



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias en Instrumentación y Control Automático

Monitoreo del comportamiento térmico de distintos recubrimientos en techos mediante el uso de una red inalámbrica de sensores (WSN) para la predicción de temperatura con redes neuronales.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Presenta:

Ing. Yajaira Ilse Curiel Razo

Dirigido por:

Dr. Manuel Toledano Ayala

SINODALES

Dr. Manuel Toledano Ayala
Presidente

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza
Secretario

M en C Omar Chávez Alegría
Vocal

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa
Suplente

Dr. Roberto Augusto Gómez Loenzo
Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad


Firma

Edgar Rivas A.
Firma


Firma

Genaro Soto Zarazúa
Firma


Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Resumen

En las últimas 4 ó 6 décadas se han realizado muchas investigaciones a lo largo y ancho del mundo. Para encontrar el cómo mantener la temperatura adecuada dentro de edificios o viviendas. Para que el ambiente sea más cómodo para los usuarios o habitantes. En la Universidad Autónoma de Querétaro se realizó un proyecto en los salones de clases del edificio H (área de posgrado) de la facultad de ingeniería. Éste edificio cuenta de 6 salones de clases. Para el estudio se seleccionaron las áreas 1, 3, 5 y 6. Teniendo diferente cubierta en el techo cada una. Para conocer el comportamiento de la temperatura interior de dichos salones con sus respectivas cubiertas se planteó el desarrollo de este trabajo. Teniendo como objetivo principal el diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos de 2 parámetros ambientales (temperatura y humedad relativa) y el modelo predictivo mediante redes neuronales artificiales para conocer el comportamiento de la temperatura interna de las aulas con un 1°C máximo de diferencia pronosticado a los 10, 20 y 30 minutos y demostrar que con dicho sistema se podrá tomar una acción adecuada para mantener la comodidad de los usuarios. Con éste objetivo y el cumplimiento de la hipótesis que es la comprobación mediante la adquisición de temperatura de la superficie del techo por medio de una red inalámbrica de sensores en combinación con una RNA se permite predecir el comportamiento térmico dentro de un inmueble. Para realizar y cumplir ésta hipótesis y objetivo se realizaron los sistemas de adquisición de datos, en los cuales se encuentra el sistema de comunicación inalámbrica ZigBee. Esta tecnología ayuda a la comunicación de los nodos o elementos terminales con la computadora central, en donde se procesan los datos muestreados de los 8 sensores. De los cuales se colocaron 2 en cada salón, uno al interior y otro en el exterior. Los datos muestreados son las entradas en la red neuronal artificial para poder predecir la temperatura a los 10, 20 y 30 minutos de cada salón de clases. Aunado a eso se hizo un análisis de la varianza en una vía de los datos de cada tipo de salón de clases y un análisis de estadística descriptiva. Éste estudio ayudo para concluir que el techo verde en época de otoño e invierno tiene un comportamiento similar a un techo con cartón asfáltico pintado de rojo.

Palabras clave (temperatura, red inalámbrica de sensores, red neuronal artificial, predicción)

Summary

In the last 4 or 6 decades have done much research throughout the world. Find out how to maintain proper temperature inside buildings or houses. Make the environment more comfortable for the users or residents. In the Autonomous University of Queretaro was realized a project in the classrooms of building H in the engineering faculty. This building has 6 meeting rooms for classes. Were selected for this research the areas 1, 3, 5 and 6. Having different cover on the roof each one. To understand the behavior of the internal temperature of these rooms with their respective covers are raised by the development of this work. Its main objective is to design and implement a data acquisition of 2 parameters (temperature and humidity) and the predictive model using artificial neural networks to understand the behavior of the internal temperature of the classroom with a 1 ° C maximum difference predicted at 10, 20 and 30 minutes and prove that such a system can take appropriate action to maintain the convenience of users. With this aim and the hypothesis that compliance is verified by the acquisition of surface temperature of the roof by means of a wireless sensor network in combination with an ANN is to predict the thermal behavior inside a building. To make and complete this scenario and target were conducted data acquisition systems, where is the wireless communication system ZigBee. This technology helps the communication of nodes or elements with the central computer terminals, where the sampled data are processed from 8 sensors. Of which 2 were placed in each classroom, one inside and one outside. Sample data are inputs in the neural network to predict the temperature at 10, 20 and 30 minutes of each classroom. In addition to that was done an analysis of variance in the data path of each type of classroom and an analysis of descriptive statistics. This study helps to conclude that the green roof during autumn and winter has a behavior similar to a roof with roofing felt painted red.

Keywords (temperature, wireless sensor network, artificial neural network, prediction)

Este trabajo lo dedico en especial a:

A mi papá **Dr. Enrique Curiel Reyna**, por el apoyo incondicional, confianza y enseñanzas sobre los beneficios y sacrificios que es obtener un posgrado.

A mi mamá **Q.F.B Irma Razo Marañón**, por creer en mí, el apoyo incondicional y por levantarme el ánimo cuando más lo necesitaba.

A mi hermana **Arq. Brenda Curiel Razo**, por el apoyo que siempre ha sido en todo momento y por aguantar horas de pláticas de éste trabajo.

A **Leonardo** porque cada vez que llegaba a la casa me recibía con los brazos abiertos aunque no lo viera por meses.

Agradecimientos

Al Dr. Manuel Toledano Ayala, por el apoyo durante todo el desarrollo de mi maestría y los conocimientos otorgados por su parte.

Al Dr. Gilberto Herrera Ruíz por demostrarme que sí creo que ya termine algo, no es cierto, siempre hay algo más que hacer o mejorar.

Al Dr. Edgar Rivas Araiza por su apoyo y tiempo dedicados para sacar adelante este trabajo.

Al Dr. Genaro Soto Zarazúa y al M. en C. Omar Chávez Alegría por todos los comentarios y apoyo para la culminación de la maestría.

Al M en C. José Luis Avendaño Juárez por su amistad y soportar momentos de estrés.

Al Ing. Juan Guillermo García Guajardo, por los consejos que me daba y la ayuda otorgada.

A la M. en C. Carolina Merodio Anguiano, por pasar muchos momentos emocionantes fuera y dentro de la universidad.

Al Ing. Abraham Candelaria Cruz, por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo.

Agradecimientos especiales a:

Salvador Ortiz Santos por ser alguien a quien considero un gran amigo y una persona de admirarse.

Ramón García Cortes por la gran ayuda que me brindo en el desarrollo de este trabajo y por la amistad que hemos desarrollado.

Eduardo Cabrera Martínez, que estuvo apoyándome y soportándome en los últimos días de este trabajo y sobre todo por la amistad y cariño que me ha dado.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Rey David Bazán Trujillo, por soportar infinidad de horas en la universidad, por los conocimientos que me compartió y por todos los momentos buenos y malos que pasamos en estos 2 años.

A todos los administrativos de la facultad de ingeniería, en especial a Lupita, Susi, Yola y Mari Paz

A todos mis profesores de la maestría.

Y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico.

Sobre todo a Dios por darme la oportunidad de hacer la maestría y darme las fuerzas para continuar siempre hacia adelante en la vida.

Índice

Tema	Página
Resumen	I
Summary	II
Dedicatorias	III
Agradecimientos	IV
Índice	V
Índice de Figuras y Gráficos	VIII
Índice de Tablas	XI
1.Introducción	1
1.1 Justificación	4
1.2 Descripción del problema	6
1.3 Planteamiento teórico	8
1.3.1 Hipótesis	8
1.3.2 Objetivos	8
1.3.2.1 General	8
1.3.2.2 Particulares	8
1.4 Resumen de Capítulos	9
2. Antecedentes	11
2.1 Estado del Arte a nivel Internacional	12
2.2 Estado del Arte a nivel Nacional	16
2.3 Medios y métodos para medir temperatura	19
2.3.1 Redes Inalámbricas de Sensores	19
2.3.1.1 Adquisición de datos en redes inalámbricas	21
2.3.2 Alimentación de la red inalámbrica	22
2.4 Tecnología de comunicación inalámbrica	23
2.5 Interfaz de usuario	25
2.6 Predicción con redes neuronales artificiales	26

3. Metodología	29
3.1 Bloques	30
3.1.1 Bloque 1	30
3.1.2 Bloques 2 y 3	31
3.1.2.1 Selección y pruebas con los sensores	31
3.1.2.2 Creación de una red de sensores	31
3.1.3 Bloque 4	32
3.2 Sensores y datos de pruebas	32
3.2.1 Red de Sensores	35
3.2.1.1 Pruebas con la red inalámbrica de sensores	36
3.3 Procesamiento de datos	38
3.4 Techos de posgrado	38
3.4.1 Explicación del experimento en los techos con cubierta diferente	40
3.5 Modelo predictivo	42
3.5.1 Red Neuronal Artificial	42
3.5.2 Red de retro propagación	43
3.5.2.1 Pasos para el cálculo de una red neuronal de retro propagación	45
3.5.3 Recomendaciones para el entrenamiento de una red neuronal artificial	47
3.5.3.1 Entrenamiento convencional y en línea	48
3.5.3.2 Entrenamiento combinado	49
4. Resultados y Conclusiones	50
4.1 Resultados de pruebas en diferentes edificios de la facultad de Ingeniería	50
4.1.1 Pruebas en el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica	50
4.1.2 Pruebas en el Laboratorio de Mecatrónica	51
4.1.3 Pruebas en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería	56
4.2 Techos de Posgrado	58
4.2.1 Techo con bitumen asfáltico con color rojo	59
4.2.2 Techo verde	60

4.3 Techos de posgrado: Comparación entre bitumen asfáltico rojo y el techo verde	62
4.4 Análisis estadístico	65
4.5 Resultados de la predicción	75
4.5.1 Techo Rojo	76
4.5.2 Techo Blanco	78
4.5.3 Techo Verde	80
4.5.4 Techo Negro	82
4.6 Análisis de la varianza de una vía (one way ANOVA)	84
4.6.1 Prueba t de Student	84
4.6.1.1 Asunciones de la prueba t de Student	85
4.7 Prueba Tukey	85
4.8 Conclusiones	87
Referencias	89
A. Artículo a revista indexada	92
B. Programa en PIC-C Compiler para las UTR's	113
C. Programa en MATLAB para el control de flujo de datos de la WSN	120

Índice de Figuras y Gráficos

Figura	Página
1.1 Coeficientes térmicos de algunos materiales de construcción	2
1.2 Ejemplo de casa con techo verde y casa con pintura de bajo coeficiente térmico	3
2.1 Esquema del techo con estanque cubierto	14
2.2 Valores de la temperatura superficial máxima	15
2.3 Cabinas prototipo del estudio realizado en Mexicali, México	17
2.4 Ciclo de 3 pasos para una red de sensores inalámbrica	20
2.5 Dispositivo de 2 cm de lado que ahorra energía de la pila	23
2.6 Ubicación de sensores en la vivienda	25
3.1 Diagrama a bloques de la relación de las partes del proyecto	29
3.2 Primeras pruebas y resultados con el LM35 en el CEDIT	33
3.3 Esquemático del circuito de adquisición de datos: temperatura y humedad relativa	34
3.4 Datos de prueba obtenidos por el SHT11	35
3.5 Red de sensores inalámbrica y sus elementos	36
3.6 Componentes de la red inalámbrica	37
3.7 Sistema adquiriendo datos en el interior y exterior del auditorio	37
3.8 Áreas y dimensiones usadas en el estudio	39
3.9 Esquemático del sistema colocado en los techos de posgrado	41
3.10 Diagrama de la conexión del sistema de muestreo de la temperatura y humedad relativa exterior	41
3.11 Capas que componen una red neuronal con capa oculta	43
3.12 Red de retro propagación con los elementos que conforman para obtener los resultados del proceso	45

4.1 Temperatura de 90 muestras en el CEDIT, planta baja	50
4.2 Lecturas normales vs lecturas filtradas	51
4.3 Lecturas del 24 al 25 de marzo al interior del laboratorio	52
4.4 Comparación de temperatura	53
4.5 Comparación de temperatura y humedad relativa externa	54
4.6 Comportamiento de la radiación solar y la temperatura	55
4.7 Comportamiento de la velocidad del viento y la temperatura	56
4.8 Datos recabados dentro del auditorio	57
4.9 Datos recabados en el techo del auditorio	58
4.10 Temperatura y humedad relativa tomadas sobre el bitumen asfáltico	59
4.11 Temperatura y humedad relativa interna del salón 21	60
4.12 Temperatura y humedad relativa tomadas por el sensor sobre el pasto	61
4.13 Temperatura y humedad relativa internas de SAJUPO	62
4.14 Datos de la temperatura en el salón 21	63
4.15 Datos de la humedad relativa en el salón 21	64
4.16 Comportamiento inverso de temperatura y humedad relativa en techo rojo	65
4.17 Tendencia de las muestras a una temperatura en techo rojo	66
4.18 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en techo rojo	66
4.19 Comportamiento inverso de temperatura y humedad relativa en techo con bitumen blanco	67
4.20 Tendencia de las muestras a una temperatura en techo blanco	68
4.21 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en techo blanco	68
4.22 Comportamiento inverso de temperatura y humedad relativa en el interior del techo verde	69
4.23 Tendencia de las muestras a una temperatura en el interior del techo verde	70
4.24 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en el interior del techo verde	70

