aplicación en ambientes corrosivos, es decir en donde hay un exceso de oxígeno libre, son ampliamente utilizados para medir temperaturas de hasta 1317 °C en servicio continuo. Para las condiciones del recinto en este estudio se recurrirá a sensores termopar tipo k, se seleccionarán estos elementos basándose en las características ya mencionadas y además por su bajo costo, sus conexiones estándar como se puede apreciar en la Figura 15, y su amplio rango de temperatura.

Las condiciones del experimento se consideran ambientales, por lo tanto no ameritan otro tipo de sensor más preciso y de mayor costo.

Figura 15. Descripción de un termopar



Fuente: <http://www.icytal.uach.cl>

4.8.2 Medición de la velocidad del aire

Referente al registro de la velocidad del aire se hace necesario recurrir a un elemento capaz de censar esta variable por ello se recurrirá al uso del anemómetro de turbina específicamente el equipo es el TPI 575 que se muestra en la Figura 16, este equipo mide la velocidad de corrientes de aire con una dirección específica y que estén libres de perturbaciones, es de menor tamaño lo que implica que es un instrumento adecuado para su uso fijo o móvil, su costo es bajo, ofrece más versatilidad y arroja resultados en tiempo real, lo cual es clave en la toma de medidas de velocidad a la par con medidas de temperatura, tiene la ventaja de que los resultados de las mediciones no tienen que ser corregidos en un límite amplio incluso si la temperatura oscila o la presión cambia. Como recomendación debe ser protegido de la humedad, la contaminación y los golpes ya que es un equipo de precisión.

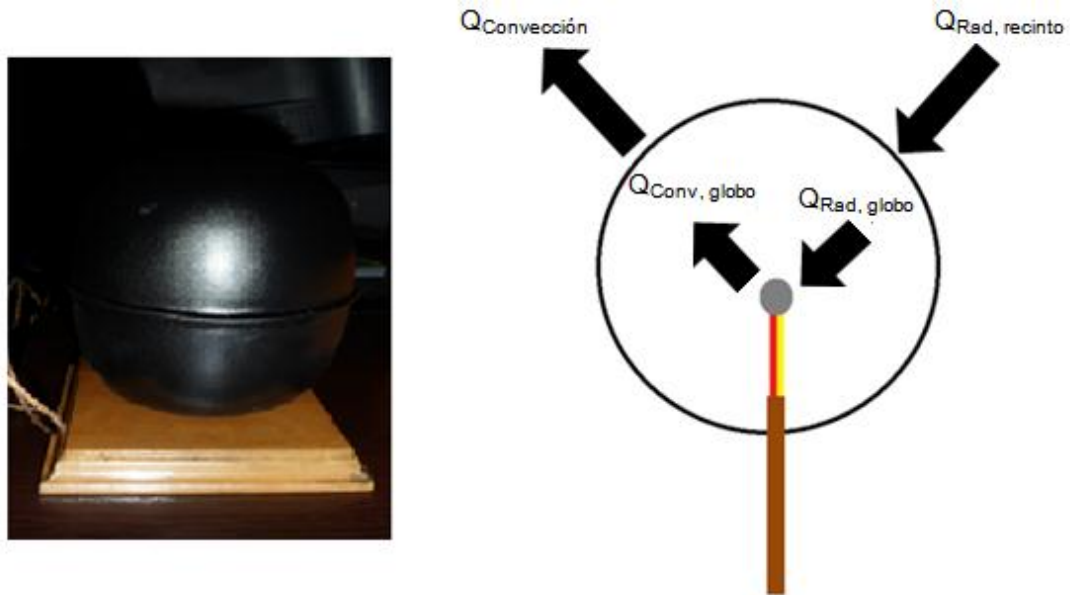
Figura 16. Anemómetro TPI 575



4.8.3 Medición de la temperatura radiante

Para medir la temperatura causada por radiación proveniente del techo, las paredes y demás objetos del recinto se hace necesario construir un elemento capaz de registrar de una forma fácil, económica y eficiente dicha variable, para tal fin se optó por construir un termómetro de globo (Figura 17) el cual está constituido por un material conductor (cobre) que cubre al sensor de temperatura, el cual hace las veces de recinto cerrado, es de un color absorbente de radiación (negro mate) y está encargado de absorber la radiación infrarroja de los elementos a su alrededor y que sean más calientes que el aire, este dispositivo alberga en su interior un termopar, proveniente del equipo adquisidor de datos para así registrar dicha temperatura, estableciendo así una de las variables involucradas en el confort térmico de un local.

Figura 17. Termómetro de globo y balance energético



Balance energético para el termopar dentro del termómetro de globo

$$Q_{termopar} = Q_{Rad,globo} - Q_{Conv,globo} \quad (20)$$

Donde:

$Q_{termopar}$ = Calor total sobre el termopar dentro del globo

$Q_{Rad,globo}$ = Calor radiante absorbido por el termopar dentro del globo

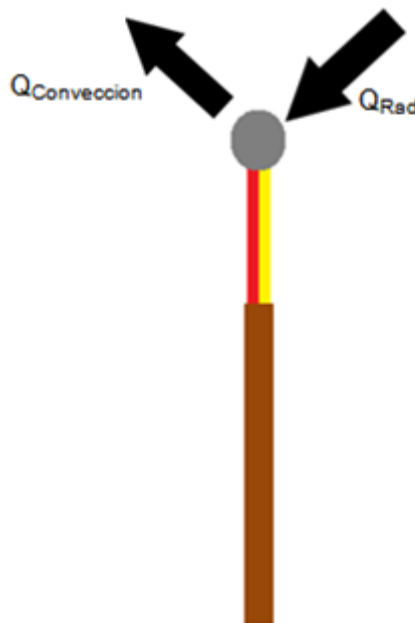
$Q_{Conv,globo}$ = Calor convectivo disipado en el termopar dentro del globo

$Q_{Conveccion}$ = Calor disipado por convección del aire externo

$Q_{Rad,recinto}$ = Intercambio radiativo neto entre la superficie del globo y el recinto

El calor total en el termopar del termómetro de globo, será el calor de radiación absorbido por la superficie negra de éste elemento menos el calor retirado por convección.

Figura 18 Balance para un termopar en el aire



Balance energético para el termopar en el aire

$$Q_{termopar} = Q_{Rad} - Q_{Convección} \quad (21)$$

Donde:

$Q_{termopar}$ = Calor total en el termopar, expuesto al aire del recinto

$Q_{Convección}$ = Calor de convección del aire

Q_{Rad} = Calor de radiación emitido por los objetos en el recinto y absorbido por el termopar

El calor en el termopar expuesto al aire será el proveniente del calor de radiación menos el calor convectivo retirado por el aire.

La radiación en el termómetro de globo será mayor que en el otro termopar, pues la superficie negra mate del termómetro de globo absorberá todo el espectro.

$$Q_{Rad,globo} > Q_{Rad} \quad (22)$$

Además la velocidad del aire dentro del globo será menor (convección natural) que en el termopar expuesto al aire exterior (convección forzada), pues el termómetro de globo se encuentra sellado, lo que conlleva a decir que:

$$Q_{conv,globo} < Q_{convección} \quad (23)$$

Según lo anterior se puede concluir que el calor del termómetro de globo será de carácter radiativo.

4.8.4 Medición de la humedad relativa dentro del auditorio

Para medir la humedad relativa se recurre a un dispositivo sencillo llamado higrómetro, pero para obtener mejores resultados se adquirió uno digital, este es muy económico, de fácil consecución y muy útil para nuestro análisis.

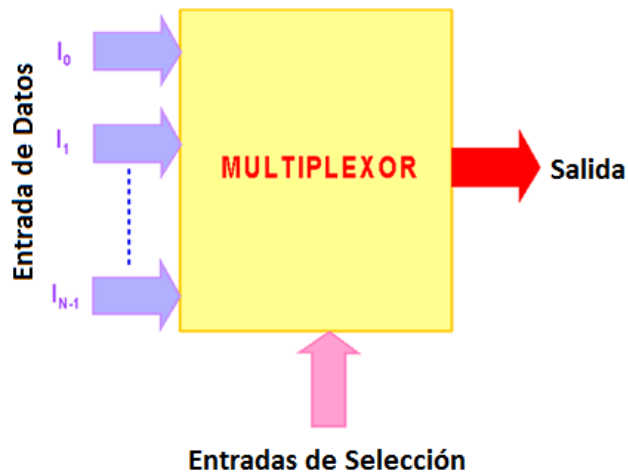
Figura 19. Higrómetro digital



4.9 ACONDICIONADOR DE SEÑAL

El multiplexor, es el elemento encargado de facilitar y simplificar la comunicación entre los sensores y la unidad adquisidora. Para el proceso de adquisición de datos en este estudio se utilizó el equipo Agilent 34972A, para el funcionamiento de este equipo es necesario tener conectado simultáneamente el multiplexor 34901A el cual se encarga de optimizar el muestreo y hacer más compacto el equipo, pues este multiplexor se encarga de tomar múltiples entradas y transformarla en una única salida, esto gracias a la ayuda de una señal, que se encarga de seleccionar el canal que se necesite y se llama como su nombre lo indica señal de selección, cabe resaltar que los datos van cruzando el canal de salida en diferente tiempo.

Figura 20. Diagrama de un multiplexor



El multiplexor de alguna forma es el que gobierna el número de sensores para conectar, cada multiplexor tiene disponibles 20 canales y el equipo puede admitir hasta 3 multiplexores 34901A, es decir podemos tener 60 sensores conectados simultáneamente ya que la unidad de adquisición Agilent 34972A tiene espacio para 3 multiplexores.

4.9.1 Unidad de adquisición

Con el propósito de adquirir y almacenar datos se cuenta con el equipo Agilent 34972A, el cual es un sistema muy completo para este tipo de estudios, además de adquirir datos, este equipo tiene la capacidad de controlar procesos, para nuestro análisis se utilizará únicamente como adquisidor de datos, pero vale la pena mencionar su funcionalidad, para que se tenga en cuenta en estudios posteriores, es importante dejar claro que el data sheet u hoja de datos de este equipo se agregará como un anexo, el equipo y las implicaciones

correspondientes al estudio, tales como conexión, configuración y anclaje a la mesa, se explicarán mas a fondo en el capítulo 3.

Este equipo es fundamental en la consecución de los objetivos del proyecto, por lo tanto se debió construir una estructura capaz de almacenarlo, brindarle seguridad y transporte, esta mesa se mostrará en detalle también en el capítulo 3.

Figura 21. Agilent 34972A



Fuente: www.agilent.com

5 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ADQUISIDOR DE DATOS

5.1 DISEÑO DEL BANCO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El Banco para el proceso de adquisición de datos requerido en el análisis del confort térmico desarrollado en el presente proyecto, está sometido a un análisis de diseño teniendo en cuenta diferentes factores como lo es la ergonomía, la flexibilidad en la toma de datos, la transferencia de calor y la adaptación de los sensores. Por lo tanto, el diseño del banco se dividirá en las siguientes secciones que son consideradas fundamentales para la adquisición de datos.

- Estructura modular.
- Placa de conexiones.
- Conexiones eléctricas.
- Circuito de alimentación y refrigeración
- Conexión Placa-Multiplexor.

5.1.1 Estructura modular

La estructura modular para el banco de adquisición de datos, es centrada en el concepto de ergonomía en donde se enfoca la optimización del sistema persona-máquina, el cual se define como un conjunto de elementos que se interrelacionan en un ambiente, esto con el fin de maximizar la correspondencia entre el usuario y el banco de adquisición de datos.

Diseño ergonómico del banco de adquisición de datos con base en la antropometría.

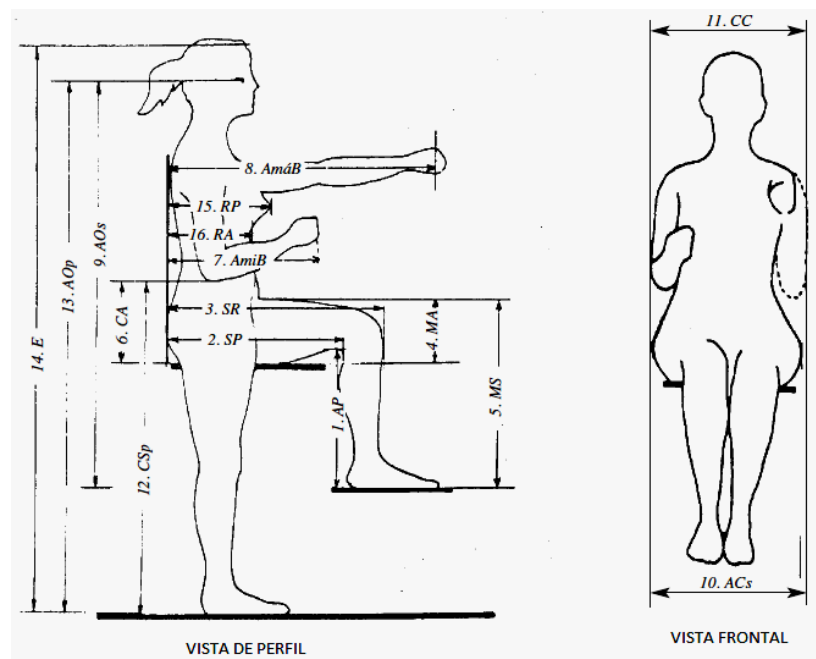
“La Antropometría es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia

distintas estructuras anatómicas, y sirve de herramienta a la ergonomía con objeto de adaptar el entorno a las personas” [7].

Con base en el concepto anterior se da un enfoque al diseño estructural del banco de adquisición, adecuando sus medidas y dimensiones para que el usuario tenga comodidad, y consecuente a esto la mayor flexibilidad en el proceso de adquisición.

Mondelo y Gregori [7], proponen en su libro “FUNDAMENTOS DE ERGONOMÍA” medidas básicas para el diseño del puesto de trabajo, las cuales se toman del entorno en donde esté ubicado.

Figura 22. Dimensiones antropométricas relevantes para el diseño de puestos de trabajo



Fuente: MONDELO, R. Pedro, GREGORI, Enrique, y BARRAU, Pedro. *Ergonomía 1: fundamentos*. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1994.

En donde:

Posición de sentado:

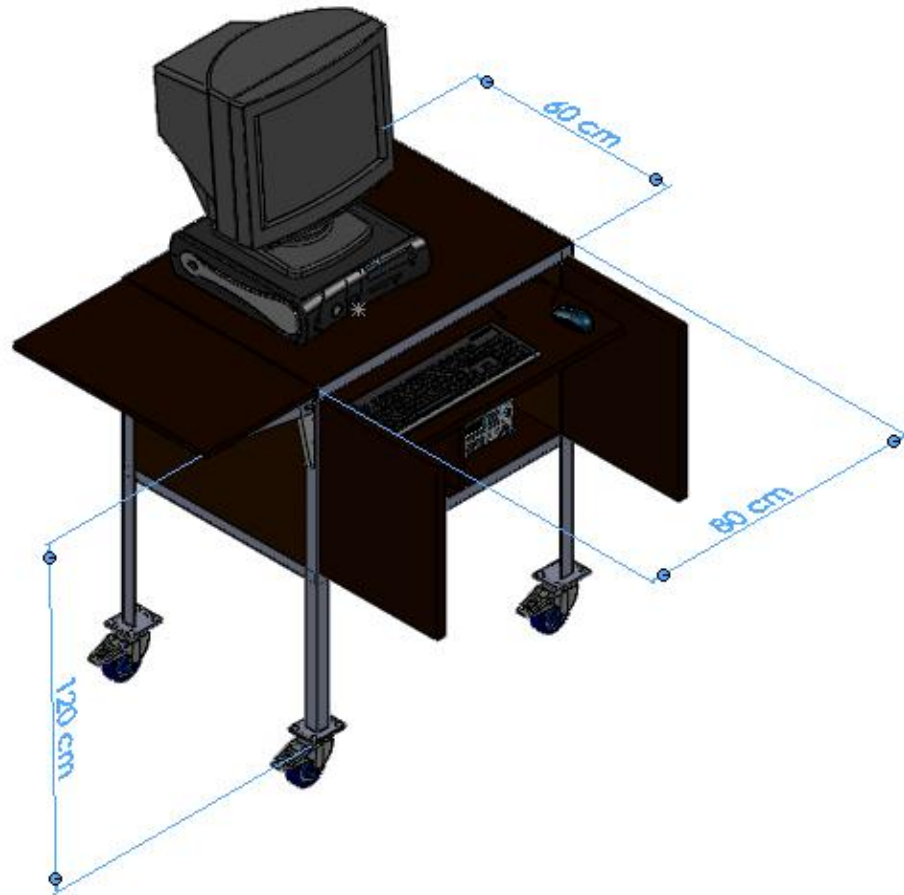
- ✓ (AP) Altura poplítea
- ✓ (SP) Distancia sacro-poplítea
- ✓ (SR) Distancia sacro-rótula
- ✓ (MA) Altura de muslo desde el asiento
- ✓ (MS) Altura del muslo desde el suelo
- ✓ (CA) Altura del codo desde el asiento
- ✓ (AmínB) Alcance mínimo del brazo
- ✓ (AmáxB) Alcance máximo del brazo
- ✓ (AOs) Altura de los ojos desde el suelo
- ✓ (ACs) Anchura de caderas sentado
- ✓ (CC) Anchura de codo a codo
- ✓ (RP) Distancia respaldo-pecho
- ✓ (RA) Distancia respaldo-abdomen

Posición de pie:

- ✓ (E) Estatura
- ✓ (CSp) Altura de codos de pie
- ✓ (AOp) Altura de ojos de pie
- ✓ (Anhh) Ancho de hombro a hombro

Las medidas de la estructura del banco de adquisición se referencian con base a la posición de pie, pues éste equipo posee características para ser transportado de un lugar a otro, las cuales deben ser realizadas en ésta posición, en donde se toma la estatura promedio del colombiano (172,2 cm), a partir de esto se dan las dimensiones básicas del banco de adquisición.

Figura 23. Dimensiones Básicas del Banco de Adquisición de Datos



Flexibilidad del banco de Adquisición de Datos

La facilidad en el proceso de adquisición de datos, es un enfoque prioritario que se le da al puesto de trabajo. Cualidades como la movilidad del banco, almacenamiento de los equipos y la adaptación de los sensores, son características de la estructura.

Figura 24. Componentes estructurales del banco de adquisición

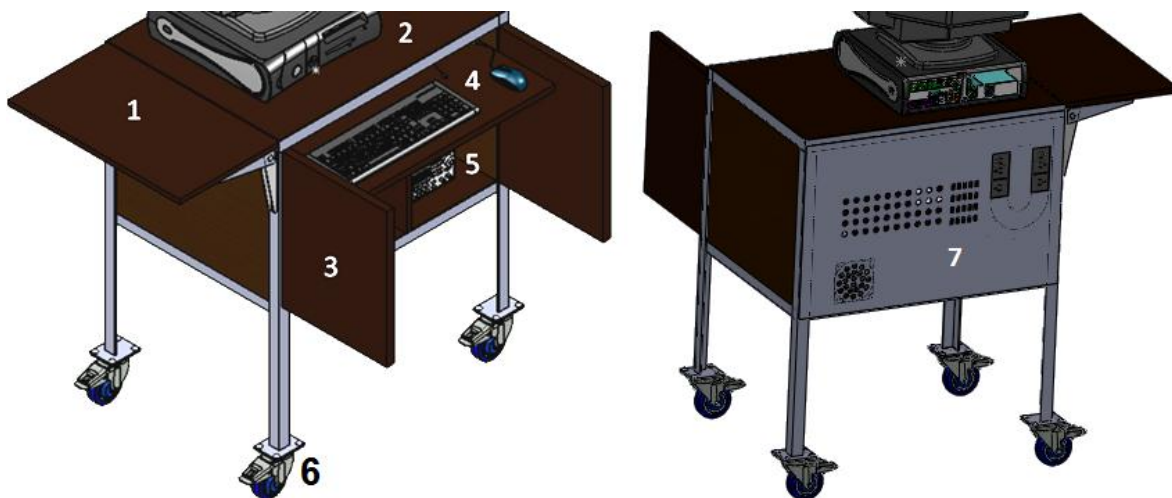


Tabla 9. Descripción de los componentes del banco de adquisición.

NUMERAL	ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Mesa Auxiliar Plegable	Soporte plegable para elementos varios
2	Mesa Soporte Principal	Sostén básico para el computador principal
3	Puertas principales	Puertas abatibles para el almacenamiento de equipos y seguridad de éstos.
4	Mesa Teclado	Soporte retráctil para el apoyo del teclado y el mouse
5	Cajón Agilent	Cajón de almacenamiento de la unidad de adquisición
6	Rodachín	Soportes móviles con dispositivo de freno para la estructura.
7	Placa de Conexiones	Placa metálica para la conexión de los sensores de la unidad de adquisición

5.2 UNIDAD DE ADQUISICIÓN DE DATOS

5.2.1 Generalidades del equipo de Adquisición de Datos

Para entender un poco más el esquema de adquisición de datos se hace necesario explicar con más profundidad el equipo Agilent 34972A. En la Figura 25 se muestran las vistas frontal y posterior del equipo, esto con el fin de explicar algunas de sus funciones y características

Figura 25. Componentes básicos del Agilent 34972A



Fuente: www.Agilent.com

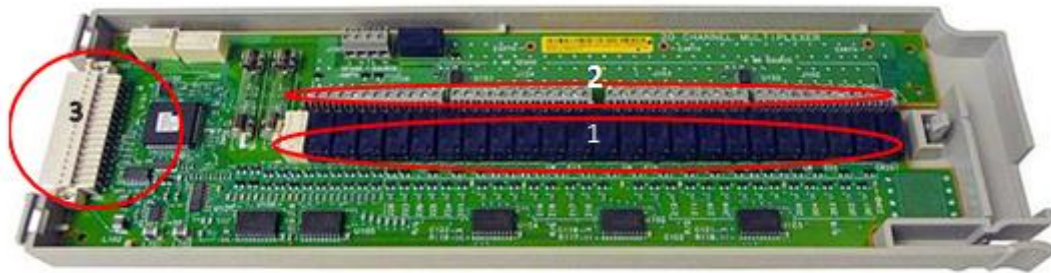
Tabla 10. Funciones y características del equipo Agilent 34972A

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Botón on-off	Enciende y apaga el equipo
Interface	Sirve para seleccionar el tipo de comunicación entre el equipo y el PC
Panel visualización	Escoge la opción para visualizar, ya sea el dato o el menú de configuración
Panel de configuración	Esta conformado por los botones, Measure, Interval, Mx+B, Step, Alarm y advanced.
Panel de control	Esta serie de botones se usan cuando el equipo es utilizado como dispositivo de control
Selector	Sirve para seleccionar la opción mas apropiada de configuración, además selecciona el canal que se quiera visualizar en la pantalla del equipo.
Ranuras para los multiplexores	Utilizadas para introducir o retirar los multiplexores.
Puerto de comunicación Rs-232	Comunica el equipo con una computadora mediante ese puerto
Puerto de alimentación C.A	Es el encargado de suministrar energía eléctrica al equipo
Puerto de comunicación LAN	Comunica el equipo con una computadora mediante ese puerto
Puerto de comunicación USB	Comunica el equipo con una computadora mediante ese puerto
Puerto de comunicación tipo B	Comunica el equipo con una computadora mediante ese puerto, además es el que utilizamos en este estudio.

5.2.2 Descripción del multiplexor

El multiplexor consta de unos circuitos combinatorios que reciben varias señales de datos y éste se encarga de transmitir las por una sola señal de salida. Los componentes del multiplexor se explican en la Tabla 10.

Figura 26. Multiplexor 34901^a



Fuente: www.Agilent.com

Tabla 11. Descripción del multiplexor 34901A

No	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Relés	Separan el circuito de control del circuito de potencia, además sirven de protección
2	Conectores para sensores	Sirven para conectar hasta 20 sensores de voltaje, entre 0 y 5 v, y 2 canales de corriente entre 4-20 m.Amp
3	Conexión con Agilent	Es el conector encargado de comunicar el multiplexor con el Agilent 34972A

Fuente: www.Agilent.com

5.2.3 Conectores para los termopares y placa de conexiones

Con referencia a los termopares debemos garantizar la forma de acoplar y desacoplar éstos según la necesidad, esto con el fin de protegerlos a la hora de transportar el banco, además de brindarles seguridad cuando el banco no se utilice, pues al ser desmontables se pueden almacenar en un sitio seguro, para tal fin se compraron conectores para termopar tipo K los cuales se muestran en la Figura 27, la hembra que se encuentra en la izquierda de la Figura 27, debe ir fija (ver Figura 28), mientras el macho (Figura 27, derecha) se conectara con el alambre de termopar tipo K y será la parte desacoplable, se debe definir en donde

irán fijos los conectores hembra, el elemento encargado de este fin recibirá el nombre de placa de conexiones y se explicará a continuación.

Figura 27 Conectores para termopar tipo K, hembra y macho



Figura 28 Conectores para termopar tipo K, hembra



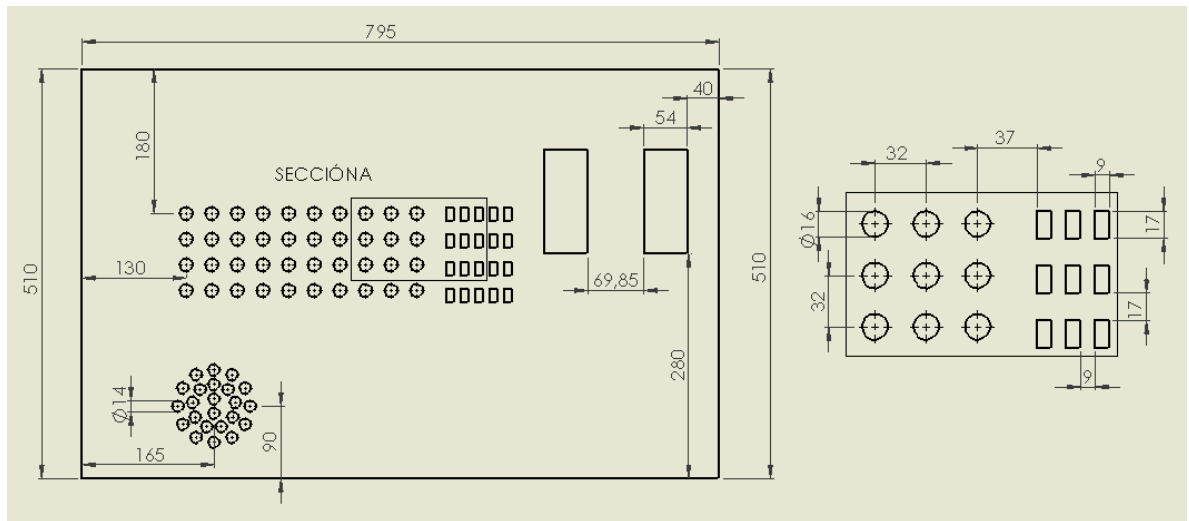
La placa de conexiones es el elemento que como su nombre lo indica, provee las conexiones necesarias entre el sistema adquirente de datos y los sensores.

Las funciones de la placa de conexiones del banco de adquisición de datos, constan de la alimentación eléctrica, la disipación de calor y la conectividad de los sensores. A continuación se definen las dimensiones en milímetros, teniendo en cuenta la adaptación de los sensores, la fuente de poder, y el ventilador de disipación. Los sensores de temperatura se distribuyen en 4 filas cada una de 5 acoples cada uno, y los de tipo micrófono (Figura 29) se distribuyen en 4 filas cada una con 10 acoples, éstos últimos se incluyen pues serán utilizados para conectar nuevos sensores, según la necesidad del estudio que se requiera.

Figura 29. Conectores tipo microfono de 3 pines

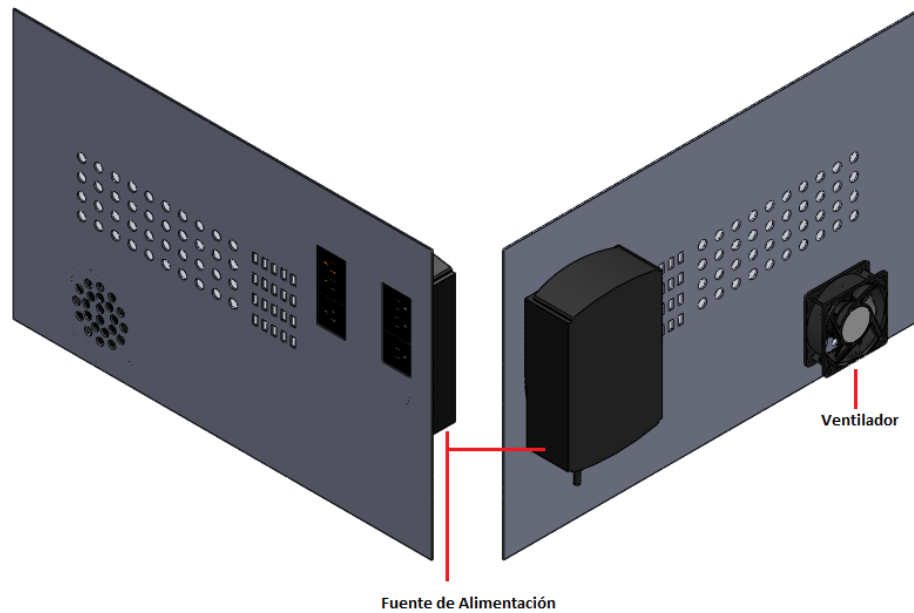


Figura 30. Medidas y distribución de las conexiones de los sensores en la placa del banco de adquisición



Un ventilador de 110 Voltios y una fuente reguladora del mismo voltaje anclados a la placa se encargan de la disipación de calor del banco y la alimentación eléctrica respectivamente.

Figura 31. Adaptación del ventilador y la fuente de alimentación del banco de adquisición

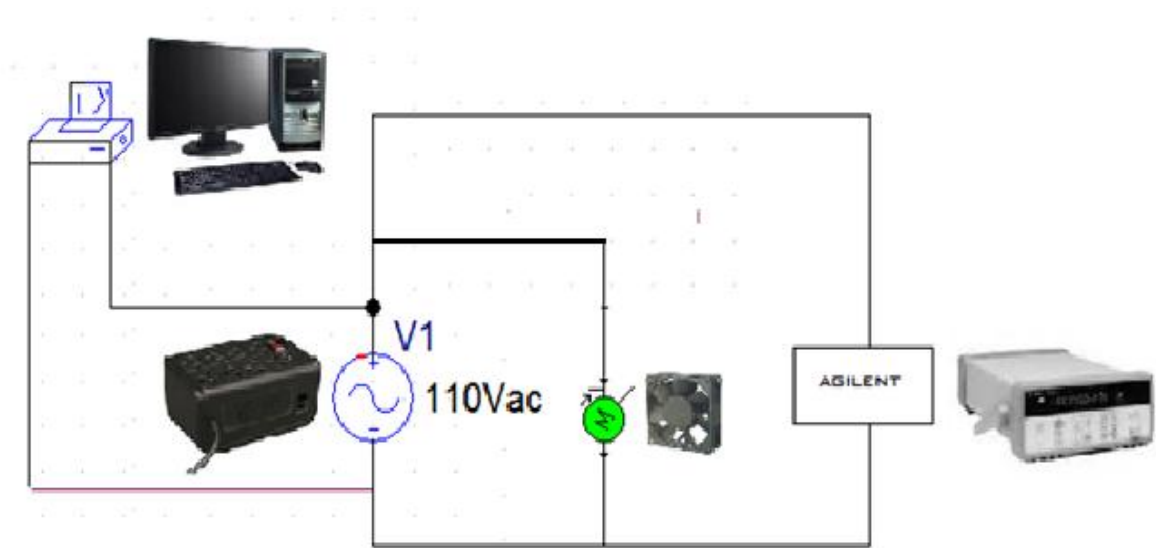


5.2.4 Conexiones eléctricas

Circuito de alimentación y refrigeración

El banco cuenta con una fuente reguladora de voltaje, que alimenta los equipos utilizados, además un ventilador de 110 Voltios se encarga de la disipación de calor del banco.

Figura 32. Circuito de Alimentación y Refrigeración



Conexión Placa-Multiplexor

La conexión de los termopares con el multiplexor, no se realizó de manera directa, esto con el fin de optimizar el multiplexor, pues si éste se necesita para otro propósito diferente al de censado con termopares tipo K, se pueda hacer, pues sería simplemente desacoplar los conectores y acoplarlos al otro propósito, lo que sería difícil si se conectarán de manera directa.

Para conseguir tal fin se recurrió a conectores tipo DB 25, (Figura 33), los cuales poseen 25 pines de conexión; como el multiplexor posee 20 canales (40 pines) se hizo necesario adquirir dos de éstos conectores, por lo cual cada conector recibe 10 canales (20 pines). Con referencia a la conexión mencionada, se destaca que la influencia de ésta en la lectura de la temperatura es mínima pues los cables de conexión son del mismo material; para solucionar cualquier error considerable en la lectura debido a la conexión se cuenta con un “Offset” en el software realizado en el presente proyecto (Capítulo 3).

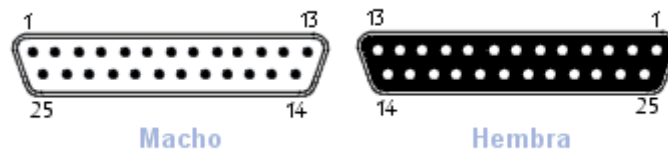
Para conseguir tal fin se recurrió a conectores tipo DB 25, (Figura 33), los cuales poseen 25 pines de conexión, como el multiplexor tiene 20 canales (40 pines) se debió adquirir 2 conectores tipo DB25, es decir cada conector recibe 10 canales (20 pines).

Estos conectores se componen de dos partes, la hembra y el macho (Figura 34), la parte correspondiente a la hembra va conectada al multiplexor y el macho a la placa, en la Figura 34 también se muestra la distribución de los pines del conector, la cual será útil en la interpretación de las conexiones.

Figura 33 Conector DB 25



Figura 34 Conector DB25 Hembra y macho



En las Figura 35 y Figura 36, se muestra como deben ir las conexiones entre el multiplexor y los conectores DB25 hembra, la Figura 35 muestra el multiplexor visto desde planta, con sus respectivos conectores para sensores (ver Figura 26) y en color azul los cables o salidas, cada una con su respectiva nomenclatura,

mientras la Figura 36, muestra los conectores 1 y 2 del tipo DB25 hembra con sus pines numerados, con las líneas provenientes del multiplexor y su respectiva nomenclatura.

Figura 35. Conectividad Multiplexor

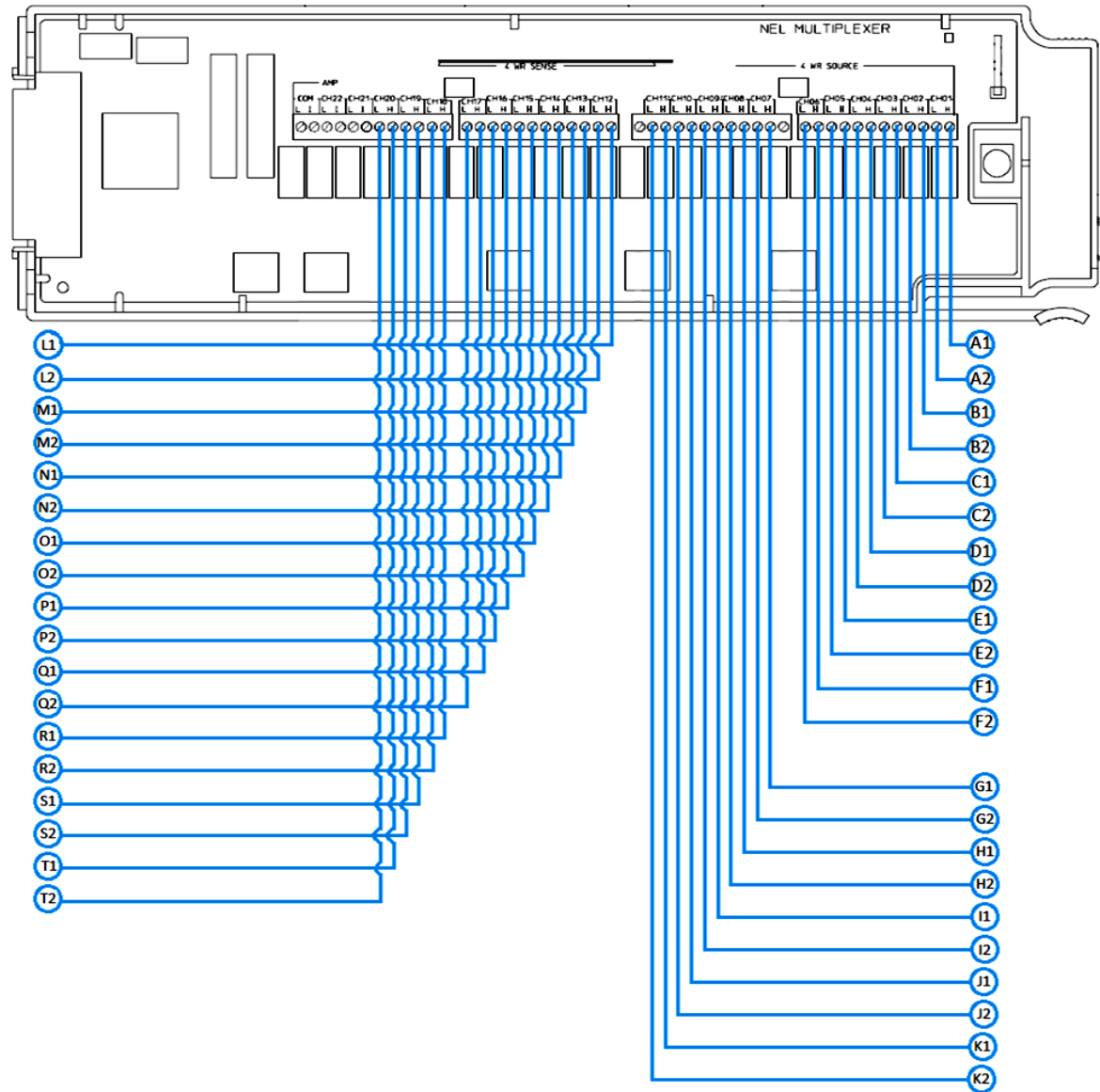
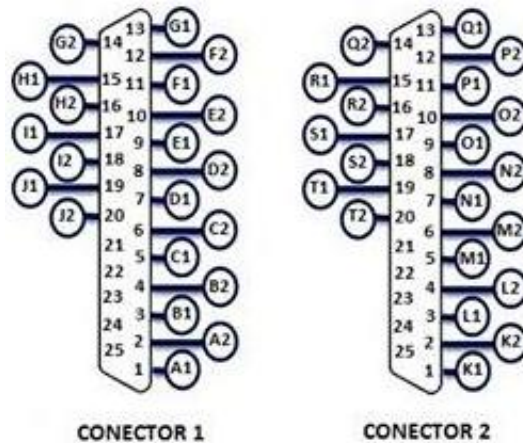


Figura 36. Conectores DB 25 hembras, desde el multiplexor (Conector 1 y 2)



En las Figura 37 y Figura 38 se muestran las conexiones entre los conectores DB25 macho y la placa de conexiones del banco de adquisición de datos, la Figura 37, muestra los conectores 1 y 2, DB25 macho con su respectiva nomenclatura y la Figura 38 muestra la placa de conexiones, el lugar que ocupan los conectores hembra para termopar tipo K en la placa, el orden de conexión y su respectiva nomenclatura, la cual coincide con la del conector DB25 macho.

Figura 37. Conectores DB25 macho, hacia la placa (Conector 1 y 2)

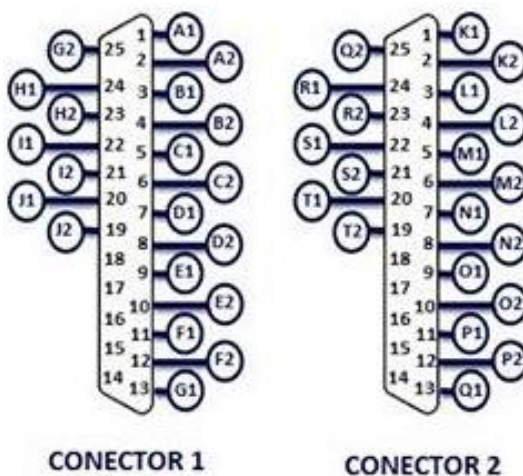
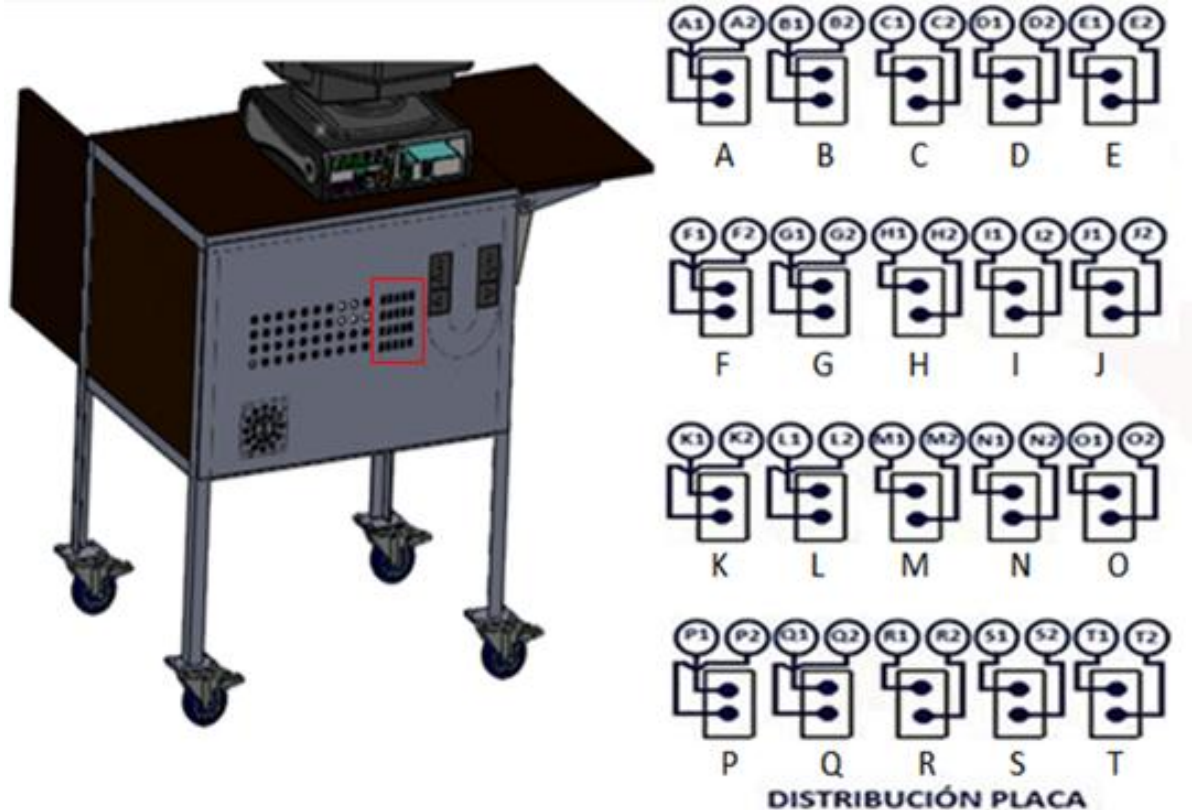


Figura 38. Conectividad termopares en la placa



5.2.5 Software de la Unidad de Adquisición de Datos Agilent 32972-A

Este equipo trae incluido un software o interfaz gráfica que sirve para adquirir y almacenar datos, este programa hace parte del paquete de herramientas que incluye la unidad, es importante y necesario instalar los respectivos drivers o controladores para poder acceder a las aplicaciones que el equipo ofrece, este archivo es esencial para establecer comunicación entre el equipo Agilent y el computador; el Agilent IO es el intercomunicador y BenchLink data logger, que es el software de adquisición, el primero es indispensable a la hora de conectar el Agilent con otro tipo de dispositivo, ya sea para utilizar el programa

predeterminado de la máquina, data logger o para utilizar otro tipo de programa como es el caso de este estudio, que se optó por utilizar el programa Labview, a continuación se mostrarán algunos aspectos generales de los programas, IO y Bechlink Data Logger.