4.25 Comportamiento inverso de temperatura y humedad relativa en el exterior del techo verde	71
4.26 Tendencia de las muestras a una temperatura en el exterior del techo verde	72
4.27 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en el exterior del techo verde	72
4.28 Comportamiento inverso de temperatura y humedad relativa en el techo negro	73
4.29 Tendencia de las muestras a una temperatura en el techo negro	74
4.30 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en el techo negro	74
4.31 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 min	76
4.32 Comparación a los 20 minutos	76
4.33 Comparación a los 30 minutos	77
4.34 MAE Error medio absoluto	77
4.35 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 min	78
4.36 Comparación a los 20 minutos	78
4.37 Comparación a los 30 minutos	79
4.38 MAE Error medio absoluto	79
4.39 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 min	80
4.40 Comparación a los 20 minutos	80
4.41 Comparación a los 30 minutos	81
4.42 MAE Error medio absoluto	81
4.43 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 min	82
4.44 Comparación a los 20 minutos	82
4.45 Comparación a los 30 minutos	83
4.46 MAE Error medio absoluto	83

Índice de Tablas

Tabla	Página
2.1 Resultados calculados del estudio en casas de la región de Querétaro	19
2.2 Datos técnicos del estándar IEEE 802.15.4/ZigBee	24
4.1 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero del techo rojo	65
4.2 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero del techo blanco	67
4.3 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero en el interior del techo verde	69
4.4 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero en el exterior del techo verde	71
4.5 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero del techo negro	73
4.6 Características de las pruebas realizadas para la predicción de temperatura	75
4.7 Resultados de ANOVA usando prueba Tukey para observar la variación de la humedad relativa externa de cada techo.	86
4.8 Resultados para observar la variación de la humedad relativa interna de cada techo.	86
4.9 Resultados de ANOVA usando prueba Tukey para observar la variación de la temperatura externa de cada techo.	86
4.10 Resultados para observar la variación de la temperatura interna de cada techo.	87

Capítulo 1

I. Introducción

A nivel nacional e internacional, aproximadamente a lo largo de 4 décadas se han realizado investigaciones sobre el comportamiento térmico de las viviendas, oficinas y edificios públicos, porque se ha observado y demostrado que las altas temperaturas en conjunto con otros parámetros ambientales, fuera de ciertos rangos, dependiendo el parámetro en observación; se provoca una incomodidad a los habitantes o usuarios. Esto conlleva a una serie de enfermedades o malestares que con el paso del tiempo se traducen en la disminución de la actividad laboral y mala calidad de vida (Berenguer, 2003).

Conociendo que mediante el estudio del comportamiento bioclimático de una construcción, el cual permite definir las condiciones de humedad y temperatura óptimas para el confort de sus ocupantes, estas variables se pueden modificar por varios métodos por ejemplo la orientación óptima de las ventanas en dirección opuesta al sol, el uso de pinturas con bajos índices de absorción de calor o radiación solar, impermeabilizantes que reflejen las radiaciones solares y también mediante el uso inteligente y el acomodo alternativo de los materiales que forman no solo el techo sino las paredes, puertas, etc. (Silva y Domínguez, 2000).

Si aunamos a los estudios bioclimáticos la búsqueda de ahorro de energía, en los cuales se ha demostrado que se puede regular la temperatura del interior de una vivienda o lugar de trabajo, sin la necesidad de artefactos de alto consumo energético, como son los aires acondicionados y calefacciones, lográndose en cambios en los materiales de la construcción con nuevas tecnologías, para aplicarlas a los nuevos inmuebles, pero en el caso de edificaciones ya establecidas de muchos años, se pueden hacer arreglos en los cuales no se dañe la estructura del edificio (NOM-018-ENER-1997). En éste caso se enfoca a aislantes e impermeabilizantes que ayudan a mantener una comodidad idónea en el interior de las propiedades. Éstos materiales se usan desde hace siglos, su uso principal era para evitar la filtración del agua en los materiales de paredes y techo. En la actualidad también se usan para aislar de la

temperatura y del ruido, algunos materiales también se usa para reflejar la radiación UV, evitar contaminación por CO₂. Estos beneficios se consiguen sin dañar la integridad de los usuarios evitar la corrosión prematura del techo, por diversos factores que afectan directamente a todo el inmueble (Norbäck y Nordström, 2008).

Lo que se ha encontrado en los aislantes, es el uso de pinturas plastificadas que sean de colores claros, para la mejor reflexión de la radiación solar y también éstas pinturas cumplan con la función de impermeabilizantes (González E. y Almaso N, 2000).

En cuanto a las nuevas tecnologías que se utilizan en la industria de la construcción, se están utilizando nuevos materiales que tenga un bajo coeficiente térmico, siendo la capacidad del material de conducir el calor, al ser el coeficiente térmico alto (no se transmite el calor a mayor velocidad de un extremo a otro) el material puede incrementar su costo, por lo que también tienen que ser económicos para no aumentar el costo al cliente final, en el caso de casas.

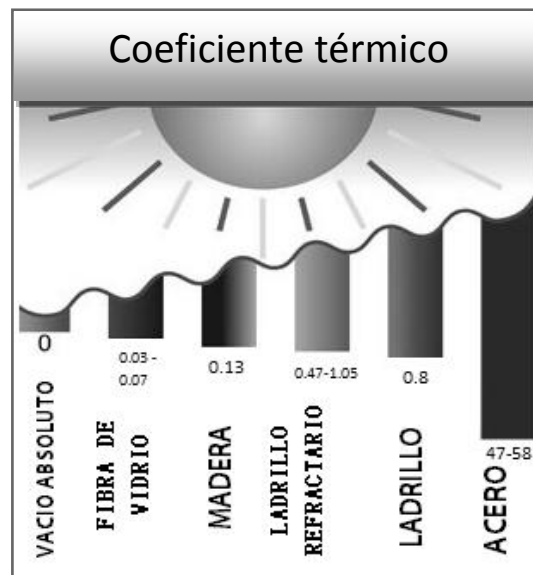


Fig. 1.1. Coeficientes térmicos de algunos materiales de construcción.

Como es bien sabido se tiene la tendencia de mejorar el ambiente interno y el externo, por lo que se han estado desarrollando nuevas tecnologías que permiten que todos los aspectos que se involucran en una construcción sean

favorecidos: edificio, residentes, medio ambiente. Un ejemplo es el uso de techos verdes o pinturas de bajo coeficiente térmico, como son pinturas de colores claros como el blanco o amarillo claro.



Fig. 1.2. Ejemplo de casa con techo verde y casa con pintura de bajo coeficiente térmico.

En específico no existe un estudio plenamente hecho para la ciudad de Querétaro el cual ayude a conocer cuál es la cubierta idónea para las edificaciones de la ciudad, por lo que en éste trabajo de investigación se desarrolla un sistema electrónico el cual ayuda a recopilar datos con los cuales se ayuda a tomar una correcta decisión en cuanto a cuál es el mejor método para el clima de la ciudad.

Se realizó un sistema que monitoreaba las temperaturas de aulas de estudio en la Facultad de Ingeniería, los sistemas contaban con los sensores de temperatura y humedad relativa tipo MEMS (por sus siglas en inglés de Micro-Electro-Mechanical Systems) ubicados en la parte interior de los salones de clase y en el exterior, los dispositivos estaban conectados a un circuito de comunicación inalámbrica, el cual se comunicaba con otro dispositivo que realizaba la comunicación inalámbrica por medio de tecnología ZigBee. Se utilizó este tipo de tecnología porque se ha demostrado en diversos artículos que es un estándar para redes inalámbricas de bajo consumo y de bajo costo para aplicaciones domóticas e industriales (Callaway et al, 2002). Dichos nodos estaban conectados a una central o maestro, el cual se ocupaba de la recopilación de los datos de cada elemento terminal; los datos se mandaban a una computadora personal como servidor.

En éste trabajo se presentará el desarrollo detallado del estudio donde se mostrará la importancia de conocer el comportamiento térmico de las aulas de estudio debido al fenómeno físico provocado por diversos factores como: humedad relativa, temperatura, color del aislante térmico, tipo de aislante térmico o impermeabilizante, por nombrar algunos elementos que se estudiaron en este trabajo de investigación. Éste trabajo se desarrolló para predecir la temperatura y poder tomarse una respuesta preventiva al momento de saber si se aumenta o disminuye la temperatura en el interior de inmueble, y con ésta respuesta mantener el confort de los usuarios o habitantes.

1.1 Justificación

En el mundo, la implementación de redes inalámbricas personales para la industria o uso casero, es cada vez mayor. En el ámbito tecnológico, el bajo consumo de potencia es muy necesario, ya que el reemplazo frecuente de la batería es poco rentable. ZigBee es actualmente la tecnología que se utiliza en la comunicación de datos vía wireless (sin cables) en lo que es la automatización de industrias, oficinas y casa, por lo que ha despertado un gran interés en su estudio y aplicación para nuevas y mejores soluciones, ya que permite el despliegue de redes inalámbricas basadas en soluciones de muy bajo consumo, proporcionando la capacidad de ejecutar aplicaciones típicas durante largos periodos de tiempo, como pueden ser años, confiando que nunca existirá la pérdida de datos en estudio y obtener resultados confiables y en poco tiempo de adquisición.

En cuanto al lugar de estudio que son los salones de clases en los edificios de la facultad de ingeniería, sabemos que los edificios cambian el flujo de la energía y de la material a través de ecosistemas urbanos, provocando problemas ambientales. Estos problemas se pueden mitigar parcialmente al alterar la superficie de los edificios. Los techos representan más del 32% de la superficie horizontal de las áreas construidas y son factores determinantes en la relación del flujo de energía y de agua.

El comportamiento térmico de las viviendas es uno de los parámetros que se debe de conocer debido a que éste influye en la salud y el desempeño de sus habitantes. En latitudes próximas al Trópico de Cáncer, como en el caso de México, el techo, es el componente constructivo de una edificación que más radiación solar recibe. De allí, la importancia que reviste su diseño, a los fines de minimizar el impacto térmico del mismo sobre el espacio interior. Limitar el flujo de calor a través del techo y mantener su temperatura superficial interior cercana a la del aire es una prioridad para el confort térmico interior de los individuos, (González y Almaso, 2000).

Como se sabe hay infinidad de tipos de techos que podemos utilizar o construir para resguardarlas construcciones, pero antes de hacerlo debemos analizar cuidadosamente las condiciones climáticas para saber qué tipos de materiales emplear. Dentro de los techos o tecnologías que se están empleando últimamente son los techos verdes o materiales que son ayudantes a la disminución de contaminación, evitan la elevación de temperatura y no desprenden contaminantes. Los beneficios son primeramente para el planeta, como es la reducción de la isla de calor en las zonas urbanas, uso del agua de lluvia en lugar de desperdiciarla, etc. y en segunda instancia para el hombre como es el tener un clima menos contaminado y la reducción de enfermedades causadas por la incomodidad de los edificios. Si bien es cierto que a la larga, el techo verde o un aislante térmico adecuado, beneficiará al propietario alargando la vida del edificio donde estará instalado, también es verdad que el mayor cambio se dará en el medio ambiente inmediato alrededor del edificio.

La naturación de azoteas o la aplicación de materiales aislantes o impermeabilizantes en techos y fachadas es una importante alternativa para el desarrollo urbano sustentable que proporciona beneficios de salud, recreativos, estéticos, ambientales, sociales y económicos.

El uso de los techos verdes es costoso por lo que se sabe que no todos tienen la posibilidad de poner un techo verde por eso se realizan estudios para conocer o crear nuevos materiales que ayuden a la economía y ecología de

usuarios de edificaciones, mediante el uso aislantes e impermeabilizantes adecuados a cada clima.

En el caso de la construcción de viviendas, existen muchas empresas urbanizadoras en el país, pero únicamente 7 son las que están encargadas de la urbanización de zonas de mayor extensión, estas son:

- Homex
- GEO
- URBI
- ARA
- Hogares Unidos
- SADASI

Estas empresas son las que implementan las normas Mexicanas en cuanto a los avances que existen en la construcción y las nuevas tecnologías ecológicas.

Dentro de las nuevas normas de construcción y proyectos, Querétaro está dentro de un programa piloto para la implementación de nuevos materiales de construcción y de nuevas tecnologías, por lo que la Universidad Autónoma de Querétaro queriendo colaborar para beneficio de la sociedad planteo el desarrollo de esta investigación y obtener los resultados acertados que cooperen con otros proyectos con objetivos parecidos, el bienestar del hombre.

1.2 Descripción del Problema

Se pensó en un proyecto el cual fuera ecológico y de impacto social nacional, que también presentará retos para diversas ramas de la ciencia y que los resultados pudieran demostrarse en un corto periodo de tiempo. En una sola palabra se quería realizar un proyecto sustentable.

Se planteó el estudio del comportamiento climático interno de inmuebles, en este trabajo se tomó en cuenta principalmente el mecanismo de calentamiento de los edificios mediante muros expuestos a una fuente de calor. La elevación de

temperatura varía en función de la absorbencia calorífica de la superficie expuesta, por lo que es importante cuantificar esta variación. Es posible obtener experimentalmente los parámetros que intervienen en la transferencia de calor, como resultado de mediciones de la temperatura superficial del muro expuesto a radiación solar para distintos valores de absorbencia solar de la referida superficie (Volantino y Etchechoury, 2002).

La idea de colocar un techo verde, cambiar el material o simplemente el color del material con que se aísla el agua y la temperatura en los edificios, brindará confort a los alumnos y a los profesores, donde posiblemente se incremente el desempeño de éstos en las horas de clase.

El área de Instrumentación y Control Automático, se encargará del desarrollo de los sistemas de monitoreo y sensado de la temperatura y humedad relativa. Estos parámetros se han medido en muchas ciudades y en el mundo entero en donde se han colocado techos verdes y diversos materiales que ayuden a la ecología y confort de los usuarios, pero dentro de los resultados, se debe de considerar la ubicación geográfica de cada ciudad, su clima y la estación del año. Por lo que en México y en específico en la ciudad de Querétaro, no existen registros del cambio de temperaturas internas en comparación de las externas y obtener como resultados el conocimiento de materiales aislantes para la región y obtener una solución a los cambios térmicos.

Los resultados acertados se obtendrán de la implementación de una red de circuitos o sistemas independientes en los cuales se ubicarán diversos sensores que medirán la temperatura interna y externa. Se procesarán los datos obtenidos por los sensores, posteriormente, se enviarán los resultados de los sensores, por medio inalámbrico con otro microcontrolador maestro. Los resultados serán manipulados para hacer el estudio pertinente, con el cual se demostrará el beneficio del techo verde o del techo con color diferente al usado comúnmente en la región.

1.3 Planteamiento Teórico

1.3.1 Hipótesis

La adquisición de temperatura de la superficie del techo por medio de una red inalámbrica de sensores en combinación con una RNA permite predecir el comportamiento térmico dentro de un inmueble con un error máximo de 1°C.

1.3.2 Objetivos

1.3.2.1 General

Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos de 2 parámetros ambientales y el modelo predictivo mediante redes neuronales artificiales para conocer el comportamiento de la temperatura interna de las aulas con un 1°C máximo de diferencia pronosticado a los 10, 20 y 30 minutos y demostrar que con dicho sistema se podrá tomar una acción adecuada para mantener la comodidad de los usuarios.

1.3.2.2 Particulares

- Definición de las aulas para investigar y conocer la cantidad de sensores para uso en la investigación.
- Selección de los sensores para obtener mejores resultados y obtener los resultados esperados.
- Desarrollo de sistemas separados para cada sensor y la colocación adecuada de los recintos.
- La comunicación inalámbrica mediante la tecnología ZigBee para facilitar el guardado de los datos.
- Comparar los resultados obtenidos con otros resultados adquiridos y comparar esos datos a otros resultados de una estación meteorológica y validar nuestros resultados.
- Realizar modelo predictivo basado en los resultados de deseados utilizando las mismas variables de la investigación para conocer el

comportamiento de los parámetros ambientales en otras aulas o edificios con las mismas características físicas.

1.4 Resumen Capítulos.

Capítulo 1.

En el capítulo se podrá encontrar la explicación del por qué se realizó el trabajo de investigación, como los objetivos que se persiguieron para llegar al finiquito del trabajo. Se encuentra la hipótesis, la cual se cumplió y se demostró como solución al problema planteado.

Capítulo 2.

Se puede encontrar el estado del arte de las diversas partes que conformaron el estudio, como son:

- Estudios de temperatura interna y externa de construcciones.
- Redes de sensores inalámbricas
- Tecnologías inalámbricas.
- Redes neuronales artificiales.

De modo que se pueda apreciar que estudios previos ayudaron al desarrollo de ésta tesis para demostrar que se mejoraron los resultados de otros investigadores en el ámbito tecnológico y de impacto a la sociedad.

Capítulo 3.

Este capítulo describe la metodología utilizada para el desarrollo del modelo predictivo con RNA, selección e implementación de los sensores y validación de modelo con los datos obtenidos por los sensores, como implementación y desarrollo de la red inalámbrica y desarrollo de la interfaz visualizar los datos.

Capítulo 4.

Por último se muestra el análisis de los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones del trabajo, las cuales fueron las esperadas en cuanto a los mejores recubrimientos o aislantes para los edificios.

Capítulo 2

II. Antecedentes

A nivel nacional e internacional el comportamiento térmico de interiores y la comodidad humana ha sido extensamente estudiado con respecto a la búsqueda de condiciones térmicas ideales [Chungyoon y Akihiro, 2005]. Empezando por la temperatura exterior, que se ve elevada en las zonas urbanas por el efecto de la isla de calor [Hideki y Masakazu, 2007]. Éste fenómeno se caracteriza por el incremento de 4 a 8 °C de temperatura en las ciudades [Voogt, 2009]. EL aumento térmico provoca que en lugares con poca ventilación se presenten factores que influyen en el bajo desempeño de los ocupantes [Norbäck y Nordström, 2008].

Al observar las afecciones que puede causar la incomodidad térmica en los humanos se realizan estudios del comportamiento bioclimático. Estos estudios permiten definir las condiciones de humedad y temperatura óptimas para el confort de sus ocupantes [Orosa, 2009].

Los problemas (estrés, bajo desempeño laboral o de actividad física, deshidratación, incomodidad, etc.) que se presentan por el incremento de la temperatura, ya sea en el interior o exterior de edificaciones, se pueden mitigar parcialmente al alterar la superficie de los edificios, por ejemplo los techos representan más del 32% de la superficie horizontal de las áreas construidas y son factores determinantes en la relación del flujo de energía y de agua [Okeil, 2004]. Modificar la superficie, se refiere al colocar envolventes aislantes, tanto de agua y temperatura. Estos materiales pueden ser, materiales de construcción, impermeabilizantes de colores que no absorban el calor de la radiación o la colocación de otro material sobre el techo como vegetación, tierra o agua, por mencionar algunos.

En éste capítulo se muestran algunas soluciones de estudios que se han realizado a nivel internacional y nacional, para mitigar los efectos nocivos del

calentamiento interno o incomodidad de los ocupantes de los lugares de convivencia social.

2.1 Estado del Arte a nivel Internacional

Existen proyectos desarrollados para encontrar soluciones de las causas y efectos del calentamiento de edificios, viviendas, salones de clases, etc. Por ejemplo en Hong Kong, China, se realizó un experimento en donde se observaba el comportamiento de la conservación de la energía de un edificio, por el flujo de aire que existe en una ventana de 2 cristales que sufren acristalamiento en invierno por las bajas temperaturas exteriores, esto provoca la disminución del confort térmico dentro de la habitación, para la validación de sus resultados utilizaron un modelo matemático dinámico, (Chow et al, 2009).

En el estudio antes mencionado se centraron en las condiciones principalmente de los cristales, pero en otro estudio realizado en Turquía (Kaska et al, 2009), demostraron por el cálculo del lapso de tiempo, factor de decremento y el total de la diferencia de temperatura equivalente, en paredes multicapa y techo plano, demostraron que no sólo la cantidad de radiación afecta la temperatura interna de una habitación sino que también el material de construcción afecta la temperatura del lugar.

Siguiendo con estudios del comportamiento de la temperatura fuera o dentro de una construcción, se encontró una investigación realizada en Venezuela (González y Almao, 2000) en el estudio trataron de encontrar por medio de un experimento con 4 materiales de construcción diferentes utilizados en la región de estudio, cuál es el más conveniente para el bienestar humano. Tres de los materiales fueron construidos a base de agregados livianos y uno con material de alfarería. Los resultados del estudio fueron analizados en términos de las temperaturas características del local (tcl), potencial de enfriamiento medio (pem) y del índice de rendimiento de enfriamiento (ire) de cada caso. El potencial de enfriamiento medio (pem) de un sistema es definido como la cantidad de energía retirada por el sistema por unidad de tiempo y de área, obtenido como valor medio

durante un período de 24h. El pem se calcula como una función del coeficiente global de transferencia de calor del módulo de referencia $UA_{(p)}$, de las diferencias entre las temperaturas promedios diarios del aire interior de los módulos de referencia (mr) y experimental (me), y de la superficie de enfriamiento del sistema (superficie del techo).

$$PEM = \frac{UA_{(p)}(\bar{T}_{iMR} - \bar{T}_{iME})}{A_t} \quad (W/m^2) \quad (2.1)$$

Dónde:

A_t = Superficie interior del techo (9 m²)

$UA_{(p)}$ = 73.6 W/K, valor determinado experimentalmente.

La eficiencia de los techos estudiados es caracterizada también a partir del IRE. Este índice relaciona las temperaturas medias del MR y del ME con una temperatura de consigna (T_r), y puede expresarse como:

$$IRE = \frac{(\bar{T}_{iMR} - \bar{T}_{iME})}{(\bar{T}_{iMR} - T_r)} \quad (2.2)$$

Dónde:

$T_r = 28^\circ\text{C}$, por ser éste un valor próximo la temperatura media del ambiente que puede considerarse como un objetivo a alcanzar en ambientes no climatizados.

En los estudios antes mencionados, se puede constatar que los materiales (cristal y materiales con agregados livianos y uno de alfarería) que rodean o forman un lugar de estudio, influyen en el cambio térmico interno percibido por los ocupantes, en algunas ocasiones estos materiales se pueden modificar superficialmente para que los efectos aislantes del material se incrementen y tengan un impacto favorable a los ocupantes.

En los siguientes estudios relacionados con el cambio térmico de construcciones, se hará énfasis del uso de diversas sustancias para disminuir el

efecto térmico, por ejemplo en la ciudad de Bagdad, realizaron la prueba de poner un techo de cemento de 15 cm de espesor como contenedor de un estanque cubierto, como se muestra en la figura 2.1. Estas pruebas se realizaron en verano, en esa época las temperaturas registradas son elevadas 50°C a la sombra, por lo que se necesita tener climas confortables en el interior de la viviendas. Con el estanque se observó que había una diferencia hasta de 6.5° entre el exterior y el interior (Kharrufa, Adil, 2008).

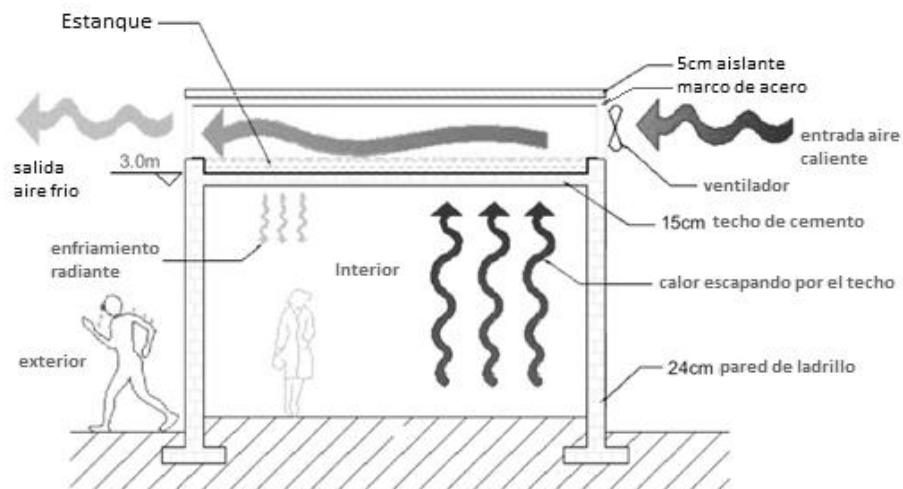


Fig. 2.1 Esquema del techo con un estanque cubierto.

Como se puede observar en la figura el aire caliente es enfriado al paso del agua provocando la disminución de la temperatura, dando como resultado un clima placentero para los ocupantes.

Otro de los materiales que se ha utilizado ya en techos construidos, es el aislante térmico o impermeabilizantes con colores reflejantes como el estudio para conocer qué tipo de color es el ideal para ser utilizado en el techo o paredes donde reciben mayor radiación (Volantino y Etchechoury, 2002). En este estudio se pintaron 10 áreas del mismo tamaño en un muro emplazado, cubiertas de una capa de aislante térmico de diversos colores, posterior a esto se midió la temperatura superficial y la absorbencia solar de cada color, algunos resultados obtenidos se muestran en la figura 2.2.

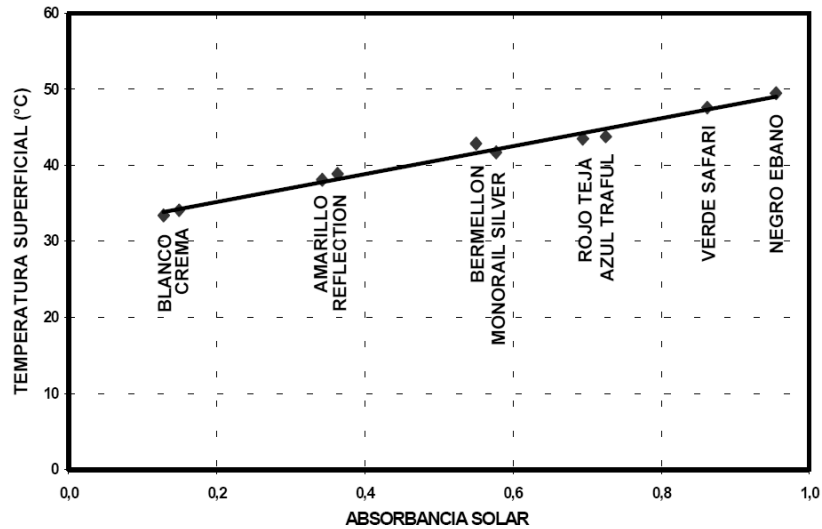


Fig. 2.2. Valores de la temperatura superficial máxima

Con éstos resultados llegaron a la conclusión que los colores de las envolventes más favorables para evitar la incomodidad interna por la temperatura en las edificaciones, debe de tener una absorción solar menor que 0.8, como se puede observar en la figura 2.2 el color blanco es la mejor opción.