Reconocimiento de la unidad en el PC “AGILENT IO”

Para comprobar que existe conexión entre el equipo y el pc, se debe recurrir a este programa (Figura 39), cuando el estado es como el que se muestra en la Figura 40 la conexión es correcta, es decir la unidad debe haber aprobado la conexión con el pc.

Figura 39. Interfaz programa IO (reconocimiento del Agilent)

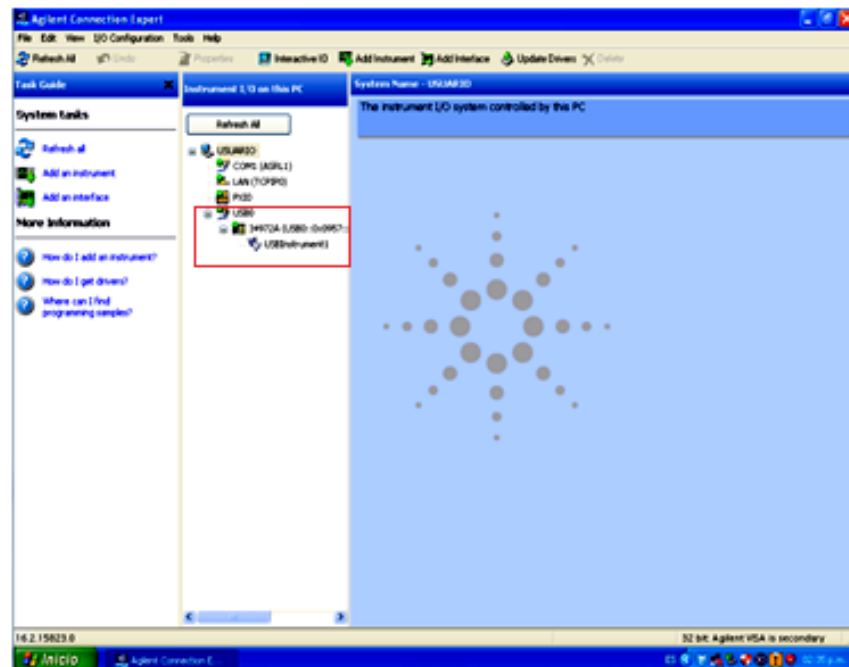
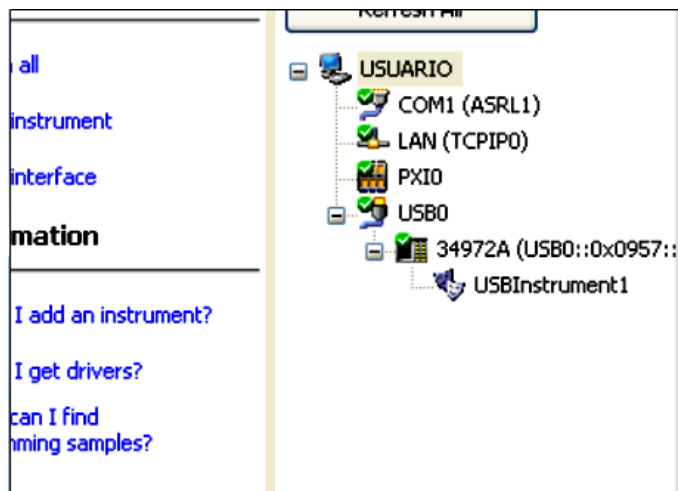


Figura 40. Detalle de la Conexión del Agilent con el PC, en el programa IO



Software de la unidad de adquisición “BENCHLINK DATA LOGGER”

Como se indicó anteriormente, el BenchLink es el programa encargado de adquirir datos, y es este el que viene por defecto incluido con la unidad.

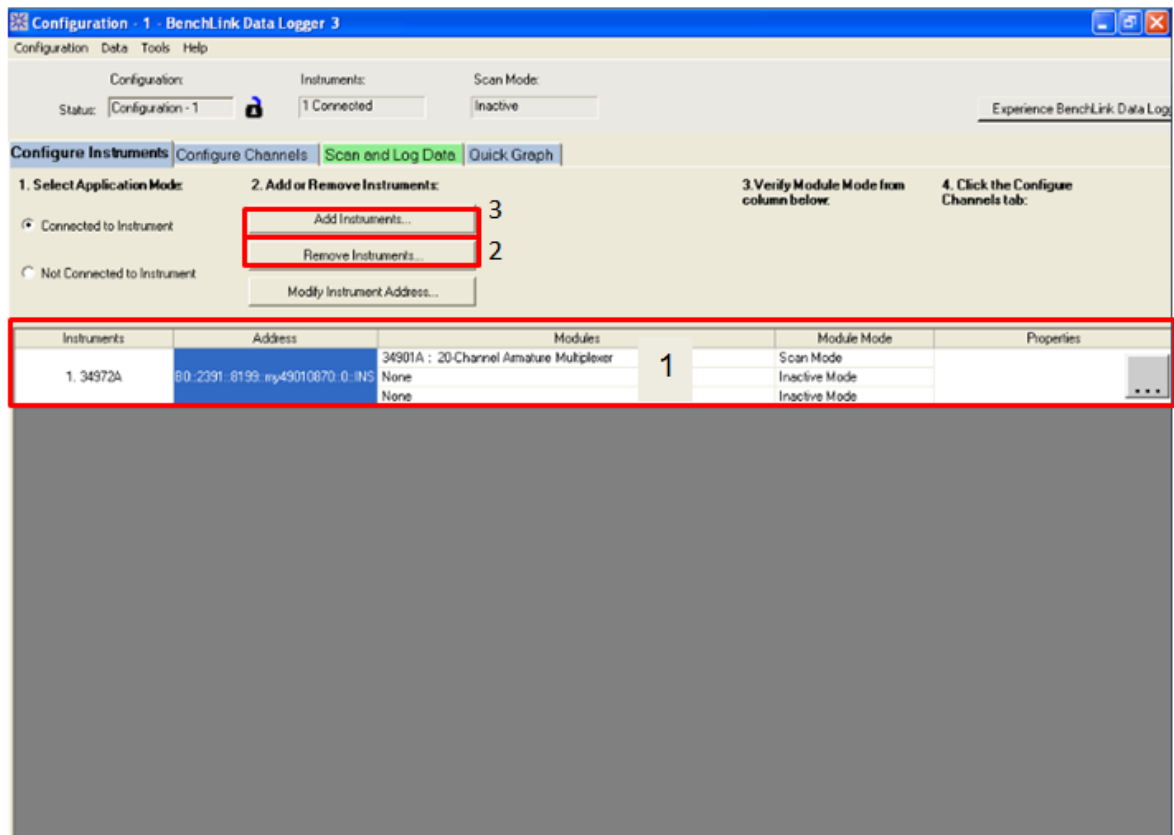
El objetivo del proyecto es crear un programa que sirva para adquirir datos, es decir el programa BenchLink no se utilizará, el motivo por el cual se pretende explicar su funcionalidad, además de transmitir el conocimiento adquirido en esta investigación, es dejar una pequeña guía a los usuarios que necesiten utilizar este banco de adquisición de datos y el programa Benchlink en otros estudios.

Para poder utilizarlo se debe instalar en la computadora, para lo cual se dispone de un cd-room, incluido entre los materiales del equipo.

Después de la instalación y la comprobación de intercomunicación entre la unidad y el computador, se procede a la configuración y reconocimiento de la unidad por

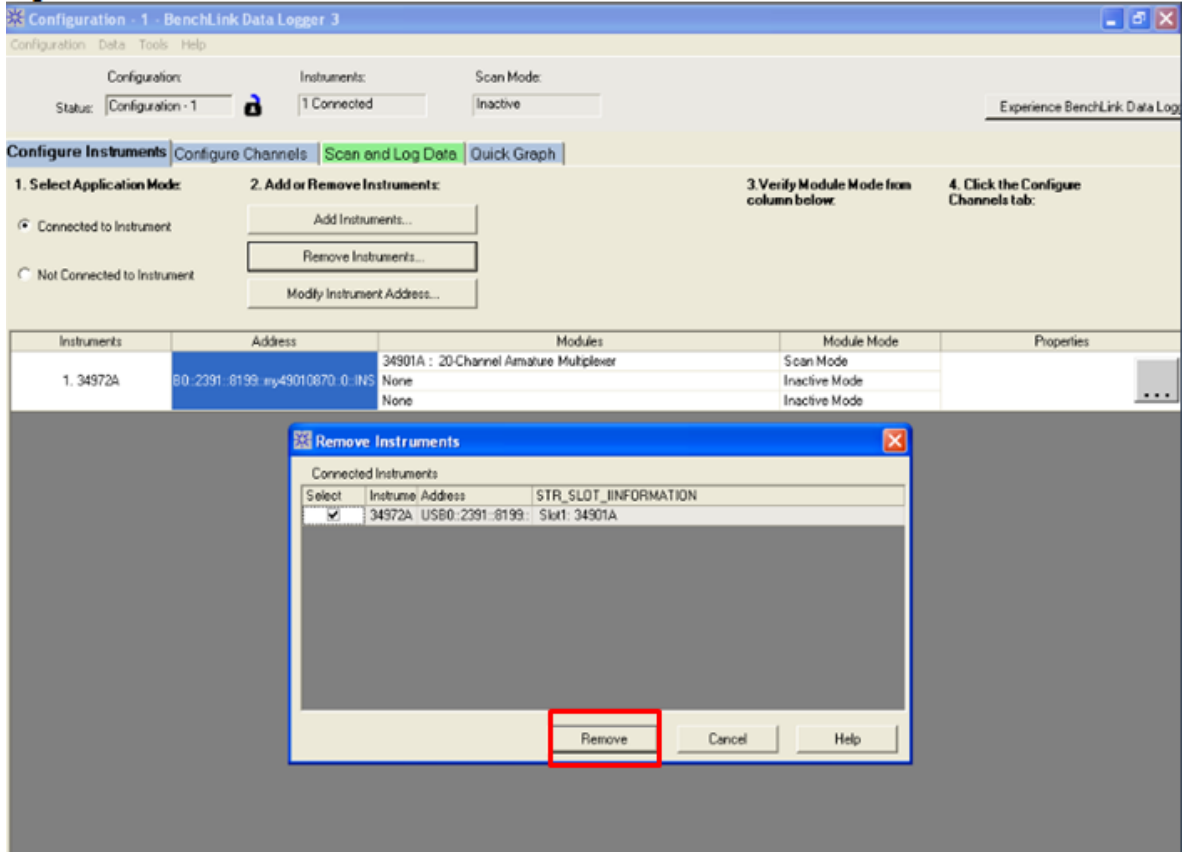
parte del programa, lo primero que se debe hacer es cargar el Agilent, para ello se procede como se muestra en la Figura 41.

Figura 41. Adición de instrumento al BenchLink



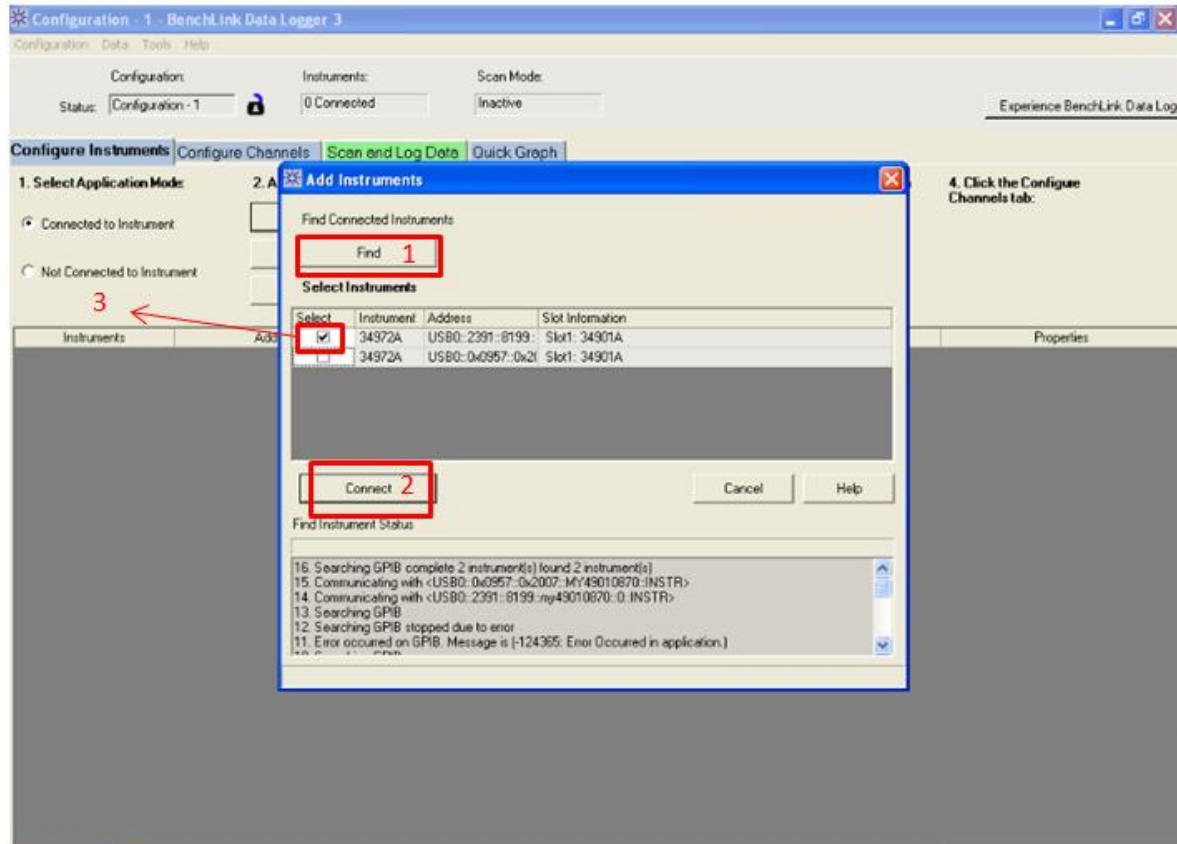
Si aparece, reconocido un equipo tal como se muestra en la Figura 41 (numeral 1), se debe remover pues puede causar conflictos, para ello se debe ingresar a la opción Remove instruments, (numeral 2). Allí sale una ventana que se muestra en la Figura 42, para remover el instrumento se debe seleccionar el botón Remove mostrado en la misma figura, con esto garantizamos que el programa quede libre para adquirir datos.

Figura 42. Remoción del instrumento en el BenchLink



El siguiente paso es agregar la unidad Agilent, para ello se oprime el botón 3 de la Figura 29, el cual arrojará la ventana Add instruments, que se muestra en la Figura 31, allí se encuentra el botón 1, el cual es find, encargado de buscar los dispositivos asociados a este programa, una vez hallados los dispositivos, seleccionamos únicamente, el mostrado en el numeral 2, (Figura 31) y se selecciona el botón connect (numeral 3 de la Figura 42), con esto ya se garantiza la conexión del equipo.

Figura 43. Búsqueda y conexión del Agilent al BenchLink

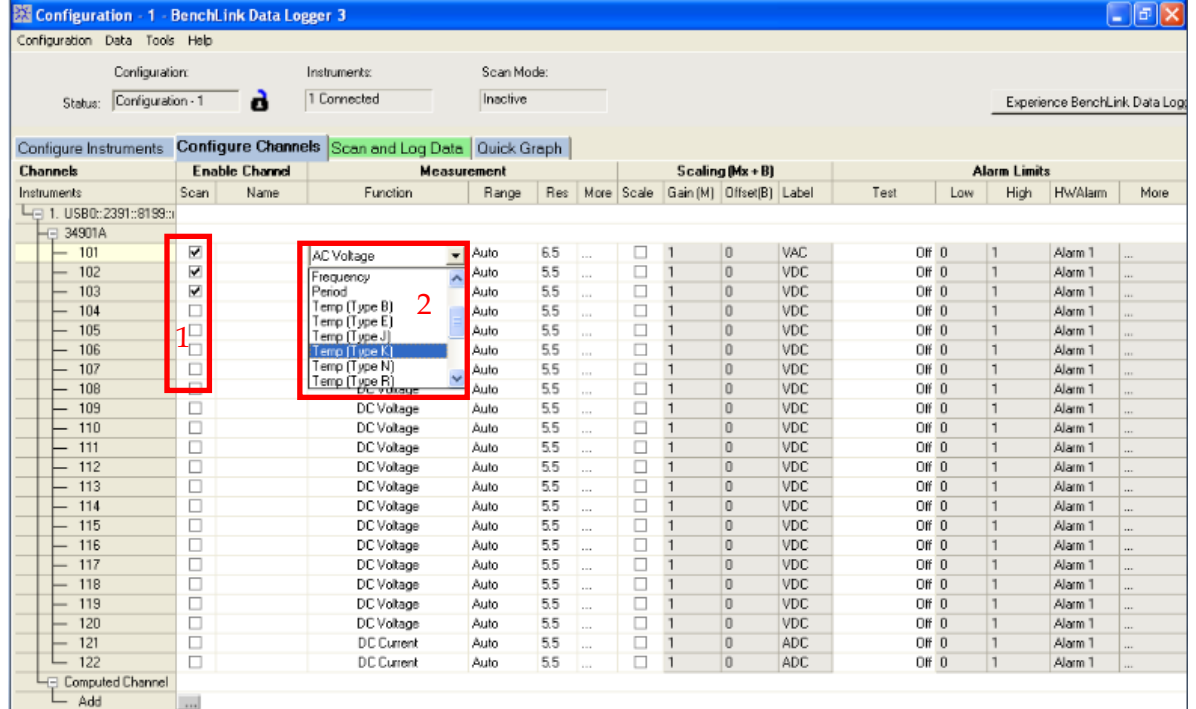


Por último se debe configurar, el número de canales a utilizar, en donde se escoge el tipo de sensores y las unidades del muestreo (ejemplo: grados centígrados, °C), obteniendo así la posibilidad de adquisición de datos, esto se visualiza en la Figura 44 y en la Tabla 12 se muestra los detalles de esta configuración.

Tabla 12. Detalle de la configuración de los canales en el BenchLink

NUMERAL	ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Número de canales	Aquí se selecciona el número de canales que necesitamos
2	Tipo de sensor	Aquí se escoge, el tipo de sensor y la magnitud a medir

Figura 44. Configuración canales en el BenchLink



5.3 SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURAS EN LABVIEW

5.3.1 Objetivo del software

El fundamento principal del programa desarrollado, es la adquisición de temperatura con un tiempo de muestra y número de lecturas deseados, brindando una flexibilidad y control al proceso de toma de datos, logrando también un almacenamiento de éstos facilitando al usuario un post-proceso que éste pueda requerir.

5.3.2 Descripción del software

LABVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es la plataforma utilizada en el presente proyecto, en donde por medio de un lenguaje gráfico se plantea un proceso de adquisición de datos en tiempo real, facilitando al usuario una buena interacción con el software.

Figura 45. Panel Frontal del Programa

The screenshot displays the front panel of a LabVIEW program, organized into several functional sections:

- VISA resource name:** A dropdown menu currently showing '1'.
- MODO DE OPERACIÓN:** Two radio buttons labeled 'Configurar' and 'Configurar y Leer'.
- MODE DE RESET:** Two radio buttons labeled 'Resetear' and 'NO Resetear'.
- Serial Port Configuration:** A sub-panel containing:
 - Timeout Value (10000):** A numeric control set to 10000.
 - Baud Rate (57600):** A numeric control set to 57600, with a multiplier of 6.
 - Flow Control (1:XON/XOFF):** A radio button set to 'XON / XOFF' with a value of 1.
- # CANALES:** A numeric control set to 0.
- CANAL:** A text input field.
- LECTURA TEMP:** A text input field.
- MODE DE TERMOCUPLE:** A section with an 'Offset(Calibracion)' text input field.
- SELECCIONE TIEMPO DE MUESTRA:** A numeric control set to 0.
- SEG:** A radio button.
- MIN:** A radio button.
- # MUESTRAS:** A numeric control set to 0.
- MUESTRA ACTUAL:** A numeric control set to 0.

El programa presentado brinda una veloz toma de mediciones realizadas por la unidad de adquisición de datos, en donde se tiene la capacidad de manipular mediante controles pertenecientes al software como lo son el tiempo por cada muestra, el número de éstas y la calibración de los sensores (en este caso

Termopares Tipo K); además tiene la propiedad de almacenamiento de los datos recolectados con la disponibilidad de un post-proceso de éstos.

Para la descripción del software, se opta por dividir éste en tres lotes en el que cada uno de estos muestre el proceso que desarrolla, esto con el fin de facilitar el entendimiento del desarrollo del programa, las tres partes en que se divide se basan en tres secuencias fundamentales del software:

- Configuración del tiempo
- Configuración de Canales
- Proceso de Adquisición de Datos
- Almacenamiento de Datos

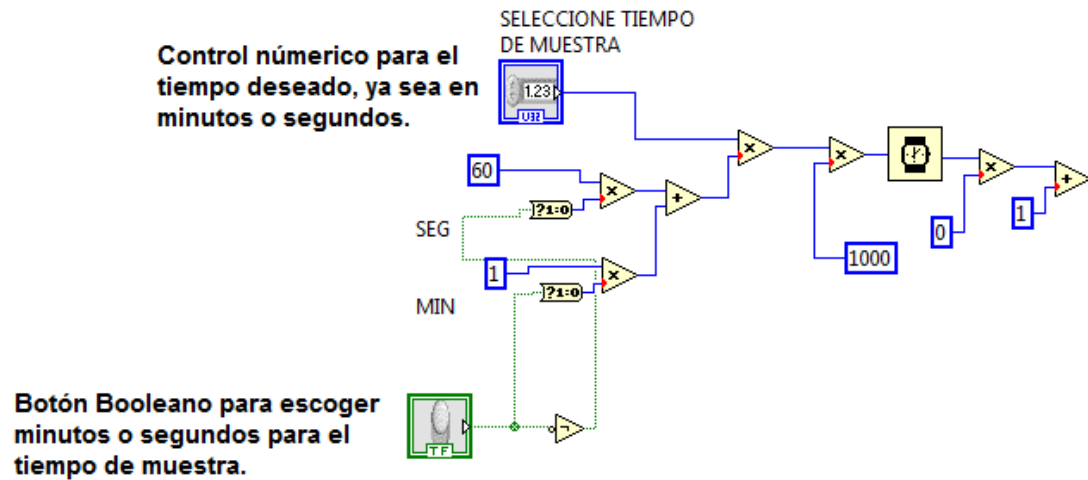
Configuración del tiempo

El software tiene la facilidad de configurar el tiempo de muestreo para cada toma de datos ya que cuenta con la opción de selección de minutos o segundos, esto favorece de manera considerable al usuario dándole la posibilidad de escoger entre estas dos opciones según sus requerimientos.

Figura 46. Configuración del tiempo de muestreo en el panel frontal



Figura 47. Diagrama de Bloques para la Configuración del Tiempo



Configuración de canales

Para acceder al proceso de reconocimiento y configuración de la unidad de adquisición “AGILENT 34972-A”, el cual se desarrolla mediante la vinculación “software-unidad” por medio de los puertos “VISA” y las librerías de configuración del dispositivo AGILENT, el programa dispone un control del número de canales que el usuario desee activar, limitado exclusivamente por la cantidad de puertos de censado (canales) que posea el multiplexor (Figura 47 y Figura 48).

La unidad cuenta con una capacidad de adaptación de tres multiplexores (AGILENT 34901-A), cada uno con veinte canales; en el presente caso se dispone de un multiplexor, en consecuencia un número de veinte canales para la toma de temperaturas.

Figura 48. Configuración de la unidad y número de canales en el panel frontal

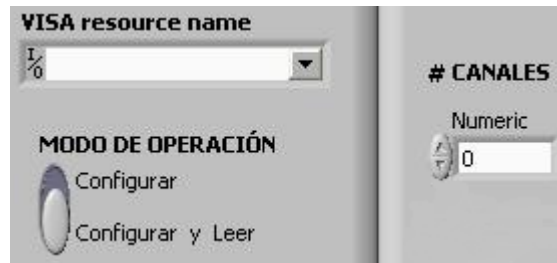
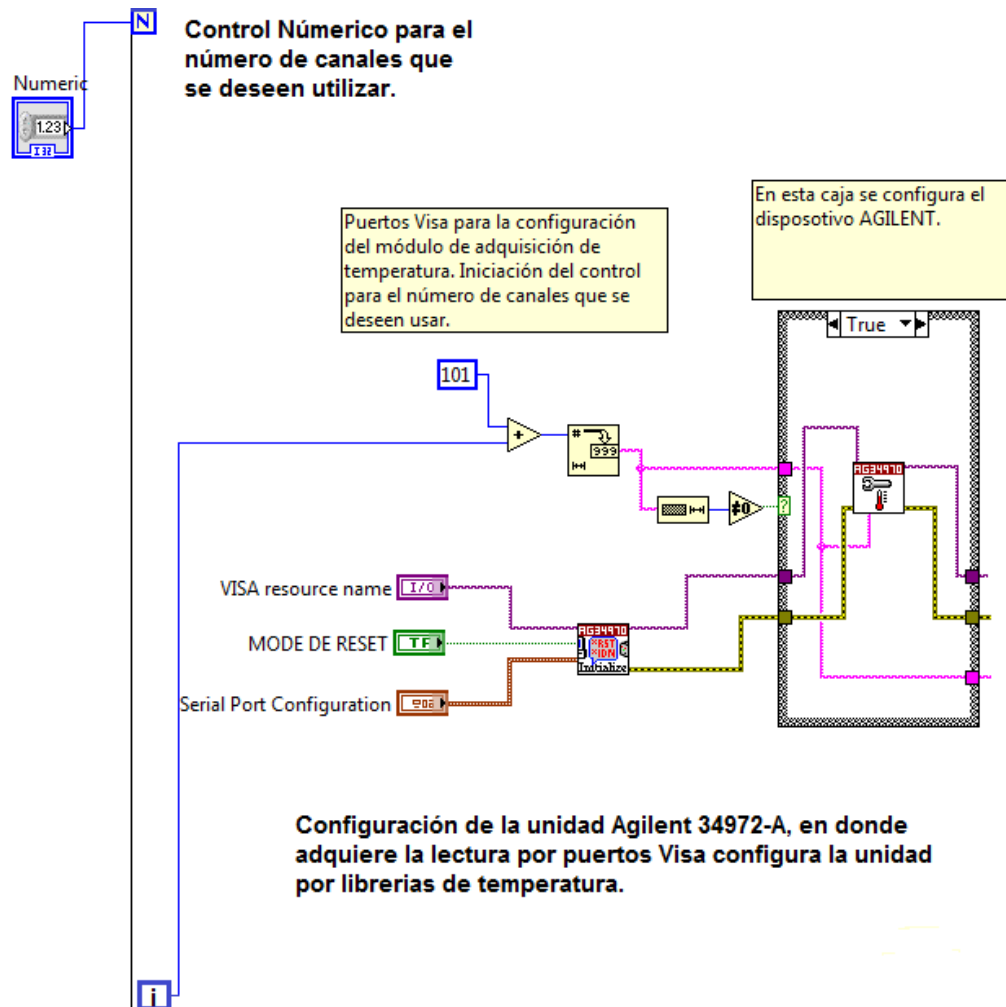
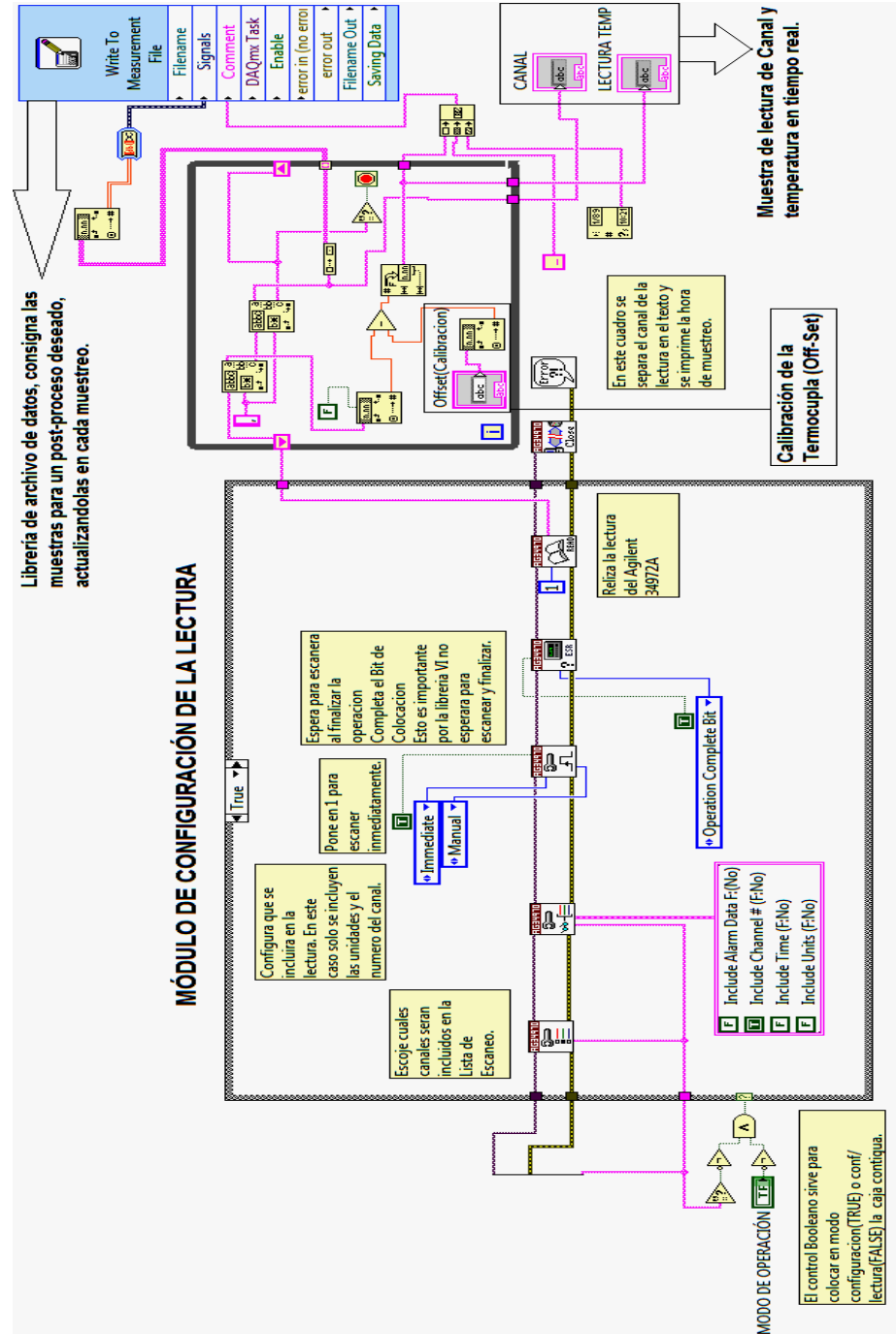


Figura 49. Configuración de canales



Proceso de adquisición de datos

Figura 50. Proceso de adquisición de datos



Este proceso consta de dos bloques; el primero es el módulo de configuración de la lectura el cual se encarga de escoger los canales que serán incluidos en la lista de escaneo, que datos se incluirán en la lectura (en este caso solo se incluirán las unidades de temperatura y el canal de muestreo), realizar el escaneo de la unidad al final de la operación y por último realizar la lectura del Agilent. El segundo bloque se encarga de separar el canal de la lectura, imprimir la hora de muestreo y realizar la calibración de los termopares por medio de un Off-Set, es importante especificar que este Off-Set solamente resta al valor de los termopares, si se desea adicionar a este valor simplemente se cambia el signo menos en el diagrama de bloques por un más. Por último el proceso de adquisición finaliza con una librería que permite archivar los datos recolectados.

Almacenamiento y postproceso de datos

Como se explicó anteriormente el programa permite el almacenamiento de datos hacia una carpeta nombrada “DATOS LABVIEW” (Figura 51) destinada para tal función, la cual no solamente guarda la toma actual (TEST) sino que almacena el historial de tomas anteriores (BACKUP #) (Figura 52), permitiendo abrir estos datos para un post proceso deseado en Excel (Figura 53)

Figura 51. Carpeta de Almacenamiento de Toma de Datos



Figura 52. “Test” actual del muestreo e historial de la toma de datos

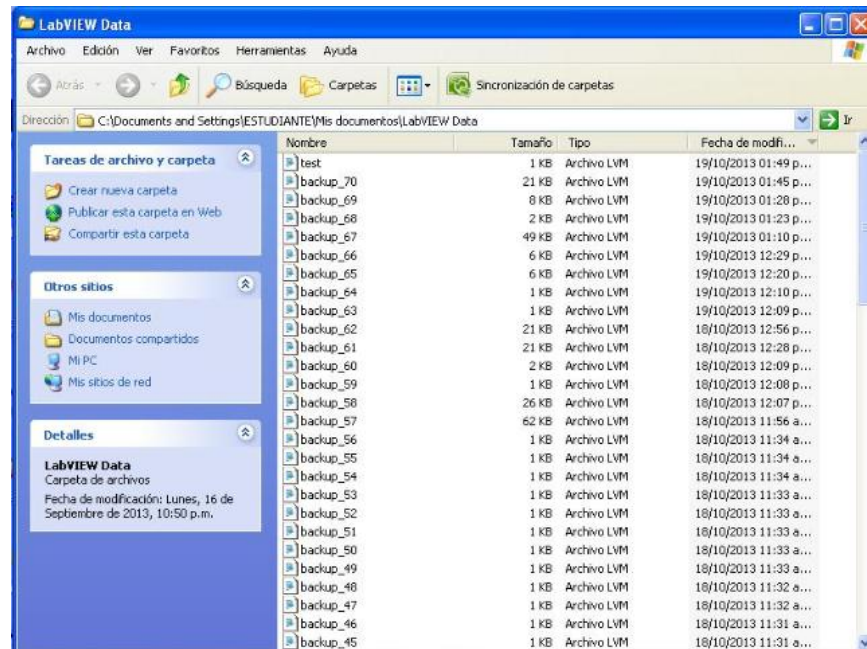
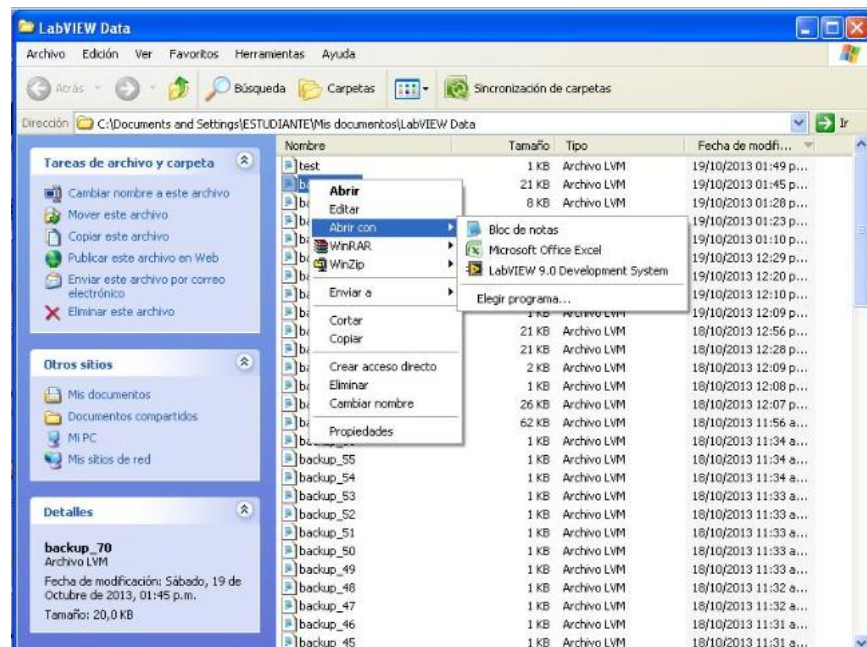


Figura 53. Opciones para post-procesar los datos.



6 ESTUDIOS EXPERIMENTALES

Para el buen desarrollo de un proyecto, es necesario realizar planeación y diseño de las actividades implicadas en el experimento, esto con el fin de utilizar óptimamente las herramientas disponibles, acotar adecuadamente el tiempo y obtener resultados favorables, este caso no fue la excepción, es decir se debió planear la organización de las variables involucradas en el estudio, esas variables son:

- Tiempo: ¿Cuánto tiempo debe tardar el muestreo o la toma de datos?
- Zonas: ¿Dónde se ubicarán los sensores y equipo de adquisición de datos?
- Sensórica: ¿Cuál es el número adecuado de termopares desde el punto de vista económico y práctico?
- Equipo adicional: ¿Qué otros equipos se deben utilizar y adquirir en este análisis?

Para garantizar el correcto funcionamiento de la unidad y que el muestreo sea útil a la hora de interpretar los datos, es necesario seguir unas recomendaciones referentes a la utilización de los equipos disponibles en esta prueba, tanto los equipos para el proceso de datos, como el sistema de refrigeración.

Las recomendaciones son las siguientes:

- Ubicar los respectivos termopares y el equipo en las zonas donde se quiera realizar la adquisición de datos, para ello se cuenta con un plano (Figura 64), que será la guía de establecimiento en las diferentes zonas.
- Realizar las respectivas conexiones: Se deben conectar los termopares en la placa de sensores con su respectivo orden, conectar también las fuentes de energía, tanto la principal como las de cada sistema (Computador y unidad de adquisición).

- Encender el computador, la unidad, realizar la respectiva intercomunicación entre ellos y la configuración de la unidad de adquisición, como se muestra en el capítulo anterior.
- Encender el sistema de aire acondicionado, verificar que la unidad de adquisición realice el muestreo y reubicarla en el nuevo sitio después de transcurrido el tiempo de análisis para cada zona, ese tiempo se mostrará mas adelante.

Para resolver las preguntas expuestas como variables, se procederá a realizar el respectivo diseño del experimento.

6.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

En el estudio del confort térmico del auditorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, se hace necesario indagar sobre el sistema de refrigeración que se encuentra instalado actualmente en el recinto objeto de estudio y cuyo fin es satisfacer las necesidades ambientales del público allí presente.

Las especificaciones de este sistema se encuentran condensadas en la Tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones técnicas del sistema de aire acondicionado del auditorio

INFORMACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA			
Características Físicas			
Clase de Equipo	Tipo Paquete		
Área de Confort	220 m ²	Refrigerante	R22
Capacidad	20 Ton	Etapas	1
INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA CONDENSADORA			
Características Mecánicas del Compresor			
Tipo de Compresor	Hermético Reciprocante		
Diámetro de Succión	1 1/4 pulg	Diámetro de Descarga	3/4 pulg
Características Mecánicas del Ventilador			
N° de Ventiladores	2	Velocidad	1140 rpm
Diámetro del Eje	1/2 pulg		
Características Eléctricas del Ventilador			
Voltaje [V]	208-230/460	Potencia	3/4 Kw
Corriente [A]	4.1-4.2/2.1	N° de Fases	3
INFORMACIÓN TÉCNICA DEL EVAPORADOR			
Características Mecánicas del Ventilador			
Rpm Motor	1740	Diámetro del Eje	1 pulg
Características Eléctricas del Ventilador			
Voltaje [V]	208-230/460	Potencia	5 Kw
Corriente [A]	13.8-13.2/6.6	N° de Fases	3

El tipo de control utilizado en este auditorio, es on-off, el encendido, el apagado y la ubicación de la temperatura óptima (set point) dentro del recinto, se realiza de manera manual, no quiere decir que el usuario constantemente deba encender y apagar el equipo para alcanzar dicha temperatura, pues gracias al termostato esto se hace automáticamente, a continuación se ilustra mediante imágenes el panel de control del sistema y un detalle del control de temperatura, visto por dentro es decir sin la tapa externa.

Figura 54. Panel de control del aire acondicionado



En la Figura 54, se muestra el panel de control, allí se encuentran, los indicadores de corriente y voltaje, las luces indicadoras del funcionamiento de los compresores, las luces de los ventiladores, el switch (llave) de poder del equipo de aire acondicionado y el control de temperatura o termostato.

Es importante resaltar que la iluminación de los botones correspondientes a los compresores no sirve, por lo tanto no se sabe cual de los dos o si ambos trabajan, esto se debe ver reflejado en los resultados obtenidos en el proceso de adquisición de datos, específicamente en la variable temperatura.

En el sistema de climatización el elemento que ejerce control es el termostato, por ello es importante describir su funcionamiento.

El funcionamiento de un termostato se basa en la instalación de una lámina bimetálica enrollada, la cual cambia su forma cuando se le aplica energía en forma de calor, la lamina bimetálica no es otra cosa que la combinación de dos metales con diferentes coeficientes de dilatación térmica, el termostato también contiene una ampolla de vidrio con mercurio en su interior y que va instalado en conjunto con la lamina bimetálica, cuando la lamina percibe diferencias de temperaturas y cambia su forma, (enrollándose para enfriamientos y desenrollándose para calentamientos), obliga al mercurio a moverse dentro de la ampolla, actuando este como un interruptor, conectando y desconectando dos cables que también están dentro de la ampolla, como el mercurio es un metal al posarse entre los dos cables cierra el circuito y enciende el compresor, y cuando se retira se abre el circuito y lo apaga, en la Figura 55 se ilustra el funcionamiento.