La opción ecológica, en lugar de impermeabilizantes y aislantes, se está implementando a nivel mundial, el uso de techos verdes (green roofs) el cual ayuda al medio ambiente y al ambiente interno del edificio o vivienda. Para la validación de los beneficios de un techo con plantas en su superficie, en Estonia (Teemusk y Mander, 2009) compararon un techo con aislante bituminoso en un lapso de tiempo donde se consideren las 4 estaciones. Los datos se recopilaron por un sistema registrador de datos, estos datos se analizaron usando el método estadístico no paramétrico, como el de orden de correlación de Spearman Rank, para la diferencia distribuida de temperaturas estadística paramétrica, se usó el promedio y la desviación estándar de valores y la correlación Pearson. Ya con los resultados analizados y manipulados llegaron a la conclusión que el techo verde protege de la radiación solar, porque el calor producido es asilado por las plantas y las subcapas bajo la capa vegetal, y en las épocas de calor el techo verde disminuye considerablemente la temperatura interna de la habitación y que si no se tienen las plantas verdes de todos modos el sustrato ayuda a mantener la

temperatura hasta con un 80% de vegetación en el techo cumple con el cometido de mantener el confort térmico, (Teemusk y Mander, 2009).

Para conocer las temperaturas se han usado diversos métodos y diferentes sensores, por ejemplo conociendo que el material es uno de los principales factores que afectan el incremento de la temperatura interna se realizó en Argentina la prueba *in situ* de una casa con paredes de hormigón celular curado en autoclave utilizando el Método del Promedio en el cual se mide la temperatura superficial del muro en ambas caras, la temperatura ambiente interna y externa, y la densidad de flujo de energía que atraviesa el muro. Una vez recogidos los datos mencionados, se aplicó, la siguiente ecuación para calcular la transmitancia (Bilbao et al, 2008):

$$K = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{i_j} - T_{e_j})} \quad (2.3)$$

Dónde:

K: factor de transmitancia térmica.

Ti: temperatura ambiente interior.

q: densidad de flujo de energía.

Te: temperatura ambiente exterior.

Las mediciones ponen de manifiesto un buen comportamiento térmico de la envolvente, no obstante se ve la necesidad de incorporar un sistema adicional para mantener la temperatura interna dentro de los parámetros de confort en períodos extremos de temperatura.

2.2 Estado del Arte a nivel Nacional

En México se han realizado investigaciones para conocer el comportamiento térmico en las viviendas en las diferentes regiones del país.

Uno de los estudios más recientes realizado en Mexicali, Baja California, se centró en conocer el comportamiento de una cubierta para casas en clima desértico, (Galindo et al, 2008). El efecto de la variación de temperatura exterior horaria se determinó mediante la metodología de horas-grado centígrado durante el periodo experimental, también se determinaron: el consumo eléctrico y los potenciales ahorros de energía para diferentes tamaños y capacidad de enfriamiento en las viviendas.

Se diseñaron y construyeron 2 cabinas figura 2.3, una de las cajas tenía colocada un cubierta y la otra sin está, como se muestra en la figura.



Fig.2.3 Cabinas prototipo del estudio realizado en Mexicali, México

La cubierta que se utilizó fue de triplay a 8.75 cm del techo a proteger, dejando libres los costados para ceder el paso al aire entre el cubretecho y el techo, con esto conseguir una reducción de temperatura que fue detectada en el interior de la cabina. Con los resultados que obtuvieron, los investigadores concluyeron que es un proyecto viable, por las justificaciones que se muestran en lo ecológico, económico y legal que se requieren en Mexicali una de las ciudades más extremosas de nuestro país, con la información recabada de éste artículo, se tuvo la decisión de hacer el estudio para la ciudad de Querétaro de Arteaga en específico, ya que cada región tiene un clima particular.

Se buscó un trabajo o antecedente de estudios del comportamiento térmico en casas o en aulas de clases en la ciudad de Querétaro, encontrándose un trabajo realizado en la facultad de Ingeniería y publicado en el primer verano de introducción a la investigación de la Universidad Autónoma de Querétaro del 2007. En este trabajo se analizó el comportamiento térmico con base a 3 casas tipo con diferentes materiales, típicos de las zonas urbanas de Querétaro y, a través de diversas fórmulas térmicas se determinaron los valores de propiedades térmicas como: la resistencia térmica, transmitancia térmica, el desfase en el paso de onda térmica etc. (Silva y Domínguez, 2007)

Los investigadores del estudio realizado en casas típicas de la región de Querétaro (Silva y Domínguez, 2007), concibieron que para disminuir la temperatura interior, plantearon una 4 vivienda, cuyo techo tuviera una inclinación tal que disminuyera el aporte de energía, aminorando el flujo energético al interior de la vivienda. En el estudio demuestran que la energía se reduce aproximadamente igual al doble de la radiación recibida por la pared norte en el momento en el que el ángulo solar horario vale 0° .

En la investigación tomaron en cuenta las propiedades térmicas de las casas tipo, usando fórmulas que calculan la resistencia térmica y la transmitancia térmica del material propuestas por Hornbostel publicadas en el 2004. Además, se calculó la cantidad de energía solar máxima (tomando en cuenta un modelo que determina la irradiación diaria máxima de Hottel (Duffie y Beckham, 1974) modelo que calcula la radiación solar para un día despejado en una determinada latitud y altitud.

Teniendo los valores obtenidos con los cálculos antes mencionados procedieron al cálculo de la cantidad de energía que pasa al interior de la casa por medio de las formulas publicadas por Volantino en el 2002, obteniendo los resultados de la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultados calculados del estudio en casas de la región de Querétaro.

Tabla 2 CASA TIPO 1 (ladrillo rojo y mortero de cemento)		
Energía que recibe la superficie en W/m^2		Energía que pasa W/m^2
Total	16201.57	9394.93
Tabla 3 CASA TIPO 2 (ladrillo hueco y mortero de cemento)		
Energía que recibe la superficie en W/m^2		Energía que pasa W/m^2
Total	16201.57	8074.88
Tabla 4 CASA TIPO 3 (tabicón y mortero de cemento)		
Energía que recibe la superficie en W/m^2		Energía que pasa W/m^2
Total	16201.57	8599.22

En éste estudio los realizadores dan como conclusiones que el mal desempeño climático de las casas se debe principalmente por un diseño climático inadecuado, donde se descuidan las propiedades térmicas de los materiales seleccionados, así como la orientación de puertas y ventanas, la cual influye en el comportamiento térmico del interior de las habitaciones.

2.3 Medios y métodos para medir temperatura

2.3.1 Redes Inalámbricas de Sensores

Dentro del sensado de temperatura, se sabe que se utilizan arreglos que componen redes de sensores ya sea alámbricas o inalámbricas. Estas redes ayudan a la ubicación de los sensores que se colocan en diversos lugares dentro y fuera del área a estudiar. En éste estudio se encontró la duda de cómo se ubican, ésta es aleatoria o existe una regla que diga dónde colocarlos, esta pregunta se pudo resolver al leer sobre redes de sensores inalámbricas.

Dentro de la literatura recopilada, se encontró que existen 3 pasos para la realización de una red de sensores. Los pasos fueron mencionados por ingenieros que elaboraron una red de sensores que supervisa las condiciones alrededor de los edificios de estudio dividieron el objetivo en tres tareas diferentes, (Jang et. al, 2008).

Procesar las señales de los sensores y transmitir los datos en un formato adecuado. Esta tarea se llevó a cabo a través de un sistema de fuente abierta de funcionamiento y un lenguaje de programación diseñado específicamente para los sensores inalámbricos.

Transformar las señales enviadas por los nodos. En esta aplicación, un programa Java acepta los datos por un receptor inalámbrico a través del puerto serie del ordenador y luego se colocan los datos en una base de datos. La estructura de la base de datos ayuda a identificar las piezas clave de información que son necesarios para hacer uso de los datos.

Una interfaz para revisar los datos y seguir con la manipulación de los datos obtenidos por los sensores. En la figura 2.4 se muestra el ciclo de los 3 pasos antes mencionados.

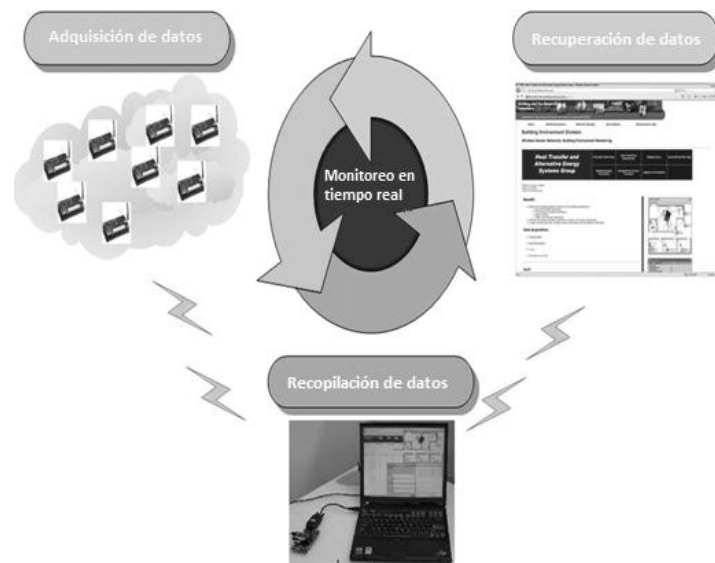


Fig. 2.4 Ciclo de 3 pasos para una red de sensores inalámbrica.

En la figura podemos apreciar el ciclo en el que se compone la adquisición de datos dentro de una red de sensores, los datos obtenidos pueden ser cualquier parámetro en observación, en éste estudio se monitoreo la temperatura de las aulas de estudio de la facultad de ingeniería.

2.3.1.1 Adquisición de datos en redes inalámbricas

En el área de redes de sensores inalámbricas existe una diversidad de tamaños y arquitecturas, en la actualidad se están realizando redes para la predicción de fenómenos meteorológicos (Hart y Martínez, 2006) en donde se utilizan sensores de tamaño nanométrico inalámbricos, son como partículas de polvo (smart dust), los sensores se comunicarán con las estaciones meteorológicas, entregando todos los datos de los fenómenos climatológicos que adquieren. Como éstas redes que se componen de miles de sensores de tamaño nanométrico, en este estudio se realizó una red con sensores de tamaño micrométrico, pero en ambos casos el tamaño del sensor no es un impedimento para las redes de sensores inalámbricas, a continuación se mencionan algunos problemas con los que debe de lidiar una red de sensores inalámbrica.

Algunos retos de las redes de sensores inalámbricas son:

Tipo de comunicación. Se está probando la transferencia de datos por WiFi y la tecnología ZigBee, por su poca demanda de energía de los dispositivos (nodos), pero suele tener mucha interferencia cuando los nodos salen de su rango de comunicación y otro tipo de comunicaciones como la RF, ha presentado problemas cuando en el ambiente existe mucha humedad, vegetación, lluvia, etc.

Ciber-infraestructura. Por la gran cantidad de datos que manejan estas redes, se necesita una gran base de datos y estas a su vez deben de tener un estándar para que en cualquier región del mundo se puedan observar los datos de cualquier red, si esto se requiere o por lo menos una conexión para red local.

Seguridad. Algunas redes inalámbricas de sensores, por el tipo de datos que manejan deben de tener un alto nivel de seguridad para que nadie pueda alterar, modificar o robar los datos en el momento de la transmisión de éstos.

Desarrollo de nuevos sensores. Es la investigación y desarrollo de nuevo material que soporten ambientes hostiles para que el sensor no se dañe o sea más duradero y que siempre los datos que capte y envíe sean los correctos.

2.3.2 Alimentación de la red inalámbrica

El energizar una red de sensores inalámbrica, en algunos sitios suele ser complicado por el lugar donde esté ubicado el sensor, por ejemplo hablando lugares confinados como un edificio, casa o industria, que están utilizando redes de sensores las cuales necesitan ser alimentadas y que ésta necesidad de la red no sea un problema para el usuario, así que las redes que permiten olvidar la alimentación o que no es una prioridad de la red se les conoce como sistemas autómatas de alimentación.

Las redes inalámbricas de sensores deben permitir que los sensores puedan ser del tipo "instalar y olvidar" o sistemas autómatas de alimentación, por lo que el uso de baterías recargables es problemático debido a la duración de la batería, ya sea por el consumo de energía del sensor, la descarga automática de la batería, el número de ciclos de recarga y el impacto ambiental a largo plazo.

Para las redes inalámbricas de sensores se usan en la actualidad pilas o fuentes de energía que pueden mantener las demandas de los ciclos de los sensores inalámbricos, por ejemplo un periodo inactivo o en espera largo o continuo, permite minimizar los tiempos de uso de la energía, (Mathúna et al, 2008). Por ejemplificar lo antes mencionado, el protocolo de comunicación ZigBee, demuestra que, incluso con un tiempo de 1 min de espera del sensor y un ciclo de 864 ms en modo activo, en general el módulo del sensor está en modo de espera casi el 99% del tiempo en modo inactivo, (Mathúna et al, 2008).

Un modo autónomo de "implementar y olvidar" (Battery-less, sin batería) quiere decir que puede ser alcanzado por la ampliación del sistema, el aprovechamiento de la energía para proporcionar todas las necesidades de energía del sistema ha provocado la idea de que las dimensiones del dispositivo deben de reducirse para el aprovechamiento de energía. Aproximadamente 2 cm de lado sería suficiente para abastecer el total de la energía inalámbrica del sensor, (Mathúna et al, 2008). En la figura 2.5 se observa uno de los sensores de aprovechamiento de energía, el cual ya incluye, el transductor, sus controladores, la parte de procesamiento de datos, el tipo de comunicación inalámbrica y la fuente de energía.

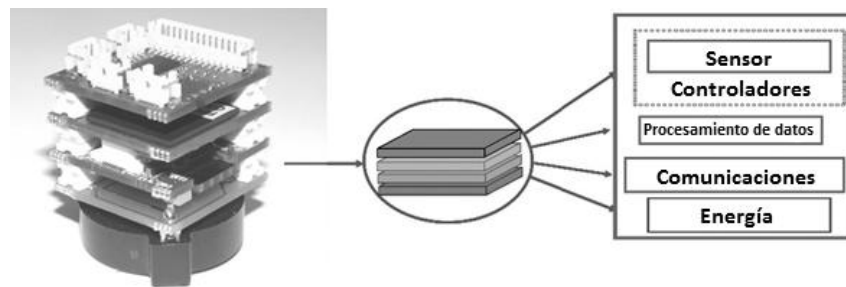


Fig. 2.5 Dispositivo de 2 cm de lado que ahorra energía de la pila.

Estos dispositivos de ahorro de energía y dimensiones accesibles para cualquier lugar de una industria o vivienda que usan redes inalámbricas se creó en el 2003, el estándar 802.15.4 o estándar para ZigBee, permite darle la solución a los problemas de consumo de baterías y espacio.

2.4 Tecnología de comunicación inalámbrica

En los apartados anteriores se mencionado la comunicación ZigBee, como la mejor manera de comunicar dispositivos electrónicos para redes inalámbricas, ya que permitió darle la solución a los problemas de consumo de baterías; ya que ha sido diseñado para soportar una diversidad de tareas que requieren bajo consumo y bajo costo. Desde el 2003 cuando sale el estándar IEEE 802.15.4, aplicaciones como el control de sensores en espacios pequeños como

casa o viviendas, figura 2.6 eran poco atendidas por los estándares existentes, éste nuevo estándar está dispuesto a darles las mejores condiciones de comunicación a éste tipo de aplicaciones. En la tabla 2.2 se pueden observar los datos técnicos del estándar IEEE 802.15.4/ZigBee.

Tabla 2.2 Datos técnicos de estándar IEEE 802.15.4/ZigBee

Bandas de frecuencia y Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20KB/s 915 MHz: 40KB/s 2.4GHz: 250KB/s
Alcance	10 - 20 m
Consumo en espera Consumo activo	3 μ A 35 mA
Latencia	Por debajo de 15 ms
Canales	868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Modos de direccionamiento	Todos los chips tienen 64 Bits IEEE de direccionamiento
Canal de acceso	CSMA-CA
Seguridad	128 AES
Red	Hasta 2^{64} dispositivos
Rango de temperatura	-40 °C a +85 °C

Actualmente y en el futuro cercano (5 años) se pretende tener el empleo de sensores especiales para la aplicación de estos en las viviendas, edificios e industria, con mejores resultados en el desempeño de la red inalámbrica en general, (Wicker, Manohar).

2.6 Predicción con redes neuronales artificiales

En la última década las redes neuronales se han venido utilizando como un recurso para la predicción de variables como la temperatura, la calidad del aire, la cantidad de energía consumida, etc.

En ésta sección se comentarán algunos autores que han trabajado en la segunda mitad de la década pasada en la predicción de temperatura usando redes neuronales artificiales.

De los experimentos realizados en uno de los artículos investigados mencionan que se realizó en 2 edificios. En dicho experimento se utilizó la estimación de la temperatura por medio de 2 modelos: uno lineal y otro no lineal.

Las variables que utilizaron para la estimación fueron:

- la temperatura interior y exterior,
- el consumo de energía eléctrica en la habitación,
- las temperaturas de la pared,
- el flujo de ventilación
- la hora del día

En este experimento se demuestra que un modelo no lineal de tipo RNA dan una mejor estimación que los modelos lineales tipo ARX (Soleimani-Mohseniet.al. 2006.)

Los tipos utilizados para llegar a los resultados deseados para la predicción de temperatura utilizando algoritmos de redes neuronales artificiales, mencionan el de retroalimentación con una capa oculta de neuronas, mostrando un error de 0.2 promedio en el error absoluto, en el momento del entrenamiento y las pruebas, en comparación de un 0.5 en los modelos lineales tipo ARX (Bertil y Soleimani-Mohseni, 2007). Aunque también presenta resultados favorables el tipo de algoritmo de red neuronal artificial Levenberg–Marquardts, el cual presenta en el trabajo de Soleimani-Mohseni un error absoluto de 0.1 en las pruebas y de 0.075 en el entrenamiento.

Finalmente en el 2009 en Grecia se desarrolló un control predictivo para las variables internas de un edificio, éste sistema se encarga de predecir por medio de redes neuronales las condiciones internas del edificio en estudio. Estas predicciones ayudan al mismo sistema para poder seleccionar las acciones más apropiadas para llegar a las condiciones adecuadas de los parámetros ambientales y mantener la calidad y para este estudio obtener o reducir al mínimo los costos de energía. (Kolokotsa et. al, 2009)

En un aspecto general y basado en el enfoque de éste trabajo de investigación la predicción de la temperatura usando algoritmos de redes neuronales artificiales, beneficiara con el apoyo de otro sistema de control, el ambiente laboral en los salones de estudio.

En éste capítulo se pudo conocer el estado del arte de las diferentes ramas que conformaron esta tesis, ya que se habló de investigaciones a nivel nacional e internacional del fenómeno térmico generado en el interior y exterior de diversas construcciones.

En el ámbito de las redes inalámbricas de sensores, se explicó brevemente la tecnología o estándar ZigBee, ya que es la más reciente y la de mejores resultados en el uso de casa, edificios e industria, se mostraron trabajos donde se emplean sensores inalámbricos comunicados por ZigBee y los beneficios que esto trajo.

En éste trabajo se demostró que estudios en la ciudad de Querétaro desarrollados previamente no tienen la información necesaria para que se puedan utilizar en edificios, casa o industria, ya que existen muchos factores que se deben de considerar para dar óptimos resultados, también se demostró que las nuevas tecnologías (ZigBee y Techos Verdes) son muy benéficas para la sociedad, estas pueden estar al alcance de todos, si se presenta una mayor demanda, lo cual se demostró en el bajo costo final de ésta investigación. En cuanto a otro tipo de impacto que se produzca por la realización de ésta tesis, podemos decir que se podrá utilizar en un futuro para el desarrollo de edificios más eficientes, ya que se

validó comparando los datos obtenidos por los sensores colocados en cada aula, los resultados entregados por la simulación del sistema.

Capítulo 3

III. Metodología

En éste capítulo se encontrarán los puntos que se siguieron para realizar el proyecto sobre el comportamiento térmico de los techos en las aulas de la Universidad.

El presente proyecto se formó por la unión de 4 bloques, como se muestran en la figura 3.1. En el diagrama se pueden observar las partes que componen los elementos del proyecto:

1. Modelado y análisis de datos: Es donde se procesarán los resultados obtenidos por los bloques 2 , 3 y 4.
2. Datos externos: son datos obtenidos de la temperatura y la humedad relativa cercana al material y color de los diferentes techos en estudio.
3. Datos internos: estos datos se obtienen del interior de los salones en donde se pusieron los difereontes colores en el techo.
4. Datos auxiliares: Son lecturas de una estación meteorológica ubicada en las intalacionaes de la Comisión Estatal de Aguas del estado de Querétaro. Esta estación está a 264.18 metros de distancia de los salones del estudio y una altura de 12 metros.

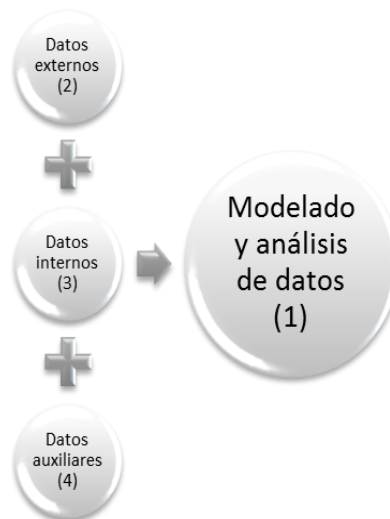


Fig. 3.1. Diagrama a bloques de la relación de las partes del proyecto

Los bloques 2 y 3 son los bloques que conforman la parte electrónica e instrumentación del estudio, se unen al bloque 4, ya con todos los datos reunidos, se comparan para poder comprobar los resultados del modelo y análisis y por último se vuelven a cotejar con los datos arrojados por el bloque de electrónica e instrumentación y los datos obtenidos por la estación meteorológica.

A continuación se explica de forma más detallada para mejor comprensión, lo que se realizó en los bloques que conforman este proyecto.

3.1 Bloques

3.1.1 Bloque 1

Este bloque consiste en procesar los datos obtenidos en un análisis estadístico, este análisis es para la interpretación de los datos, ya sea para ayudar en la resolución de la toma de decisiones o para explicar condiciones regulares o irregulares del fenómeno de la temperatura en los salones, en la toma de datos de forma aleatoria o condicional.

Para tener más conocimiento sobre el análisis que se realizó a los datos, se da una breve explicación de las herramientas de la estadística que se utilizaron. La Estadística es una ciencia que se divide en dos elementos:

La estadística descriptiva se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numéricamente o gráficamente. Ejemplos básicos de parámetros estadísticos son: la media y la desviación estándar. Algunos ejemplos gráficos son: histograma, pirámide poblacional, clústers, etc.

La estadística inferencial se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de características numéricas (estimación), pronósticos de futuras

observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión). Otras técnicas de modelamiento incluyen anova, series de tiempo y minería de datos.

3.1.2 Bloques 2 y 3

Estos bloques se realizaron siguiendo los puntos referidos a continuación.

3.1.2.1 Selección y pruebas con los sensores.

Originalmente se iba a utilizar un circuito integrado que a la salida entregaba las lecturas equivalentes a voltaje, siendo el 0 el valor mínimo de temperatura y 5 volts el máximo de temperatura detectado, pero el dispositivo tenía una exactitud de medio grado centígrado en comparación con sensores de otra tecnología. Posteriormente se realizaron las pruebas con un sensor que es un sistema micro-electro-mecánico (MEMS por sus siglas en inglés, Micro-Electro-Mechanical System). Este sensor presenta en su salida lecturas digitales, siendo éstas más precisas y sencillas en su interpretación, también el sensor hace lecturas de 2 parámetros ambientales: temperatura y humedad relativa.

Las pruebas se realizaron en distintos edificios de la facultad de ingeniería, los primeros datos se obtuvieron con una red alámbrica en el CEDIT (Centro de diseño y tecnología), posteriormente se realizaron pruebas en el Laboratorio de Mecatrónica y en el Auditorio de la facultad. Algunos sensores se mantuvieron conectados de modo alámbrico a los sistemas de almacenamiento mientras que otros se conectaron inalámbricamente con el dispositivo de almacenamiento de datos.

3.1.2.2 Creación de una red de sensores.

Teniendo identificados, caracterizados y calibrados los sensores del punto anterior, se prosiguió a realizar la red inalámbrica. Ésta se probó en los mismos edificios donde se hicieron las primeras pruebas de los sensores y finalmente con los datos recopilados por los sensores en la red inalámbrica, se realizó el modelo del comportamiento de los datos y su análisis.

3.1.3 Bloque 4

Este bloque consta de datos proporcionados por la Comisión Estatal de Aguas del estado de Querétaro. La CEA cuenta con una red de 31 estaciones meteorológicas en todo el estado, los datos que se utilizaron en el estudio fueron recabados por la estación IQUERETA3, se encuentra en las oficinas de la CEA en la ciudad de Querétaro. Las instalaciones se encuentran a 264 metros de distancia de los salones del estudio, en el techo del edificio de la comisión se encuentra la antena de la estación meteorológica, dando una altura de 12 metros. La antena cuenta con sensores para medir diferentes parámetros ambientales como:

- Temperatura [°C]
- Punto de rocío [°C]
- Humedad relativa [%]
- Velocidad del viento [km/h]
- Ráfagas de viento [km/h]
- Dirección del viento [coordenada geográficas]
- Presión atmosférica [HPA]
- Precipitación [mm]
- Radiación solar [watt/m²]
- Índice de rayos UV

De éstos parámetros se reportan lecturas cada 10 minutos con excepción de la precipitación que es cada hora, los datos se almacenan en una tabla y se grafican a lo largo de las 24 horas los 365 días del año.