Figura 55. Partes del termostato

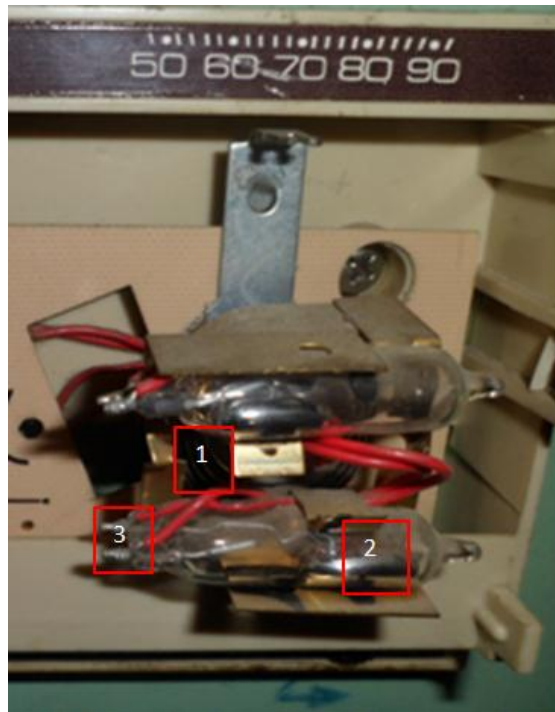


Tabla 14. Descripción del termostato

No	NOMBRE
1	Lamina Bimetálica
2	Ampolla de vidrio con Mercurio
3	Terminales de conexión

Figura 56. Termostato con tapa



Se debe resaltar que este termostato tiene un daño con lo referente a la visualización de la temperatura, pues el bimetálico que se encarga de esto presenta una deformación con respecto a su posición original, en la Figura 57 se ve el detalle.

Figura 57. Detalle del visor termostato



Figura 58. Termostato sin tapa



Para entender este análisis es importante explicar un poco el sistema, el caso de estudio (auditorio), tiene una forma irregular como se muestra en la Figura 59, dispone aproximadamente de un área de 278 m^2 y un volumen de 1670 m^3 , cuenta con un equipo de refrigeración de 20 toneladas, tiene una capacidad para albergar a un público de 178 personas sentadas, más los expositores, para un total

aproximado de 200 personas, en la Figura 60 se muestra el interior del auditorio. Este sistema conduce el aire frío por ductos desde el evaporador, ubicado en el exterior (Figura 61) hasta el público, el aire frío sale por los difusores (Figura 62) que tienen como destino refrigerar el local y ofrecer confort a los ocupantes, además posee un ducto de retorno ubicado en la parte inferior de la tarima (Figura 63).

Figura 59. Auditorio exterior



Figura 60. Auditorio interior



Figura 61. Unidad del aire acondicionado



Figura 62. Ducto y difusores del sistema de aire acondicionado en el auditorio



Figura 63. Retorno del aire acondicionado

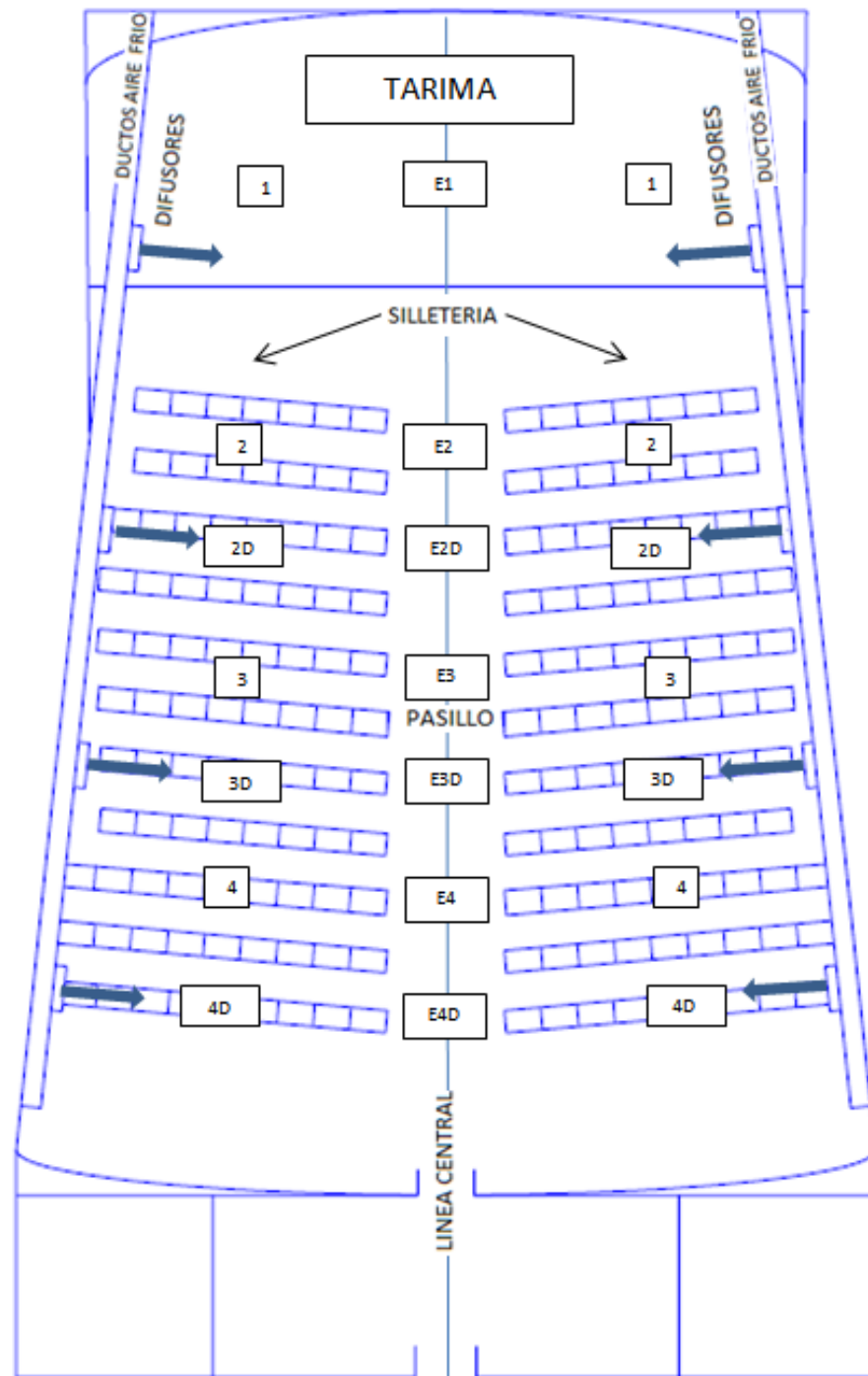


Se hizo necesario realizar el plano en vista superior a escala del auditorio, mostrado en la Figura 64, para poder establecer correctamente las zonas donde se realizarán las tomas de datos y poder así hacer el análisis de confort térmico, las respectivas medidas se enmarcan en la Tabla 15 para así no saturar con cotas el plano.

Tabla 15. especificaciones para el muestreo

DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA DESDE LA LÍNEA CENTRAL [m]	UBICACIÓN
EQUIPO Y TERMÓMETRO DE GLOBO	E y ED	0	EN CADA ZONA
ZONA 1	1	2.0	MITAD DE LA TARIMA
ZONA 2	2	2.5	ENTRE FILA 1 Y 2
ZONA 2 DIFUSOR	2D	2.5	SOBRE LA FILA 3
ZONA 3	3	3.0	ENTRE FILA 5 Y 6
ZONA 3 DIFUSOR	3D	3.0	SOBRE LA FILA 7
ZONA 4	4	3.5	ENTRE FILA 9 Y 10
ZONA 4 DIFUSOR	4D	3.5	SOBRE LA FILA 11

Figura 64. Plano en planta del auditorio de Ingeniería Mecánica (Escala 1:10)



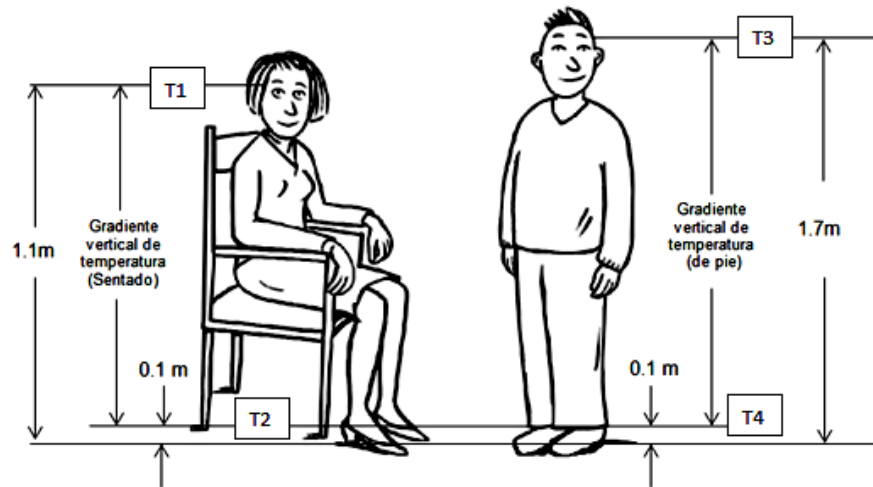
Las zonas demarcadas únicamente con números (Ver Figura 57), no poseen una influencia directa del aire proveniente del difusor, mientras que las zonas demarcadas con la terminación “D”, si cuentan con la presencia directa del aire proveniente del difusor debido a su ubicación. Se hace también importante verificar que la diferencia vertical de temperatura en cada una de las zonas sea correcta.

Se pretende determinar las distancias de los termopares para realizar el respectivo muestreo y la construcción de los mismos, teniendo en cuenta la mayor longitud pues esta será la base para todas las mediciones en todas las zonas, es decir será la distancia crítica o la mayor, que es la correspondiente a la zona 4D. Según esto se concluye que el termopar debe estar a 4.0 [m] del banco, esta información se encuentra plasmada en la Tabla 16.

Ya se establecieron las zonas pero quedan otras incógnitas que se deben aclarar, las cuales son; cuantos termopares se utilizarán en cada zona marcada, a que altura del suelo, que longitud tendrán, que estructura se utilizará para soportar los termopares cuanto tiempo se necesita para el correcto muestreo, a continuación se dará respuesta a estos interrogantes.

Numero de termopares a utilizar y longitud de éstos: Para la correcta utilización del carrete de cable para termopar, se deben establecer cual es el número óptimo de termopares y su correspondiente longitud, justificando así su uso y no malgastando este recurso, para ello recurrimos a la información propuesta por la entidad ASHRAE (standard 55), donde además de establecer las variables involucradas en el estudio de confort térmico, establece cual es la distancia óptima para medir el gradiente de temperatura vertical en el cuerpo humano, el cual es una variable en el estudio, además nos sirve para determinar correctamente la distancia de los termopares y el numero de éstos a utilizar.

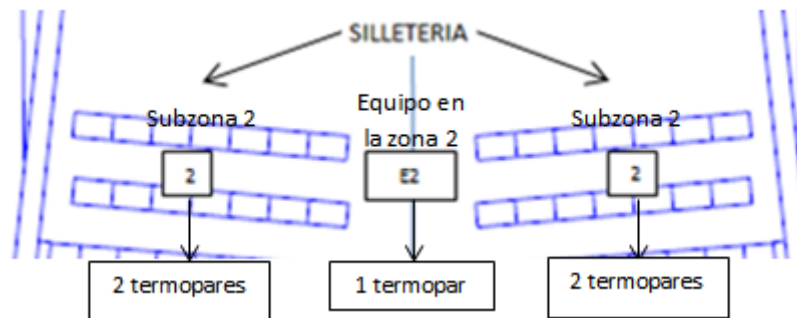
Figura 65. Ubicación de los termopares según la norma



La Figura 65 explica de manera gráfica el significado del gradiente vertical de temperatura, mostrando la ubicación de los termopares respecto al cuerpo humano, esto para las posiciones de pie y sentado, donde T1, T2, T3, T4 son los termopares a utilizar y posicionados en sus respectivas zonas según la norma.

Como indica la Figura 65 para calcular la diferencia de temperatura, de pie o sentado es necesario dos termopares para cada caso, para el estudio de esta variable se necesitarán únicamente dos de éstos, ya que el análisis se hará para personas sentadas pues la finalidad del auditorio es albergar al público en esa posición, se debe considerar también el termopar correspondiente al termómetro de globo, en la Figura 66 se muestra la distribución de los termopares en una zona, la cual será igual para todas las zonas.

Figura 66. Utilización de termopares en cada zona de muestreo



Los termopares para calcular la diferencia vertical de temperatura tendrán una longitud de 5 [m], de los cuales 4 [m] corresponden a la distancia desde el banco hasta el punto de medición (subzona) y 1[m] debido a la altura establecida por la norma (Figura 65).

El termómetro de globo se ubicará en la mesa auxiliar plegable, esta se encuentra opuesta a la pantalla, para que la radiación de esta no afecte los cálculos, por ello se debe incluir este termopar en el diseño y su respectiva longitud, la cual corresponde a 1.5 metros.

Tabla 16. Termopares a utilizar por zona de muestreo

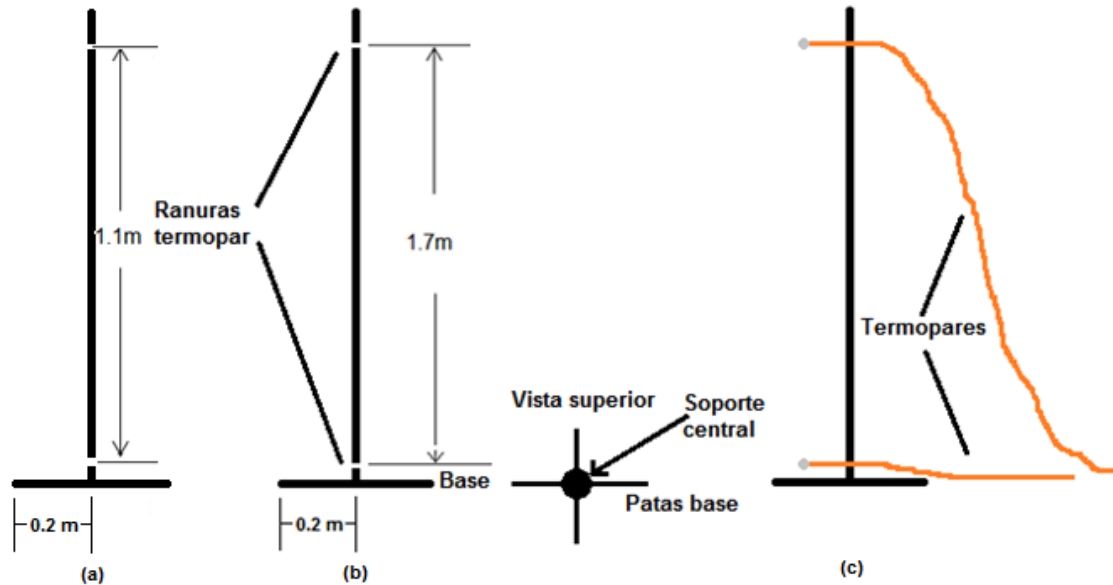
Descripción Termopares	Cantidad en cada zona
Termopar tobillo	2
Termopar cabeza	2
Termómetro de globo	1
Total de la zona	5

Es importante aclarar que el equipo tiene una capacidad de conexión para 20 termopares midiendo simultáneamente y cada zona necesita 5 termopares, pero debido a la longitud y al costo de tener un termopar más largo para medir varias

zonas simultaneas, se harán 7 tomas, es decir una toma por zona y quedan 11 termopares libres, la otra opción consistiría en realizar 2 tomas totales, es decir una toma cada 4 zonas, utilizando así 20 termopares simultáneos , pero como se mencionó anteriormente debido al elevado costo por la construcción y el alargamiento del termopar se optará por hacer las 7 tomas, gastando así un poco más de tiempo pero ahorrando dinero y material.

Evidentemente queda solo por definir la estructura donde se montarán los termopares, la cual se presentará en la Figura 67.

Figura 67. Estructura soporte para termopares

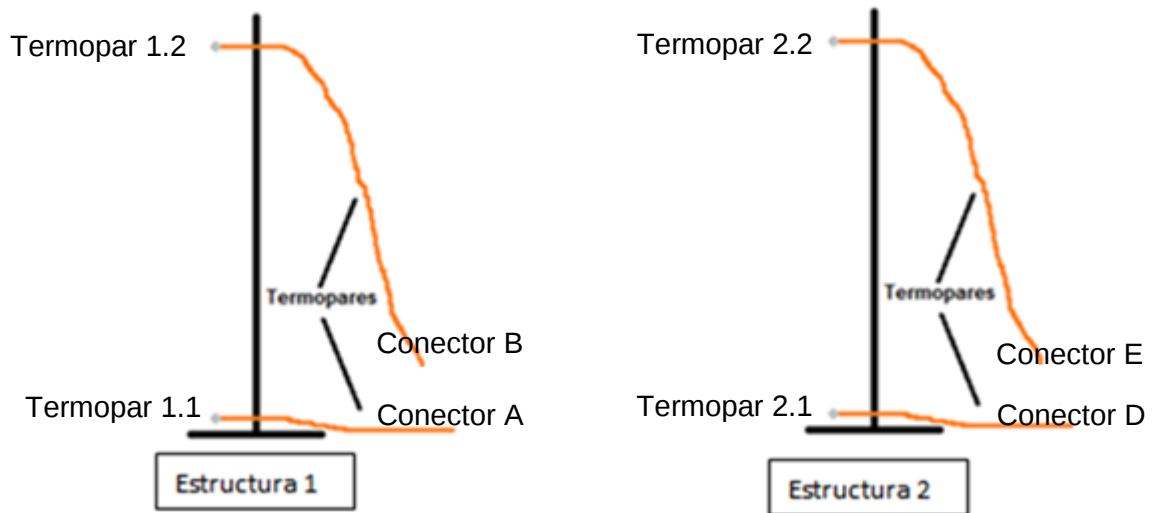


(a)-sentado, (b)-de pie, (c)-con los termopares

Se debe aclarar que en este análisis, se utilizará la estructura para medir la temperatura en posición de sentado es decir la (a), la otra estructura se ilustra de manera informativa, por si se hace necesaria su utilización en otros estudios.

La distribución y la nomenclatura de los termopares en la estructura se muestran en la Figura 68.

Figura 68. Distribucion de los termopares en las estructuras



La Figura 68 muestra la distribución de los termopares en la estructura, además ilustra la respectiva conexión de éstos en la placa de conexiones, se debe aclarar que el conector C de la placa (canal 103) es el correspondiente al termómetro de globo y no aparece en ésta figura.

La respectiva nomenclatura se explica con claridad en la Tabla 17, el primer número corresponde a la estructura (1 o 2), el segundo a la posición de este en la estructura (1 o 2) siendo 1 la posición inferior y 2 la superior ver Figura 68.

La conexión de los termopares en la placa de conexiones y su respectivo canal en el multiplexor también se muestra en la Tabla 17, la distribución y la nomenclatura de los conectores en la placa se muestra en la Figura 38 del capítulo 3.

Tabla 17. Nomenclatura de los termopares

	Primer número (Estructura)	Segundo número (Posición)	Canal, posición en la placa
Termopar 1.1	1	1	101,A
Termopar 1.2	1	2	102,B
Termopar 2.1	2	1	104,D
Termopar 2.2	2	2	105,E

Para la realización de éste experimento se hace necesario recurrir a termopares tipo k, para minimizar costos se optó por comprar un carrete de 1000 ft (Figura 69), utilizando de este el material necesario para construirlos con sus respectivas longitudes.

Figura 69. carrete de cable tipo k para construccion de termopares



Debido a que el carrete de cable termopar tipo k , trae los hilos sin la soldadura necesaria para obtener la diferencia de voltaje entre las puntas de éstos, la cual es la base en la medición de temperatura, se debió construir un equipo casero para tal fin, que será explicado a continuación.

Este equipo consta de un cable tipo alambre de espesor No 12, un interruptor, una solución de agua-sal, la cual hace las veces de resistencia eléctrica y protección, en la punta una barra de grafito que sirve de electrodo, en la Figura 70 se muestra el circuito y en la Figura 71 se muestra la descripción física del equipo.

Figura 70. Circuito del soldador de puntas para termopares

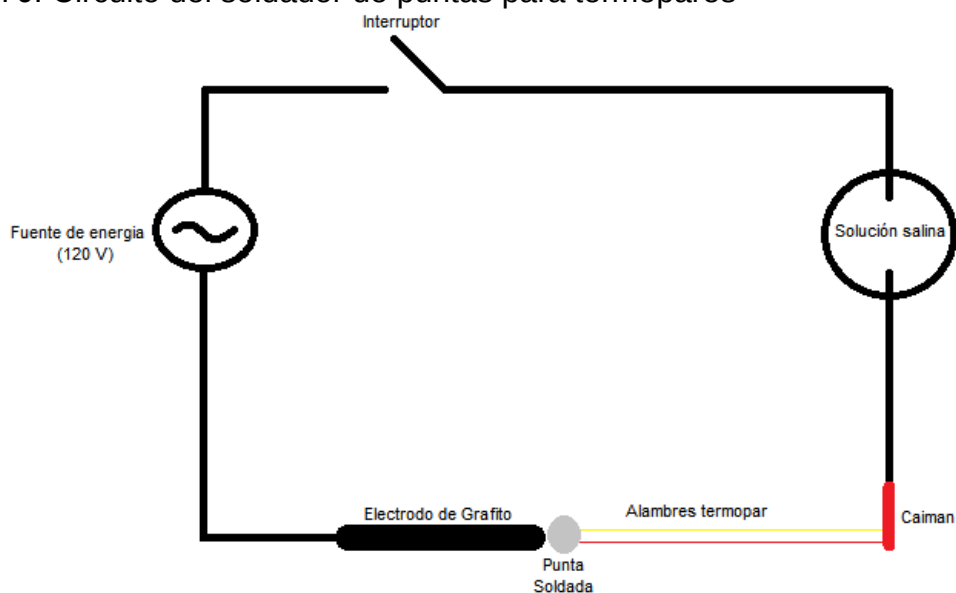
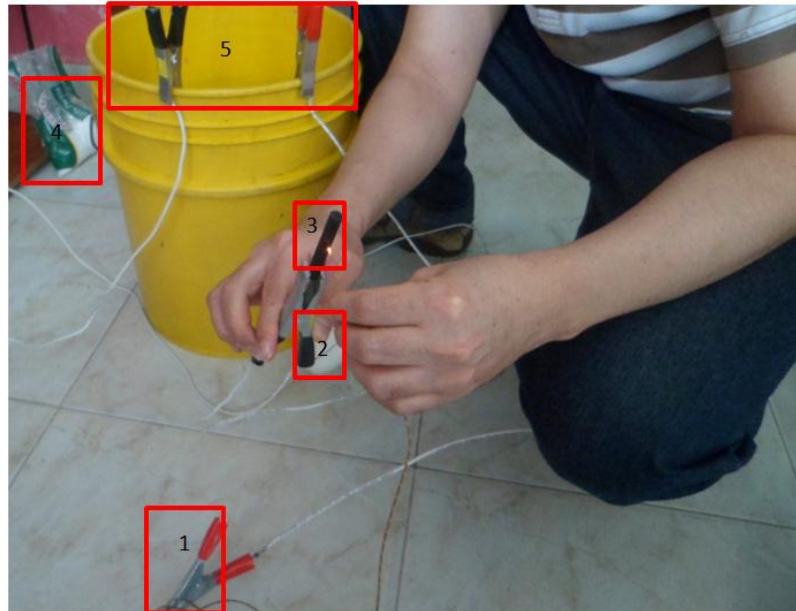


Figura 71. Detalle del equipo soldador de puntas para termopares



En la Tabla 18 se muestran los materiales utilizados en el soldador y una descripción de estos.

Tabla 18 Materiales utilizados en el soldador

Numeral	ítem	Descripción
1	Caimán termopar	Se encarga de unir el cable energizado con el termopar.
2	Interruptor	Se encarga de des energizar el circuito cuando sea necesario.
3	Grafito	Se encarga de hacer el arco para unir los dos cables del termopar.
4	Solución salina	Es una mezcla de agua y sal, sirve de resistencia y protección.
5	Bornes de conexión	Utilizados para conectar en serie el circuito con la solución salina.

Después de tener armado, preparado el circuito y los hilos del termopar conectados al caimán, se deben juntar las puntas de los dos termopares con la barra de grafito hasta que éstos se fundan, tal como se muestra en la Figura 71, numeral (3).

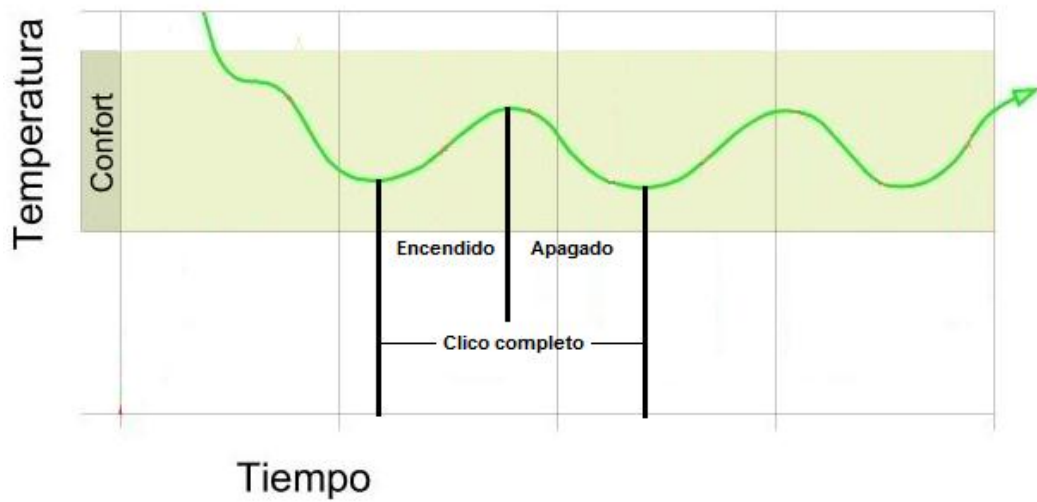
Tiempos de muestreo

Para el buen desempeño del experimento es necesario establecer la frecuencia de muestreo en cada zona, para ello es necesario saber cuanto tiempo tarda el sistema en adquirir su régimen de trabajo, esto con el fin de establecer los ciclos de encendido y apagado del equipo (control on-off), obteniendo así un tiempo de adquisición correcto y acoplado a las condiciones reales del sistema.

Para establecer el ciclo de trabajo es necesario caracterizar el equipo de aire acondicionado del Auditorio, para lo cual se utilizará la unidad de adquisición con sus respectivos termopares, los datos obtenidos en éste muestreo serán utilizados para obtener el tiempo de permanencia del equipo en cada zona.

En la Figura 72 se muestra el comportamiento ideal de este tipo de sistemas, se espera que el comportamiento del aire acondicionado del auditorio de Ingeniera Mecánica tenga la misma tendencia.

Figura 72. Comportamiento ideal de un sistema de refrigeración con control on-off



Comportamiento real del sistema

Después del respectivo muestreo en el auditorio de Ingeniería Mecánica, con ayuda de la unidad de adquisición, se graficó dicho comportamiento, se realizó el análisis, se comparó con la Figura 72 y de hay se extrajo el tiempo de muestreo, lo cual es clave en éste estudio, es importante aclarar que este muestreo se realizó en la tarima del auditorio, cerca al difusor y utilizando un solo termopar.

Figura 73. Comportamiento de la temperatura en la tarima del auditorio

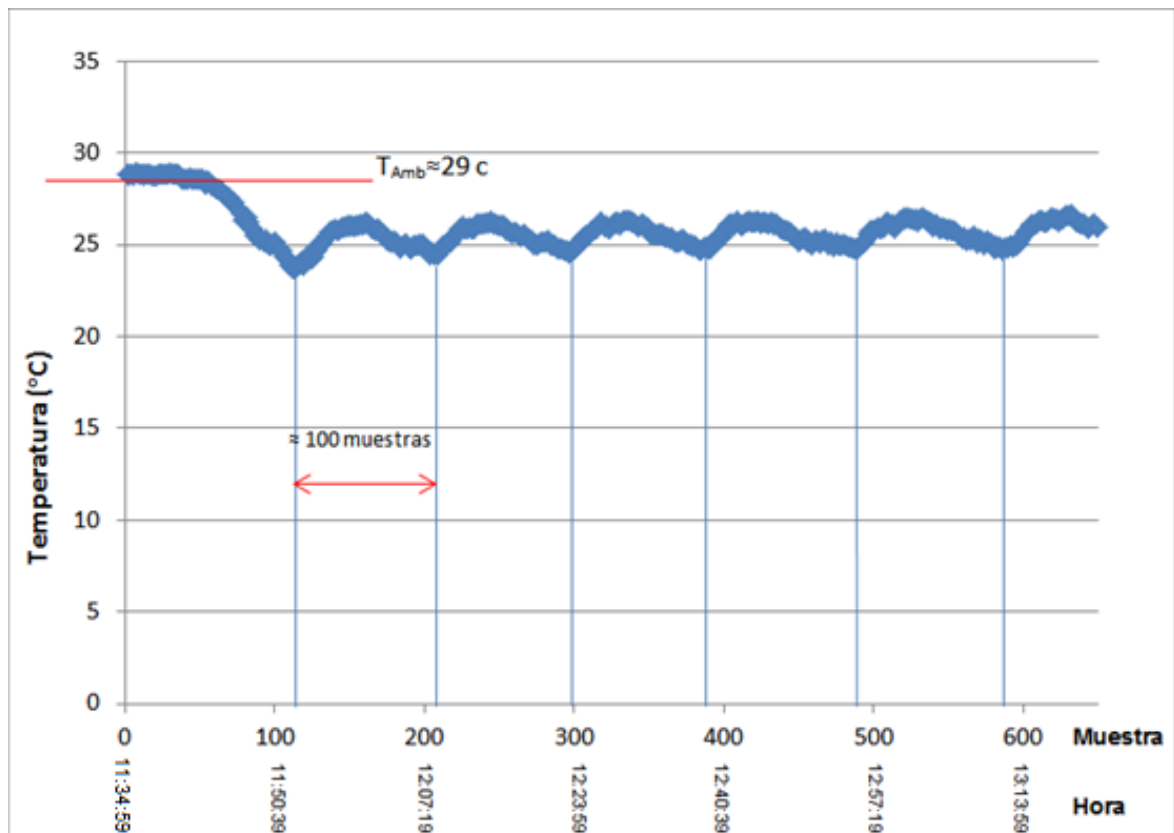
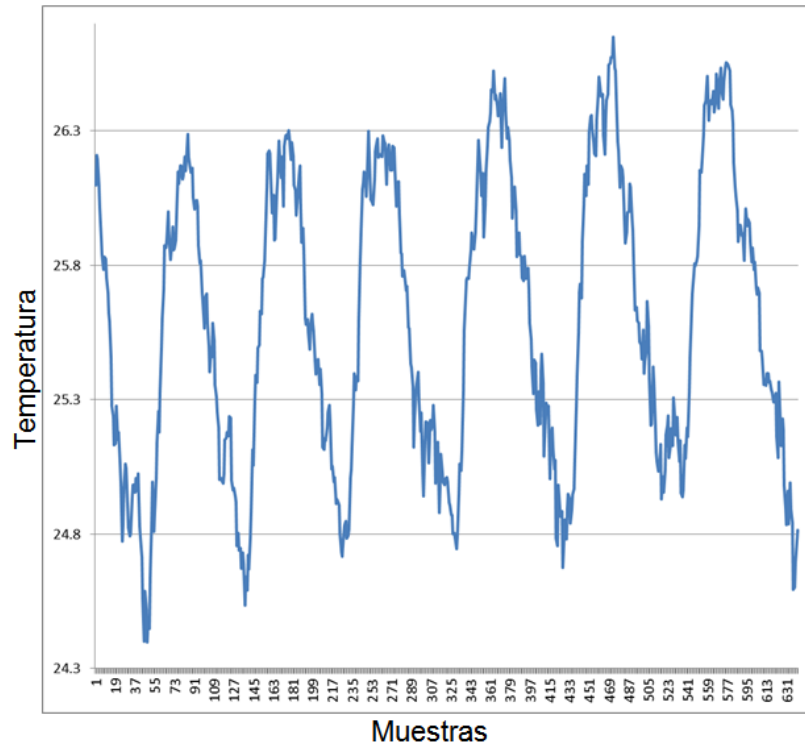


Tabla 19. Valores promedio del recinto

ÍTEM	VALOR [°C]
Temp. Promedio del recinto sin climatizar.	29
Temp. promedio del recinto climatizado	26

Figura 74. Detalle del ciclo para determinar el rango de temperatura en el termostato



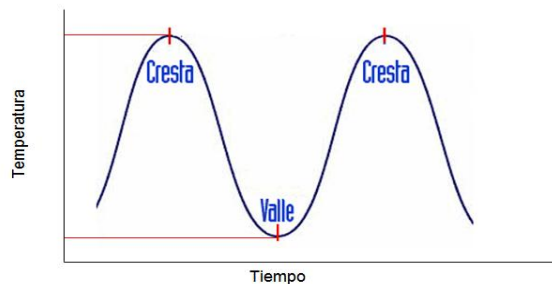
En la Figura 73 se ve claramente que la temperatura que se intenta ofrecer o controlar por parte del sistema, es aproximadamente de 26 °C (set point), esto para las condiciones meteorológicas del día que se realizó el estudio. También se ven los ciclos de encendido y apagado. La gráfica también proporciona la amplitud de trabajo del termostato, el cual es un ítem muy importante en los sistemas de refrigeración, pues determina en gran manera la eficiencia del sistema, pues ésta será la cercanía con el punto de control o set point, es importante aclarar que esta prueba se realizó con un valor impuesto en el termostato de 70 °F (21.1 °C), es decir, existen aproximadamente 5 °C de diferencia entre el valor real y el valor fijado en el termostato.

Tabla 20. Rango de temperatura en el termostato

T. máxima [°C]	T. mínima [°C]	$\Delta T_{\text{termostato}}$ [°C]
26.2	24.4	1.8
26.3	24.5	1.8
26.3	24.7	1.5
26.3	24.7	1.6
26.5	24.7	1.9
26.7	25.0	1.7
26.5	24.6	1.9
Promedio $\Delta T_{\text{termostato}}$ [°C]		1.7

En la Figura 74, como se menciona ilustra un detalle del rango de temperatura al cual esta trabajando el termostato y la Tabla 20 muestra algunos de los valores aproximados de éste rango, siendo temperatura máxima, el valor correspondiente a la cresta y temperatura mínima el valor correspondiente al valle, según se muestra en el ejemplo de la Figura 75, se concluye que el promedio aproximado del rango de la temperatura del termostato es 1.7 °C, se podría decir que el termostato tiene una amplitud de aproximadamente de 2 °C, el valor de la amplitud ésta relacionado con la eficiencia del sistema, entre mas grande sea éste valor mas energía se necesita para bajar la temperatura, además se tendrá un mayor rango entre el set point y las temperatura máxima y mínima, lo que traduce en incomodidad térmica.

Figura 75. Ejemplo para el rango de temperatura del termostato



Con la información de la Figura 73 se procederá a deducir la frecuencia mínima que debe estar el equipo recolectando datos, en cada zona.

Para encontrar cual debe ser el tiempo de muestreo se recurrió al teorema de muestreo Nyquist⁶, el cual dice que la frecuencia mínima en la recolección de datos debe ser por lo menos el doble de la frecuencia de referencia o de la señal original, que para este caso se basará en la Figura 73 que es la caracterización del sistema de climatización del Aula Máxima de Ingeniería Mecánica.

Por lo tanto la frecuencia de muestreo es:

$$f_m = 2 * B \quad (24)$$

Donde:

f_m = Frecuencia de muestreo

B = Frecuencia de referencia

Para este caso tenemos:

$B = 100$ (muestras) , la frecuencia de referencia será el valor de la honda conocida, de la Figura 73 se extrae este dato y corresponde a un ciclo de trabajo.

$$f_m = 2 * 100 = 200 \text{ (muestras)} \quad (25)$$

El teorema define el número mínimo de muestras, pero se debe ser conservativo en el análisis por lo tanto se tomarán 300 muestras de cada zona, y como la Figura 64 muestra 7 zonas en el estudio, se deberán obtener por lo menos 2100 muestras, este análisis es referente a la temperatura ambiental y la temperatura radiante. Con respecto a las otras variables involucradas en el estudio, como es la

⁶ El teorema de muestreo fue desarrollado en 1928 por Nyquist y probado matemáticamente por Claude Shannon en 1949.

velocidad del aire y la humedad, la recolección de datos se realizará de manera manual durante el tiempo que dure el muestreo de temperatura en cada zona.

La unidad de adquisición, recolecta datos cada 10 segundos, por lo tanto el tiempo que durará la unidad en cada zona será el descrito en la ecuación (23).

$$Tiempo = \# \text{ muestras} * Tiempo \text{ por muestra} \quad (26)$$

$$Tiempo = 300 * 10(s) = 3000(s) = 50 \text{ min} \approx 1 \text{ hora}$$

Donde:

Tiempo = Es el tiempo que tarda el muestreo de datos en una zona

Muestras = Es la cantidad de datos que se van a adquirir con la unidad en una zona.

Tiempo por muestra = Es el tiempo que se demora entre un dato y el otro

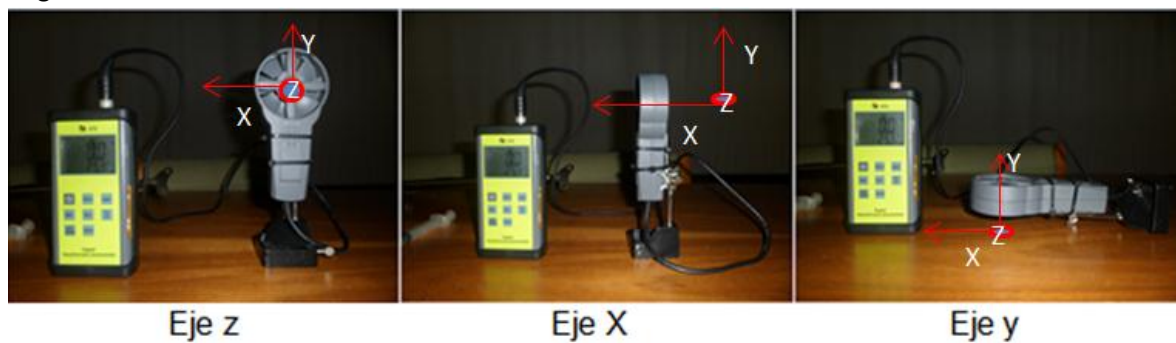
Esto quiere decir que el muestreo de cada zona debe durar como mínimo 1 hora, entonces para las otras variables involucradas en el análisis, la lectura de datos se realizará con un intervalo de 10 minutos, entre una y otra, es decir cada zona tendrá 6 datos, sumando un total de 60 minutos.

La velocidad se medirá en intervalos de tiempo iguales a los de la humedad, pero en los tres ejes ordenados (x, y, z; Figura 76), en la Figura 77, se muestra el anemómetro en sus respectivas ubicaciones.

Figura 76. Ejes Cartesianos en el auditorio



Figura 77. Posiciones del anemómetro en el muestreo de velocidades



Cabe resaltar que el eje Z, es perpendicular al plano de la hoja y su representación en la Figura 77 es un punto.

El anemómetro se transportará con el equipo a cada zona, por lo tanto se encontrará en el banco de adquisición junto al higrómetro, la medición como se estimó, se realizará cada 10 minutos, pero en los tres ejes, en x, en y, en z, es decir se registrarán 3 medidas de velocidad en el intervalo de tiempo establecido.

7 RESULTADOS

Este capítulo mostrará los resultados obtenidos en el muestreo realizado en el auditorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, el cual se realizó varias veces en días diferentes (ver Tabla 21), pues los datos no eran lo suficientemente claros, para realizar el respectivo análisis.

La recolección de datos se realizó en los siguientes días:

Tabla 21. Fecha y resultado de las pruebas

Año	Mes	Día	Aprobación
2013	Septiembre	10	no
2013	Septiembre	11	no
2013	Noviembre	14	no
2013	Noviembre	15	si

Una de las causas más importantes por la cual se debió realizar el estudio en varias etapas u ocasiones, fue las condiciones climáticas; al presentarse lluvia la temperatura ambiente del recinto desciende y en consecuencia no es necesario hacer uso del equipo de refrigeración.

Los datos recolectados de las variables involucradas en el análisis, se analizaron a partir de gráficas, las cuales fueron realizadas y procesadas con el paquete de Microsoft, Excel, éstas corresponden al muestreo de datos de las zonas seleccionadas en los estudios experimentales, que se encuentran en el capítulo 4 de este libro.

En las siguientes gráficas se ilustran algunos de los muestreos realizados y que no fueron parte del estudio debido a la dificultad en la interpretación de los ciclos, estos corresponden a la zona 1, las demás zonas no se muestran por brevedad del documento. Desde la Figura 78 hasta la Figura 82 se muestran las gráficas cuyo resultado no es útil para el análisis de confort térmico.

Los resultados que son parte del estudio y los que no lo son, se interpretarán de la misma forma para todas las zonas como sigue:

Las gráficas que se denotan con el título termopar, muestran el comportamiento de la temperatura de bulbo seco, en cada zona y cada gráfica corresponde a un termopar que se denota según lo explicado en la Tabla 17, que se encuentra en el capítulo 4.

La gráfica denotada con el título termómetro de globo corresponde a éste elemento y se muestra para cada zona.

Los resultados de la velocidad del aire no se muestran en cada zona, sino al final de todos los resultados, ya que la velocidad dentro del auditorio es tan baja que el equipo encargado de medir esta variable no registró ningún valor, pues su rango de medida se encuentra entre 0.4 y 25 m/s.