3.2 Sensores y datos de pruebas

Las primeras pruebas que se realizaron, fueron con el sensor de temperatura LM35 con una exactitud de 0.5°C a 25°C éste sensor es de la empresa National Semiconductor. Los datos obtenidos por este sensor, eran almacenados en una memoria externa para que posteriormente se tuviera acceso a los datos y poder manipularlos, los datos se podía ver en la HyperTerminal. La

HyperTerminal es un programa que se puede utilizar para conectarse con otros equipos, sitios Telnet, sistemas de boletines electrónicos (BBS), servicios en línea y equipos host, mediante un módem, un cable de módem nulo o Ethernet. Aunque utilizar HyperTerminal con un servicio de boletín electrónico para tener acceso a información de equipos remotos es una práctica que está dejando de ser habitual gracias al World Wide Web, HyperTerminal sigue siendo un medio útil para configurar y probar el módem o examinar la conexión con otros sitios.

Los resultados obtenidos con el sensor LM35 fueron comparados con un termómetro digital comercial y un multímetro, como se comentó anteriormente en el punto 3.1.2, éste sensor mostraba los resultados como equivalentes de voltaje en la figura 3.2 observamos dichos resultados.



Fig.3. 2. Primeras pruebas y resultados con el LM35 en el CEDIT

Con el sensor LM35, se presentaron errores en las lecturas como caída y subida de la temperatura en periodos cortos de tiempo en 2 minutos y en ocasiones pérdida de datos. Se cambió de tecnología y sensor al STH11, es un circuito integrado de elevada precisión que entrega una salida digital de fácil lectura e interpretación. Este dispositivo incluye un elemento sensor de polímero capacitivo para la medición de humedad relativa y un sensor "band gap" de temperatura. Ambos elementos de medición están conectados a un convertidor

analógico digital de 14 bits y a un circuito de interfaz serial contenidos dentro del mismo chip. Con esto se obtienen mediciones rápidas, de gran calidad e inmunes a las perturbaciones externas a un precio muy competitivo, (Sensirion, fabricante).

Para los circuitos de muestreo se utilizó un PIC 18f2550, (PIC por sus siglas en inglés de Peripheral Interface Controller), éste microcontrolador tiene programado el código que manipula el sensor SHT11 en lenguaje C, el dispositivo adquiere las lecturas de temperatura y humedad relativa, siendo la parte de temperatura resistiva y la parte que toma la humedad es capacitiva. El sistema también cuenta con la conexión serial hacia la antena de ZigBee de la empresa MaxStream, la antena ayuda para que se realice la comunicación inalámbrica con la computadora. En la figura 3.3 podemos observar el esquemático del circuito antes descrito.

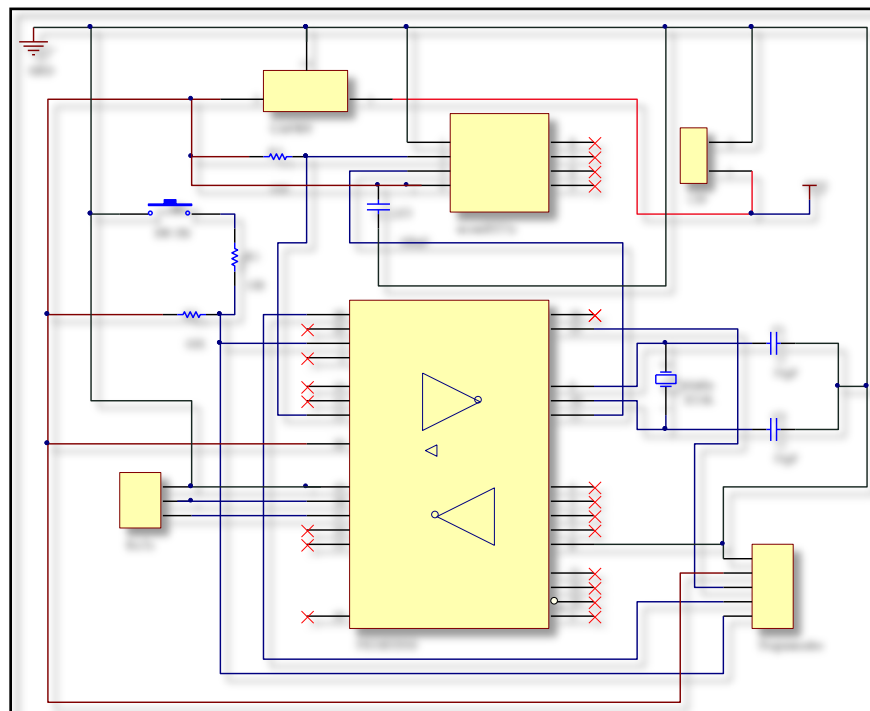


Fig. 3.3. Esquemático del circuito de adquisición de datos: temperatura y humedad relativa

Con el mems, los datos ya no se almacenaron en una memoria externa, se mandaron los datos vía serial a una computadora en donde se almacenaron en archivos de texto y al mismo tiempo se podían observar los datos en pantalla en el momento de la adquisición por medio de un programa en lenguaje C, figura 3.4.

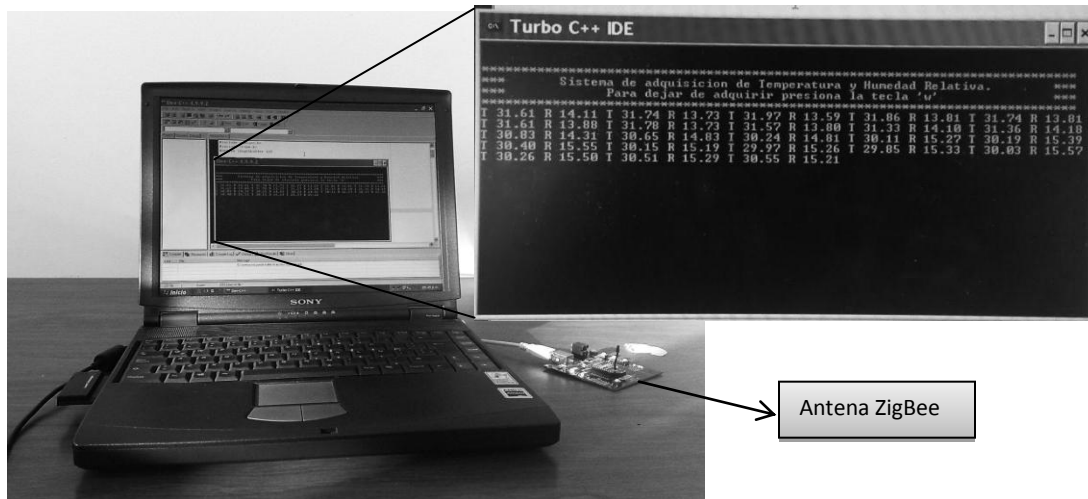


Fig. 3.4. Datos de prueba obtenidos por el SHT11.

En la figura se observa una laptop en la que se generan y almacenan los datos muestreados y la antena de comunicación ZigBee usando comunicación serial. Teniendo los resultados por el sensor, se prosiguió a la creación de una red de sensores inalámbrica con la tecnología ZigBee.

3.2.1 Red de Sensores

Para crear la red inalámbrica usando el estándar ZigBee, se pensó en el tipo de red punto a multipunto en donde cada nodo va a desempeñar un doble rol:

- Origen de información y
- Enrutador de información.

En la figura 3.5 se muestran los elementos que conforman una red inalámbrica punto a multipunto y los elementos que se pueden encontrar en su configuración.

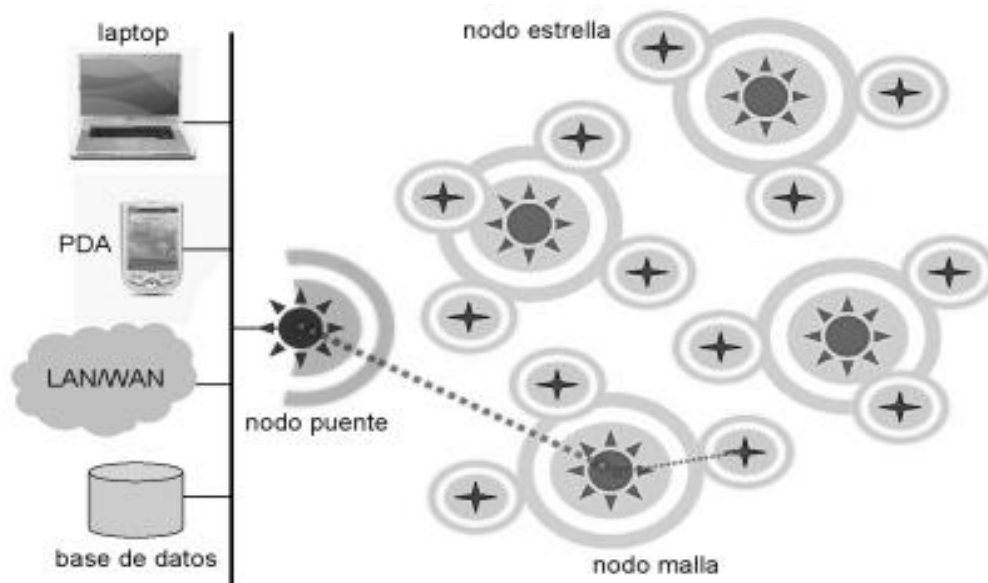


Fig. 3.5. Red de sensores inalámbrica y sus elementos.

En la figura se puede observar del lado izquierdo los elementos terminales de la red, éstos sirven para almacenar los datos muestreados por los nodos o simplemente para ser vistos en una interfaz de usuario. Entre los elementos terminales y los nodos se encuentra el elemento puente, como su nombre lo dice sirve para unir los datos con el exterior o interfaz de usuario, a éste nodo se le conectan los nodos que estén conectados ya sea en modo malla o estrella o de los 2 modos.

En una red inalámbrica de sensores puede ocurrir un mal funcionamiento en algún sensor o nodo, esto puede causar cambios de la topología por lo que se requiere un re-enrutamiento de los paquetes de información y la reorganización de la red, por esta característica se decidió por éste tipo punto a punto.

3.2.1.1 Pruebas con la red inalámbrica de sensores

La red que se realizó para el desarrollo de este proyecto se muestra en la figura 3.6, un diagrama a bloques del sistema, en éste se muestran algunos de los sensores de la red inalámbrica probada.

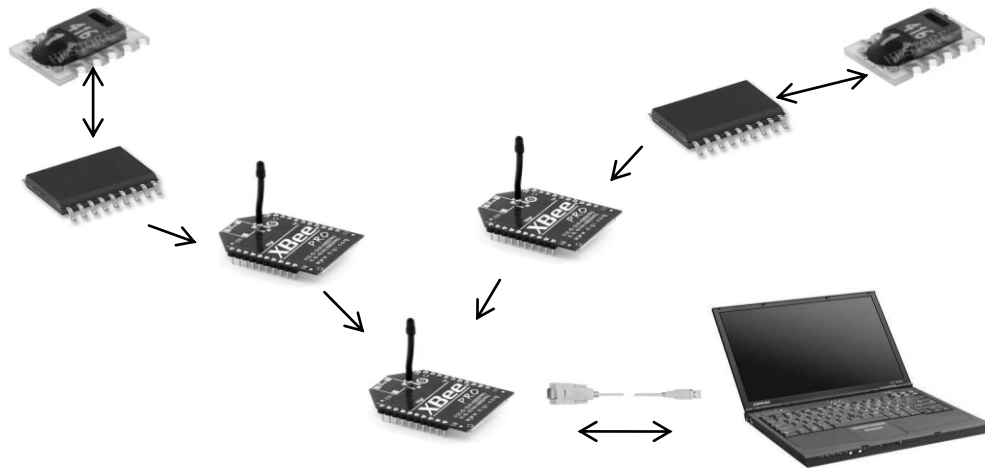


Fig. 3.6 Componentes de la red inalámbrica.

La red que se muestra en la figura se colocó en el auditorio de la Facultad de Ingeniería. Se colocó un sensor dentro del recinto, en donde se encuentra el estrado, que es a 1.8 metros de altura del piso. El otro sensor se colocó en el techo por la parte exterior, con una altura de 4 metros, pero teniendo contacto con el concreto de la loza del techo, éste tiene cubierta de bitumen asfáltico de color rojo oxido, como se muestra en la figura 3.7.

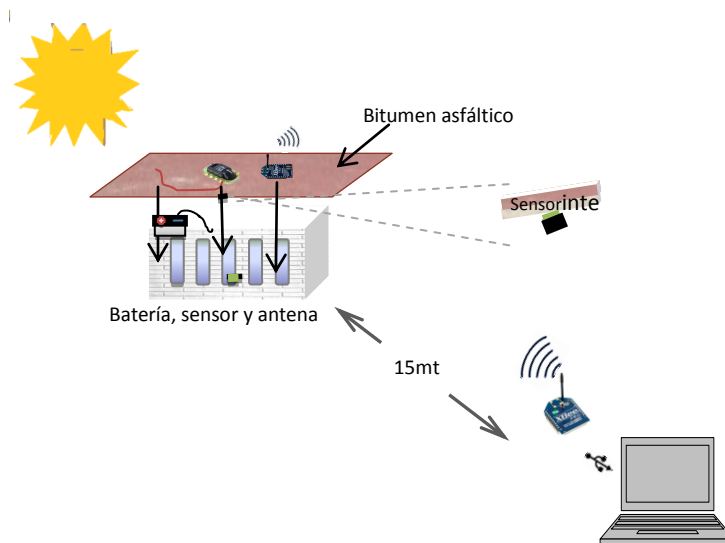


Fig. 3.7. Sistema adquiriendo datos en el interior y exterior del auditorio.

La alimentación del sistema se realizó con una batería de 12 volts a 4Ah, en la imagen está bien descrito la ubicación de los sensores en ésta prueba, con la distancia que existía entre el dispositivo de alimentación y el muestreo de datos. Una vez con los datos, se pudo realizar diferentes interpretación de los resultados, por ejemplo la creación de la gráfica de cada uno de los parámetros con respecto al tiempo, comparar entre ellos la tendencia de cada parámetro, mediana, máximos y mínimos y en qué momento ocurrían, etc. A continuación se describe el cómo se trabajó con los datos obtenidos.

3.3 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos por las RTU's (por sus siglas en inglés de Remote Terminal Unit) son muestreados por cada sensor cada 250 milisegundos, al cumplir 6 segundo de muestreo o 24 datos, se mandan a la computadora central en donde se almacenan en un archivo de texto, posteriormente en otro archivo de texto se almacena el promedio de 100 muestras o 10 minutos de muestreo continuo tomando la mediana de dichas muestras, éstos promedios son los que se toman como entradas en la red neuronal y para comprobar los resultados y poder validar si está bien entrenada la red.

Posteriormente teniendo los datos promediados de las lecturas de las temperaturas y humedades relativas adquiridas en el exterior y en el interior se compararon con los datos otorgados por el CEA.

Con los datos obtenidos por los sensores de la red inalámbrica y los datos de la estación meteorológica se realizaba una comparación de éstos, los resultados se encuentran en el capítulo 4.

3.4 Techos de posgrado

Al conocer el comportamiento del sistema de adquisición de datos preliminares se prosiguió a la implementación del siguiente sistema en el edificio de posgrado. Se seleccionó este edificio por ser homogéneo en materiales de construcción y las dimensiones de los espacios entre 3 de los salones no

presentan diferencias mayores al 10% en lo ancho, ya que lo largo de los salones es igual en todos, como se puede observar en la figura 3.8. El espacio que presenta una diferencia es el área 5 en la imagen mostrada, la diferencia es de 32.59% en comparación con las áreas 6 y 1 y la diferencia con la 3 es de casi 40%.

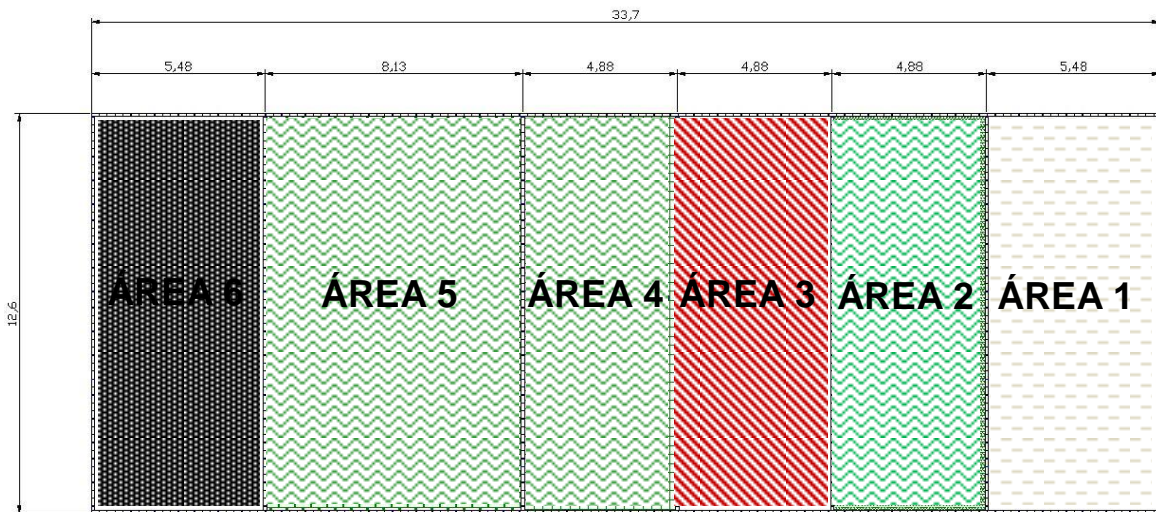


Fig. 3.8. Áreas y dimensiones usadas en el estudio

En la figura se puede observar las dimensiones de los salones en donde se realizó el estudio del comportamiento de la temperatura interna. Las áreas que se utilizaron fueron la 1 en la cual se pintó la cubierta con bitumen asfáltico blanco, el área 3 con bitumen asfáltico rojo y la 6 con negro. El área 5 es la sala de juntas de posgrado, éste lugar tiene como cubierta vegetación. Está cubierta con techo verde sirvió para hacer el estudio no solo con colores diferentes en el mismo material, sino para conocer el comportamiento en un techo cubierto de vegetación. La vegetación se colocó en varias capas como se enumeran a continuación.

Acriltecho → Recubrimiento elástico impermeable con base en resinas acrílicas de excelente resistencia al intemperismo, con microesferas que mejoran la capacidad de aislamiento térmico y mejorado con fibras que le permiten puentear fisuras y sustituir, en la mayoría de los casos, el uso de la malla o tela de refuerzo.

Membrana→ La membrana bajo el techo vegetal debe ser absolutamente impermeable y resistente a las raíces agresivas y al ácido húmedo.

Tierra→ El sustrato debe ser apto para almacenar y drenar agua, debe tener suficientes poros de aire y poca sustancia nutritiva. Usualmente la tierra superficial es mezclada con agregados livianos como piedra pómez, escoria, arcilla expandida o pizarra expandida. Si el peso no importa pueden ser usadas también arena o grava. El grosor del sustrato se debe corresponder con el tipo de vegetación y las condiciones climáticas.

Vegetación→ La vegetación debe ser resistente a condiciones climáticas severas, como sequía, vientos fuertes y en muchas regiones también heladas. Cuanto más angosto sea el sustrato, más resistente a la sequía debe ser la vegetación.

A continuación se describe el procedimiento que se siguió para conocer el comportamiento de la temperatura interior de los salones de clases de posgrado.

3.4.1 Explicación del experimento en techos con cubierta diferente

Teniendo seleccionados las aulas, se prosiguió a la instrumentación de los salones con un sistema que consta de microcontroladores, éstos se encargan de manipular a los sensores, los sensores mandan las señales a un multiplexor que a su vez está conectado con otro microcontrolador que manda los datos vía inalámbrica a una computadora remota donde se almacenan los datos de cada sensor, en la figura 3.9 se puede observar el esquemático del sistema completo.

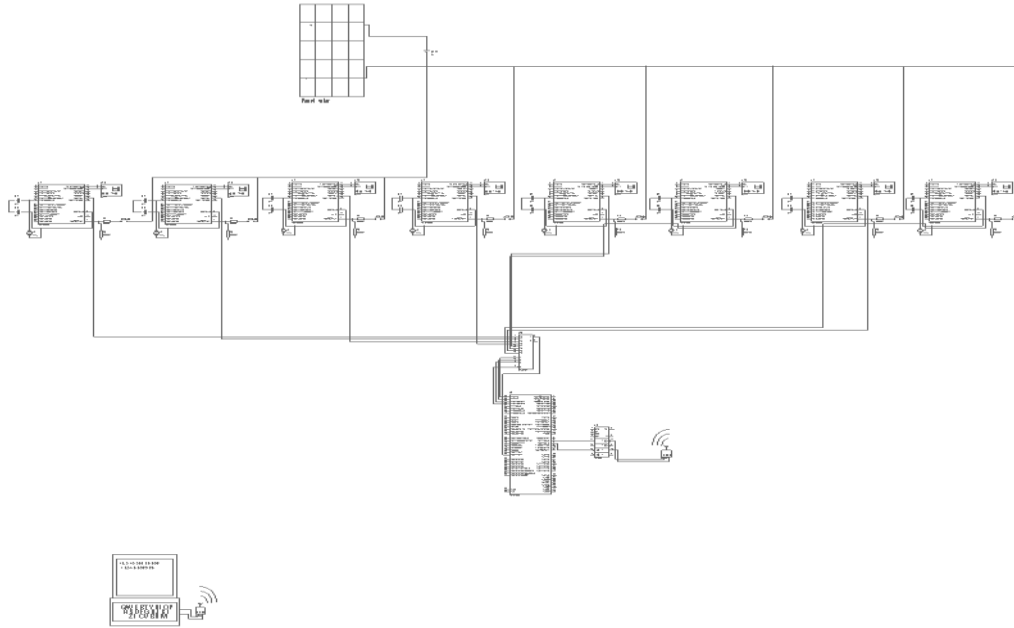


Fig.3.9. Esquemático del sistema colocado en los techos de posgrado

A continuación se puede observar en la figura 3.10 la forma en la que se conectó el sistema para la toma de datos exteriores de los salones. En esta parte se utilizaron 4 sensores, uno por cada techo.

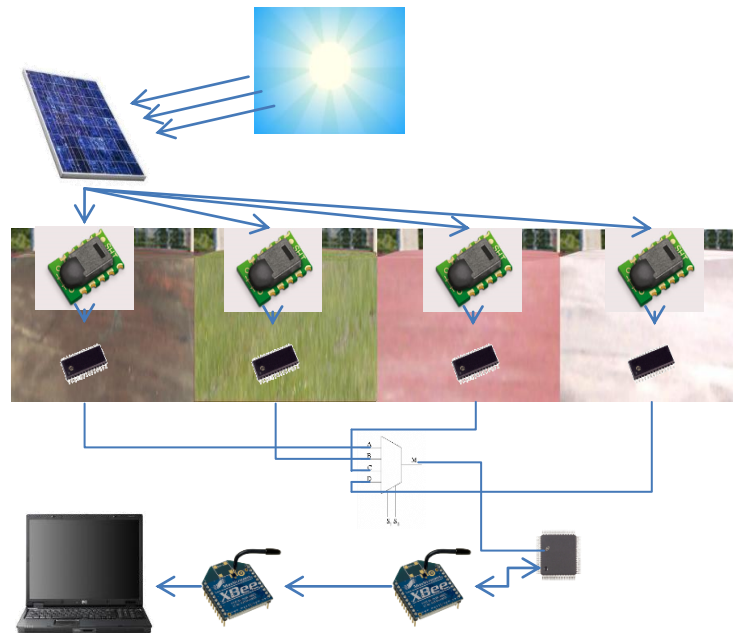


Fig. 3.10. Diagrama de la conexión de sistema de muestreo de temperatura y humedad relativa exterior

El sistema completo está alimentado por un panel solar de 60 Watts a 20 Volts a 3 Amperios, el cual carga una batería de 12 volts a 4Ah con los cuales se alimenta a todos los sensores, cada circuito de adquisición de datos se alimenta con 5 volts, pasando previamente por un regulador LM7805.

Ya con todos los datos muestreados y almacenados tanto del interior y el exterior, se prosiguió a la validación del modelo que ayuda a conocer el comportamiento de futuras temperaturas internas de cada aula.

3.5 Modelo predictivo

El modelo que se utilizó para predecir la temperatura dentro de las aulas seleccionadas y que también valida nuestro sistema se basa en redes neuronales artificiales (por sus siglas en inglés Artificial Neural Networks).

3.5.1 Red Neuronal Artificial

Las “redes neuronales artificiales” (por sus siglas en inglés Artificial Neural Networks) o simplemente “redes neuronales” constituyen una de las áreas de la inteligencia artificial que ha despertado mayor interés en los últimos años. La razón de esto es que las redes neuronales potencialmente son capaces de resolver problemas cuya solución por otros métodos convencionales resulta extremadamente difícil.

La cualidad más sobresaliente de las redes neuronales es que ellas son capaces de “aprender”. En lugar de programar a una red se le presenta una serie de ejemplos, a partir de los cuales ella aprende las relaciones principales que están implícitas en la base de datos de entrenamiento. Puesto que estas relaciones pueden ser fuertemente no-lineales, las redes pueden constituir entonces una herramienta muy general y potente para modelar procesos industriales de cualquier grado de complejidad. Las redes neuronales son de gran utilidad para los ingenieros que emplean sistemas de control e identificación debido a su campo de acción, podemos atacar sistemas lineales y no lineales.

La figura 3.11 se presenta un ejemplo de una red neuronal típica, conocida como perceptrón multi-capas.