Figura 78 Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.1, canal 101

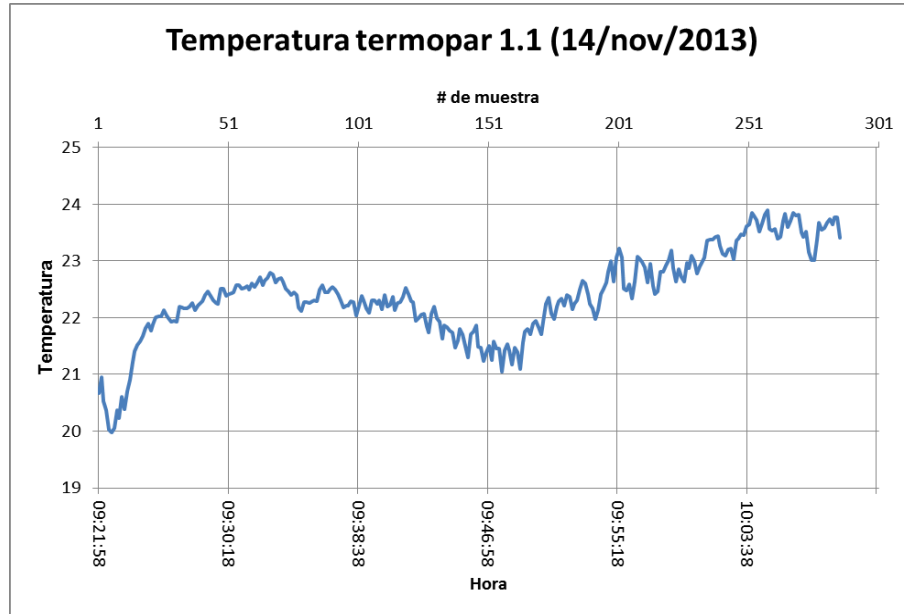


Figura 79. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.2, canal 102

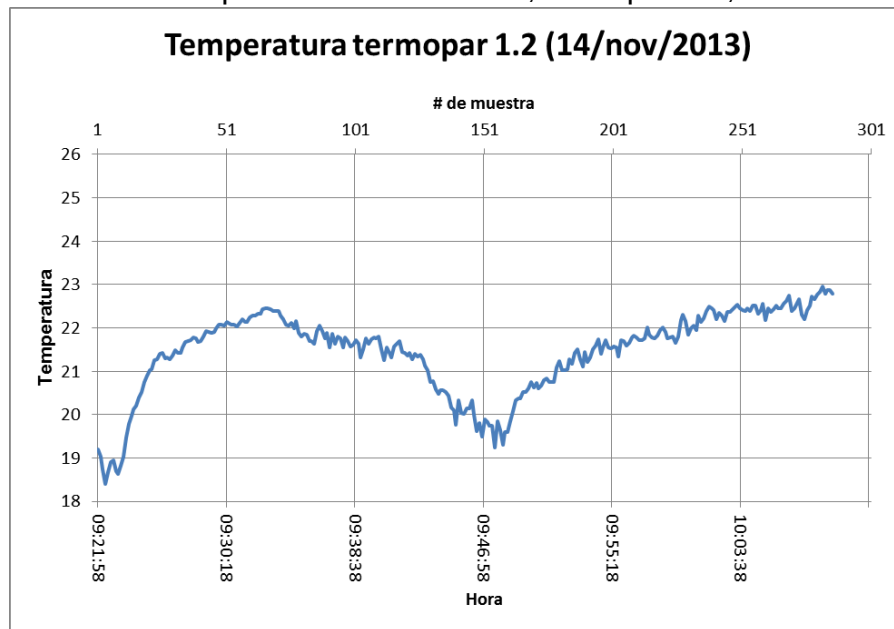


Figura 80. Gráfica correspondiente a la zona 1, termómetro de globo, canal 103

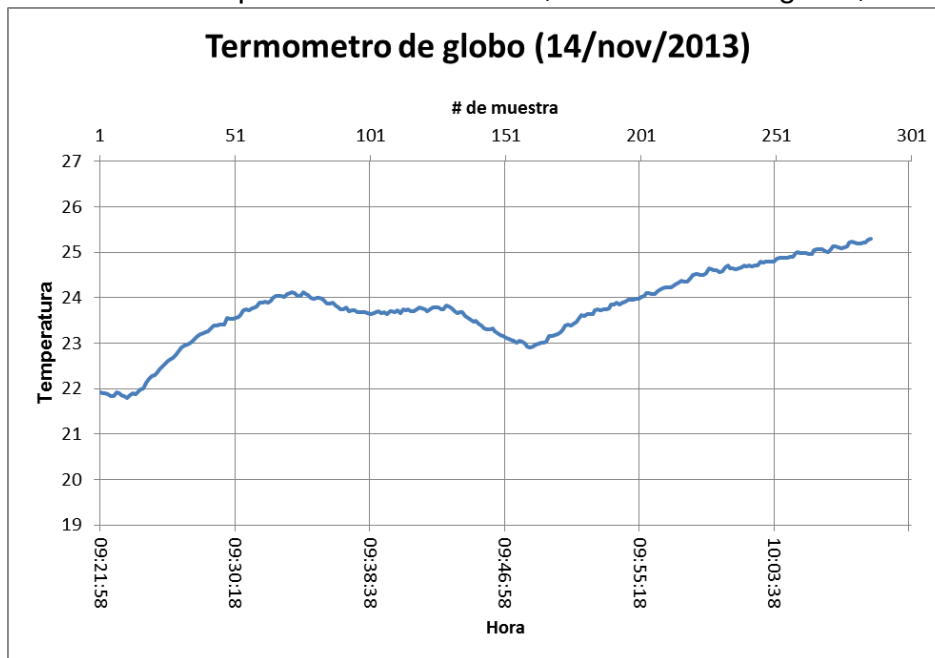


Figura 81. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.1, canal 104

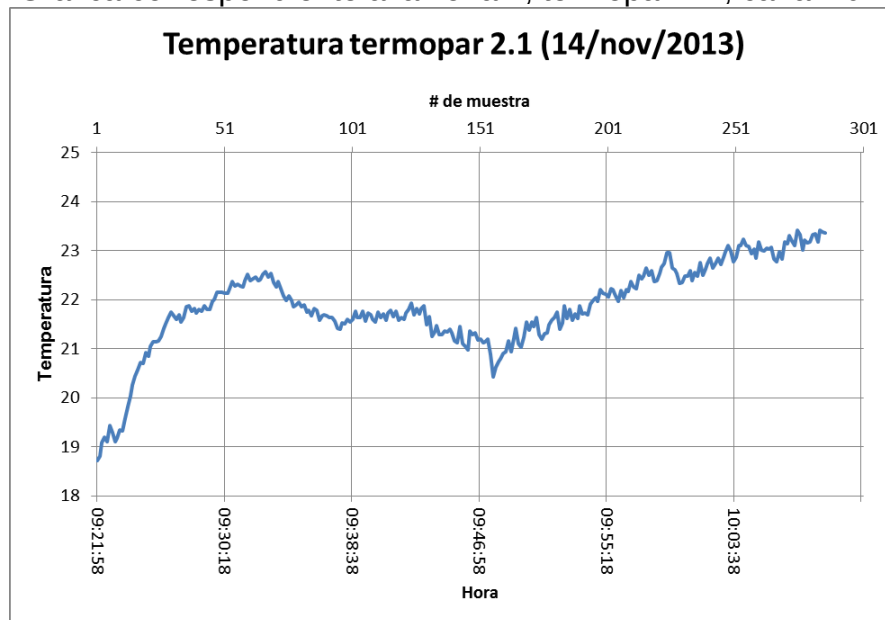
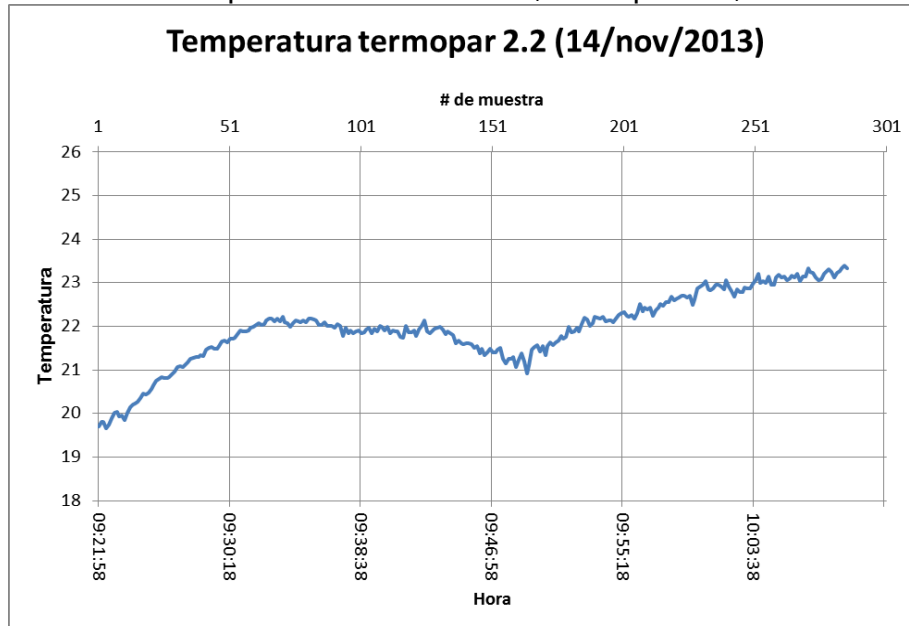


Figura 82. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.2, canal 105



A continuación se muestran las gráficas que si son usadas para el estudio de confort térmico, desde la Figura 84 hasta la Figura 118. No se deben confundir las gráficas de la zona 1 mostradas desde la Figura 78 hasta la Figura 82, con las correspondientes a la Figura 84 hasta la Figura 88 que vienen a continuación, ya que son de la misma zona, pero en días diferentes, vale la pena recordar que las primeras gráficas se muestran para ver el comportamiento de los datos que no son validos en el análisis.

En esta prueba el termostato del aire acondicionado se ajusto a 75 °F (≈ 24 °C) para todas las zonas como muestra la Figura 83.

Figura 83. Ajuste del termostato



7.1 RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DENTRO DEL AUDITORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA CON EL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN ENCENDIDO

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las zonas y serán los utilizados en la realización del respectivo análisis.

7.1.1 Gráficas del comportamiento de la temperatura del auditorio, con el termostato ajustado a 75 °F (≈ 24 °C)

A continuación se muestran las graficas de la temperatura de bulbo seco, y de temperatura radiante para las 7 zonas de análisis.

GRÁFICAS ZONA 1:

Figura 84. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.1, canal 101

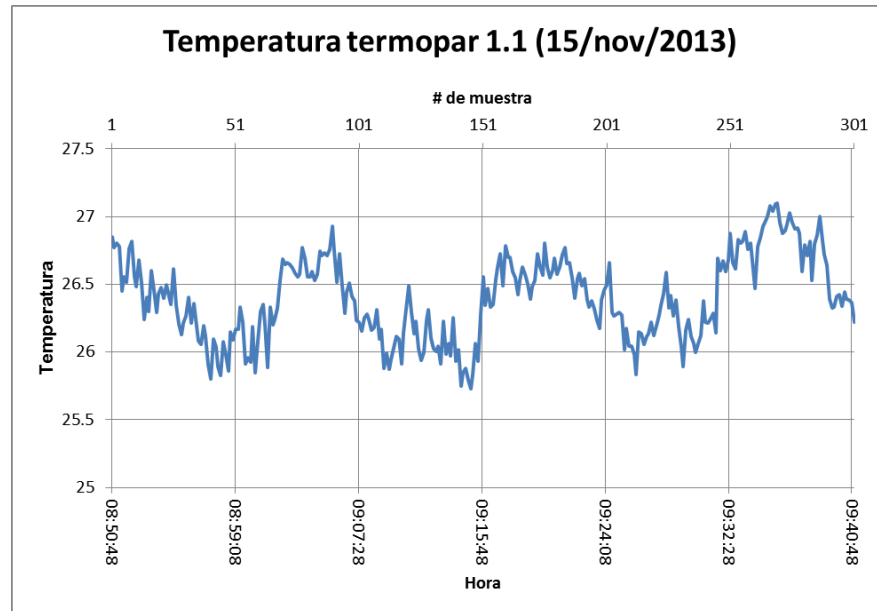


Figura 85. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 1.2, canal 102

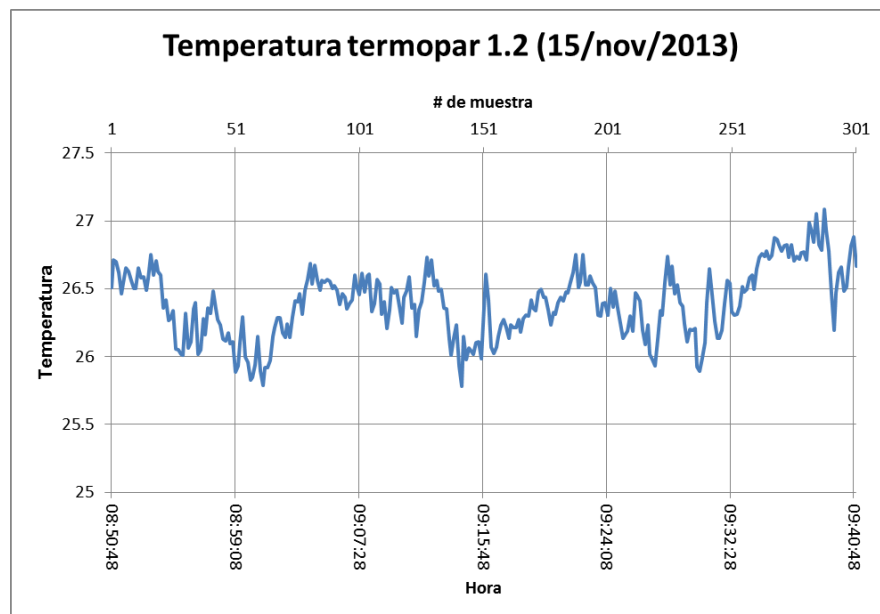


Figura 86. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 1, canal 103

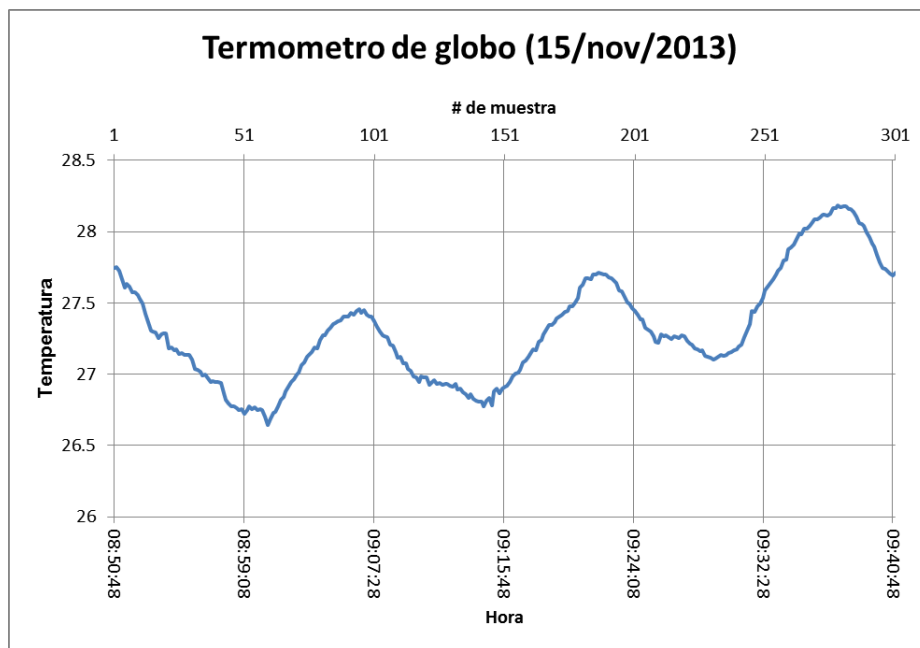


Figura 87. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.1, canal 104

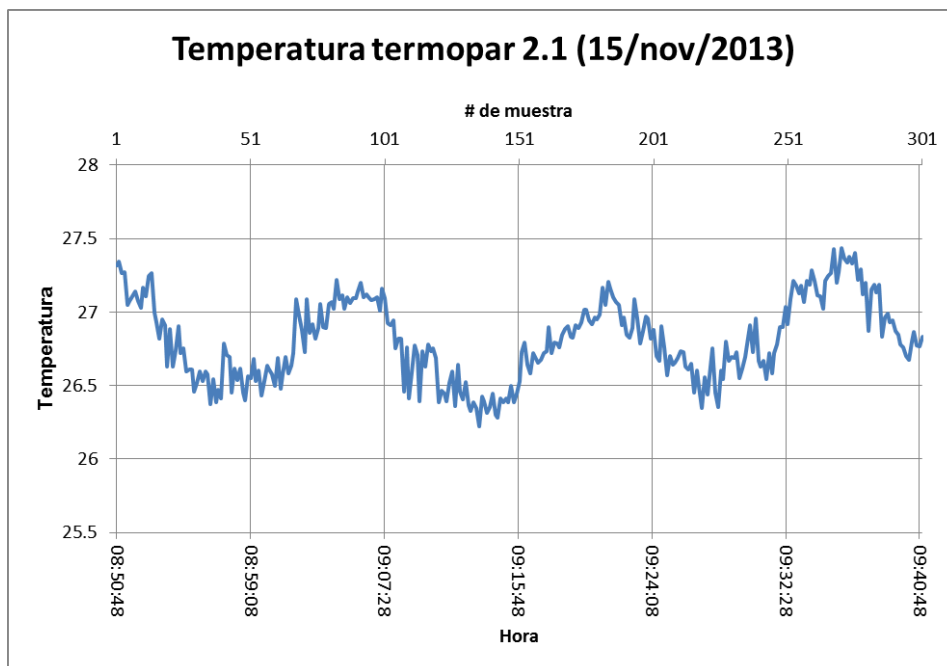
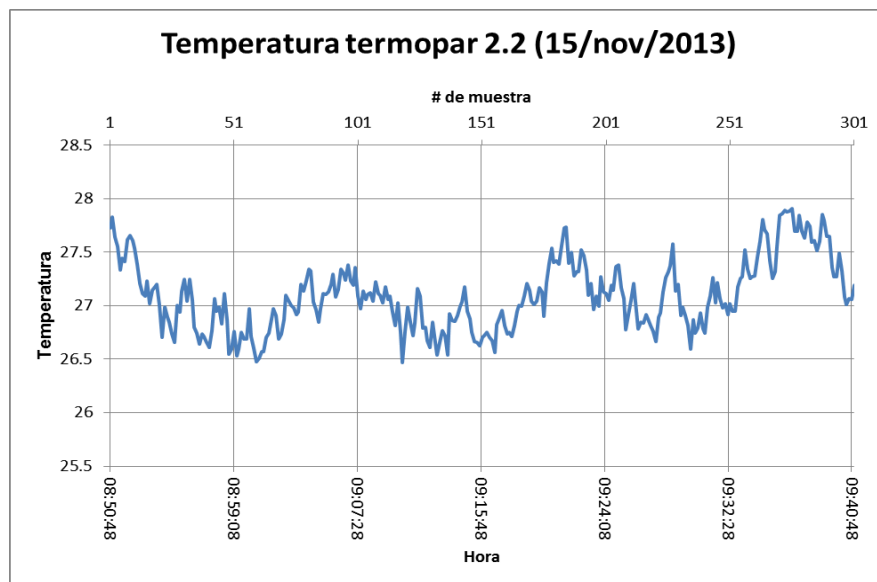


Figura 88. Gráfica correspondiente a la zona 1, termopar 2.2, canal 105



GRÁFICAS ZONA 2:

Figura 89. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 1.1, canal 101

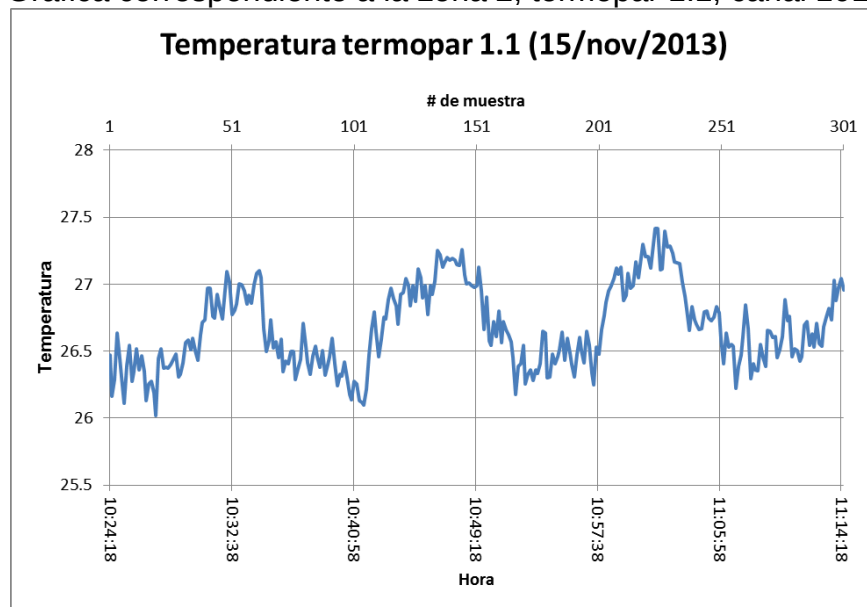


Figura 90. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 1.2, canal 102

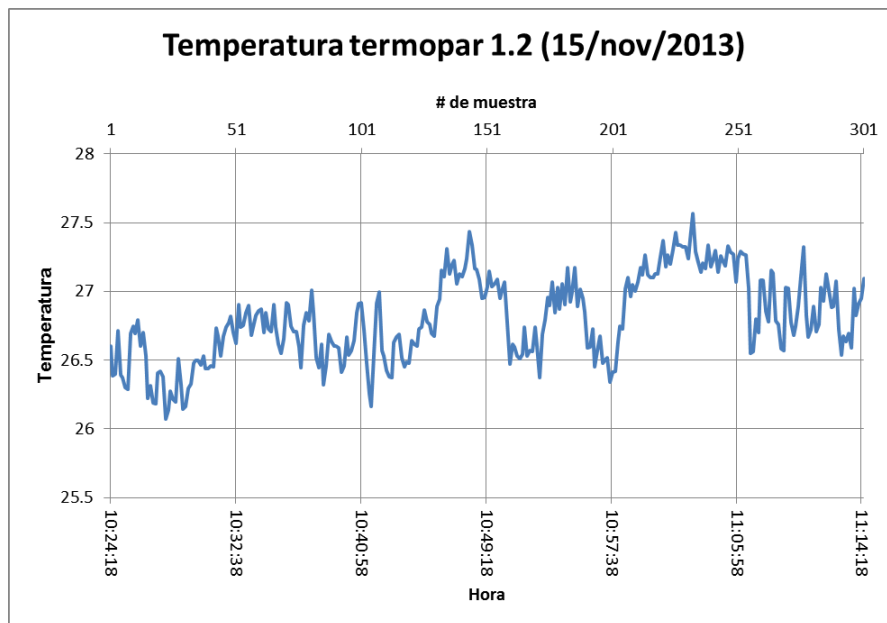


Figura 91. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 2, canal 103

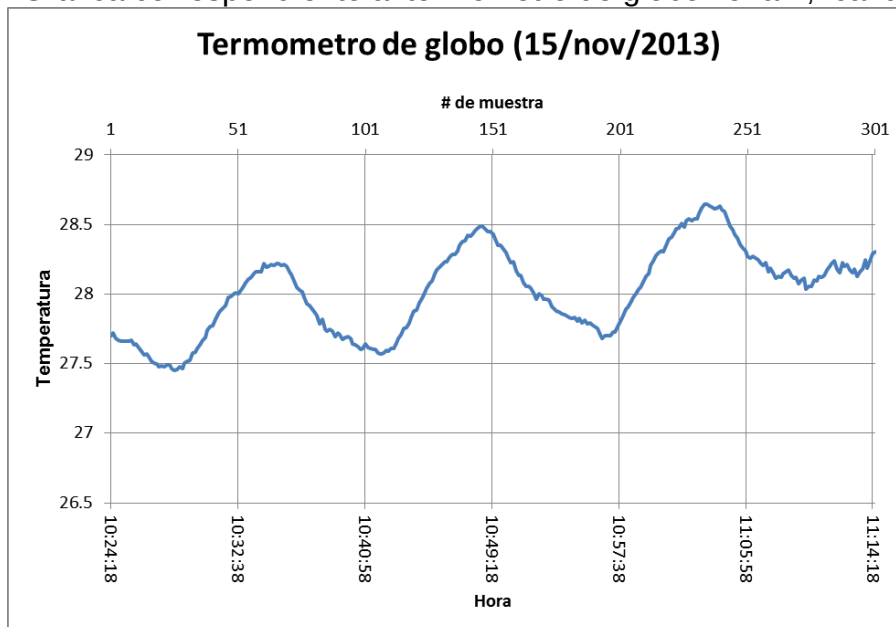


Figura 92. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 2.1, canal 104

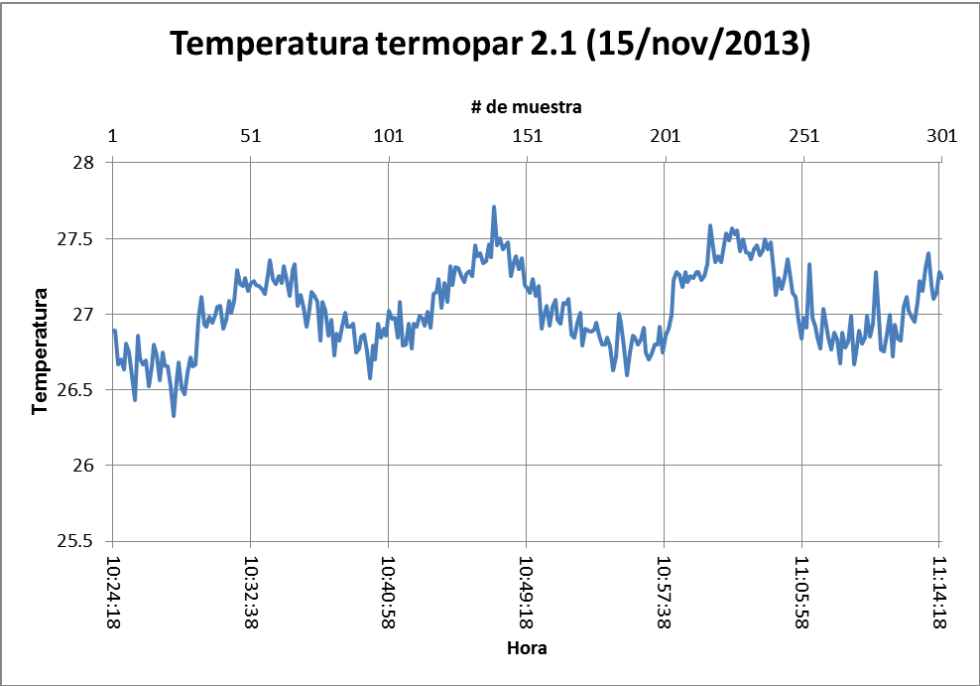
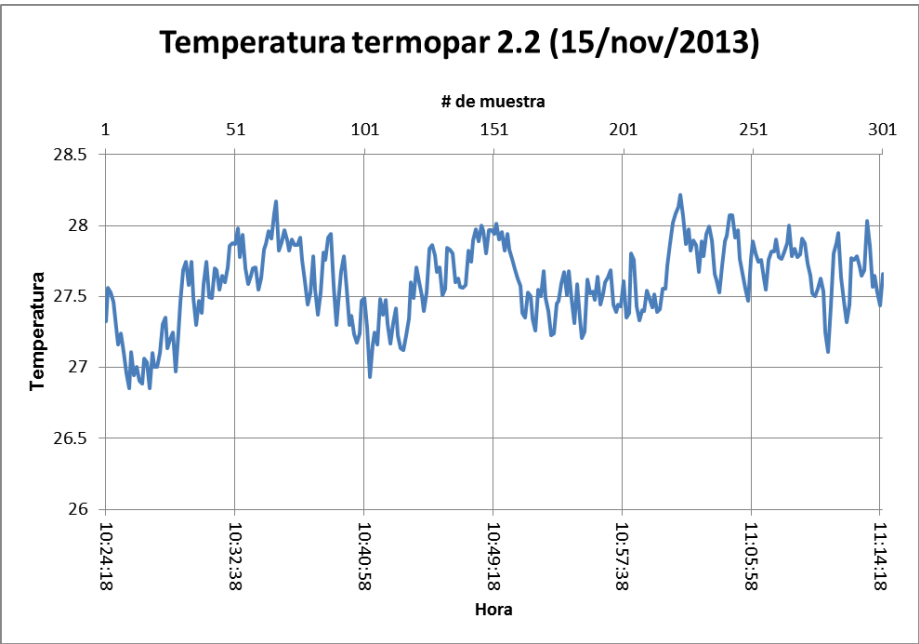


Figura 93. Gráfica correspondiente a la zona 2, termopar 2.2, canal 105



GRÁFICAS ZONA 2D:

Figura 94. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 1.1, canal 101

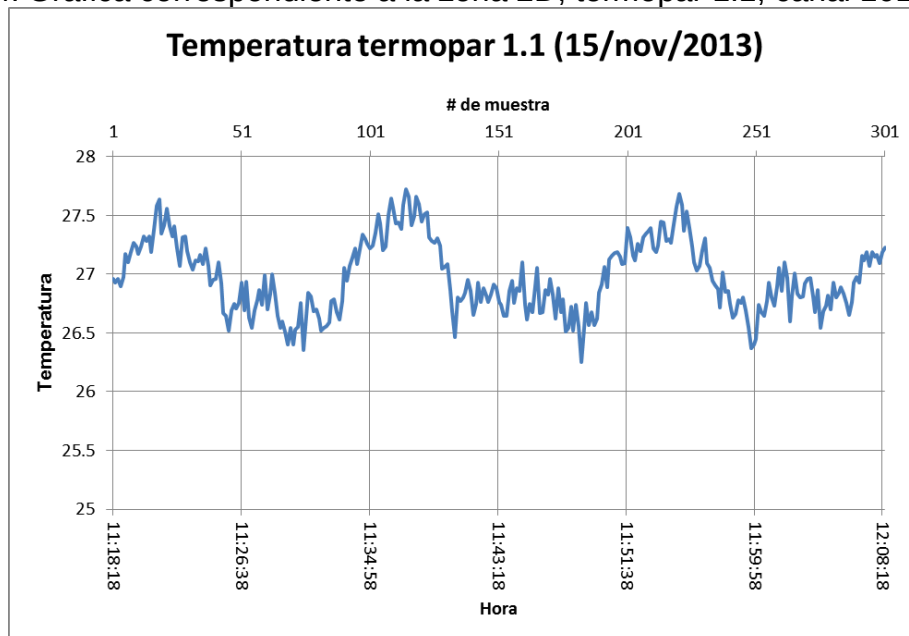


Figura 95. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 1.2, canal 102

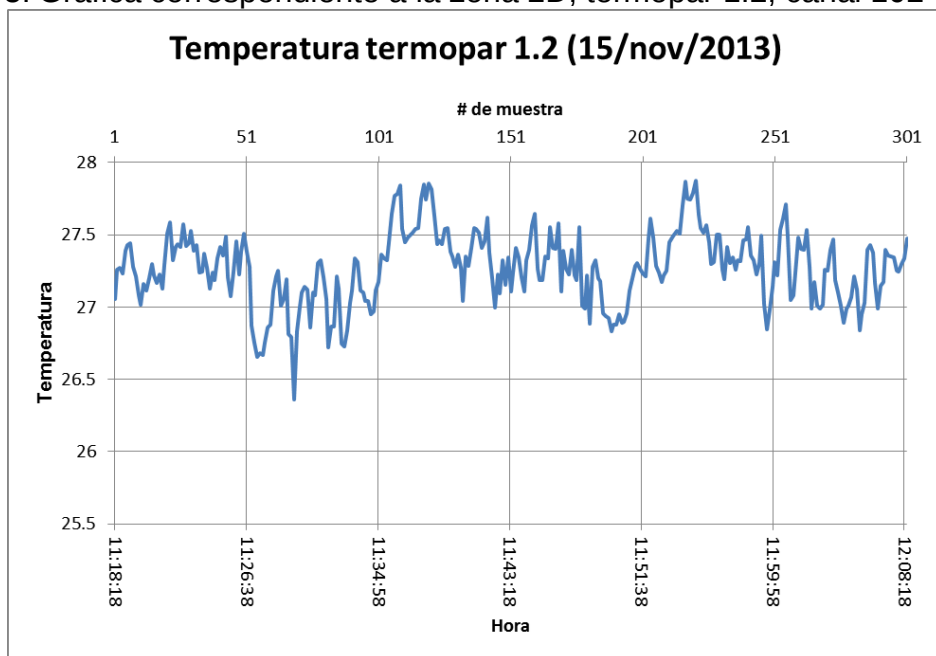


Figura 96. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 2D, canal 103

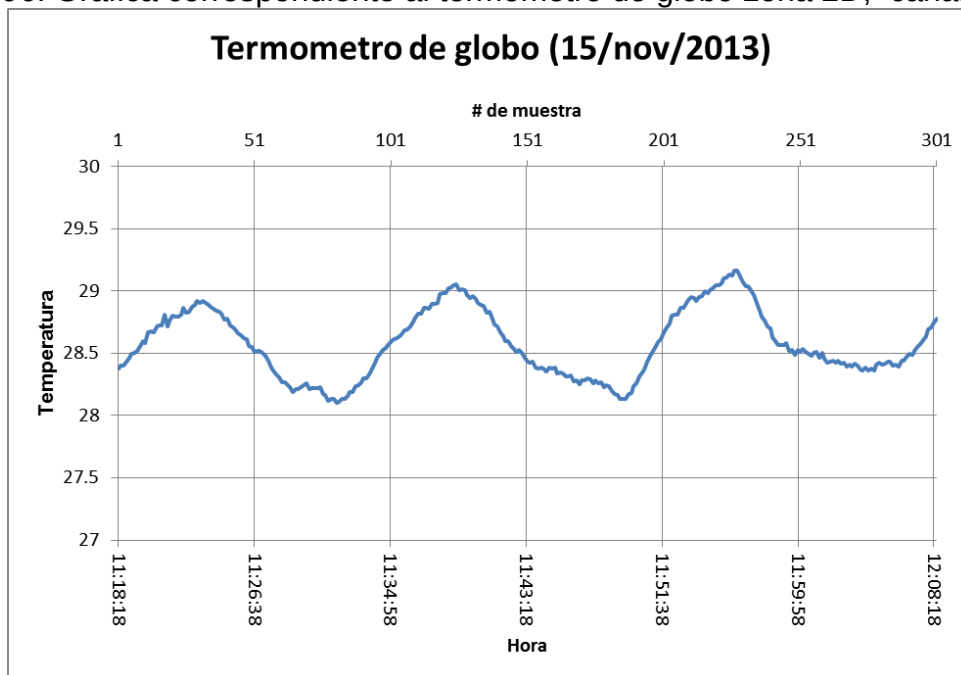


Figura 97. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 2.1 , canal 104

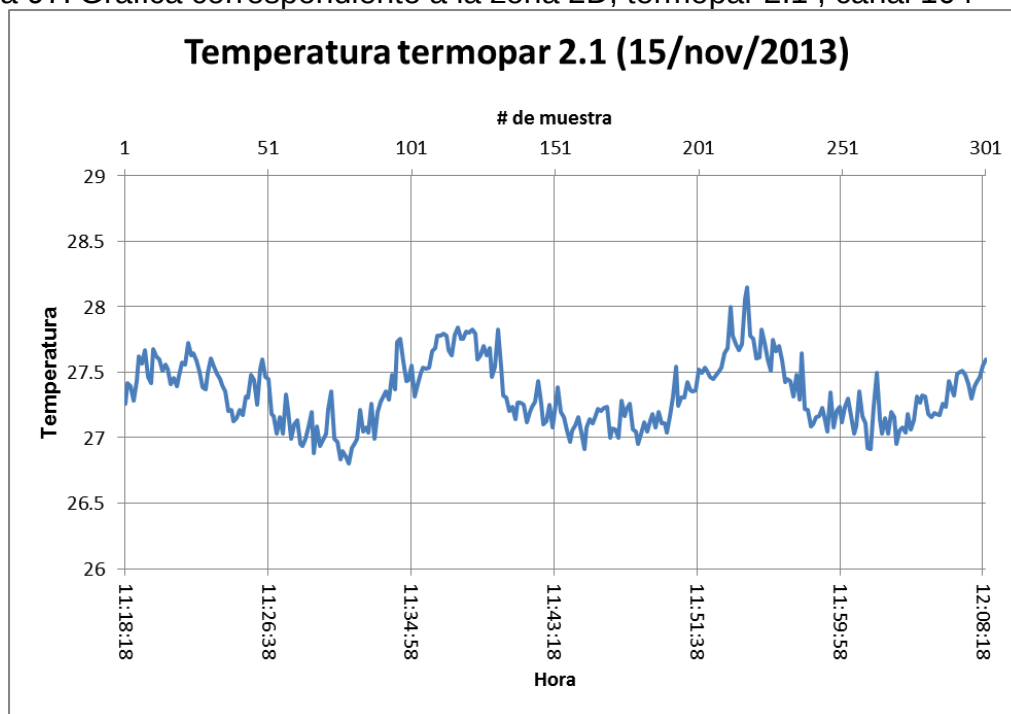
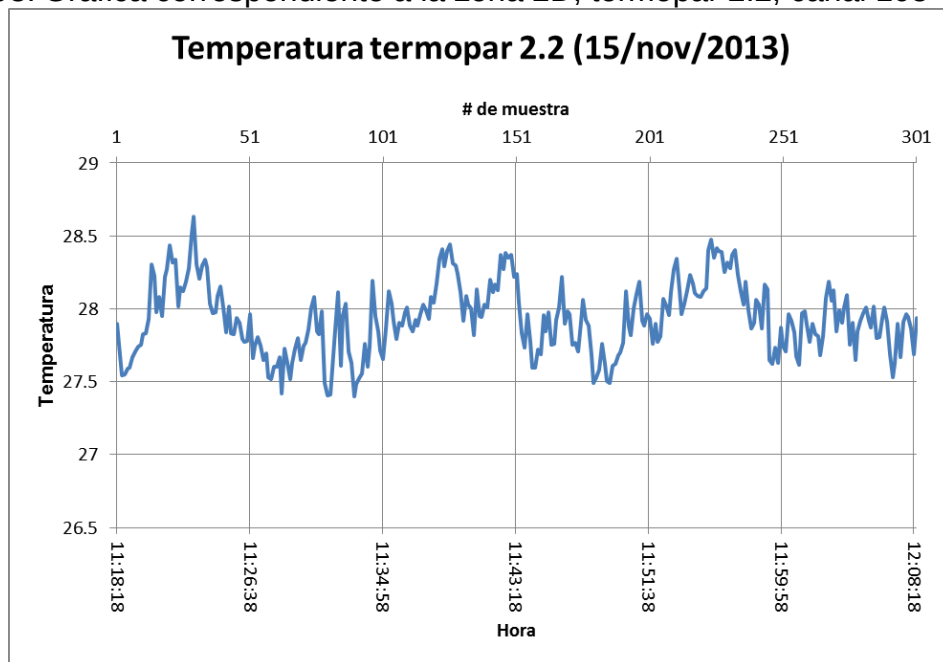


Figura 98. Gráfica correspondiente a la zona 2D, termopar 2.2, canal 105



GRÁFICAS ZONA 3:

Figura 99. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 1.1, canal 101

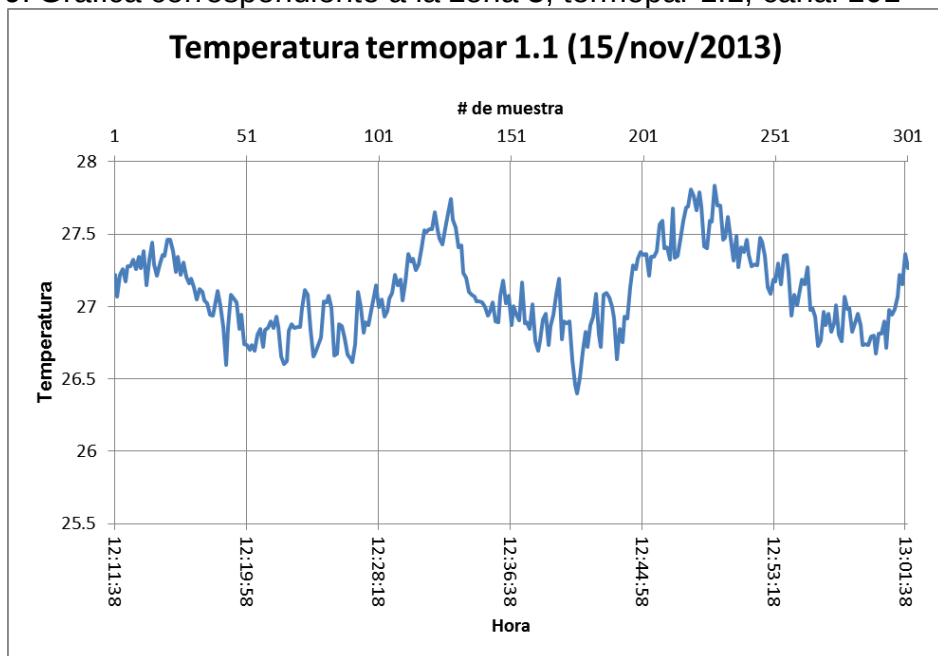


Figura 100. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 1.2, canal 102

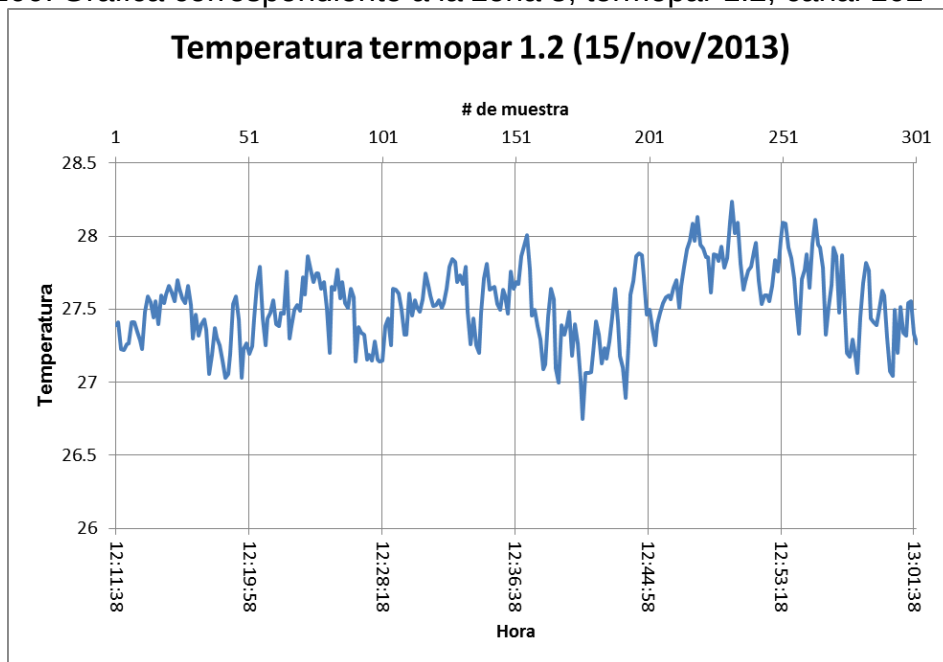


Figura 101. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 3, canal 103

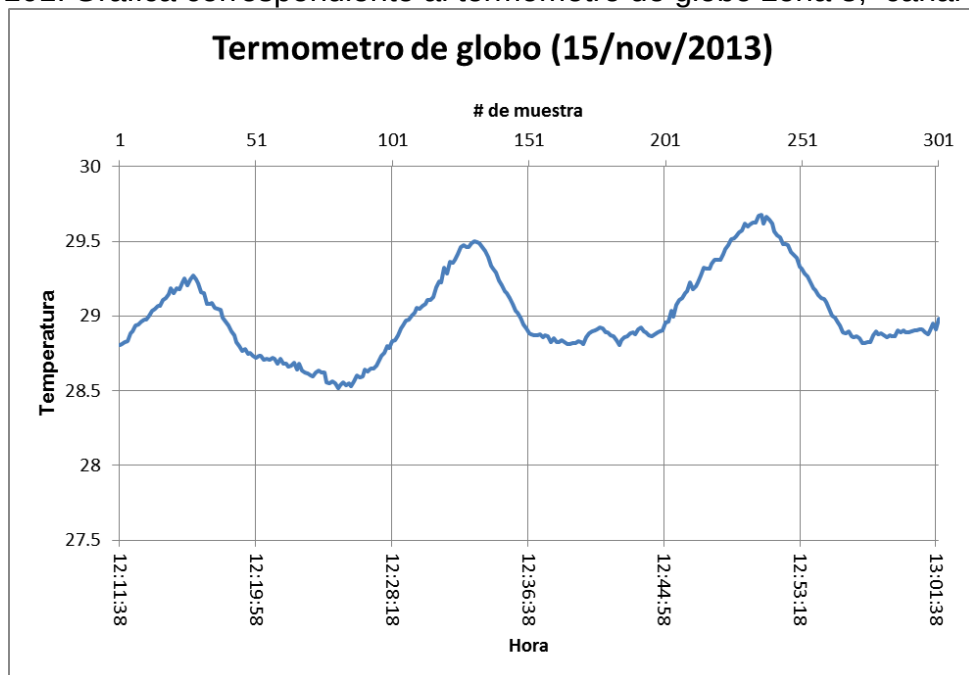


Figura 102. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 2.1, canal 104

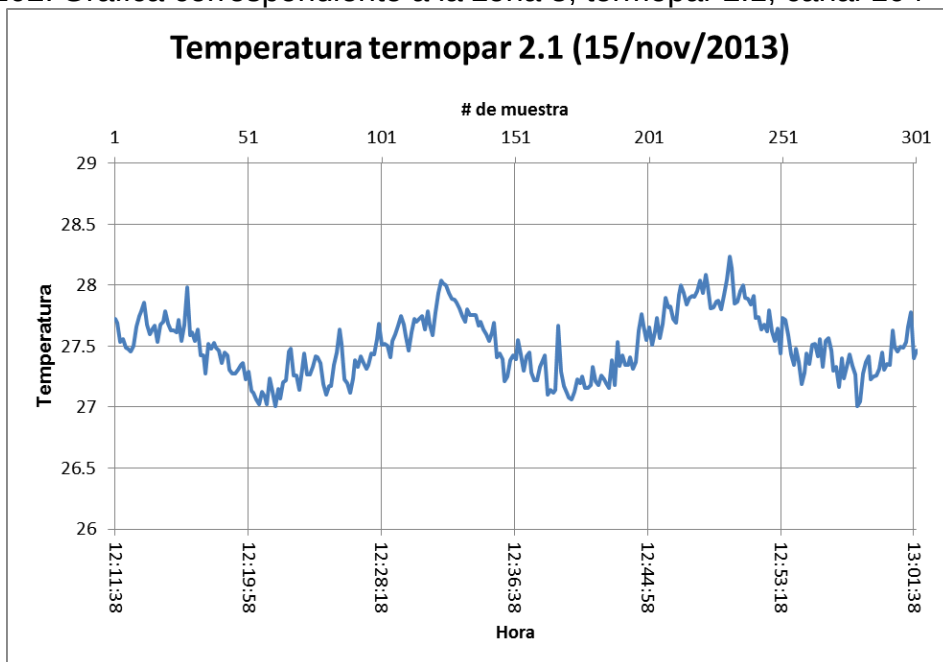
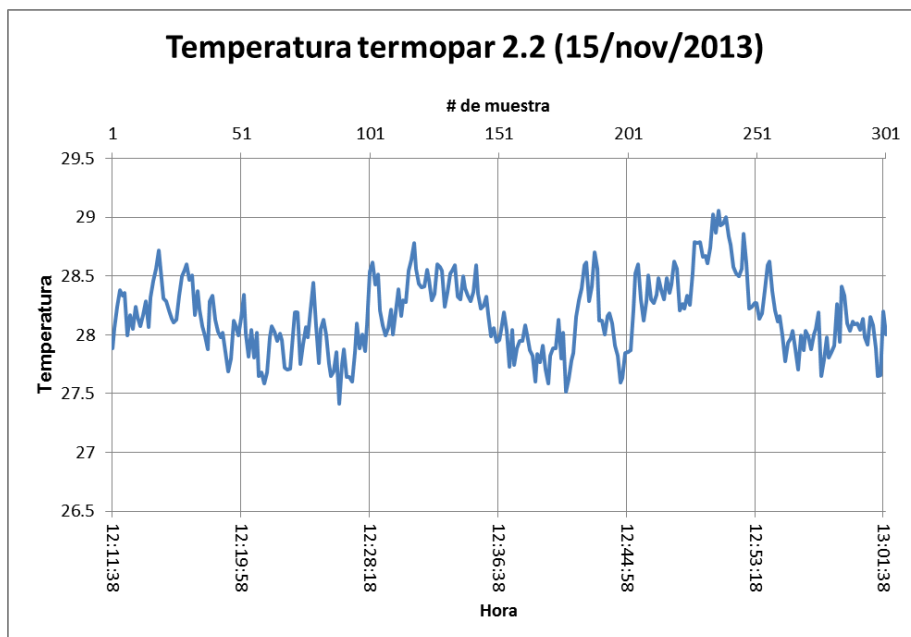


Figura 103. Gráfica correspondiente a la zona 3, termopar 2.2, canal 105



GRÁFICAS ZONA 3D:

Figura 104. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 1.1, canal 101

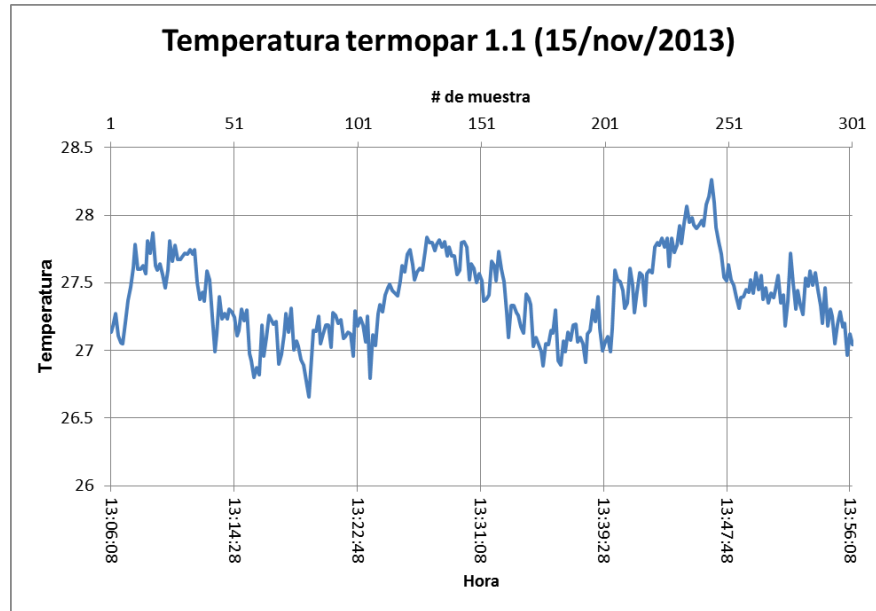


Figura 105. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 1.2, canal 102

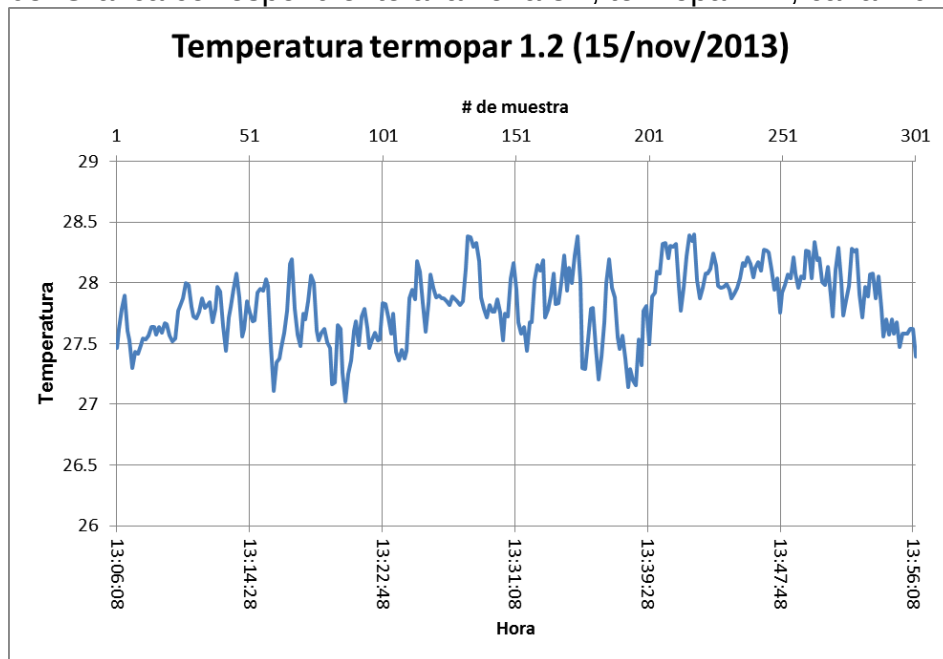


Figura 106. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 3D, canal 103

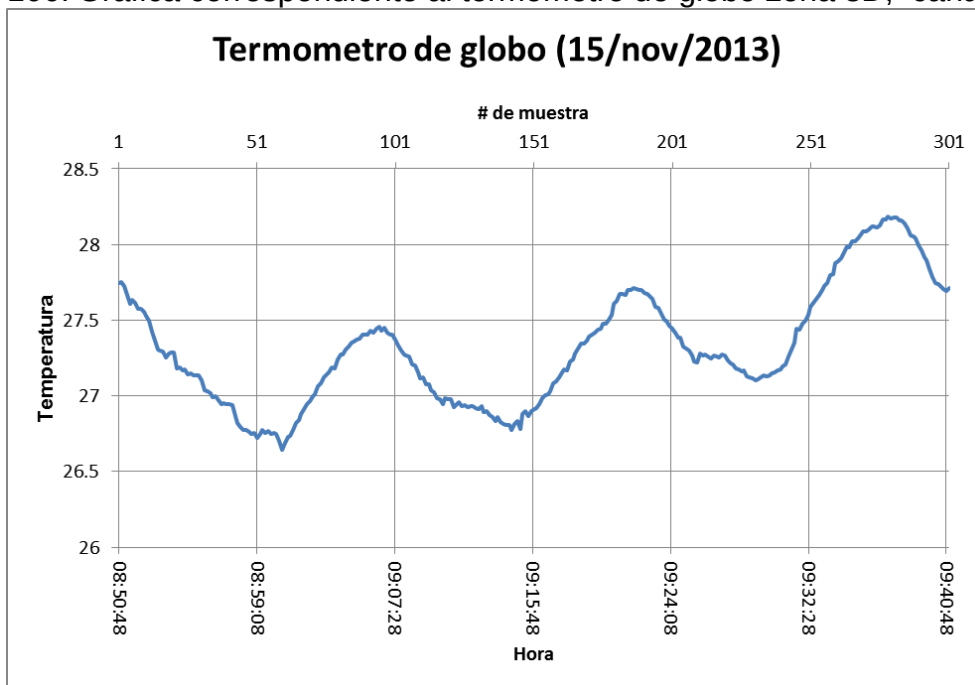


Figura 107. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 2.1, canal 104

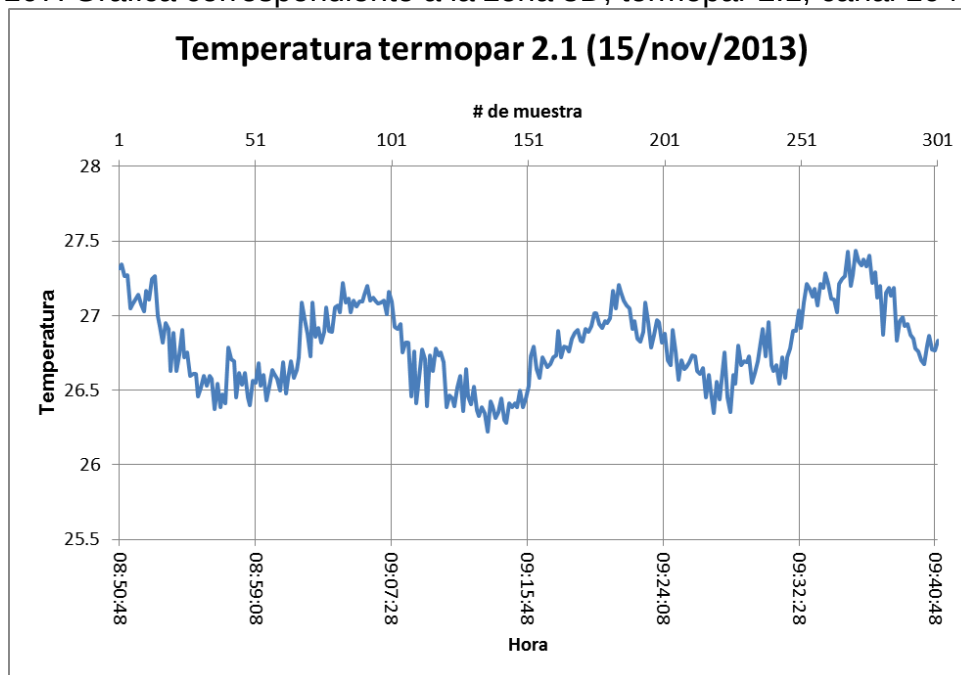
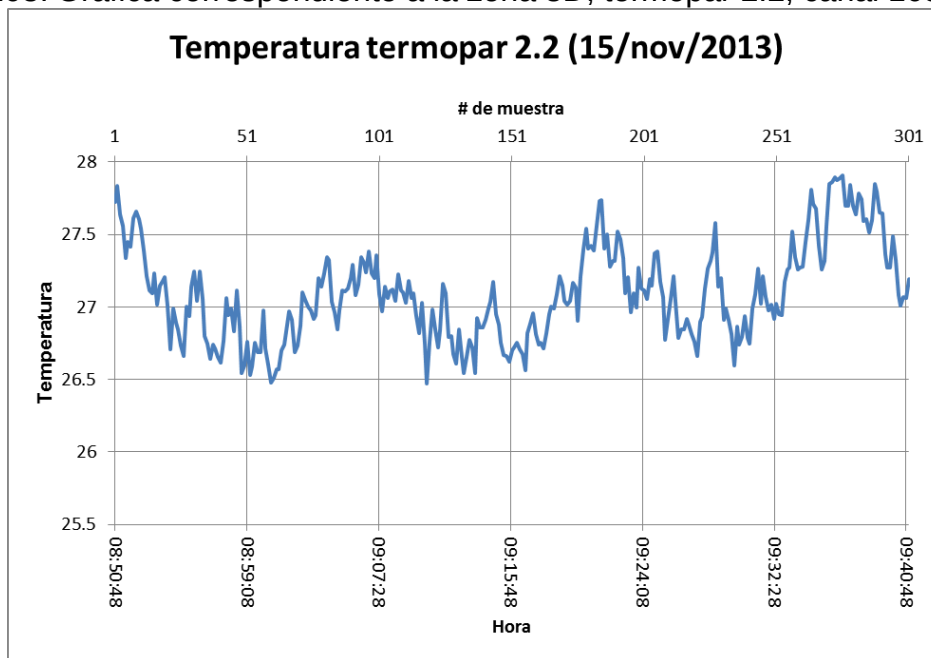


Figura 108. Gráfica correspondiente a la zona 3D, termopar 2.2, canal 105



GRÁFICAS ZONA 4:

Figura 109. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 1.1, canal 101

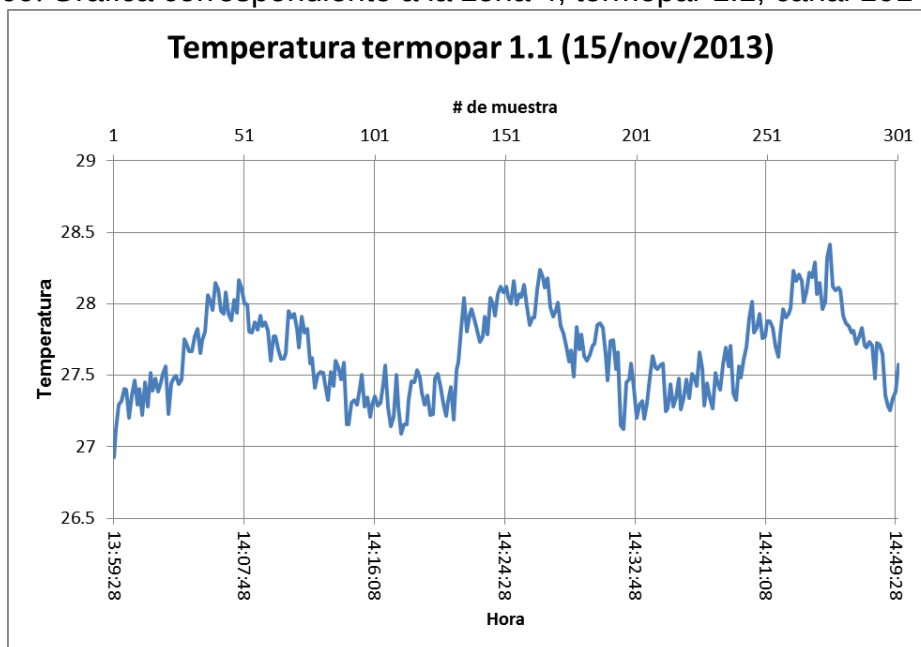


Figura 110. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 1.2, canal 102

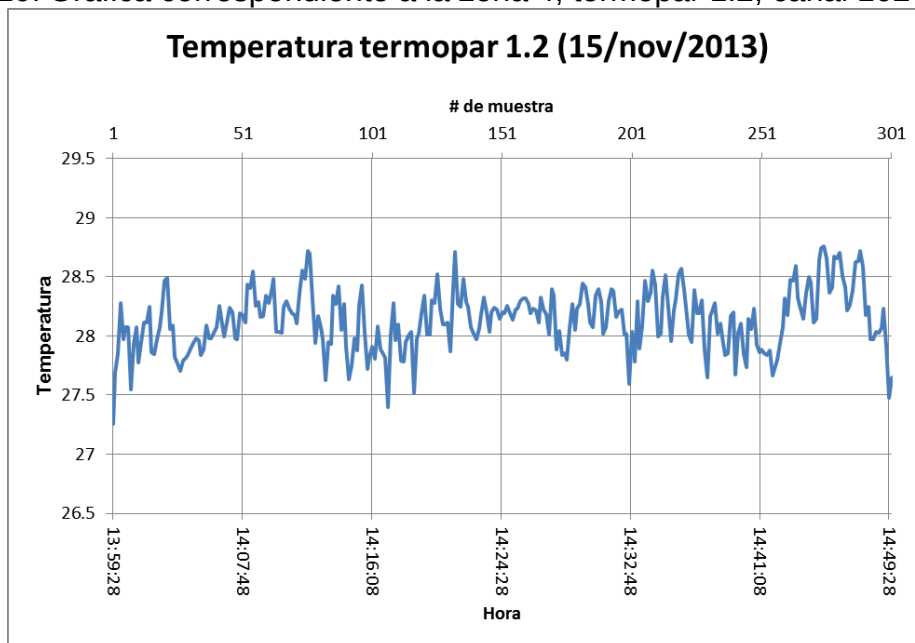


Figura 111. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 4, canal 103

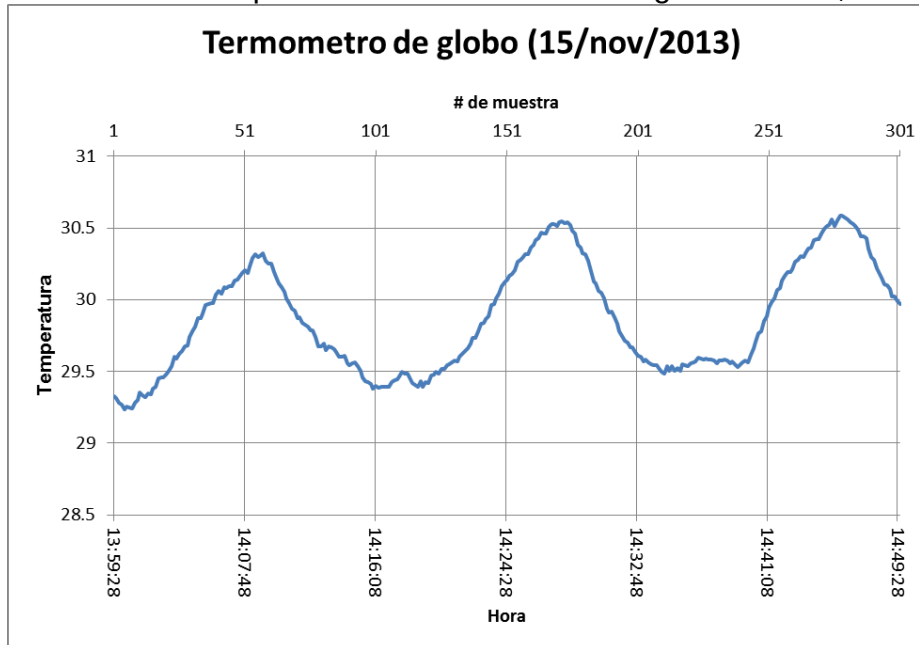


Figura 112. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 2.1, canal 104

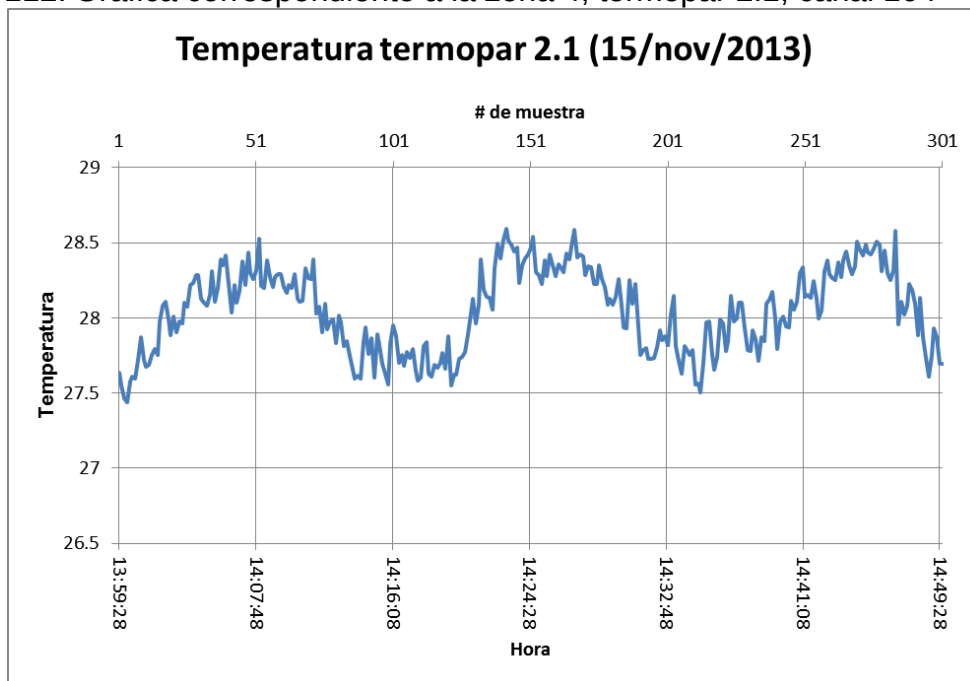
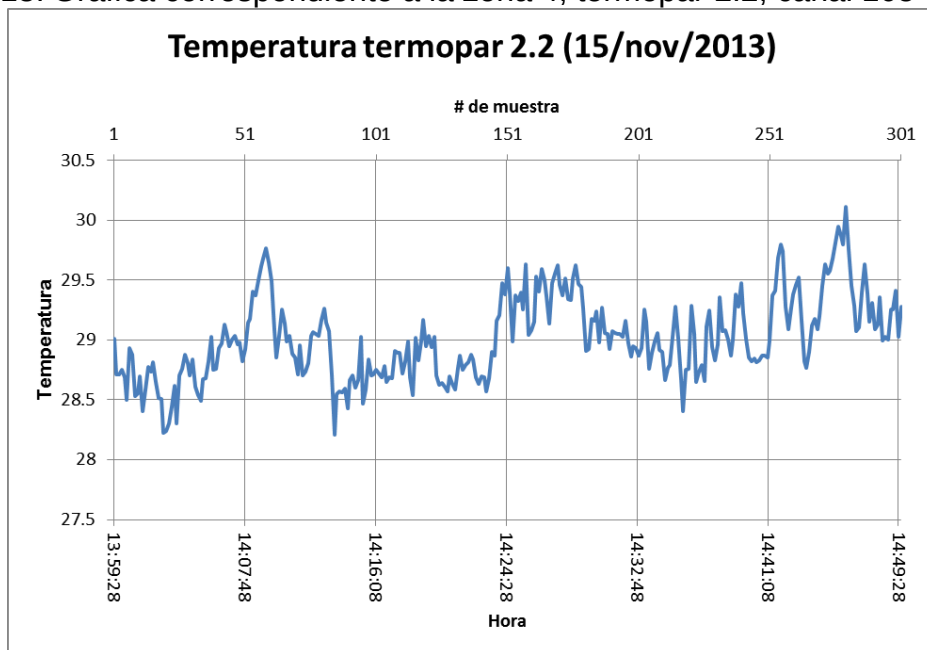


Figura 113. Gráfica correspondiente a la zona 4, termopar 2.2, canal 105



GRÁFICAS ZONA 4D:

Figura 114. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.1, canal 101

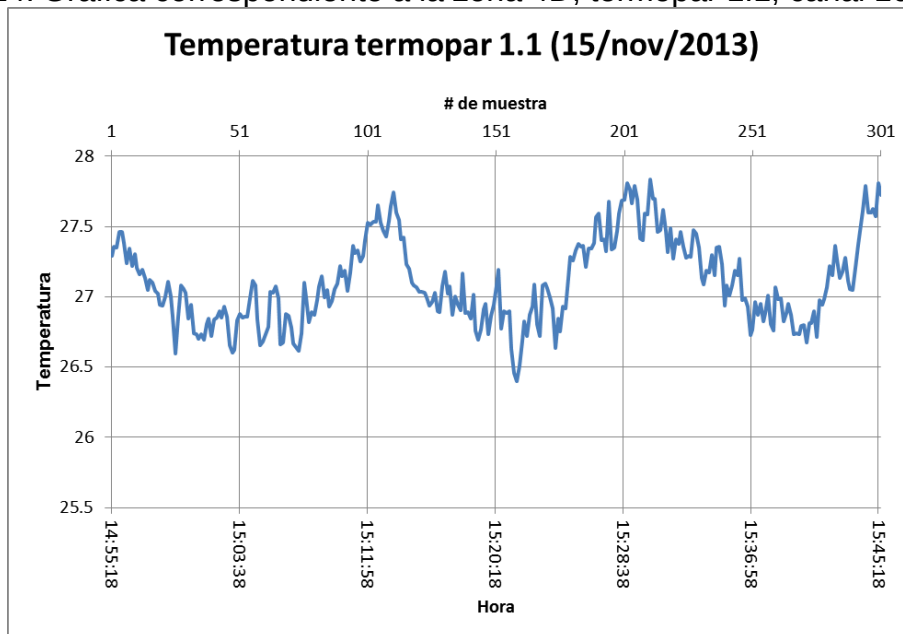


Figura 115. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.2, canal 102

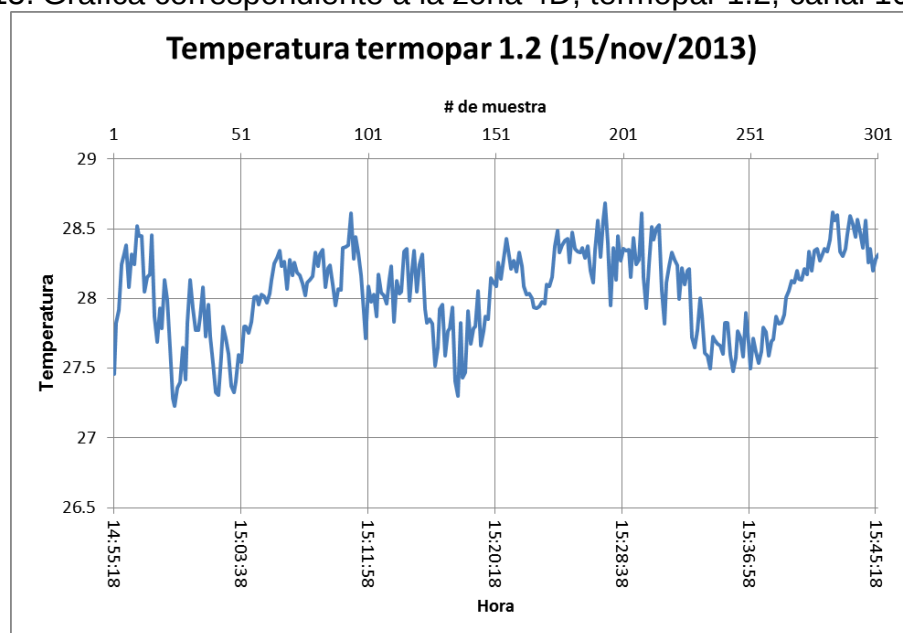


Figura 116. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 4D, canal 103

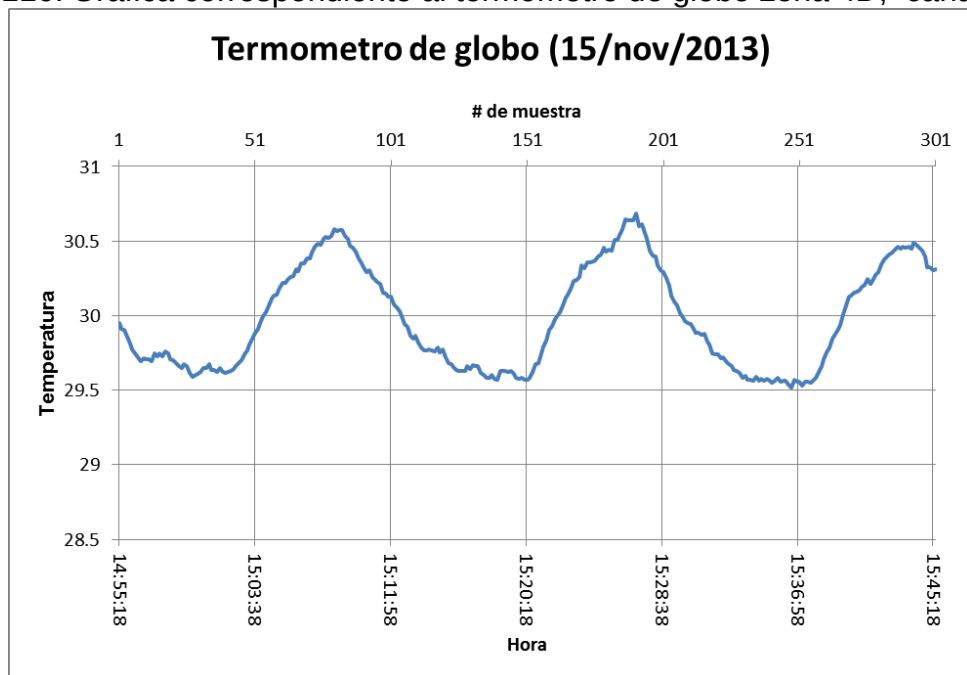


Figura 117. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.1, canal 104

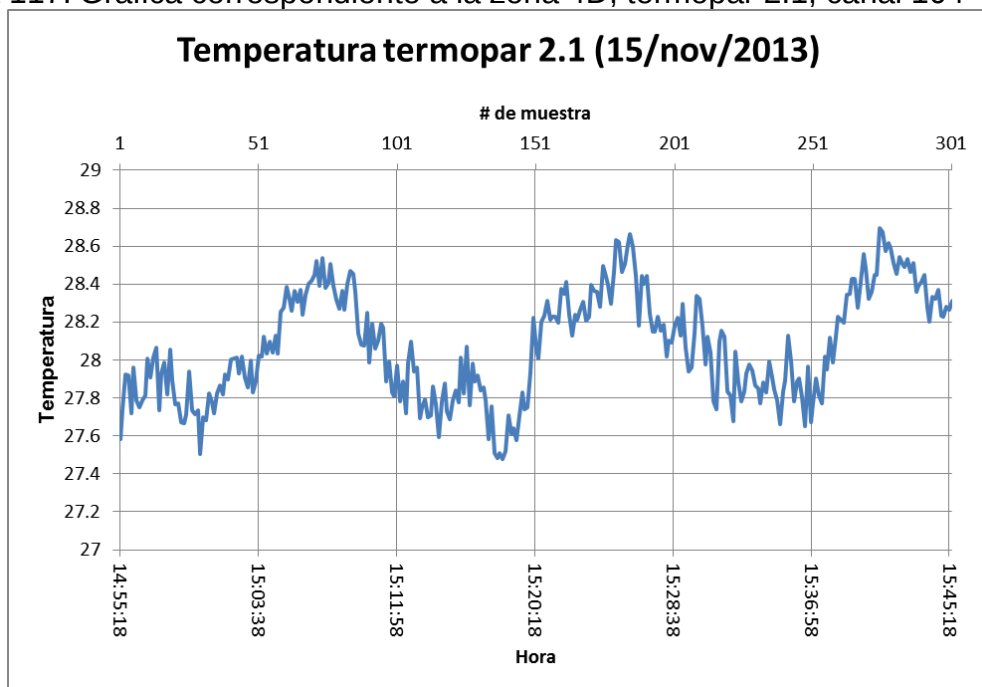
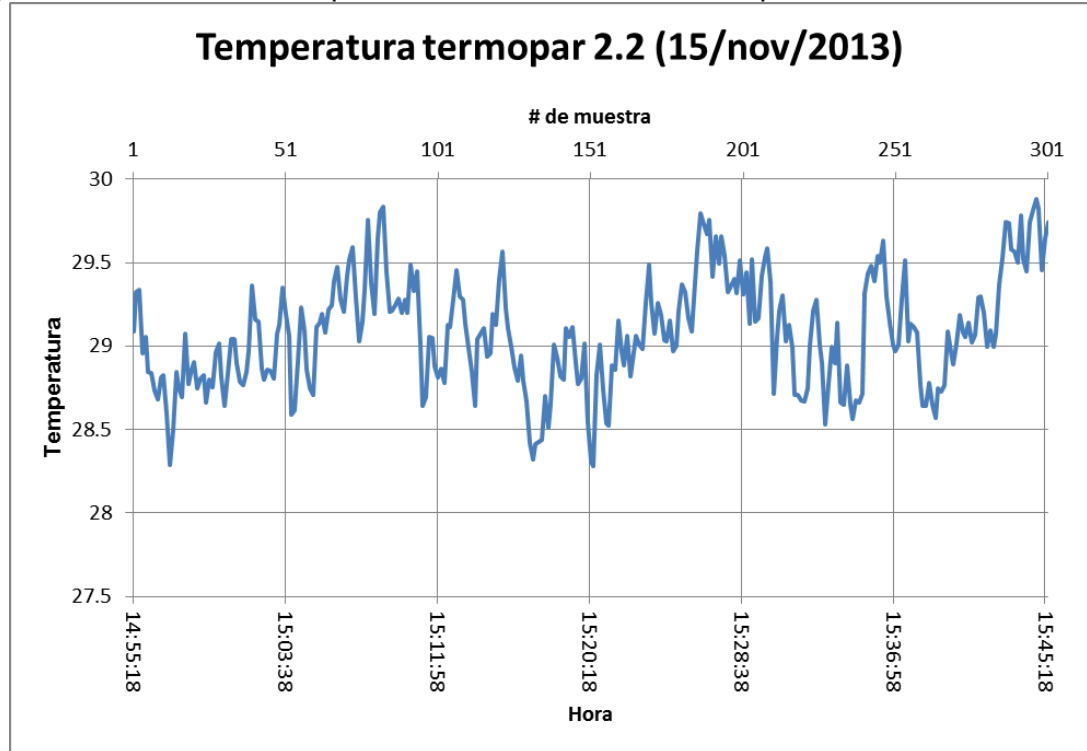


Figura 118. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.2, canal 105



ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS

Estas gráficas tienen un comportamiento cercano a los sistemas reales de aire acondicionado, es de notar que se presentan picos y pequeñas variaciones, esto se debe a que la medición se realizó con termopares los cuales son sensibles a perturbaciones, tales como el movimiento de los realizadores del proyecto dentro del auditorio con el fin de medir las otras variables involucradas en el estudio y la apertura de la puerta principal.

Se evidencia que en las gráficas correspondientes al termómetro de globo se puede ver una tendencia creciente, esto se debe al aumento de la temperatura externa del techo negro del auditorio, pues este elemento es la mayor fuente de radiación del sistema, destacando que por lo general el mediodía es la hora donde la radiación solar se hace crítica.

Con respecto a las gráficas correspondientes a la temperatura de bulbo seco, se ve que las medidas hechas en las zonas cerca de los difusores (zonas con la terminación D, ver capítulo 4, pág. 100), presenta una temperatura mas baja que en las zonas donde no esta el difusor, esto debido a la influencia directa del aire proveniente del equipo de refrigeración, cabe notar que la temperatura de bulbo seco también aumenta a medida que la unidad de adquisición se trasladó por el eje Z positivo (ver Figura 76), es decir aquí también el aire tiene menos influencia que en las zonas iniciales del eje Z, esto se debe a que las zonas con mayor cota en el eje Z positivo se encuentran mas lejos del evaporador.

7.2 DATOS PARA TODAS LAS ZONAS CON EL TERMOSTATO AJUSTADO A 75 °F (≈ 24 °C)

Las siguientes tablas muestran el resumen de los promedios de los datos obtenidos para cada zona.

La Tabla 22, muestra la diferencia vertical de temperatura, donde la columna 2 y 3 representa la diferencia entre el termopar superior e inferior de la estructura (ver Figura 68) y corresponde a la diferencia de temperatura entre el tobillo y la cabeza, ésta variable recibe el nombre de diferencia vertical de temperatura, como se explicó en el capítulo 4. La columna 4 representa el promedio de esta variable entre las dos estructura (ver Figura 66) y será el valor para cada zona.

Tabla 22. Diferencia vertical de temperatura promedio para cada zona

Zona	(Termopar 1.1) -(Termopar 1.2)	(Termopar 2.1) -(Termopar 2.2)	Diferencial vertical de temperatura promedio [°C]
1	0.0	0.3	0.1
2	0.1	0.6	0.3
2D	0.3	0.6	0.4
3	0.4	0.7	0.5
3D	0.4	0.8	0.6
4	0.5	1.0	0.7
4D	0.9	1.0	1.0

La Tabla 23, muestra la velocidad registrada para cada zona, siendo ésta un valor menor a 0.4 [m/s], debido a la resolución del anemómetro utilizado en el estudio.

Tabla 23. Velocidad del aire para cada zona

	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vz (m/s)	Vtotal (m/s)
Zona 1	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zona 2	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zona 2D	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zona 3	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zona 3D	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zona 4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4
Zona 3D	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4

La Tabla 24, muestra los datos de humedad de cada zona y la humedad promedio de éstas, el cual será el dato a utilizar en el análisis de resultados.

Tabla 24. Humedad relativa promedio del aire para cada zona

	Zona 1	Zona 2	Zona 2D	Zona 3	Zona 3D	Zona 4	Zona 4D
Humedad (%)	38.5	40.8	42.6	42.4	40.6	42.6	43.6
	42.0	41.2	42.0	42.8	42.2	42.0	42.4
	43.4	44.0	42.6	44.4	43.4	44.2	42.6
	40.6	43.8	44.0	41.8	43.6	44.6	41.8
	42.0	44.6	42.8	42.8	41.6	43.4	40.6
	43.2	44.0	42.4	42.6	42.4	42.6	42.4
Humedad promedio	41.6	43.1	42.7	42.8	42.3	43.2	42.2

En la Tabla 25 se muestra el resumen de los promedios de todas las variables involucradas en este análisis y correspondientes a cada zona de estudio, esto será la base para la predicción de conformidad.

Tabla 25. Valores promedio de las variables de confort para todas las zonas

	$T_{\text{aire}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{globo}} [^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T_{\text{vertical}} [^{\circ}\text{C}]$	$\text{TMR} [^{\circ}\text{C}]$	$V_{\text{aire}} [\text{m/s}]$	HR
ZONA 1	26.8	27.3	0.1	27.3	< 0.4	41.6
ZONA 2	27.2	28	0.3	28	< 0.4	43.1
ZONA 2D	27.6	28.6	0.4	28.6	< 0.4	42.7
ZONA 3	27.9	29	0.5	29	< 0.4	42.8
ZONA 3D	28.2	29.5	0.6	29.5	< 0.4	42.3
ZONA 4	28.5	29.9	0.7	29.9	< .4	43.2
ZONA 4D	28.5	30	1	30	< 0.4	42.2
PROM. TOTAL	27.8	28.9	0.5	28.9	< 0.4	42.6

Donde:

T_{aire} = Promedio de la temperatura de bulbo seco en cada zona.

$\Delta T_{\text{vertical}}$ =Promedio de la diferencia vertical de temperatura. (Entre cabeza y tobillos)

T_{globo} =Promedio de temperatura de globo. (Útil para hallar la temperatura radiante media)

TMR = Promedio de temperatura radiante media.

V_{aire} = Promedio de la velocidad total del aire.

HR= Promedio de la humedad relativa de cada zona.

Los anteriores datos representan el muestreo realizado en el auditorio de Ingeniería Mecánica y son la base para realizar el estudio de confort térmico de dicho recinto, para lo cual se hace necesario recurrir al standard 55 de la entidad ASHRAE con el respectivo método de Fanger, el cual se encuentra incluido en dicha norma y se explicó con claridad en el capítulo 2, el análisis de las variables involucradas en el confort térmico y el método de Fanger se encuentran en el capítulo 6, el cual corresponde al análisis de resultados.

Es necesario explicar que después de realizado el estudio de confort térmico mediante el análisis de resultados expuesto en el capítulo 6, se estableció que el auditorio presentó incomodidad térmica (ver resultados, capítulo 6), esto debido a la alta temperatura de bulbo seco registrada, lo cual ocurrió por el desfase y descalibración del termostato, pues al imponerle un valor, el resultado obtenido fue diferente al esperado, ejemplo; si se imponen 75 °F (24 °C), el resultado de temperatura que se obtuvo en la unidad de adquisición fue de ≈ 29 °C, es decir se registró un desfase aproximado de 5 °C. Según los resultados expuestos en el capítulo 6 y la anterior conclusión referente al termostato, se decidió realizar otro estudio de variables de confort térmico, pero esta vez ajustando el termostato a una temperatura aceptable según la norma, la cual aproximadamente es de 25 °. Además de los resultados de incomodidad térmica obtenidos en el capítulo 6, se puede extraer que la zona crítica es la zona 4, (ver Tabla 30 y Tabla 31), es decir el nuevo estudio se realizó en torno a esta zona, pues al ser ésta la mas crítica se considera que las otras zonas se encuentran dentro del rango de confort térmico.

Los resultados de este estudio se presentan a continuación y están contenidos dentro de este mismo capítulo, lo referente al análisis de resultados de éstas gráficas se encuentra en el capítulo 6.

7.2.1 Gráficas del comportamiento de la temperatura del auditorio, con el termostato ajustado a 66 °F ($\approx 19\text{ }^{\circ}\text{C}$)

A continuación se muestran las gráficas de la temperatura de bulbo seco, y de temperatura radiante, correspondiente a la zona 4D, la cual es la zona crítica según el respectivo análisis expuesto en el capítulo 6.

Figura 119. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.1, canal 101

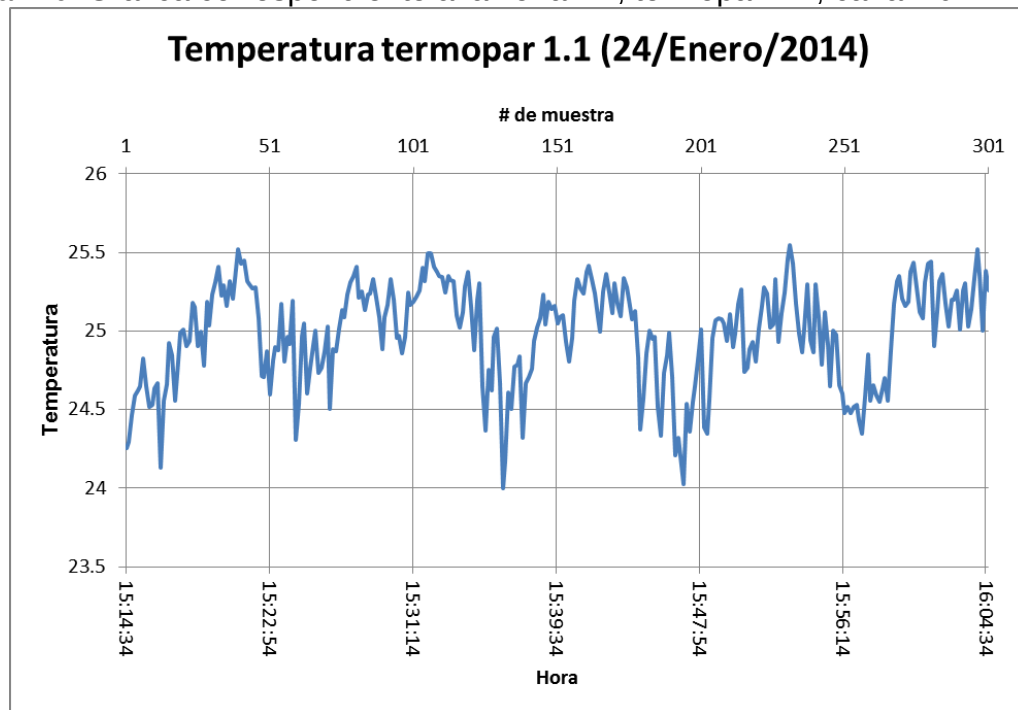


Figura 120. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 1.2, canal 101

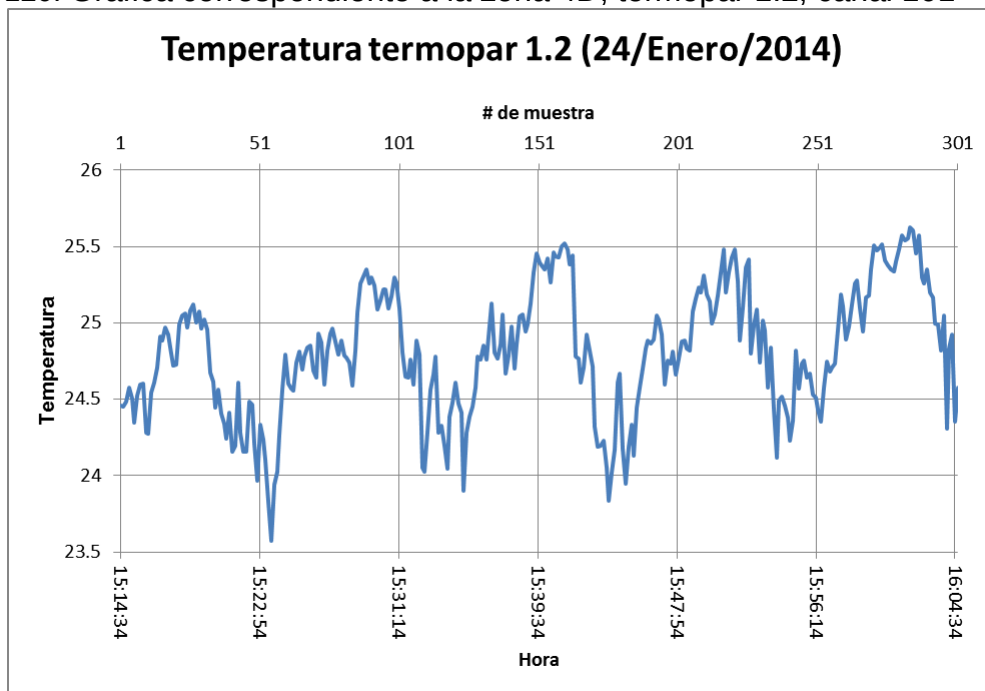


Figura 121. Gráfica correspondiente al termómetro de globo zona 4D, canal 103

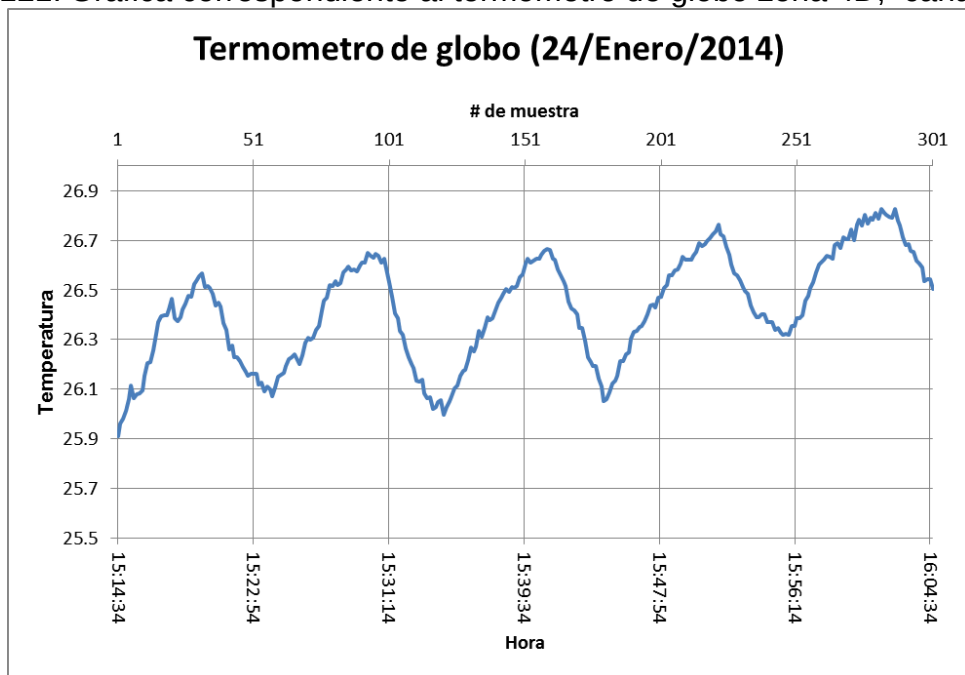


Figura 122. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.1, canal 101

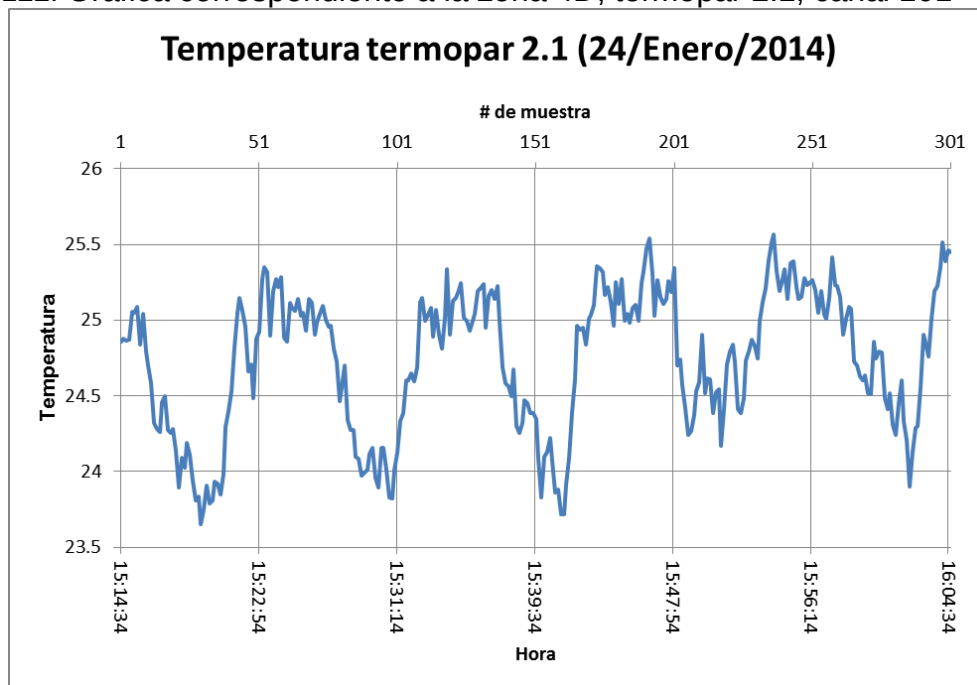
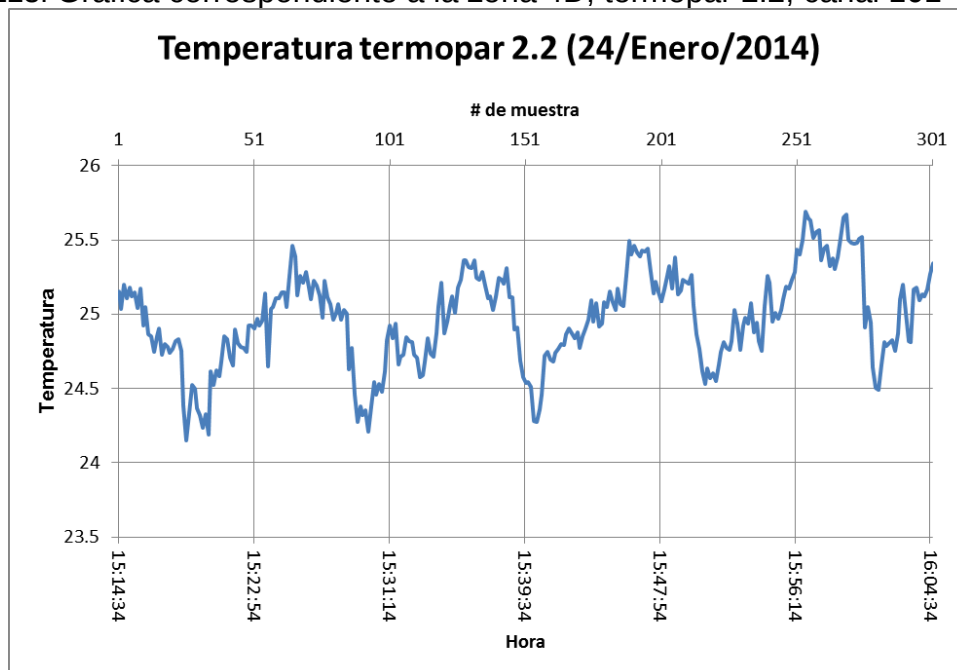


Figura 123. Gráfica correspondiente a la zona 4D, termopar 2.2, canal 101



7.3 DATOS PARA LA ZONA 4D CON EL TERMOSTATO AJUSTADO A 66 °F (≈ 19 °C)

Los datos expuestos a continuación se clasifican e interpretan de igual forma que los datos anteriormente expuestos y que corresponden a un ajuste de termostato de 75 °F, la diferencia es que aquí se ilustran únicamente los datos correspondientes a las zona 4D, la cual fue crítica en el estudio anterior y además se realizó con el termostato ajustado a 65 °F.

Tabla 26. Diferencia vertical de temperatura promedio para la zona 4D

Zona	(Termopar 1.1) -(Termopar 1.2)	(Termopar 2.1) -(Termopar 2.2)	Diferencial vertical de temperatura promedio [°C]
4D	0.17	0.23	0.2

Tabla 27. Velocidad del aire para la zona 4D

	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vz (m/s)	Vtotal (m/s)
Zona 4D	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4

Tabla 28. Humedad relativa promedio del aire para la zona 4D

	Zona 4D
Humedad (%)	38.4
	38.2
	38.0
	40.0
	40.6
	39.8
Humedad promedio	39.2

Tabla 29. Valores promedio de las variables de confort para la zona 4D

	T_{aire} [°C]	T_{globo} [°C]	ΔT_{vertical} [°C]	TMR [°C]	V_{aire} [m/s]	HR
ZONA 4D	25.2	26.4	0.2	25.8	< 0.4	39.2

Las variables involucradas en la Tabla 29, se deben interpretar de igual forma que las variables expuestas en la Tabla 25.

Es de resaltar que al disminuir el valor del termostato, todas las variables disminuyen, el siguiente paso es evaluar el nuevo estado de confort térmico aplicando nuevamente el método de Fanger, estos resultados serán expuestos en el capítulo 6.

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo es importante pues como su nombre lo indica en él se ven reflejados los resultados de todo el análisis, además se determinó el estado de comodidad que ofrece el recinto referente a las variables involucradas en el confort térmico.

Para el análisis del confort térmico dentro del auditorio, se recurrió a la norma 55 de la entidad ASHRAE, la cual establece las variables que están involucradas en el estudio, a su vez ésta incluye la predicción de la incomodidad térmica mediante el método de Fanger, el cual caracteriza el ambiente mediante una escala y determina el porcentaje de personas insatisfechas, lo referente a éste análisis se explicó con detalle en el capítulo 2, allí también se explica por qué se seleccionaron los valores que se encuentran en ésta predicción.

8.1 PASOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONFORT TÉRMICO UTILIZANDO EL MÉTODO DE FANGER

Para determinar el estado de confort térmico del Auditorio, se recurrió al método de Fanger (ver capítulo 2), el cual se resume a continuación y es aplicado de igual manera a los dos ajustes del termostato 75 °F y 66 °F respectivamente.

Calculo del valor del Voto Medio Estimado y porcentaje de personas insatisfechas utilizando el metodo de FANGER

Pasos

Se deben tener como datos los siguientes ítems:

1. Aislamiento de la ropa (I_{cl}):

Para verano seleccionamos, $0.5 \text{ clo} = 0.075 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

$$I_{cl} = 0.075$$

2. Tasa metabolica (M) :

Personas sentadas comodamente $1 \text{ met} = 65 \text{ W/m}^2$

$$M = 65$$

3. Potencia mecanica efectiva (W): El el trabajo mecanico que hace el humano por unidad de area y sera un valor cercano a cero, por ello se puede tomar éste valor.

$$W = 0$$

4. características del ambiente

4.1 Temperatura del aire (T_a), sera el promedio de la temperatura de cada zona medida en grados centigrados.

4.2 Temperatura radiante media (TMR), sera el promedio de la temperatura radiante media de cada zona, se halla a partir de la tempertura de globo (grados centigrados).

4.3 Humdedad relativa (RH), Sera el promedio de la humedad medida en cada zona.

4.4 velocidad relativa del aire (V_a), Sera el promedio de la velocidad (m/s) de cada zona .

CALCULO VOTO MEDIO ESTIMADO (PMV)

FORMULA:

$$PMV = (0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028) \cdot L$$

Donde:

$$L = M - W - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - (6.99 \cdot (M - W) - P_a))$$

$$- 0.42 \cdot (M - W - 58.15) - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - P_a)$$

$$- 0.014 \cdot M \cdot (34 - T_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot F_{cl} \cdot ((T_{cl} + 273)^4 - (TMR + 273)^4)$$

$$- F_{cl} \cdot H_c \cdot (T_{cl} - T_a)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot F_{cl} \cdot ((T_{cl} + 273)^4 - (TMR + 273)^4)$$

$$H_c = 12.1 \cdot V_a^{0.25}$$

$$F_{cl} = 1 + 1.29 \cdot I_{cl}$$

$$P_a = \frac{RH}{100 \cdot \exp \left[16.6536 - \left(\frac{4030.183}{T_a + 235} \right) \right]}$$

La siguiente formula calcula el porcentaje de personas insatisfechas (PPD).

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)$$

8.1.1 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONFORT TÉRMICO PARA UN AJUSTE DE TERMOSTATO DE 75 °F (≈24 °C)

A partir de los datos de la Tabla 25, podemos determinar el estado de confort para las zonas y las variables mencionadas allí, para esto se utiliza el método de Fanger y sus respectivos índices, los cuales son; el Voto Medio Estimado (PMV) y el porcentaje de personas inconformes (PPD), (ver capítulo 2).

Para resolver estas ecuaciones, recurrimos al programa (solver) E.E.S, el cual es un paquete desarrollado por la universidad de Wisconsin, y sirve para dar solución a este tipo de ecuaciones, éste programa posee el comando tabla paramétrica, el cual es una herramienta donde se da valores en una tabla a las variables conocidas, hallando en ésta las variables desconocidas que necesitemos, en la Tabla 30 se muestran los resultados de éste método.

Tabla 30. Resultados del Voto medio Estimado y porcentaje de insatisfacción.

	T _{aire} [°C]	TMR [°C]	RH	Vaire [m/s]	PMV	PPD (%)
ZONA 1	26.8	27.3	41.6	< 0.4	0.5564	11.5
ZONA 2	27.2	28.0	43.1	< 0.4	0.7182	15.9
ZONA 2D	27.6	28.6	42.7	< 0.4	0.85	20.2
ZONA 3	27.9	29.0	42.8	< 0.4	0.9481	24
ZONA 3D	28.2	29.5	42.3	< 0.4	1.062	28.8
ZONA 4	28.5	29.9	43.2	< 0.4	1.156	33.1
ZONA 4D	28.5	30.0	42.2	< 0.4	1.174	34

Donde los resultados para el voto medio estimado se pueden interpretar utilizando la Tabla 31

Tabla 31. Escala de sensación térmica

3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío

Fuente: Adaptado de www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 30, correspondientes al porcentaje de insatisfacción (PPD), se establecen las zonas que presentan más inconformidad, las cuales son las zonas 4 y 4D, obteniendo un porcentaje de 33.1% y 34%, respectivamente, siendo estos valores altos, pues la norma admite hasta un 10% de insatisfacción, esto para considerar que el recinto es cómodo, el promedio de los índices en el Auditorio se muestran en la Tabla 32

Tabla 32 Promedio de los índices de confort de Fanger en el auditorio

PMV	PPD (%)
1	24

Con referencia al promedio de los índices de confort es de notar que se presenta un valor alto de PPD, es decir sobrepasa el 10% establecido como limite, el PMV según la Tabla 31, queda clasificado como ligeramente caluroso.

Posiblemente éstos resultados se deban a la alta temperatura registrada en el proceso de adquisición, pues el termostato y el sistema presentan daños que se deben revisar por parte de técnicos.

A continuación se realiza el análisis particular de las variables involucradas, utilizando los rangos establecidos por la norma ASHRAE, Standard 55, vale la pena resaltar que las variables que se analizan se encuentran incluidas en el método de Fanger, el cual es específico en la determinación del confort térmico, pero el análisis particular de las variables nos da una noción de cuales de éstas son las causantes de la incomodidad, pudiendo así tener claridad a cuales de ellas debemos prestar atención y corregirlas si es necesario, éstas variables son:

- Velocidad de aire
- Humedad
- Diferencia vertical de temperatura
- Temperatura operativa

Con este análisis se obtiene más precisión en la caracterización de la comodidad térmica ofrecida por el auditorio de Ingeniería Mecánica

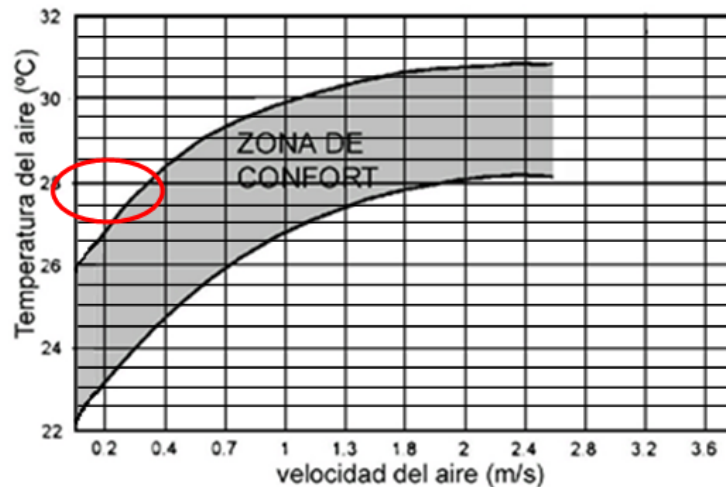
Temperatura y Velocidad del aire: Con referencia a la velocidad el anemómetro no registro medición, debido al rango de medición que posee éste elemento, la

norma debe obedecer al nomograma expuesto en la Figura 124, el cual relaciona la velocidad del aire con la temperatura de éste, estableciendo de ésta manera una zona de confort. Los datos se extraen de la Tabla 33.

Tabla 33. Datos para hallar la zona de confort referente a la velocidad

	Taire [°C]	Vaire [m/s]
ZONA 1	26.8	< 0.4
ZONA 2	27.2	< 0.4
ZONA 2D	27.6	< 0.4
ZONA 3	27.9	< 0.4
ZONA 3D	28.2	< 0.4
ZONA 4	28.5	< 0.4
ZONA 4D	28.5	< 0.4

Figura 124. Relación entre la temperatura del aire, la velocidad del aire y el confort térmico



Fuente: Norma ASHRAE, Standard 55

No se puede determinar con exactitud este ítem, pues la resolución del anemómetro no permitió ver los valores exactos de la velocidad debido a la poca magnitud de ésta, se podría asegurar que estas velocidades son menores que 0.4 (m/s), y por lo tanto no generan molestias pues no alcanzan el 1 (m/s), el cual es

el valor que plantea la norma, se considera que las zonas con temperaturas mas altas pueden quedar por fuera del rango establecido en la Figura 124.

Humedad: La norma establece que los sistemas deben tener un valor de humedad relativa menor al 60%, según la Tabla 24 todas las zonas se encuentran por debajo de este valor y se considera que el sistema de climatización cumple con esta característica, es por ello que este ítem no representa amenaza con referencia al confort térmico.

Diferencia vertical de temperatura: Este ítem es importante para el estudio pues esté factor es fundamental en la determinación del confort térmico de un ambiente, para determinar este factor se recurren a los rangos establecidos por la norma ASHRAE, standard 55 y que se encuentran plasmados en la Tabla 6.

La norma establece que este factor debe ser menor a 2 °C, según el análisis de los resultados realizado a los datos expuestos en la Tabla 22, se evidencia que esta variable se cumple a cabalidad y no representa fuente de incomodidad térmica.

Temperatura operativa: Para analizar la temperatura operativa se debe recurrir al nomograma ilustrado en la Figura 5 y a la teoría expuesta en el capítulo 2, de donde se extrae que la temperatura operativa se rige según la ecuación (11), de ésta ecuación se ve que la temperatura operativa es el promedio de la temperatura de bulbo seco y la temperatura radiante media, a su vez ésta última proviene de la temperatura de globo, la cual es causada por la radiación propia del recinto, es decir la temperatura operativa va relacionada con la radiación.

Este nomograma además de involucrar la temperatura operativa, también involucra la humedad específica, la cual debe ser hallada a partir de la humedad relativa y la presión. Para hallar la humedad específica recurriremos nuevamente al solver E.E.S y las funciones termodinámicas que él ofrece, esto se logró a partir

de los datos de la Tabla 25 y los resultados útiles para el nomograma se condensan en la Tabla 34, aclarando que el nomograma utiliza para la temperatura grados Fahrenheit, a continuación se muestran las funciones del programa E.E.S utilizadas para hallar la humedad específica.

$$P_{atm} = 680 \text{ [mmHg]}, \text{ dato sacado de la CDMB}$$

$$P1 = P_{atm} \cdot \frac{101.325}{760} \text{ [Kpas]}$$

Calculo de la humedad relativa con el comando humrat del E.E.S

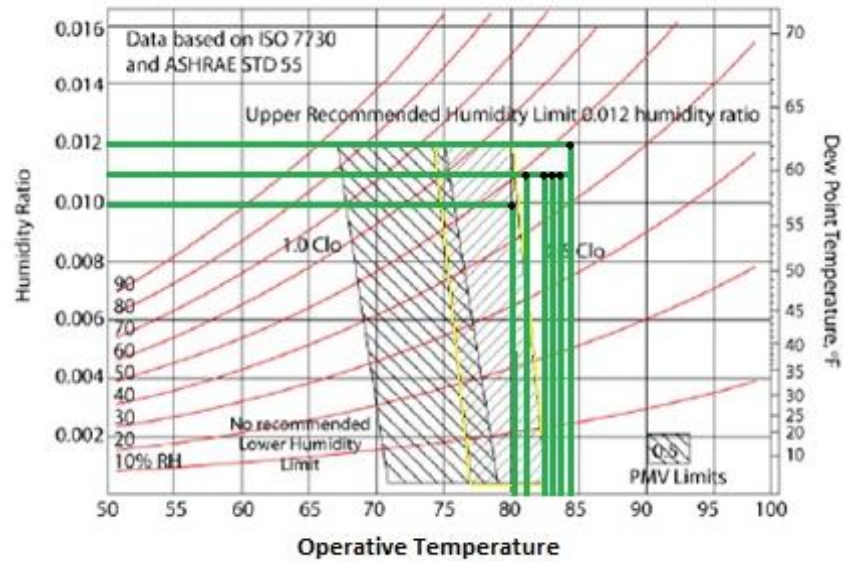
$$\omega = \omega ('AirH2O', T=T1, P=P1, R=RH1)$$

Tabla 34 Datos a utilizar en el nomograma de T. operativa para todas las zonas

	T _{aire} [°F]	TMR [°F]	RH	T _{operativa} [°F]	ω
ZONA 1	80.2	81.2	41.6	80.7	0.010
ZONA 2	81.0	82.4	43.1	81.7	0.011
ZONA 2D	81.7	83.4	42.7	82.6	0.011
ZONA 3	82.1	84.2	42.8	83.2	0.011
ZONA 3D	82.8	85.1	42.3	83.9	0.011
ZONA 4	83.4	85.8	3.2	84.6	0.012
ZONA 4D	83.2	86.0	42.2	84.6	0.011

En la Figura 125, se muestra el nomograma con los respectivos datos graficados según la norma.

Figura 125. Nomograma de temperatura operativa con los datos



Fuente: Adaptado de ASHRAE Standard 55.

Según muestra la Figura 125, los valores de la temperatura operativa son críticos a la hora de establecer el confort térmico de los ocupantes del auditorio, pues la mayoría de los datos se encuentran por fuera de la zona de confort establecida por la norma, esto se debe a los valores altos de la temperatura de bulbo seco y de la temperatura de globo.

8.1.2 DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONFORT TÉRMICO PARA UN AJUSTE DE TERMOSTATO DE 66 °F (≈ 19 °C)

En el numeral 6.1 se explicó la interpretación y nomenclatura de cada una de las variables involucradas en éste análisis, es por ello que en éste numeral (6.2) se plasman únicamente los resultados, acompañados de sus respectivos comentarios, también se debe aclarar que el orden en la determinación del confort térmico será el mismo que se utilizó anteriormente.

A partir de los datos de la Tabla 29, se determina el nuevo estado de confort de la zona 4D, para lo cual se utiliza también el método de Fanger y sus respectivos

índices, los cuales también se expone en el numeral 6.1, aquí se muestran únicamente los resultados y los comentarios de éste análisis.

Tabla 35. Resultados del Voto medio Estimado y porcentaje de insatisfaccion.

	T _{aire} [°C]	TMR [°C]	RH %	Vaire [m/s]	PMV	PPD (%)
ZONA 4D	25.2	25.8	39.2	< 0.4	0.18	6

El PMV se puede interpretar con ayuda de la Tabla 31, cuyo resultado reflejado en la Tabla 35, es cercano a cero, por lo tanto el ambiente ofrecido es neutro o confortable, para las condiciones impuestas, también es importante resaltar que según estos resultados, y para las modificaciones echas en el termostato el auditorio ofrece comodidad a sus ocupantes, pues el porcentaje de insatisfacción es apenas del 6%, es decir la temperatura radiante y de bulbo seco, en el estudio anterior fueron las mayores causante de incomodidad.

Vale la pena realizar también el estudio particular de las variables de confort térmico, expuestas también en el numeral 6.1, revisando así que cada una de ellas se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma.

El análisis de éstas variables se muestra a continuación.

Humedad: La norma establece que los sistemas deben tener un valor de humedad relativa menor al 60%, según la Tabla 28 la zona 4D cumple con esta característica.

Diferencia vertical de temperatura: La norma establece que éste factor debe ser menor a 2 °C, según los resultados de la Tabla 26, se evidencia que esta variable se cumple.

Temperatura operativa: Según el análisis de la temperatura operativa del numeral 6.1, se estableció que ésta es una variable relevante a la hora de analizar el confort térmico.

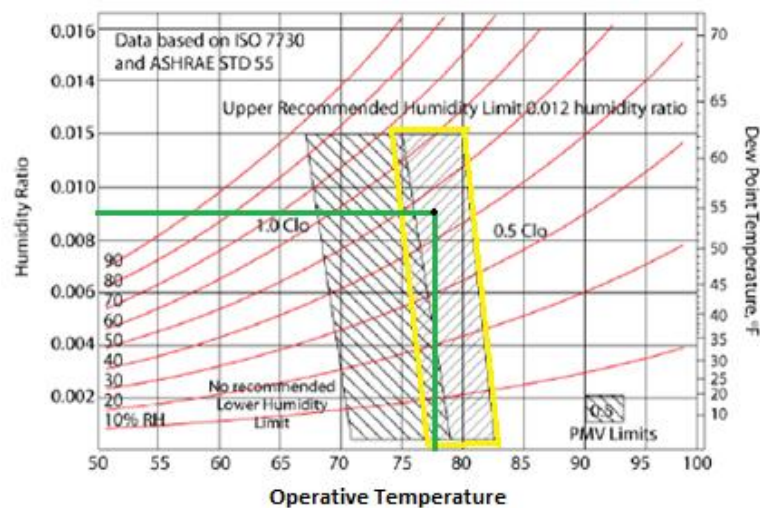
El análisis y la interpretación de ésta variable se realiza de igual manera que el numeral 6.1, por lo tanto se debe hallar la humedad específica y plasmar los resultados de ésta junto con los resultados de temperatura operativa en la Tabla 36.

Tabla 36 Datos a utilizar en el nomograma de T. operativa para la zona 4D

	T _{aire} [°F]	TMR [°F]	RH %	T _{operativa} [°F]	ω
ZONA 4D	77.4	78.5	42.2	78	0.009

En la Figura 126, se muestra el nomograma con los respectivos datos graficados según la norma.

Figura 126. Nomograma de temperatura operativa para la zona 4D



Fuente: Adaptado de ASHRAE Standard 55.

Se ve claramente que la zona que era crítica en el anterior análisis, con el ajuste del termostato queda dentro de los límites que establece la norma, ofreciendo así confort a los ocupantes del Auditorio.

9 CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un sistema flexible "Banco de Adquisición de datos", que cuenta con una estructura ergonómica capaz de proteger y transportar el equipo, con módulos de censado y placa de conectividad; donde se acondicionó la unidad de adquisición de datos AGILENT 34972 A con su respectivo multiplexor, que registra y monitorea las temperaturas en el auditorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Se diseñó un software cuyo objetivo principal es la adquisición de temperaturas por medio de la unidad Agilent 34972A, que cuenta con un interfaz gráfica de fácil comprensión para el usuario y la opción para éste de realizar un post-proceso de datos.

Cumpliendo con el objetivo referente al diseño del experimento realizado en el presente proyecto se construyó un dispositivo capaz de medir la temperatura de globo en el recinto (Termómetro de Globo) y se seleccionó un equipo con la capacidad de registrar las velocidades que se presentan en el Auditorio de Ingeniería Mecánica.

Se establecieron las condiciones necesarias que garantizan el buen funcionamiento del experimento como los son: establecer las zonas relevantes para la toma de datos dentro del Auditorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica y la determinación de los tiempos de muestreo necesarios para el post-proceso que permite caracterizar el ambiente del recinto.

Se realizó el respectivo registro de datos por medio de sensores y equipos (termopares, anemómetro, higrómetro, termómetro de globo) a los factores que determinan la incomodidad térmica local, como los son: la humedad, la temperatura media radiante, la velocidad media del aire y la diferencia vertical de temperatura.

El presente trabajo se realizó con el fin de establecer el estado de confort térmico dentro de las instalaciones del aula máxima de Ingeniería Mecánica, para hacer este análisis se recurrió a la unidad adquisidora de datos Agilent 34972A y a la teoría para establecer el confort que se baso en la norma ASHRAE, standard 55, la cual incluye la predicción del confort mediante el método de Fanger y los límites a las variables involucradas en él.

La norma 55 de la entidad ASHRAE no habla directamente de la temperatura de bulbo seco, o temperatura ambiental pues ésta variable es subjetiva y depende de muchas otras implicaciones referentes a cada individuo, tales como la vestimenta, el metabolismo y hasta el estado anímico, es por ello que ésta trabaja de la mano con el método de Fanger.

El análisis de la temperatura de bulbo seco además de establecer el estado de comodidad, ayudó a caracterizar el comportamiento del equipo de refrigeración y establecer el rango de temperatura al cual trabaja el termostato, pues éste es el encargado de ejercer el control sobre el sistema.

Con respecto a las temperaturas, el sistema de climatización es muy inestable, pues al no variar el valor del set point en el termostato, los valores obtenidos en los muestreos realizados para los diferentes días eran variantes el uno del otro, además el valor impuesto en el termostato, difiere del valor obtenido del análisis.

Se debe resaltar que las zonas traseras del Auditorio presentan mayor incomodidad térmica, pues el porcentaje de insatisfacción y el rango en la escala de Fanger así lo demuestran, esto para el estudio realizado con el termostato ajustado a 75°F (≈ 24 °C).

La diferencia vertical de temperatura ofrecida por el Auditorio, esta dentro del rango establecido por la norma ASHRAE, esto se debe al tipo de zona geográfica donde se encuentra éste.

Con referencia al estudio realizado con el termostato ajustado a 66 °F (≈ 19 °C), se puede concluir que el factor de incomodidad térmica para el anterior ajuste de termostato, se daba por la elevada temperatura registrada, esto se dio por daños en el termostato.

10 RECOMENDACIONES

Según una inspección visual realizada al sistema de climatización del auditorio, se evidenció la falta de mantenimiento a éste, pues los filtros se encuentran saturados de partículas de polvo, es indispensable que estos estén limpios, por ello se recomienda limpiarlos o en su defecto cambiarlos.

Como el techo del auditorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica es de color negro mate (debido a la manta asfáltica que lo cubre), por este motivo el techo absorbe todo el espectro de radiación, transmitiéndola al interior del auditorio, aumentando así el calor. Se recomienda pintarlo de un color reflejante para evitar en gran manera este efecto.

Con referencia al termostato este debe ser revisado o en su defecto remplazado pues además de presentar los daños con respecto al set point expuestos, el indicador de temperatura se encuentra averiado, pues la lámina bimetálica de éste se encuentra en mal estado, por lo tanto se hace imposible leer la temperatura del recinto.

Las luces que indican el funcionamiento de los compresores instaladas en el control de mando se encuentran averiadas, es por ello que no se sabe cual de los compresores esta funcionando, es importante que se revise y se corrija este daño si es el caso, si las luces se encuentran en buen estado es importante que se revisen los compresores pues esto indica que pueden presentar un daño, se recomienda revisar la cantidad de gas refrigerante, pues como se indico entre una prueba y otra hubo mucha disparidad en la variables temperatura.

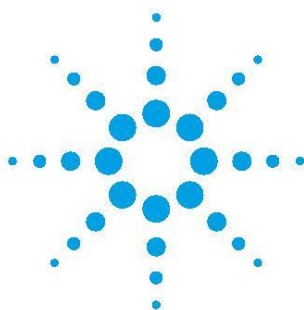
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASHRAE, Standard. ASHRAE. *Standard 55-1992 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy"*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1992.
- [2] HANDBOOK—FUNDAMENTALS, ASHRAE. *American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Inc., New York, 1993.*
- [3] CROISSET, Maurice. *Humedad y temperatura en los edificios. "Condensaciones y Confort termico de verano e invierno"*. Barcelona, 1976. Editores técnicos asociados.
- [4] OLESEN, W. Bjarne y PARSONS, C. K. *Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. Energy and buildings, 2002, vol. 34, no 6, p. 537-548.*
- [5] GELVEZ AROCHA, ARMANDO OMAR. *Diapositivas del diplomado en aire acondicionado y refrigeracion.*
- [6] BOLTON, W. *Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Alfaomega, 2da. Edición, México, 2001.*
- [7] MONDELO, R. Pedro, GREGORI, Enrique, y BARRAU, Pedro. *Ergonomía 1: fundamentos. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1994.*

BIBLIOGRAFÍA

- **ASHRAE, Standard.** Standard 55-1992 “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1992.
- **BOLTON, W.** Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Alfaomega, 2da. Edición, México, 2001.
- **CROISET, Maurice.** Humedad y temperatura en los edificios. “Condensaciones y Confort termico de verano e invierno”. Barcelona, 1976. Editores técnicos asociados.
- **GELVEZ AROCHA, OMAR ARMANDO.** Diapositivas del diplomado en aire acondicionado y refrigeracion.
- **HANDBOOK—FUNDAMENTALS, ASHRAE.** American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Inc., New York, 1993.
- **MONDELO, R. Pedro, GREGORI, Enrique, y BARRAU, Pedro.** Ergonomía 1: fundamentos. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1994.
- **OLESEN, W. Bjarne y PARSONS, C. K.** Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. Energy and buildings, 2002, vol. 34, no 6, p. 537-548.

ANEXOS



Agilent 34970A Familia de unidades de adquisición de datos/ conmutación

Descripción de producto

34970A

34972A



Rendimiento Agilent por una mínima parte del coste de otros sistemas de adquisición de datos independientes

- Mainframe de 3 ranuras con multímetro digital de 6½ dígitos incorporado y 8 módulos conectables de conmutación y de control opcionales
- Mide y convierte 11 señales de entrada distintas: temperatura con termopares, RTD y termistores; tensión DC/AC; resistencia a 2 y 4 hilos; frecuencia y periodo; corriente DC/AC
- Opciones de I/O Gigabit LAN, USB, GPIB o RS-232 para facilitar la conectividad con el PC
- Interfaz gráfica web para monitorización y control mediante el ratón (34972A)
- Compatibilidad con unidades USB Flash para copiar/registrar datos en aplicaciones independientes (34972A)
- Incluye el software BenchLink Data Logger para configurar y controlar pruebas, mostrar resultados y recopilar datos para su posterior análisis



Agilent Technologies

Contenido

3	Características
6	34970A/34972A: potencia y flexibilidad
7	La unidad 34970A/34972A para aplicaciones de adquisición de datos
10	Uso de la unidad 34970A/34972A para aplicaciones de equipos de prueba automatizados
11	Lista de características del equipo de prueba automatizado
12	Uso de la unidad 34970A/34972A para aplicaciones de conmutación
13	Personalice la unidad 34970A/34972A con módulos conectables
13	Guía de selección rápida de módulos
14	Calidad Agilent
15	Guía de interpretación de especificaciones
16	Especificaciones de precisión
18	Velocidad de medición de sistema
19	Especificaciones del sistema
19	Software Agilent BenchLink Data Logger incluido
20	Especificaciones de los módulos
21	Guía de selección de multiplexores (34901A, 34902A y 34908A)
23	Módulo de actuador (34903A)
23	Módulo de matriz (34904A)
24	Módulos de multiplexor de RF (34905A, 34906A)
25	Módulo multifunción (34907A)
26	Montaje en rack y dimensiones
27	Información para pedidos

Características

Precio y rendimiento sin competencia

Atrévase a comparar las unidades de adquisición de datos/ conmutación 34970A y 34972A de Agilent Technologies con otros de los sistemas de adquisición de datos disponibles en el mercado. Será difícil que encuentre un sistema que ofrezca el potente rendimiento de medida, la flexibilidad, las opciones de conectividad y la facilidad de uso de la unidad 34970A/34972A, incluso en sistemas que cuestan entre 3 y 5 veces más.

¿Qué puede esperar de un sistema de adquisición de datos con este precio? Medidas plenamente fiables

Hemos tomado el dispositivo de medida del multímetro digital de banco de trabajo más vendido y lo hemos integrado en un mainframe de 3 ranuras. Así, disfrutará del rendimiento de medida probado de Agilent, entradas universales con acondicionamiento de señal incorporado y flexibilidad modular, todo ello en un paquete de adquisición de datos compacto y económico. La unidad 34970A/34972A presenta 6½ dígitos (22 bits) de resolución, precisión de DCV básica del 0,004 % y ruido de lectura ultrabajo. Combine estas características con velocidades de barrido de hasta 250 canales/s y obtendrá la velocidad y precisión necesarias para terminar los trabajos con éxito y a la primera.

Acondicionamiento de señal incorporado para obtener resultados a la primera

¿Necesita medir temperatura, tensión AC/DC, resistencia, frecuencia o corriente? Confíe en la unidad 34970A/34972A.

El multímetro digital con autorango mide directamente 11 funciones distintas, sin que sea necesario realizar un costoso acondicionamiento de señal externo. Y nuestro diseño exclusivo permite una configuración por canal completa para conseguir la máxima flexibilidad y una configuración rápida y sencilla. Es como tener un multímetro digital de alto rendimiento e independiente tras cada canal.

Conectividad estándar con el PC

Independientemente del uso de interfaces GPIB, RS-232, LAN o USB, la familia 34970A/34972A permite una conexión fácil con el PC. La unidad 34972A cuenta con interfaces Gigabit LAN y USB 2.0 incorporadas, por lo que puede conectarse a un PC modemo sin tener que adquirir tarjetas GPIB, cables o convertidores. Además, la conexión LAN estándar ofrece la ventaja adicional de una interfaz gráfica web que facilita la configuración de las medidas y la monitorización de los resultados utilizando un navegador web estándar.

Cómo almacenar datos en unidad USB Flash

La unidad 34972A también presenta un puerto de memoria USB incorporado que permite utilizar unidades USB Flash para cargar configuraciones de BenchLink Data Logger en el 34972A y recopilar datos sin tener que conectarse a un PC. Los datos pueden registrarse directamente en la unidad USB Flash, ampliando así la memoria del instrumento, o copiarse desde la memoria interna para transferirlos a un ordenador en otro lugar.



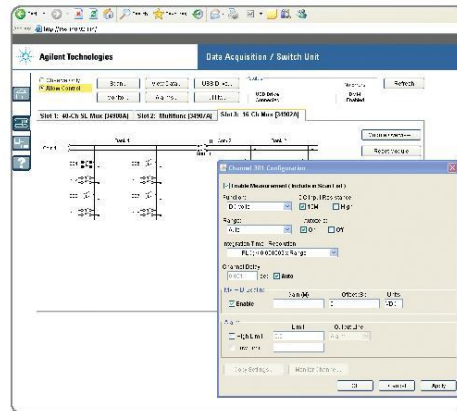
Interfaz gráfica web fácil de usar (solo 34972A)

La interfaz gráfica web incorporada facilita el acceso y el control del instrumento utilizando un navegador web con Java, como Internet Explorer. Esta interfaz permite configurar medidas, definir y ejecutar listas de barrido, o monitorizar los resultados de medida desde cualquier lugar a través de la red. Solo tiene que introducir el nombre de host o la dirección IP en el campo URL del navegador para acceder a las funciones del instrumento, gracias al control por ratón situado en el mismo navegador.

- Especificar la configuración de medida por canal
- Definir y ejecutar exploraciones de conmutación
- Abrir, cerrar o monitorizar posiciones de conmutación
- Monitorizar lecturas de medida
- Ver y guardar datos
- Enviar comandos SCPI y ver el registro de comandos de I/O
- Ver la cola de errores
- Ver información del instrumento, como la configuración de módulos, recuentos de relé, revisiones de firmware y mucho más

Además, como la interfaz web está incorporada en el instrumento, puede acceder desde cualquier sistema operativo que admita navegadores web sin tener que instalar ningún software específico.

Para restringir el acceso, la unidad también dispone de protección por contraseña y bloqueo de LAN. La interfaz gráfica web facilita la configuración de medidas, configuración y ejecución de barridos o la solución de problemas en los diseños desde cualquier lugar a través de la red.

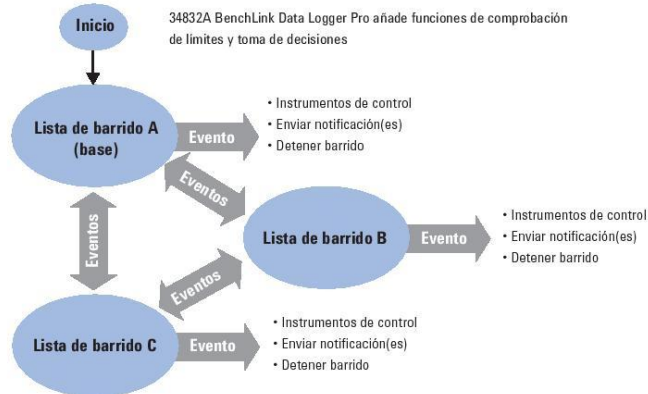


Con el software gratuito BenchLink Data Logger ahorrará tiempo y dinero

Ya no es necesario perder tiempo escribiendo o configurando software. El software Agilent BenchLink Data Logger 3 le permite configurar pruebas y visualizar y analizar datos en tiempo real con la conocida interfaz de Microsoft® Windows®. Aún más, la aplicación de registro de datos está incluida en cada unidad estándar 34970A/34972A de Agilent.

También disponible

El software BenchLink Data Logger Pro añade funciones de comprobación de límites y toma de decisiones para las aplicaciones más complejas. Solo tiene que identificar las medidas que desee adquirir, definir los límites y las acciones que se llevarán a cabo, e iniciar el proceso. Sus datos serán recopilados, evaluados y desencadenarán la acción correspondiente en tiempo real.



Facilidad de uso máxima

Desde la configuración simplificada hasta la interfaz gráfica web de la 34972A, hemos hecho todo lo posible por facilitarle el trabajo. Una serie de sencillas mejoras, como conectores de terminal atornillado en los módulos, uniones de referencia de termopar incorporadas, una documentación de usuario bien organizada con multitud de ejemplos y consejos, y un kit Primeros pasos que le permitirá realizar medidas en cuestión de minutos, se combinan para aumentar la productividad, independientemente de la frecuencia con que use el instrumento.

Configuraciones personalizadas que crecen a su ritmo

3 ranuras para módulos y 8 módulos de conmutación/control permiten personalizar la unidad 34970A/34972A en respuesta a sus demandas específicas. Solo tendrá que adquirir lo que necesite y agregar módulos a medida que crezca su aplicación.

Compatibilidad entre 34970A y 34972A

La unidad de adquisición de datos/conmutación LXI 34972A es la versión LXI de la unidad 34970A. Sustituye a las interfaces GPIB y RS-232 con una conectividad moderna directamente al PC o al ordenador portátil.

Los 8 módulos conectables pueden utilizarse con cualquiera de las dos unidades, de forma que todas las medidas y cableados son compatibles. La unidad 34972A puede integrarse fácilmente en programas de pruebas existentes con solo cambiar la dirección del instrumento. Como el código del 34972A es un superconjunto del código de la unidad 34970A, una vez se cambie la dirección del instrumento, el programa de pruebas se ejecutará normalmente.

Ejemplo:

Cambiar:
Set inst1.IO = ioMgr.Open("GPIB0::9::INSTR")

A:
Set inst1.IO = ioMgr.Open("TCP/IP0::156.140.77.230::inst0::INSTR")

	34970A	34972A
8 módulos disponibles	•	•
Drivers para LabView	•	•
Drivers IVI-C, IVI-COM	•	•
BenchLink Data Logger	•	•
BenchLink Data Logger Pro opcional	•	•
Interfaz gráfica web		•
Gigabit LAN		•
USB 2.0		•
Puerto de memoria USB		•
GPIB	•	
RS-232	•	

Más potencia y flexibilidad de la que nunca haya podido imaginar

El multímetro digital interno de 6½ dígitos (22 bits) mide 11 funciones sin acondicionamiento externo de la señal

Intuitivo panel frontal con menús de autogüya y orientados a tareas

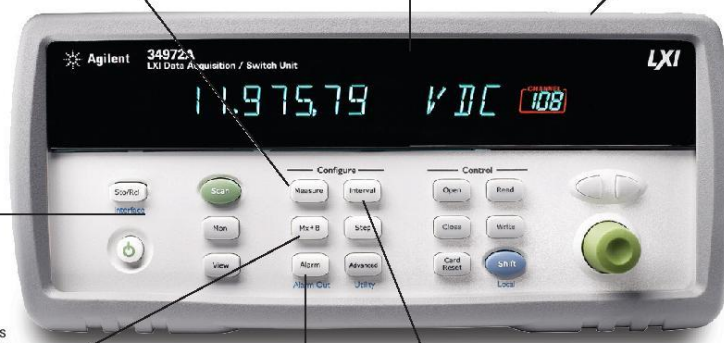
La memoria no volátil de 50 000 lecturas conserva los datos cuando no hay energía

Modo de monitorización para supervisar las pruebas en marcha

Función de escalado para convertir datos brutos en las unidades definidas por el usuario

Límites de alarma HI/LO en cada canal de entrada más 4 salidas de alarma TTL

Reloj en tiempo real con batería para marcar los barridos y la información temporal de las medidas



34972A



USB

- Hasta 96 puntos de cruce de matriz o 120 canales single-ended
- Ocho módulos conectables de conmutación y de control a elegir
- Agilent BenchLink Data Logger 3, drivers IVI-CC, IVI-COM y drivers para Agilent VEE y NI LabView incluidos

Puerto de memoria USB para registrar/transferir datos a una unidad USB Flash

Puertos LAN y USB incorporados para conexión inmediata a un PC

34970A

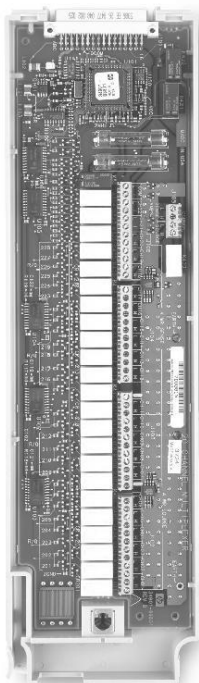


GPIB

Interfaces GPIB y RS-232 incorporadas en 34970A

La unidad 34970A/34972A de Agilent ofrece una versatilidad sin precedentes para aplicaciones de adquisición de datos

En el pasado, había que elegir: por un lado, podíamos disfrutar del funcionamiento sencillo y el bajo coste de un registrador de datos; por otro lado, estaba la flexibilidad y el alto rendimiento de los sistemas de adquisición de datos modulares. Con la unidad de adquisición de datos/conmutación 34970A/34972A de Agilent ya no tiene que elegir: dispondrá de una interfaz de usuario sencilla con un coste por canal mínimo, flexibilidad modular, conectividad estándar y un rendimiento de medida impresionante.



¿Es ingeniero de I+D y necesita caracterizar su último diseño? ¿O un ingeniero de fabricación y quiere construir un sistema de pruebas o solucionar los problemas de un proceso? La unidad de adquisición de datos/conmutación 34970A/34972A ofrece la mejor relación precio-rendimiento de medida.

Un registrador de datos

Configurada con un multiplexor de relé de 20 canales, la unidad 34970A/34972A se convierte en un potente y económico registrador de datos para aplicaciones de caracterización simples. Aún más, las interfaces LAN y USB de la unidad 34972A hacen que resulte ideal para configurar y controlar aplicaciones de registro de datos en ubicaciones remotas. Para más información sobre el uso de la unidad 34970A/34972A para aplicaciones de registro de datos, consulte la página 8.

Una entrada de adquisición de datos

La unidad 34970A/34972A constituye un sistema de prueba automatizado con un excelente rendimiento de medida, con la precisión, resolución y velocidad necesarias. Para obtener información de aplicación, consulte la página 10.

Un sistema de conmutación

Solicite el mainframe sin el multímetro digital interno y tendrá una solución de enrutamiento de señales de alta calidad a un precio aún menor. Para más información, consulte la página 12.

Un registrador de datos fácil de usar para aplicaciones de monitorización y caracterización

Los registradores de datos se utilizan para monitorizar múltiples señales (temperatura, tensión, etc.) durante largos periodos de tiempo para identificar irregularidades. Las aplicaciones de ejemplo incluyen la monitorización de cámaras climáticas, inspección de componentes, pruebas para banco de trabajo, solución de problemas en procesos y realización de perfiles de temperatura.

La unidad 34970A/34972A de Agilent resulta fácil de usar en multitud de aplicaciones de registro de datos y monitorización, ya sea de forma independiente o con un ordenador. Su diseño flexible y modular le permite utilizar de 20 a 120 canales, pudiendo agregarse canales de actuador, I/O digitales y salida analógica para simplificar el control. Su tamaño compacto, sus

robustas características y el puerto de memoria USB de la unidad 34972A hacen que resulte perfecta para aplicaciones portátiles. También puede utilizar las interfaces GPIB (IEEE 488) o RS-232 de la unidad 34970A para sistemas heredados o la unidad 34972A con interfaces LAN y USB estándar para simplificar la conexión sencilla a un PC y dar soporte a aplicaciones remotas. El modelo 34972A puede configurarse en ubicaciones remotas para acceder a él a través de la interfaz web en una conexión de red o a través de su puerto USB, copiando las configuraciones de instrumento y los resultados de los datos de medida en una unidad USB Flash.

Medidas mejores con menos esfuerzo

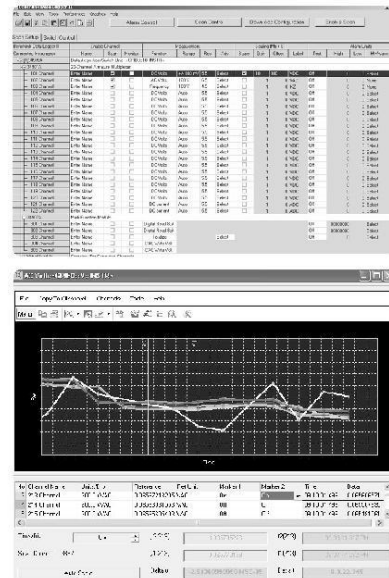
¿Está cansado de los rendimientos de medida mediocres que ofrece la mayoría de registradores de datos y paneles de adquisición de datos conectables? La unidad 34970A/34972A ofrece 6½ dígitos de resolución y precisión de DCV básica a un año del 0,004 %.

Simplifique la recopilación de datos con el software Agilent BenchLink Data Logger 3

¿Necesita funciones de registro de datos basadas en PC pero no quiere invertir horas en programación? El software BenchLink Data Logger 3 es la respuesta. Esta aplicación basada en Windows está diseñada para recopilar y analizar medidas en el PC en un momento. Puede utilizarla para configurar las pruebas, adquirir y archivar datos de medida, y realizar visualizaciones y análisis en tiempo real de las medidas entrantes.

Un entorno de hojas de cálculo muy familiar facilita la configuración y el control de las pruebas. Y un amplio conjunto de gráficos a todo color ofrece distintas opciones para analizar y mostrar los datos, todo con una gran facilidad de manejo con el ratón. Configure distintos gráficos: de banda continua, histogramas, de barras o de dispersión, resultados individuales por canal y mucho más. Además, como es lógico, puede utilizar BenchLink Data Logger 3 para trasladar fácilmente datos a otras aplicaciones para su posterior análisis o para incluirlos en sus presentaciones e informes.

El software BenchLink Data Logger puede ejecutarse conectado al ordenador, de forma independiente en el instrumento o incluso en red, utilizando la interfaz LAN de la unidad 34972A.



Y la 34970A/34972A mide y convierte 11 señales de entrada distintas:

- Temperatura con termopares, RTD y termistores
- Tensión DC y AC
- Resistencia a 2 y 4 hilos
- Frecuencia y período
- Corriente DC y AC

Además, cada canal se configura de forma independiente. Esto significa que puede configurar el canal 1 para DCV, el canal 2 para un termopar de tipo K y los canales 3 y 13 para la medida RTD a 4 hilos, todo en el mismo módulo y en un único barrido. Para conversiones lineales personalizadas, utilice la función de escalado $Mx + B$ en cualquier canal. Incluso puede visualizarse una etiqueta personalizada de 3 caracteres, como RPM o PSI, para identificar sus unidades de medida.

Alarmas versátiles

Las alarmas también están disponibles por cada canal. Introduzca un límite alto, un límite bajo o ambos. La unidad 34970A/34972A compara cada lectura con sus límites e identifica las medidas fuera de rango. Puede asignar una de las 4 salidas de alarma TTL a cualquier canal de entrada para disparar luces de alarma externas, sirenas o para enviar un pulso TTL al sistema de control, todo ello sin necesidad de tener un PC conectado.

Barridos más simples

La unidad 34970A/34972A genera automáticamente una lista de barrido que incluye todas las entradas configuradas (incluyendo las entradas digitales del módulo multifunción 34907A de Agilent) en orden ascendente según el número de canal. Puede definir el ritmo de los barridos ajustando el temporizador interno de la unidad 34970A/34972A para que realice un barrido automático a intervalos regulares, pulsando manualmente un botón del panel frontal o enviando un comando de software o un pulso de disparo TTL externo.

Monitoree cualquier entrada

Un modo de visualización especial monitoriza un canal de entrada seleccionado, actualizando continuamente la pantalla con nuevas lecturas, incluso durante un barrido. O bien, si se utiliza la unidad 34972A con LAN incorporada, los canales se pueden monitorizar en red usando la interfaz gráfica web. Resulta ideal para vigilar una entrada clave o para solucionar problemas en el sistema antes de una prueba.

La memoria no volátil y la unidad USB Flash añaden portabilidad y comodidad

Todas las lecturas se registran con información temporal automáticamente y se almacenan en una memoria no volátil de 50 000 lecturas: suficiente para guardar los datos de más de una semana de trabajo (20 canales explorados cada 5 minutos). La memoria no volátil conserva los datos incluso tras cortar la alimentación, por lo que puede usar la unidad 34970A/34972A para recopilar datos en una ubicación remota y luego cargarlos en un PC. Y si necesita aún más memoria, el puerto USB de la unidad 34972A puede utilizarse para registrar los datos directamente en una unidad USB Flash o copiarlos desde la memoria de lectura sin tener que conectar un ordenador.

Lista de características del registro de datos

- De 1 a 120 canales de entrada analógica
- Medidas de tensiones DC y AC, de temperatura con termopar, RTD y termistor, resistencia a 2 y 4 hilos, corriente DC y AC, frecuencia y período
- 6½ dígitos (22 bits) de resolución con precisión de DCV básica a un año del 0,004 %
- 50 000 lecturas de memoria no volátil, incluido registro en función del tiempo
- Escala y alarmas disponibles en cada canal
- Panel frontal con todas las funciones para una configuración independiente, solución de problemas y visualización de datos
- Software BenchLink Data Logger 3 para configuración y análisis de datos
- Almacenamiento no volátil para 5 estados de instrumentos completos
- Interfaces LAN o USB incorporadas para dar soporte a las aplicaciones de registro de datos remoto (solo 34972A)

Un sistema de adquisición de datos potente y flexible para pruebas automatizadas

La unidad 34970A/34972A le ofrece la resolución, precisión, repetibilidad y velocidad que pueden esperarse de un sistema de adquisición de datos Agilent. Proporciona la potencia de medida que usted necesita, además de enrutamiento de señales y capacidad de control, en un formato flexible y modular que puede crecer y adaptarse a sus distintas aplicaciones.

Medidas con potencia

El multímetro digital interno de 6½ dígitos aporta a la unidad 34970A/34972A la potencia y rendimiento de un multímetro digital independiente de alto rendimiento, pero con un coste mucho menor y en mucho menos espacio. Resulta tan preciso como el mejor multímetro digital de banco de trabajo del mercado: precisión de DCV básica a un año del 0,004 %, precisión de ACV básica a un año del 0,06 % y precisión de resistencia básica a un año del 0,01 %. Nuestra tecnología A/D patentada Multi-slope III ofrece una linealidad increíble (2 ppm de lectura +1 ppm de rango) junto con 22 bits de resolución real. Y gracias a la integración de A/D, también ofrece un excelente rechazo del ruido, toda una ventaja frente a los ruidosos módulos conectables para PC y A/D's de muestreo. Olvídense de tener que promediar grupos de muestras para localizar los datos reales deseados. Y si necesita altas velocidades de barrido, la unidad 34970A/34972A es capaz de ofrecer medidas totalmente convertidas a velocidades de hasta 250 canales/s.

La sección de entrada del multímetro digital está aislada ópticamente y protegida de la circuitería con referencia tierra y de la interfaz de ordenador de la unidad 34970A/34972A, con un máximo de 300 V de aislamiento de entrada. Esto es importante a la hora de reducir los errores de tensión de modo común y de tierra debidos a largos tendidos de cable y fuentes de medida flotantes.

Funcionalidad flexible

El multímetro digital está instalado dentro del chasis, en lugar de situarse en una de las ranuras, dejando las 3 ranuras del mainframe libres para módulos de conmutación y de control. Puede elegir entre 8 módulos distintos (consulte la página 13) para conseguir la precisión de funcionalidad necesaria y la flexibilidad deseada para futuras expansiones.

La versatilidad del multímetro digital interno le permite medir 11 tipos de entradas de forma sencilla y económica. Las tareas de conversión y acondicionamiento de señal incorporadas convierten los datos brutos directamente en información real. Cada canal de medida se puede configurar de forma independiente, por lo que se pueden establecer distintas funciones de medida, factores de escala y límites de alarma, incluso en canales adyacentes. También pueden seleccionarse para cada canal funciones de medida avanzadas, como compensación de offset, tiempo de integración variable y retardo.

Consiga mejores medidas con el acondicionamiento de señal incorporado

La arquitectura de la unidad 34970A/34972A de Agilent ofrece ventajas frente a otras soluciones de adquisición de datos que requieren módulos externos o conectables de acondicionamiento de señal para gestionar funciones distintas de DCV:

- Minimiza el cableado externo y, en consecuencia, el potencial de entrada de ruido y errores en el sistema.
- Reduce los costes ocultos y el coste general del sistema al evitar cables innecesarios, equipos de diagnóstico y elementos de acondicionamiento de señal.
- Simplifica la configuración, agilizándola y simplificándola con menos conexiones y componentes.
- Elimina la necesidad de conjeturas en los análisis de error. La precisión de las medidas puede especificarse para que incluya todos los errores relativos al sistema.
- Mejora la fiabilidad, con menos interconexiones y menos piezas que puedan fallar.

Drivers

Saque el máximo partido al tiempo de desarrollo de software para sistemas de pruebas. La unidad 34970A/34972A dispone de drivers compatibles con C, C#, Visual Basic, Visual Studio, Agilent VEE y National Instruments LabView® para facilitar la integración en su sistema de pruebas. Las interfaces estándar RS-232 y GPIB de la unidad 34970A, o LAN y USB de la 34972A, así como el lenguaje de programación SCPI, facilitan aún más esta integración.

Lista de características del equipo de prueba automatizado

- Mainframe de tarjetas con 3 ranuras y multímetro digital interno de 6½ dígitos (22 bits)
- Precisión de DCV básica a un año del 0,004 %; precisión de ACV del 0,06%
- Hasta 120 medidas unipolares o 96 puntos de cruce de matriz en un instrumento de media anchura de rack de 3½" de altura
- Ocho módulos de conmutación y de control incluyen multiplexores de radiofrecuencia y baja frecuencia, conmutadores matriciales y de actuación, entrada y salida digital, salida analógica y registro de eventos
- Velocidades de barrido de hasta 250 canales/s
- Interfaces GPIB y RS-232 de 115 kbaudios estándar (34970A)
- Interfaz gráfica web para acelerar el desarrollo de pruebas y monitorizar pruebas de forma remota (34972A)
- Drivers disponibles para dar soporte a Agilent VEE y National Instruments LabView
- Función de mantenimiento de relé para el mantenimiento del sistema



Sistema compacto de adquisición de datos de 60 canales

Conmutación de alta calidad y bajo coste para pruebas automatizadas

Si no necesita las capacidades de medida incorporadas de la unidad 34970A/34972A, ahorre costes solicitándola sin el multímetro digital. Así conseguirá la unidad de conmutación más económica del mercado. Es la solución ideal para enrutar señales de prueba desde y hacia el dispositivo sometido a prueba (DUT) y determinados instrumentos, como multímetros digitales externos, osciloscopios, contadores y fuentes de alimentación. Además, si sus necesidades cambian, puede agregar el multímetro digital después.

La funcionalidad que necesita

Hemos invertido mucho tiempo en definir y diseñar los módulos de la unidad 34970A/34972A para abarcar una amplia gama de necesidades de conmutación y enrutamiento de señales con el menor número de módulos posible. ¿El resultado? Pedidos simplificados y una configuración más sencilla. Y, al mismo tiempo, conseguimos mejorar el rendimiento y la densidad. Los módulos de la unidad 34970A/34972A pueden conmutar de microvoltios a 300 voltios, de DC a 2 GHz, y con densidades de hasta 120 canales single-ended o 96 puntos de cruce de matriz por unidad. Además, también existen funciones de control simples, como salidas analógicas, salidas digitales de colector abierto y relés de forma C aislados para controlar dispositivos de potencia superior.

Barrido sencillo

La unidad 34970A/34972A puede realizar barridos de forma sencilla con instrumentos externos. Genera una lista de barrido que incluye todas las entradas de multiplexor de baja frecuencia habilitadas. Los barridos se controlan con la entrada externa de "avance de canal" o con la tecla "Step" del panel frontal.

Conexión a la red de la empresa

La interfaz LAN de la unidad 34972A permite conectar fácilmente el instrumento a la red de la empresa para recopilar datos de medida en una base de datos central, acceder remotamente a la configuración del instrumento o monitorizar los datos de medida desde cualquier punto de la red.



Sistema de conmutación de bajo coste para pruebas automatizadas

Personalice su 34970A/34972A de Agilent con módulos conectables

Una completa selección de módulos conectables le permite elegir entre distintas funciones de medida, conmutación y control de alta calidad. Los módulos incluyen multiplexores de RF y baja frecuencia, un conmutador matricial, un conmutador de uso general y un módulo multifunción que incluye entrada/salida digital, salida analógica y funciones de totalizador. Puede combinar los módulos a voluntad para obtener la funcionalidad precisa que necesita y luego cambiar o agregar más canales a medida que crezca la aplicación.

Los módulos para la unidad 34970A/34972A están diseñados para que las pruebas resulten más sencillas, rápidas y fiables. ¿Cómo? Así:

Mayor producción

Nuestra arquitectura exclusiva incorpora un microprocesador de altas prestaciones en cada módulo, aligerando así la carga del procesador del mainframe y minimizando las comunicaciones de conexión para agilizar la producción.

Más canales en menos espacio

La construcción de montaje en superficie y el diseño altamente integrado minimizan el espacio necesario para los circuitos de interfaces y controladores de relé. Los conectores de los módulos de alta densidad ahorran el espacio de conexión y en las placas que normalmente necesita un bloque de terminales. Utilizamos la tecnología más avanzada para sacar el máximo partido al espacio en placa disponible, ofreciéndole hasta 40 canales single-ended en aproximadamente el mismo espacio utilizado por muchos bloques de terminales de sistemas de adquisición de datos.

Conexiones cómodas

Los conectores de terminal atornillado en los módulos facilitan el cableado. El enrutamiento de cables con alivio de tracción incorporado y los puntos de sujeción aseguran el cableado contra tirones accidentales. Un bus analógico interno enruta las señales desde cualquiera de los multiplexores de baja frecuencia directamente al multímetro digital interno, sin necesidad de conexiones externas.

Utilice la siguiente tabla para localizar los módulos que responden a sus necesidades.

Guía de selección rápida de módulos para las unidades 34970A y 34972A de Agilent

Descripción del modelo	Tipo	Velocidad (canales/s)	Tensión máx.	Intensidad máx.	Ancho de banda	Desviación térmica	Comentarios	Página
34901A Multiplexor de 20 canales + 2 canales de corriente	Armadura a 2 hilos (seleccionable 4 hilos)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	Unión fría de referencia incorporada con 2 canales de corriente adicionales (22 en total)	21
34902A Multiplexor de 16 canales	Lengüeta a 2 hilos (seleccionable 4 hilos)	250 [1]	300 V	50 mA	10 MHz	< 6 μ V	Unión fría de referencia incorporada	21
34903A Actuador/comm. para uso general de 20 canales	SPDT/Forma C	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V		23
34904A Matriz 4 x 8	Armadura a 2 hilos	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V		23
34905A Multiplexor de RF dual de 4 canales y 50 Ω	Común bajo (no terminado)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz de ancho de banda mediante un cable adaptador de BNC a SMB	24
34906A Multiplexor de RF dual de 4 canales y 75 Ω	Común bajo (no terminado)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz de ancho de banda mediante un cable adaptador de BNC a SMB	24
34907A Módulo multifunción	2 puertos I/O digitales de 8 bits		42 V	400 mA			Drenaje abierto	25
	Contador de eventos de 26 bits		42 V		100 KHz		Umbral de entrada seleccionable	
	2 salidas analógicas de 16 bits		± 12 V	10 mA	DC		Salida total máx. de 40 mA por unidad	
34908A Multiplexor single-ended de 40 canales	Armadura a un hilo (común bajo)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	Unión fría de referencia incorporada Sin medidas a 4 hilos	21

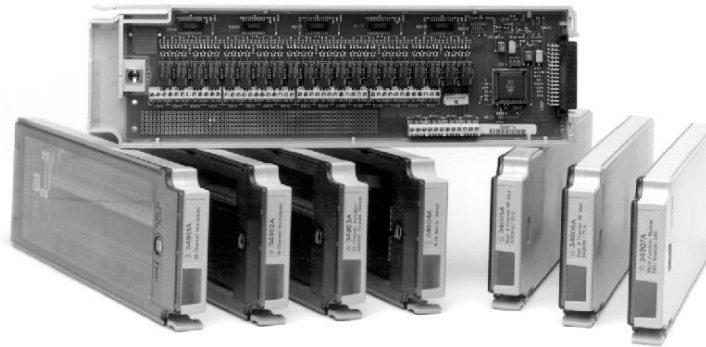
[1] Hasta 250 canales/s a la memoria interna. Consulte las velocidades de barrido para conocer las condiciones y velocidades de medida de cada instrumento.

Calidad Agilent

Sabemos que usted no puede permitirse tiempos de inactividad por fallos de hardware y mantenimiento no programado en el instrumento. Por eso, nuestros ingenieros diseñaron la 34970A/34972A con la fiabilidad en mente: una carcasa robusta, moderna construcción de montaje total en superficie, cantidad de piezas reducida y comprobación rigurosa y exhaustiva de todos los aspectos del producto.

Un mantenimiento de relés sin conjeturas

La 34970A/34972A utiliza nuestro sistema propio de mantenimiento de relés para ayudarle a predecir el fin del ciclo de vida de los relés y evitar costosos tiempos de inactividad en la línea de producción. Cuenta automáticamente cada cierre de conmutación individual y lo guarda en la memoria no volátil de cada módulo. Puede consultar el número total de ciclos en cada canal para poder programar el mantenimiento y evitar fallos erráticos por desgaste.



Guía de interpretación de especificaciones

En las siguientes páginas se enumeran las especificaciones técnicas de la unidad de adquisición de datos/conmutación 34970A/34972A de Agilent y sus módulos. Las explicaciones y ejemplos siguientes resultan útiles para saber interpretar estas especificaciones:

- La precisión de medida se especifica en forma de porcentaje de lectura más porcentaje de rango, donde la lectura será el valor de medida real y el rango será el nombre de la escala (1 V, 10 V, etc.), no el valor máximo en esa escala (1,2 V, 12 V, etc.).
- Las precisiones de medida del multímetro digital incluyen todos los errores de conmutación. Los errores de conmutación también se enumeran por separado en la sección de especificaciones de los módulos. Las precisiones de medida de temperatura incluyen errores de conversión ITS-90. Las precisiones de termopar incluyen también el error de unión de referencia.
- Las precisiones se enumeran en especificaciones a 24 horas, 90 días o un año. Esto se refiere al período de tiempo desde la última calibración del instrumento. Utilice la especificación que coincida con su ciclo de calibración. Las especificaciones de 24 horas resultan útiles para determinar el rendimiento relativo a corto plazo.

Ejemplo 1: precisión de DCV básica

Cálculo de la precisión de la siguiente medida:

9 V DC de entrada

10 V DC de rango

Especificaciones de precisión a un año

Temperatura de funcionamiento normal (18 a 28 °C)

En la página siguiente, la precisión a un año es: 0,0035 % de lectura + 0,0005 % de rango

Lo que se traduce en:

$(0,0035/100 \times 9 \text{ V}) +$

$(0,0005/100 \times 10 \text{ V}) = 365 \text{ } \mu\text{V}$

Para una precisión total de:

$365 \text{ } \mu\text{V} / 9 \text{ V} = 0,0041 \%$

Ejemplo 2: temperatura de funcionamiento extrema

Si la 34970A/34972A se utiliza fuera de su rango de temperatura de entre 18 y 28 °C, deben considerarse errores adicionales de variación de temperatura. Partiremos de las mismas condiciones del ejemplo 1, pero a una temperatura de funcionamiento de 35 °C.

Una vez más, la precisión básica es:

$0,0035 \%$ de lectura + $0,0005 \%$ de rango = $365 \text{ } \mu\text{V}$.

Ahora, multiplicamos el coeficiente de temperatura de 10 V (en la página siguiente) por el número de grados fuera del rango operativo para añadir el error adicional:

$(0,0005 \%$ de lectura + $0,0001 \%$ de rango) / °C $\times (35 \text{ } ^\circ\text{C} - 28 \text{ } ^\circ\text{C}) =$

$(0,0005 \%$ de lectura + $0,0001 \%$ de rango) / °C $\times 7 \text{ } ^\circ\text{C} =$

$0,0035 \%$ de lectura + $0,0007 \%$ de rango = $385 \text{ } \mu\text{V}$

Así, el error total es:

$365 \text{ } \mu\text{V} + 385 \text{ } \mu\text{V} = 750 \text{ } \mu\text{V}$ o **$0,008 \%$**

Ejemplo 3: precisión de medida de termopar

Calcular el error de lectura de termopar total es fácil con la unidad 34970A/34972A: solo hay que añadir la precisión de medida de la lista a la precisión de su transductor. Los errores de conmutación, conversión y unión de referencia ya están incluidos en la especificación de medida.

Para este ejemplo, partiremos de la base de una lectura de entrada de termopar de tipo J de 150 °C.

En la página siguiente, el error total es:

Precisión de la sonda de termopar + 1,0 °C

El fabricante de la sonda especifica una precisión de 1,1 °C o 0,4 %, lo que sea mayor.

Así, el error total es:

$1,0 \text{ } ^\circ\text{C} + 1,1 \text{ } ^\circ\text{C} = \text{total de } 2,1 \text{ } ^\circ\text{C}$, o el **$1,4 \%$**

Ejemplo 4: precisión de ACV

La función de ACV mide el valor de RMS real de la forma de onda de entrada, independientemente de la forma de la onda. Las precisiones enumeradas presuponen una entrada de onda sinusoidal. Para ajustar las precisiones de ondas no sinusoidales, utilice el sumador de factor de cresta de la lista.

Para este ejemplo, asumiremos una entrada de ondas cuadradas de $\pm 1 \text{ V}$ con un ciclo de trabajo del 50 % y una frecuencia de 1 kHz.

La precisión para una senoide de 1 V y 1 kHz es:

$0,06 \%$ de lectura + $0,04 \%$ de rango

Una onda cuadrada de ciclo de trabajo del 50 % tiene un factor de cresta de

Valor pico / valor RMS = $1 \text{ V} / 1 \text{ V} = 1$

Tomando como referencia la tabla de factores de cresta,

añadimos:

$0,05 \%$ de lectura

La precisión total es:

$0,11 \%$ de lectura + $0,04 \%$ de rango = $1,5 \text{ mV}$ o **$0,15 \%$**

Especificaciones de precisión del 34970A/34972A ± (% de lectura + % de rango)^[1]

Incluye error de medida, error del conmutación y error de conversión del transductor

Rango ^[3]		Frecuencia, etc.	24 horas ^[2] 23 °C ±1 °C	90 días 23 °C ±5 °C	Un año 23 °C ±5 °C	Coefficiente de temperatura 0 °C–18 °C, 28 °C–55 °C
Tensión DC						
	100,0000 mV		0,0030 + 0,0035	0,0040 + 0,0040	0,0050 + 0,0040	0,0005 + 0,0005
	1,000000 V		0,0020 + 0,0006	0,0030 + 0,0007	0,0040 + 0,0007	0,0005 + 0,0001
	10,00000 V		0,0015 + 0,0004	0,0020 + 0,0005	0,0035 + 0,0005	0,0005 + 0,0001
	100,0000 V		0,0020 + 0,0006	0,0035 + 0,0006	0,0045 + 0,0006	0,0005 + 0,0001
	300,000 V		0,0020 + 0,0020	0,0035 + 0,0030	0,0045 + 0,0030	0,0005 + 0,0003
RMS reales de tensión AC ^[4]						
Todos los rangos a partir de 100,0000 mV a 100,0000 V	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,03	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	0,100 + 0,004
	5 Hz-10 Hz	0,35 + 0,03	0,35 + 0,04	0,35 + 0,04	0,35 + 0,04	0,035 + 0,004
	10 Hz-20 kHz	0,04 + 0,03	0,05 + 0,04	0,06 + 0,04	0,06 + 0,04	0,005 + 0,004
	20 kHz-50 kHz	0,10 + 0,05	0,11 + 0,05	0,12 + 0,05	0,12 + 0,05	0,011 + 0,005
	50 kHz-100 kHz	0,55 + 0,08	0,60 + 0,08	0,60 + 0,08	0,60 + 0,08	0,060 + 0,008
	100 kHz–300 kHz ^[5]	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	0,20 + 0,02
300,0000 V	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,05	1,00 + 0,08	1,00 + 0,08	1,00 + 0,08	0,100 + 0,008
	5 Hz-10 Hz	0,35 + 0,05	0,35 + 0,08	0,35 + 0,08	0,35 + 0,08	0,035 + 0,008
	10 Hz-20 kHz	0,04 + 0,05	0,05 + 0,08	0,06 + 0,08	0,06 + 0,08	0,005 + 0,008
	20 kHz-50 kHz	0,10 + 0,10	0,11 + 0,12	0,12 + 0,12	0,12 + 0,12	0,011 + 0,012
	50 kHz-100 kHz	0,55 + 0,20	0,60 + 0,20	0,60 + 0,20	0,60 + 0,20	0,060 + 0,020
	100 kHz–300 kHz ^[6]	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	0,20 + 0,05
Resistencia ^[6]						
100,0000 Ω	Fuente de corriente de 1 mA	0,0030 + 0,0035	0,008 + 0,004	0,010 + 0,004	0,0006 + 0,0005	
1,000000 kΩ	1 mA	0,0020 + 0,0006	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001	
10,00000 kΩ	100 μA	0,0020 + 0,0005	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001	
100,0000 kΩ	10 μA	0,0020 + 0,0005	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001	
1,000000 MΩ	5,0 μA	0,002 + 0,001	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0010 + 0,0002	
10,00000 MΩ	500 nA	0,015 + 0,001	0,020 + 0,001	0,040 + 0,001	0,0030 + 0,0004	
100,0000 MΩ	500 nA 10 MΩ	0,300 + 0,010	0,800 + 0,010	0,800 + 0,010	0,1500 + 0,0002	
Frecuencia y periodo ^[7]						
100 mV a 300 V	3 Hz-5 Hz	0,10	0,10	0,10	0,005	
	5 Hz-10 Hz	0,05	0,05	0,05	0,005	
	10 Hz-40 Hz	0,03	0,03	0,03	0,001	
	40 Hz-300 kHz	0,006	0,01	0,01	0,001	
Corriente DC (solo 34901A)						
10,00000 mA	< 0,1 V de carga	0,005 + 0,010	0,030 + 0,020	0,050 + 0,020	0,002 + 0,0020	
100,0000 mA	< 0,6 V	0,010 + 0,004	0,030 + 0,005	0,050 + 0,005	0,002 + 0,0005	
1,000000 A	< 2 V	0,050 + 0,006	0,080 + 0,010	0,100 + 0,010	0,005 + 0,0010	
RMS reales de corriente AC (solo 34901A)						
10,00000 mA y ^[4] 1,000000 A	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	0,100 + 0,006	
	5 Hz-10 Hz	0,30 + 0,04	0,30 + 0,04	0,30 + 0,04	0,035 + 0,006	
	10 Hz-5 kHz	0,10 + 0,04	0,10 + 0,04	0,10 + 0,04	0,015 + 0,006	
100,0000 mA ^[8]	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,5	1,00 + 0,5	1,00 + 0,5	0,100 + 0,06	
	5 Hz-10 Hz	0,30 + 0,5	0,30 + 0,5	0,30 + 0,5	0,035 + 0,06	
	10 Hz-5 kHz	0,10 + 0,5	0,10 + 0,5	0,10 + 0,5	0,015 + 0,06	
Temperatura						
Termopar ^[10]	Tipo	Precisión a un año ^[9]	Precisión a un año de rango ampliado ^[9]		Coefficiente de temperatura/°C	
	B	De 1 100 °C a 1 820 °C	1,2 °C	De 400 °C a 1 100 °C	1,8 °C	0,03 °C
	E	De -150 °C a 1 000 °C	1,0 °C	De -200 °C a -150 °C	1,5 °C	
	J	De -150 °C a 1 200 °C	1,0 °C	De -210 °C a -150 °C	1,2 °C	
	K	De -100 °C a 1 200 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	
	N	De -100 °C a 1 300 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	
	R	De 300 °C a 1 760 °C	1,2 °C	De -50 °C a 300 °C	1,8 °C	
	S	De 400 °C a 1 760 °C	1,2 °C	De -50 °C a 400 °C	1,8 °C	
T	De -100 °C a 400 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C		
RTD	R _i de 49 Ω a 2,1 kΩ	De -200 °C a 600 °C	0,06 °C		0,003 °C	
Termistor	2,2 k, 5 k, 10 k	De -80 °C a 150 °C	0,08 °C		0,002 °C	

[1] Especificaciones para una hora de calentamiento y 6½ dígitos, filtro de AC lento

[2] Con relación a los estándares de calibración

[3] 20 % por encima del rango en todos los rangos salvo 300 VDC y rangos AC, y 1 ADC y rangos de corriente AC

[4] Para una entrada de onda sinusoidal > 5 % del rango. Para entradas del 1 % a 5 % del rango y de < 50 kHz, añádase un 0,1 % de error adicional de rango

[5] Normalmente, 30 % de error de lectura a 1 MHz, limitado a 1 × 10⁶ V Hz

[6] Especificaciones para función de resistencia a 4 hilos o resistencia a 2 hilos usando escalado para eliminar el offset. Sin escalado, añádase un error adicional de 4 Ω en la función de resistencia a 2 hilos

[7] Entrada > 100 mV. Para entradas de 10 mV a 100 mV, multiplíquese el % de error de lectura × 10

[8] Especificado solo para entradas > 10 mA

[9] Para la precisión de medida total, añádase el error de la sonda de temperatura

[10] Especificaciones de termopar no garantizadas si está presente el módulo 34970A

Características de medida [7]

Tensión DC		
Método de medida	Integración continua Convertidor A/D Multi-slope III	
Linealidad A/D	0,0002 % de lectura + 0,0001 % de rango	
Resistencia de entrada	A elegir, 10 MΩ o > 10 000 MΩ	
Rangos de 100 mV, 1 V, 10 V	10 MΩ ±1 %	
Rangos de 100 V, 300 V	< 30 pA a 25 °C	
Corriente de polarización de entrada	300 V en todos los rangos	
Protección de entrada		
RMS reales de tensión AC		
Método de medida	RMS reales con acoplamiento AC: mide el componente de AC de la entrada con un máximo de 300 VDC de polarización en cualquier rango	
Factor cresta	Máximo de 5:1 a escala completa	
Errores de factor cresta adicionales (onda no sinusoidal)	Factor cresta 1-2 0,05 % de lectura Factor cresta 2-3 0,15 % de lectura Factor cresta 3-4 0,30 % de lectura Factor cresta 4-5 0,40 % de lectura	
Impedancia de entrada	1 MΩ ±2 % en paralelo con 150 pF	
Protección de entrada	300 Vrms en todos los rangos	
Resistencia		
Método de medida	Resistencia a 2 o 4 hilos a elegir Fuente de corriente referenciada a la entrada LO	
Compensación de offset	En rangos de 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ a elegir	
Resistencia máx. del cableado	10 % del rango por hilo para rangos de 100 Ω y 1 kΩ, 1 kΩ en el resto de rangos	
Protección de entrada	300 V en todos los rangos	
Frecuencia y periodo		
Método de medida	Sistema de cálculo recíproco	
Rangos de tensión	Igual que la función de tensión AC	
Intervalo de puerta	1s, 100 ms o 10 ms	
Timeout de medida	Límite LF de 3 Hz, 20 Hz, 200 Hz a elegir	
Corriente DC		
Resistencia de shunt	5Ω para 10 mA, 100 mA; 0,1 Ω para 1 A	
Protección de entrada	Fusible de 1A 250 V en el módulo 34901A	
RMS reales de corriente AC		
Método de medida	Acoplamiento directo al fusible y la resistencia de shunt. Medida de RMS reales con acoplamiento AC (mide solo los componentes AC)	
Resistencia de shunt	5 Ω para 10 mA; 0,1 Ω para 100 mA, 1 A	
Protección de entrada	Fusible de 1 A 250 V en el módulo 34901A	
Termopar		
Conversión	Compensación de software ITS-90	
Tipo de unión de referencia	Interna, fija o externa	
Comprobación de termopar abierto	Seleccionable por canal. Abierto > 5 kΩ	
Termistor		
	Series 44004, 44007, 44006	
RTD		
	$\alpha = 0,00385$ (DIN) y $\alpha = 0,00391$	
Rechazo del ruido de medida de 60 (50) Hz [18]		
Rechazo en modo común (CMRR) de DC	140 dB	
Rechazo en modo común (CMRR) de AC	70 dB	
Tiempo de integración		
200 plc/3,33 s (4 s)	110 dB [21]	
100 plc/1,67 s (2 s)	105 dB [21]	
20 plc/333 ms (400 ms)	100 dB [21]	
10 plc/167 ms (200 ms)	95 dB [21]	
2 plc/33,3 ms (40 ms)	90 dB	
1 plc/16,7 ms (20 ms)	60 dB	
< 1 plc	0 dB	

Características de funcionamiento [4]

Velocidades de medida de un canal [5]		
Función	Resolución [6]	34970A/34972A lecturas/s
DCV, resistencia	6½ dígitos (10 plc)	6 (5)
a 2 hilos	5½ dígitos (1 plc)	54 (47)
	4½ dígitos (0,02 plc)	500
Termopar	0,01 °C (10 plc)	6 (5)
	0,1 °C (1 plc)	52 (47)
	(0,02 plc)	280
RTD, termistor	0,01 °C (10 plc)	6 (5)
	0,1 °C (1 plc)	49 (47)
	1 °C (0,02 plc)	200
ACV	6½ lento (3 Hz)	0,14
	6½ medio (20 Hz)	1
	6½ rápido (200 Hz)	8
	6½ [6]	100
Frecuencia, período	6½ dígitos (1 s puerta)	1
	5½ dígitos (100 ms)	9
	4½ dígitos (10 ms)	70

[1] Para 1 kΩ no balanceado en el cable del LO

[2] Para frecuencia de línea de alimentación ±0,1 %

[3] Para frecuencia de línea de alimentación ±1 %, utilícese 80 dB o ±3 %, utilícese 60 dB

[4] Velocidades de lectura para funcionamiento a 60 Hz y (50 Hz)

[5] Para función fija y rango, lecturas en memoria, escala y alarmas desactivadas. AZERO desactivado, registro de datos USB desactivado

[6] Límite máximo con ajustes de retardos predeterminados de estabilización anulados

[7] Tensión de aislamiento (entre canales, canal-tierra) 300 VDC, RMS AC

[8] 6½ dígitos = 22 bits, 5½ dígitos = 18 bits, 4½ dígitos = 15 bits

Velocidades de lectura de un canal a interfaz I/O o memoria interna

	34970A		34972A
	a memoria lecturas/s	a GPIB o RS-232 lecturas/s	a LAN, USB o memoria lecturas/s
Lecturas ASCII de un canal	500	440	500
Un canal con escala cambiante (p. ej., MEAS dcV 10/MEAS dcV 1)	25	25	25
Un canal con función cambiante (p. ej., MEAS dcV/MEAS Ohms)	12	12	12

Velocidades de medida de barrido a interfaz I/O o memoria interna

	34970A		34972A
	a memoria canales/s	a GPIB o RS-232 canales/s	a LAN, USB o memoria canales/s
Barrido de canales DCV o resistencia			
34901A/34908A	60	60	60
34902A	250	210	240
34902A en y desde la memoria (con INIT, FETCh)	—	180	240
34902A con información temporal (con MEAS)	—	150	240
34902A con escala y alarmas	220	190	220
34902A DCV y resistencia en canales alternos	80	80	80
Barrido de canales ACV ⁽²⁾			
34901A/34908A	50	50	50
34902A	100	90	100
Temperatura de barrido: canales de TC o termistor			
34901A/34908A	50	50	50
34902A	160	150	150
Barrido de canales de totalizador/entrada digital			
34907A Entrada digital	275	250	275
34907A Totalizador	240	210	240

Salida de datos de memoria ⁽³⁾⁽⁴⁾

(FETCh de 50 000 lecturas)

Un canal ⁽¹⁾⁽²⁾	34970A		34972A	
	Sobre GPIB lecturas/s	Sobre RS-232 lecturas/s	Sobre USB lecturas/s	Sobre LAN o memoria lecturas/s
Lecturas	800	600	55 K	120 K
Lecturas con información temporal	450	320	35 K	60 K
Lecturas con todas las opciones de formato ACTIVADAS	310	230	25 K	50 K

[1] Velocidades para 4½ dígitos, retardo 0, display desactivado, registro de datos USB desactivado, puesta a cero automática desactivada, a menos que se indique lo contrario. Para obtener el mejor rendimiento de I/O, utilícese el comando MEAS:RS:232 a 115 Kbaudios.

[2] Máximo, con retardos predeterminados rechazados.

[3] Se asume un formato de tiempo relativo (tiempo desde el inicio del barrido).

[4] Velocidades típicas asumiendo un PC con poca carga y tráfico adicional limitado en las I/O. Velocidades de LAN asumiendo el uso de conexión enchufable; VXI11 será inferior.

[5] Para función fija y rango, lecturas en memoria, escala/alarmas/puesta a cero desactivadas.

Especificaciones del sistema

Entradas de barrido	
Análogas	Canales de multiplexores 34901A, 34902A y 34908A
Digitales	34907A: Entradas digitales y totalización
Lista de barrido	Explora canales en orden ascendente
Disparo de barrido	
Fuente	Intervalo, externa, pulsación de botón, software o alarma de canal en monitor
Recuento de barrido	De 1 a 50 000 o continuo
Intervalo de barrido	De 0 a 99 horas; pasos de 1 ms
Retardo de canal	De 0 a 60 segundos por canal, pasos de 1 ms
Retardo de disparo externo	< 300 µs. Con monitor activado < 200 ms
Jitter de disparo externo	< 2 ms
Alarmas	
Entradas analógicas	Hi, Lo, o Hi + Lo evaluadas en cada barrido
Entradas digitales	Adaptación a máscara patrón o cambio de estado en entradas digitales del 34907A
	Totalización en 34907A: límite alto sólo
Canal de monitorización	Alarma evaluada en cada lectura
Salidas de alarma	4 compatibles con TTL
	Lógica TTL Hi o Lo a elegir en caso de fallo
Latencia	5 ms (típica)
Memoria	
Batería	34970A, 4 años de duración típica ^[1] , 34972A Batería sustituible por el usuario Sustitución recomendada una vez al año durante CAL
Lecturas	50 000 lecturas internas con información temporal Legibles durante el barrido
Estados	Cinco estados de instrumento con etiqueta de usuario
Cola de alarmas	Hasta 20 eventos con número de canal, lectura e información temporal
Unidad USB Flash	Soporte para formatos FAT o FAT 32
Características del sistema	
Funciones matemáticas por canal	Escalado Mx + B individual y min./máx./promedio calculados en tiempo real
Recuperación en caso de fallo de alimentación	Reanudación automática del barrido
Mantenimiento de relés	Recuento de cada cierre de relé y almacenamiento en módulo, reinicializable por el usuario
Reloj de tiempo real	Respaldo por batería, 4 años de duración típica ^[1]
Especificaciones generales	
Fuente de alimentación	100 V/120 V/220 V/240 V ±10 %
Frecuencia de línea de alimentación	45 Hz a 66 Hz con detección automática
Consumo de energía	12 W (25 VA pico)
Temperatura de funcionamiento	Precisión completa de 0 a 55 °C Precisión completa con 80 % de humedad relativa a 40 °C
Temperatura de almacenamiento	De -40 a 70 °C ^[1]
Peso	Neto: 3,6 kg
Seguridad	Conformidad con CSA, UL-1244, IEC 1010 Cat. I
RFI y ESD	CISPR 11, IEC 801/2/3/4

[1] El almacenamiento a temperaturas superiores a 40 °C reducirá la duración de la batería

[2] Software suministrado en CD-ROM

[3] La interfaz y el driver se deben adquirir e instalar por separado

[4] Requiere la biblioteca de comandos VISA para IEEE-488

Software

Agilent 34825A BenchLink Data Logger 3

(incluido con el multímetro digital opcional)

Requisitos del sistema ^[2]	
Sistema operativo	Windows Vista®, XP SP2, 2000 SP4 (sin soporte para ediciones Home), Adobe® Acrobat® Reader V5.0 o superior (para ver la documentación) Microsoft Internet Explorer V6.0 o superior (necesario si se utiliza Windows NT) Pentium® 4 a 800 MHz o superior recomendado, min. Pentium III a 500 MHz
Controlador	256 MB o superior recomendada, min. 128 MB
RAM	200 MB recomendados, min. 100 MB
Espacio en disco	Resolución de 1 024 x 768 recomendada, 256 colores
Pantalla	
Interfaces de ordenador ^[3]	
34970A	
GPIB	Agilent y National Instruments PCI-GPIB
RS-232 (puerto serie)	PC COM 1-4
34972A	
LAN	10/100/1000 BaseT
USB	USB 2.0
Características del Agilent BenchLink	
Configuración	Página de configuración de canal similar a una hoja de cálculo Carga y descarga de configuraciones de instrumento Canales calculados con $\pm$ %, dB, dBm, dBV, x^2 , $\sqrt{x}$ y completo, galga extensiométrica de $\frac{1}{2}$, o $\frac{1}{4}$ de puente
Pantallas gráficas	Visualización de datos en tiempo real e históricos Agregar, eliminar, tamaño y configuración en tiempo real Gráfico de banda continua con marcadores e indicación de alarma, gráficos de barras y dispersión, histogramas con estadísticas, medidor de barras y tabla de datos
Controles gráficos	Controles deslizantes, conmutadores, botones y luces LED
Comprobación de límite/alarma	Inicio/parada de barrido según la condición de alarma Control del estado de relé del 34903A o salida digital del 34907A cuando se da la alarma
Datos	Transmitidos (almacenados) en tiempo real a disco Exportación automática de datos y configuraciones Copia de datos o gráficos en el portapapeles de Windows Exportación de los datos seleccionados en formatos CVS, XML o TXT
Registro de eventos	Entrada automática de alarmas y errores
Soporte de drivers de instrumentos para lenguajes de programación	
Drivers IVI-C o IVI-COM	Compatible con Windows 7, Vista SP1, XP SP2 (32 bits) IO Libraries 14.1 o superiores Compatible con Agilent VEE, Visual Basic, C/C#, Visual Studio, National Instruments LabWindows CVI y LabVIEW
Driver para LabVIEW (VI) driver	LabVIEW 7.0 o superior 800 MHz o superior recomendado, mínimo 600 MHz.

Especificaciones de los módulos

Las especificaciones de precisión de la unidad 34970A/34972A de Agilent ya incluyen los errores de unión de referencia y offset de conmutación que aparecen más abajo. Estos errores se enumeran por separado para determinar el error del sistema con dispositivos de medida externos.

Es posible insertar un máximo de 3 módulos, en cualquier combinación, en un único mainframe. Las conexiones del

multímetro digital interno de la unidad 34970A/34972A solo están accesibles a través de los multiplexores de baja frecuencia 34901A, 34902A y 34908A.

Los terminales atornillados del módulo aceptan tamaños de cable de calibre 16 a 22. Se recomienda el cable de calibre 20 para aplicaciones con un alto número de canales. Los multiplexores de RF 34905A y 34906A utilizan conectores SMB. Con cada módulo de RF se suministra un juego estándar de (10) cables adaptadores de BNC a SMB para facilitar las conexiones BNC.

	Multiplexor			Actuador	Matriz	Multiplexor de RF		Multifunción	
	34901A	34902A ^[1]	34908A	34903A	34904A	34905A	34906A	34907A	
General									
Número de canales	20 + 2 2/4 hilos	16 2/4 hilos	40 1 hilo	20 SPDT	4 x 8 2 hilos	Dual 1 x 4 50 Ω 75 Ω		Para conocer las especificaciones del módulo, consulte la página 25	
Se conecta al multímetro digital interno	●	●	●						
Velocidad de barrido	60 canales/s	250 canales/s ^[1]	60 canales/s						
Velocidad de apertura/cierre	120/s	120/s	70/s	120/s	120/s	60/s			
Entrada									
Tensión (DC, RMS AC) ^[2]	300 V	300 V	300 V	300 V	300 V	42 V			
Corriente (DC, RMS AC)	1 A	50 mA	1 A	1 A	1 A	0,7 A			
Potencia (W, VA)	50 W	2 W	50 W	50 W	50 W	20 W			
Características de DC									
Tensión de offset ^[3]	< 3 uV	< 6 uV	< 3 uV	< 3 uV	< 3 uV	< 6 uV			
Canal R inicialmente cerrado ^[3]	< 1 Ω	< 1 Ω	< 1 Ω	< 0,2 Ω	< 1 Ω	< 0,5 Ω			
Aislamiento entre canales, canal-tierra	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 1 GΩ			
Características de AC									
Ancho de banda ^[4]	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	2 GHz ^[5]	2 GHz ^[5]		
Pérdidas de inserción (dB)	10 MHz 100 MHz 500 MHz 1 GHz 1,5 GHz 2 GHz	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	-0,1 -0,4 -0,6 -1 -1,2 -3	-0,1 -0,4 -0,5 -1 -1,5 -2	
ROE	0-9,99 MHz 10-99,99 MHz 100-499,99 MHz 500-999,99 MHz 1-1,499 GHz 1,5-2 GHz	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	1,02 1,05 1,20 1,20 1,30 1,40	1,02 1,05 1,25 1,40 1,40 2,00	
Crosstalk entre canales (dB) ^[4]	10 MHz 100 MHz 500 MHz 1 GHz 1,5 GHz 2 GHz	-45 — — — — —	-45 — — — — —	-18 ^[6] — — — — —	-45 — — — — —	-33 — — — — —	-100 -85 -65 -55 -45 -35	-85 -75 -65 -50 -40 -35	
Tiempo de subida							< 300 ps		
Retardo de señal							< 3 ns		
Capacitancia	HI - LO LO - Tierra	< 50 pF < 80 pF	< 50 pF < 80 pF	< 50 pF < 80 pF	< 10 pF < 80 pF	< 50 pF < 80 pF	< 20 pF —		
Límite voltio-hertzio		10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ¹⁰		
Otros									
Precisión de unión fría de termopar ^[3]	(típica)	0,8 °C	0,8 °C	0,8 °C ^[8]					
Duración de conmutador	Sin carga (típica)	100 M	100 M	100 M	100 M	100 M	5 M	5 M	
	Carga nominal (típica) ^[7]	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	100 k	
Temperatura	De funcionamiento	Todas las tarjetas — De 0 a 55 °C							
	De almacenamiento	Todas las tarjetas — De -20 a 70 °C							
Humedad	(sin condensación)	Todas las tarjetas — 40 °C al 80 % de humedad relativa							

[1] No recomendado para la conexión a una línea AC sin supresión de transitorios externa. Hasta 250 canales/s a la memoria interna. Consulte las velocidades de barrido para conocer las condiciones y velocidades de medida de cada instrumento.
[2] Entre canales o canal a tierra

20

[3] Errores incluidos en las especificaciones de precisión de medida del multímetro digital
[4] Fuente de 50 Ω, carga de 50 Ω
[5] Especificación de ancho de banda directo a conectores SMB en tarjeta de multiplexor de RF
[6] El aislamiento en los canales 1 a 20 o bancos 21 a 40 es de -40 dB
[7] Se aplica únicamente a cargas resistivas
[8] Medidas de termopar no recomendadas con el módulo 34908A debido a la configuración Común bajo

Guía de selección de multiplexores

Elija entre la amplia funcionalidad del 34901A, la alta velocidad de barrido del 34902A o la densidad tipo single-ended del 34908A. Estos 3 módulos son la única forma de conexión al multímetro digital interno de la unidad 34970A/34972A. También pueden utilizarse para barridos con instrumentos externos.

Todos los módulos de multiplexor abren los relés antes de comenzar un barrido, para así garantizar que solo haya un canal (o par de canales) cerrado cada vez. Los módulos 34901A y 34902A admiten múltiples cierres de canal si no están configurados para el barrido.

El 34908A no admite múltiples cierres de canal en ningún momento.

34901A
Multiplexor para uso general de 20 canales

- Barrido de 60 canales/s
• Barrido a 2 y 4 hilos
• Unión de referencia de termopar incorporada
• Conmutación de 300 V

El multiplexor 34901A de Agilent es el aparato más versátil para barridos generales. Combina una densa conmutación multifunción con velocidades de barrido de 60 canales/segundo para responder a una amplia gama de aplicaciones de adquisición de datos.

En el mismo módulo pueden mezclarse canales a 2 y 4 hilos. Dos entradas con fusible adicionales (22 canales en total) enrutan hasta 1 A de corriente hacia el multímetro digital interno, permitiendo corrientes AC y DC sin tener que usar resistencias shunt externas.

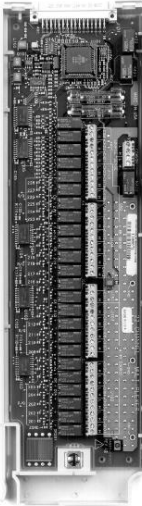
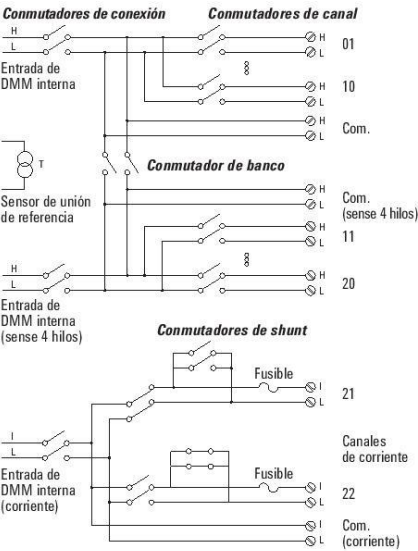


Table with 4 columns: Feature, 34901A, 34902A, 34908A. Rows include: Número de canales, Velocidad de barrido máx., Número de contactos, Temperatura (Termopar, RTD a 2 hilos, RTD a 4 hilos, Termistor), Tensión DC, Tensión AC, Resistencia a 2 hilos, Resistencia a 4 hilos, Frecuencia, Periodo, Corriente DC, Corriente AC.



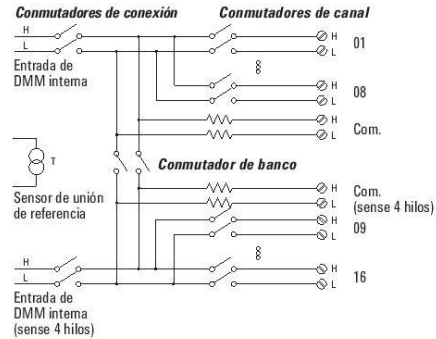
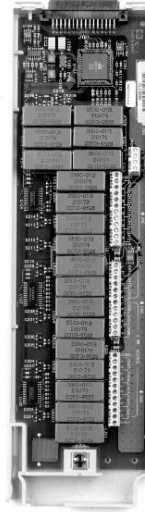
34902A

Multiplexor de alta velocidad de 16 canales

- Barrido de hasta 250 canales/s
- Barrido a 2 y 4 hilos
- Unión de referencia de termopar incorporada

El 34902A de Agilent utiliza relés de láminas para conseguir velocidades de barrido de hasta 250 canales por segundo. Utilice este módulo para aplicaciones de prueba automatizadas de alto rendimiento, así como para registro de datos de alta velocidad y tareas de monitorización.

16 entradas a 2 hilos se conmutan hasta 300 V. Los canales a 2 y 4 hilos se pueden mezclar en el mismo módulo. Para medir corrientes se necesitan resistencias shunt suministradas por el usuario.



Nota: No recomendado para la conexión a una línea AC sin supresión de transitorios externa.

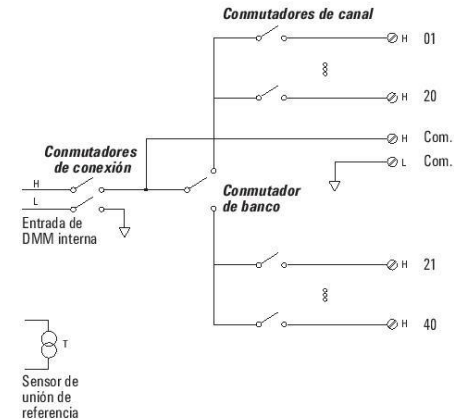
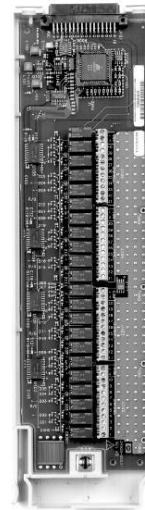
34908A

Multiplexor single-ended de 40 canales

- Barrido de 60 canales/s
- Conmutación de un solo hilo para aplicaciones de común bajo
- Unión de referencia de termopar incorporada

Utilice el 34908A de Agilent para obtener la mayor densidad en aplicaciones de común bajo, como pruebas de batería, caracterización de componentes y pruebas para banco de trabajo.

Cada módulo conmuta 40 entradas de un hilo. Se admiten todas las medidas internas a 2 hilos, excepto la de corriente. La conexión baja del módulo está aislada de tierra y puede flotar hasta 300 V.



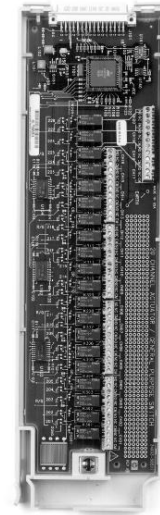
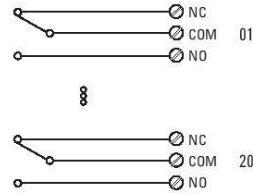
Nota: Los termopares deben estar aislados eléctricamente entre sí para evitar bucles de corriente y los correspondientes errores de medida.

34903A

Actuador/conmutador para uso general de 20 canales

- Relés de enganche SPDT (forma C)
- 300 V, actuación y control de 1 A

Este módulo de conmutación para uso general tiene 20 relés independientes monopolares y de doble puerto (SPDT). Utilícelo para realizar ciclos de alimentación en los dispositivos sometidos a prueba (DUT), indicadores de control y luces de estado, y para actuar relés de potencia externos y solenoides. Combinelo con módulos matriciales y multiplexores para construir sistemas de conmutación personalizados. Sus contactos de 300 V y 1 A pueden gestionar hasta 50 W, lo suficiente para muchas aplicaciones de conmutación de líneas de alimentación.



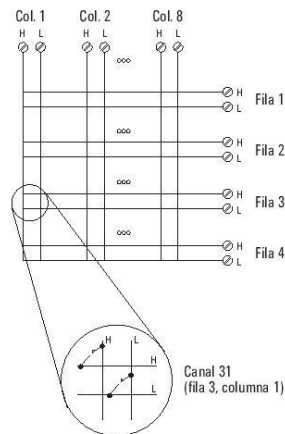
34904A

Conmutador matricial 4x8 a 2 hilos

- 32 puntos de cruce a 2 hilos
- Conmutación de 300 V y 1 A

El módulo 34904A de Agilent ofrece la ruta de conexión más flexible entre el DUT y el equipo de pruebas, permitiendo conectar distintos instrumentos en múltiples puntos del DUT al mismo tiempo.

Es posible conectar filas o columnas entre distintos módulos para formar matrices de 8x8, 4x16 o aún mayores, con un máximo de 96 puntos de cruce en una única trama.



34905A 50 Ω

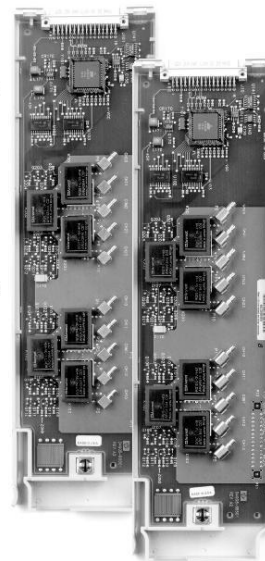
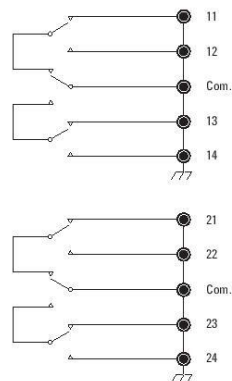
34906A 75 Ω

Multiplexores de RF de 4 canales dobles

- Ancho de banda de 2 GHz
- Cables adaptadores de BNC a SMB incluidos

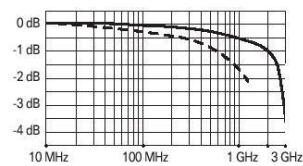
Los multiplexores de RF 34905A y 34906A de Agilent ofrecen capacidades de conmutación de banda ancha para señales pulsadas y de alta frecuencia. Utilícelos para enrutar señales de prueba entre el DUT y el generador de señales, osciloscopio, analizador de espectro u otro instrumento.

Los multiplexores de RF se organizan en forma de 2 multiplexores 1x4 independientes, cada uno con una protección común y un conductor central conmutado. Las conexiones se pueden realizar directamente a las entradas SMB con ancho de banda útil de 2 GHz o a los adaptadores de BNC a SMB suministrados con un ancho de banda de 1 GHz. Para aplicaciones que necesiten topologías aún mayores, es posible agrupar múltiples bancos en cascada, creando un multiplexor 16:1 en una sola unidad.

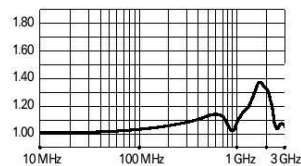


Gráficos de rendimiento AC típicos de un multiplexor de 50 Ω

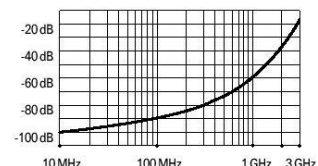
Pérdidas de inserción



ROE

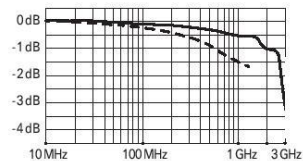


Crosstalk

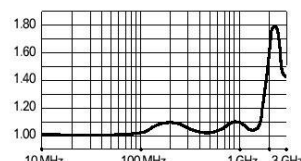


Gráficos de rendimiento AC típicos de un multiplexor de 75 Ω

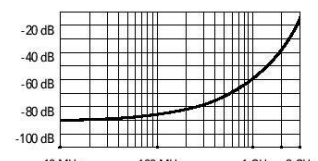
Pérdidas de inserción



ROE



Crosstalk



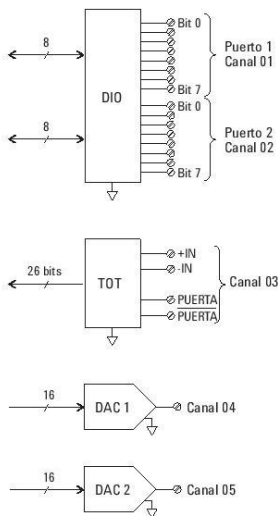
- Directamente a la tarjeta
- - - Usando los cables adaptadores suministrados

34907A

Módulo multifunción

- 16 bits de entrada y salida digital
- Entrada de totalizador de 100 kHz
- Dos salidas analógicas de ± 12 V

El módulo 34907A de Agilent admite una gran flexibilidad para diversas aplicaciones de detección y control. Combina 2 puertos de 8 bits de entrada y salida digitales, un totalizador controlado de 100 kHz y 2 salidas analógicas de ± 12 V, todo ello en un único módulo con referencia a tierra. Las entradas digitales y la entrada de totalizador pueden incluirse en un barrido. Los límites de alarma de las entradas digitales y del contador de eventos se evalúan de forma continua, capturando y registrando las condiciones de alarma incluso entre barridos.



Entrada/salida digital

Utilice las salidas digitales con una fuente de alimentación externa para controlar atenuadores y conmutadores de microondas, solenoides, relés de potencia, indicadores y mucho más. Utilice las entradas digitales para detectar la conmutación de límite y el estado de bus digital. No hay complejos modos de handshake; las lecturas y escrituras se inician desde el panel frontal o el bus.

Puerto 1, 2	8 bits, entrada o salida, sin aislamiento
Vin(L)	< 0,8 V (TTL)
Vin(H)	> 2,0 V (TTL)
Vout(L)	< 0,8 V @ Iout = -400 mA
Vout(H)	> 2,4 V @ Iout = 1 mA
Vin(H) máx	< 42 V con polarización de drenaje abierto externa
Alarma	Adaptación a máscara patrón o cambio de estado
Velocidad	4 ms (máx.) de muestreo de alarma
Latencia	5 ms (típica) para salida de alarma de 34970A
Velocidad de lectura/escritura	95/s

Entrada de totalización

Recuento de eventos desde dispositivos como fotointerruptores, conmutadores de límite y sensores de efecto Hall.

Mantiene un total actualizado que se puede leer a través del panel frontal o de forma programática en cualquier momento. Con 26 bits de resolución, puede contar eventos a toda velocidad durante casi 11 minutos sin desbordamiento.

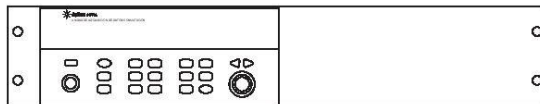
Recuento máx.	$2^{26} - 1$
Entrada de totalización	Flanco creciente o de bajada de 100 kHz (máx.), programable
Nivel de señal	1 Vp-p (mín.) 42 Vpk (máx.)
Umbral	0 V o TTL, jumper a elegir
Entrada de puerta	TTL-Hi, TTL-Lo, o ninguna
Reinicio de recuento	Manual o lectura + reinicio
Velocidad de lectura	85/s

Salida analógica

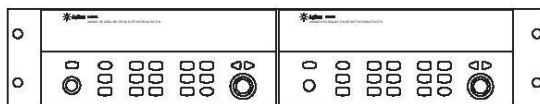
Utilice las 2 salidas analógicas calibradas electrónicamente como fuente de tensiones de polarización en el DUT, para controlar las fuentes de alimentación analógicas programables o utilice las salidas como puntos de referencia para los sistemas de control. Las salidas se programan directamente en voltios, ya sea desde el panel frontal o desde el bus.

DAC 1, 2	± 12 V, sin aislamiento
Resolución	1 mV
IOUT	10 mA máx.
Tiempo de estabilización	1 ms para 0,01 % de salida
Precisión	$\pm$ (% de salida + mV)
1 año ± 5 °C	0,25 % + 20 mV
Coefficiente de temperatura	$\pm$ (0,015 % + 1 mV)/°C

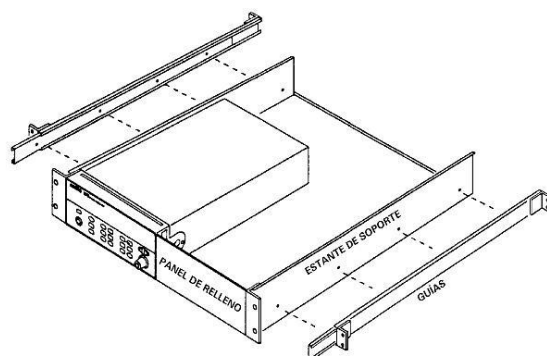
Montaje en rack y dimensiones



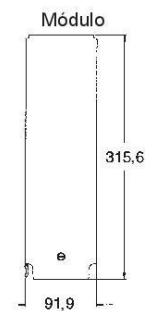
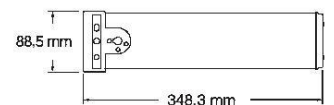
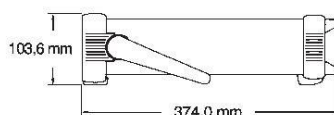
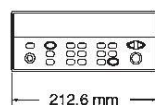
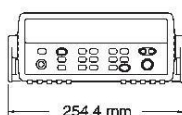
Para montaje en rack de un solo instrumento, solicite el kit de adaptador 5063-9240 (opción 1CM).



Para montar en rack 2 instrumentos juntos, solicite el kit de fijación 5061-9694 y el kit de bridas 5063-9212.



Para instalar 1 o 2 instrumentos en una balda deslizante, solicite la balda 5063-9255 y el kit deslizante 1494-0015 (para un instrumento independiente, solicite también el panel de relleno 5002-3999).



Información para pedidos

Mainframe

34970A	Unidad de adquisición de datos/conmutación con RS-232 y GPIB
34972A	Unidad de adquisición de datos/conmutación con LAN y USB

Los 2 mainframes incluyen multímetro digital interno de 6½ dígitos, manual de funcionamiento y de servicio (en CD-ROM), informe de pruebas, cable de alimentación eléctrica y paquete de inicio rápido (incluye el software Agilent BenchLink Data Logger 3, termopar y destornillador). Los módulos son necesarios para el funcionamiento y se adquieren por separado.

Opción 001 Sin multímetro digital interno
Igual que el anterior, pero sin multímetro digital ni paquete de inicio rápido. Solicite la ref. 34970-80010 para ampliar con un multímetro digital más adelante.

Opción 1CM	Kit para montaje en rack
Opción A6J	Calibración compatible con ANSI Z540
Opción 080	Sin juego de manuales
Opción AB0	Taiwán: manual en chino
Opción AB1	Corea: manual en coreano
Opción AB2	China: manual en chino
Opción ABA	Inglés: manual en inglés
Opción ABD	Alemania: manual en alemán
Opción ABE	España: manual en español
Opción ABF	Francia: manual en francés
Opción ABJ	Japón: manual en japonés
Opción ABZ	Italia: manual en italiano

Módulos

34901A	Multiplexor de armadura de 20 canales
34902A	Multiplexor de lengüeta 16 canales
34903A	Actuador/conmutador para uso general de 20 canales
34904A	Conmutador matricial 4x8 de 2 hilos
34905A	Multiplexor de RF de 4 canales doble, 50 Ω
34906A	Multiplexor de RF de 4 canales doble, 75 Ω
34907A	Módulo multifunción
34908A	Multiplexor single-ended de 40 canales

Accesorios

34830A	Paquete de software BenchLink Data Logger Pro opcional que añade funciones de comprobación de límites y toma de decisiones para aplicaciones más complejas.
34307A	Termopares de tipo J en paquetes de 10 unidades
34308A	Termistores de 10 kΩ en paquetes de 5 unidades
34161A	Bolsa para accesorios
34131A	Estuche de transporte rígido
E5810A	Gateway LAN/GPIB para uso con 34970A
82357B	Convertidor USB/GPIB para uso con 34970A
34970-80010	Kit de instalación de multímetro digital. Totalmente calibrado con informe de pruebas y kit de inicio rápido
34905-60001	Kit de 10 cables adaptadores de SMB a BNC, 50 Ω
34906-60001	Kit de 10 cables adaptadores de SMB a BNC, 75 Ω

Adaptadores USB: si necesita llevar el puerto de memoria USB hasta el panel frontal, considere el uso de un adaptador USB, como el modelo **USBAM-USBAM de VPI** o el modelo **ECF504-UABS de L-COM**.

Documentación relacionada

	Número de publicación
<i>Agilent 34830A BenchLink Data Logger Pro Software for 34970A</i>	5989-7622EN
<i>Practical Temperature Measurements, nota de aplicación</i>	5965-7822EN
<i>Agilent 34980A Multifunction Switch/Measure, hoja de datos</i>	5989-1437EN
<i>Making High Accuracy Temperature Measurements with the 34970A</i>	5988-8152EN

Para localizar más notas de aplicación y demostraciones de productos, consulte las siguientes páginas web:

www.agilent.com/find/34972A
www.agilent.com/find/34970A

Despeje todas sus dudas

Nuestros servicios de reparación y calibración le devolverán su equipo funcionando como si fuera nuevo, en los plazos acordados. Podrá sacar el máximo partido de sus equipos Agilent a lo largo de toda su vida útil. Sus equipos serán reparados por técnicos formados por Agilent que utilizan los procedimientos de calibración de fábrica más avanzados, diagnósticos automáticos de reparación y piezas originales. Podrá depositar toda su confianza en las medidas que obtenga en cualquier momento.

Agilent ofrece una amplia gama de servicios adicionales especializados de medida y prueba para sus equipos, como asistencia inicial durante la puesta en marcha, educación y formación in situ, diseño, integración de sistemas y administración de proyectos.

Si desea más información sobre los servicios de reparación y calibración, visite:

www.agilent.com/find/removealldoubt



Agilent Email Updates

www.agilent.com/find/emailupdates

Reciba la información más reciente sobre los productos y aplicaciones que seleccione.



www.lxistandard.org

LXI es el sucesor basado en LAN de GPIB y proporciona una conectividad más rápida y eficiente. Agilent es miembro fundador del consorcio LXI.

Distribuidores de Agilent

www.agilent.com/find/channelpartners

Consiga lo mejor de ambos mundos: la experiencia y variedad de productos de medida de Agilent junto con la comodidad que le brindan sus distribuidores.

Windows, MS Windows, Windows Vista y Windows NT son marcas comerciales de Microsoft Corporation registradas en EE. UU. Microsoft es una marca comercial de Microsoft Corporation registrada en EE. UU.

Adobe, el logotipo de Adobe, Acrobat y el logotipo de Acrobat son marcas comerciales de Adobe Systems Incorporated.

Pentium es una marca comercial de Intel Corporation en los EE. UU. y otros países.

LabView es una marca comercial registrada de National Instruments.

www.agilent.com

www.agilent.com/find/34970A

www.agilent.com/find/34972A

Para obtener más información sobre los productos, aplicaciones o servicios de Agilent Technologies, póngase en contacto con su oficina local de Agilent. La lista completa se puede encontrar en:

www.agilent.com/find/contactus

América

América Latina	305 269 7500
Canadá	(877) 894-4414
Estados Unidos	(800) 829-4444

Asia Pacífico

Australia	1 800 629 485
China	800 810 0189
Corea	080 769 0800
Hong Kong	800 938 693
India	1 800 112 929
Japón	0120 (421) 345
Malasia	1 800 888 848
Singapur	1 800 375 8100
Tailandia	1 800 226 008
Taiwán	0800 047 866

Europa y Oriente Próximo

Alemania	49 (0) 7031 464 6333
Austria	43 (0) 1 360 277 1571
Bélgica	32 (0) 2 404 93 40
Dinamarca	45 70 13 15 15
España	34 (91) 631 3300
Finlandia	358 (0) 10 855 2100
Francia	0825 010 700*
*0,125 €, tarifas de red fija	
Irlanda	1890 924 204
Israel	972-3-9288-504/544
Italia	39 02 92 60 8484
Países Bajos	31 (0) 20 547 2111
Reino Unido	44 (0) 118 9276201
Suecia	0200-88 22 55
Suiza	0800 80 53 53

Otros países europeos:

www.agilent.com/find/contactus

Revisión: 1 de octubre de 2009

Especificaciones y descripciones de productos que aparecen en este documento sujetas a cambios sin previo aviso.

© Agilent Technologies, Inc.
1998, 2000, 2004, 2005, 2010
Impreso en Estados Unidos, March 8, 2010
5965-5290ESE



Agilent Technologies