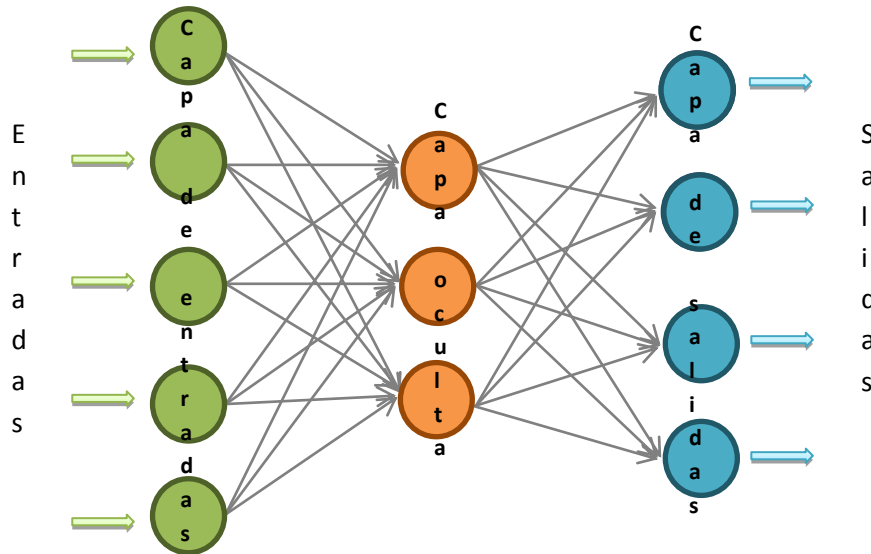


Fig. 3.11. Capas que componen una red neuronal con capa oculta.

La red consiste de neuronas de procesamiento (círculos anaranjados y azules) y canales de flujo de información entre las neuronas llamadas interconexiones (flechas grises). Los círculos verdes son neuronas que simplemente almacenan entradas a la red. Cada neurona de procesamiento posee una cantidad limitada de memoria y realiza un cálculo local que transforma las entradas en la salida. Este cálculo se denomina la función de activación o función transferencial de la neurona. Las funciones transferenciales pueden ser lineales o no y consisten de ecuaciones algebraicas o diferenciales.

3.5.2 Red de retro propagación

El concepto de retro propagación se refiere a un método de entrenamiento de la red y por extensión se le llama “red de retro propagación” a aquella que se entrena mediante dicho método. Es conveniente aclarar que el método o algoritmo de retro propagación no es el único existente en la actualidad, no obstante, puede afirmarse que es el método básico y sus modificaciones han

sido las más exitosas en la solución de una gran diversidad de problemas prácticos. Entre las aplicaciones de este tipo de red podemos citar:

- Reconocimiento y síntesis de voz
- Reconocimiento de patrones visuales o imágenes
- Análisis de señales de sonar
- Aplicaciones en la defensa
- Diagnóstico médico
- Monitoreo y predicción de eventos climáticos
- Procesos en la agricultura y otros procesos

La red de retro propagación es un tipo de red neuronal que es capaz de desarrollar una aproximación tan fina como se quiera de cualquier función no-lineal o lineal a partir de un conjunto de pares. Este método es una generalización de la ley de aprendizaje por el descenso más rápido presentada por Widrow y Hoff (1960); que analizaron una red neuronal de dos capas llamada ADALINE y desarrollaron un método de descenso local según la dirección del gradiente. El método propuesto por Widrow y Hoff fue generalizado al caso de capas múltiples con el nombre de algoritmo de retro propagación (Werbos, 1974; Rumelhart y McClelland, 1986). La cuestión del número de capas en una red es muy importante tal como demuestran

Minsky y Papert (1972) en su texto clásico *Perceptrons*. Ellos mostraron que una red de dos capas del tipo estudiado hasta entonces estaba limitada en cuanto al espectro de problemas que podría resolver y especularon sobre que el estudio de redes multicapas sería un área estéril. No obstante, la experiencia ha demostrado que esa especulación era incorrecta. En efecto, las redes multicapas pueden dar resultados que son imposibles de alcanzar con las redes de dos capas. Como ha sido discutido por Rumelhart y McClelland (1986), la adición de capas escondidas permite al algoritmo de retro propagación desarrollar una representación interna del problema que puede ser vital para su solución. Parece ser que la presencia de una o más capas escondidas le da a la retro propagación

nuevas dimensiones en términos de su habilidad para “aprender” la representación de una función arbitraria $f(x)$.

3.5.2.1 Pasos para el cálculo de una red neuronal de retro propagación

Consideremos la red representada en la figura 3.12 y supongamos que se dispone de un conjunto de pares de datos, x_p, y_p donde $p=1, 2, \dots, N$.

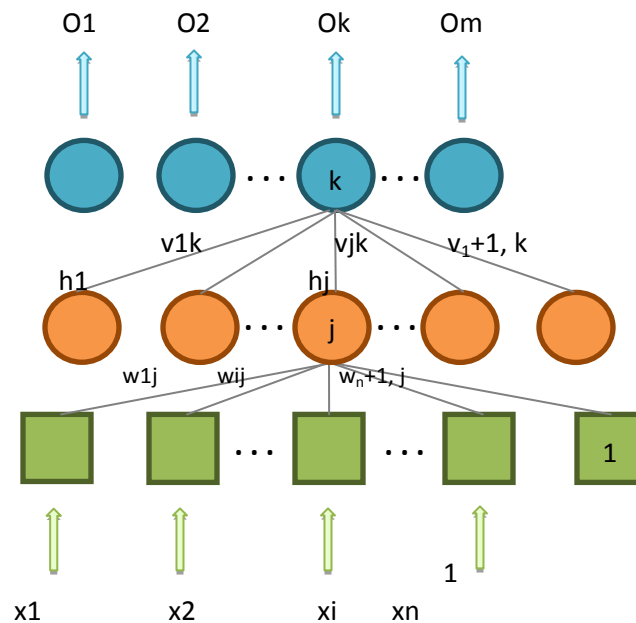


Fig.3.12 Red de retro propagación con los elementos que la conforman para obtener los resultados del proceso

Para la neurona j de la capa escondida, definimos la función de excitación, correspondiente a la muestra p de los datos:

$$S_j^p = \sum_{i=1}^n w_{ij}^p x_i^p + w_{n+1,j}^p \quad (3.1)$$

Es conveniente aclarar en este punto que los datos de entrada y de salida x_i, y_i deben estar normalizados en el intervalo 0-1. Los coeficientes w_{ij}, v_{jk} , se denominan pesos y a la entrada $n+1$, cuyo valor es fijado en el valor 1, se le conoce como bias o elemento de tendencia. Este último elemento permite que la

red pueda modelar sistemas en que las salidas pueden tener valores distintos de cero cuando todas las entradas son cero.

La salida de la neurona j de la capa escondida se calcula generalmente como una función no-lineal de la excitación aunque en algunos casos particulares puede ser también una función lineal.

Entonces la salida de la neurona j de la capa escondida, se expresa:

$$h_j^p = f(S_j^p) = \frac{1}{1 + e^{-S_j^p}} \quad (3.2)$$

La excitación de la neurona k de la capa de salida, se calcula en forma análoga, mediante la expresión:

$$r_k^p = \sum_{j=1}^l v_{jk}^p h_j^p + v_{l+1,k}^p \quad (3.3)$$

Y por último, la salida de la neurona k de la capa de salida se expresa como:

$$O_k^p = f(r_k^p) = \frac{1}{1 + e^{-r_k^p}} \quad (3.4)$$

Definimos ahora al error en la salida k , para la muestra p como:

$$e_k^p = y_k^p - O_k^p \quad (3.5)$$

Y el criterio a minimizar en la muestra p :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (e_k^p)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k^p - O_k^p)^2 \quad (3.6)$$

O también:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k^p - f(r_k^p))^2 \quad (3.7)$$

El proceso de aprendizaje de la red consiste entonces en presentar secuencialmente las entradas ($p=1,\dots,M$) ($i=1,2,\dots,n$), calcular las salidas de la red $O_k^p(k=1,2,\dots,m)$ ($p=1,2,\dots,M$), los errores e_k^p y el criterio E_p y aplicar algún procedimiento de minimización de la función E_p con respecto a los coeficientes de peso w_{ij} y v_{jk} de manera que estos se vayan aproximando paulatinamente a los valores que garantizan un error mínimo entre las salidas O_k de los datos de la salida y_k .

Este procedimiento se repite tantas veces como sea necesario, es decir, los vectores de datos x_p e y_p se utilizan reiteradamente hasta tanto el error en cada salida y el criterio E_p , para $p = 1, 2, \dots, N$, se encuentren por debajo del límite prefijado. Una vez lograda esta condición, se dice que la red está entrenada, lo que significa que ella será capaz de reproducir la función $y = f(x)$ con suficiente exactitud si los datos de entrenamiento han sido bien seleccionados y suficientes. A cada ciclo de uso de los datos de entrenamiento suele denominársele época. Se le llama época a cada iteración de la red por el lote de entradas en la que haya ajuste de variables. El ajuste de variables se puede hacer después de la presentación de vectores de entradas individuales o por lotes.

3.5.3 Recomendaciones para entrenamiento de una red neuronal artificial

El entrenamiento de una red neuronal que está destinada a simular un proceso dinámico, se asemeja en mucho a los experimentos que se realizan para identificar al proceso mediante métodos tradicionales. La recopilación de datos históricos de entrada y salida del proceso son utilizarlos en el entrenamiento de la red, pero se requiere una muestra excesivamente grande de datos y nunca se tiene la seguridad de que se haya perturbado suficientemente al proceso y se

haya recorrido toda la gama de valores posibles de las variables de entrada. Se recomienda, por tanto, un experimento activo que consista en aplicar a la entrada del proceso una señal suficientemente perturbada como las secuencias binarias pseudo-aleatorias o simplemente una señal aleatoria con distribución uniforme con valores en el intervalo 0 - 1.

Una señal con las características mencionadas garantiza que la muestra de datos que se usa para entrenar la red, tenga una dimensión razonable. No obstante, es necesario tener en cuenta otro factor que influye notablemente en la exactitud con que la red modela al proceso dinámico. Este es el llamado “período de conmutación” de la variable de entrada, es decir, el tiempo que transcurre hasta que un nuevo valor de la variable de entrada se aplica al proceso. Se ha comprobado que si este valor es pequeño, entonces el modelo resultante no simula adecuadamente la ganancia del proceso, lo cual es comprensible ya que ante variaciones de la entrada muy frecuentes; la salida no puede alcanzar nunca un valor estacionario y, por tanto, la red no se entrena adecuadamente para reproducir esos estados. Este tiempo de conmutación es característico de cada proceso en particular y debe estimarse antes de comenzar el experimento de identificación. Si esto resulta difícil o costoso, debe tenerse en cuenta que es preferible que el tiempo de conmutación sea mayor del necesario y no menor.

3.5.3.1 Entrenamiento convencional y en línea

La forma convencional de entrenar una red es almacenar una muestra de datos del proceso relativamente pequeña (500 o 1000 pares) que después es procesada fuera de línea, reciclándola varias veces (épocas de entrenamiento) hasta que se logra que los errores de predicción de la red sean suficientemente pequeños.

Otra estrategia posible es el llamado entrenamiento en línea, que consiste en conectar la red al proceso en forma permanente o durante períodos prolongados y realizar el entrenamiento en tiempo real, a partir de las mediciones de entrada y salida del proceso. Esta estrategia tiene el inconveniente de que

generalmente la cantidad de datos necesaria hasta lograr una convergencia aceptable puede ser excesivamente grande (varios cientos o miles de pares).

El entrenamiento en línea de la red sirve de base también para esquemas de control adaptivo, en los que se ajustan en línea tanto el modelo directo como el inverso y ellos sirven de base para el cálculo del control utilizando una gran diversidad de esquemas.

3.5.3.2 Entrenamiento combinado

Una estrategia combinada, consistente en un breve entrenamiento previo, a partir de datos obtenidos de un experimento que incluye el uso de señales especiales de excitación y la conexión en línea posterior de la red para seguir entrenándose con datos normales de operación; parece ser una solución óptima, siempre que sea factible en las condiciones concretas del proceso o estudio.

Ha sido sugerido en la literatura, la posibilidad de trabajar con dos réplicas de los modelo en línea y convencional. Este método es a partir de que una red mantiene sus coeficientes constantes y la cual ha sido entrenada previamente, esto es para el cálculo del control del proceso. La segunda continúa entrenándose en forma permanente y puede eventualmente sustituir a la primera cuando se detecta que sus errores de predicción son considerablemente más pequeños que los de la red activa.

En el siguiente capítulo se encuentran los resultados y conclusiones de cada uno de los experimentos y pruebas descritas a lo largo de éste capítulo.

Capítulo 4

IV. Resultados y conclusiones

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas que se realizaron en todo el desarrollo del proyecto y los resultados finales del modelo tipo ANN.

4.1 Resultados de pruebas en diferentes edificios de la facultad de la facultad de Ingeniería

4.1.1 Pruebas en el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica

Se realizaron pruebas en el CEDIT con el sensor Lm35 de temperatura en los meses de febrero y marzo dando como resultado las siguientes gráficas, cabe señalar que dicho sensor presentaba errores como cambio de temperatura de 2° en menos de 5 minutos, esto lo podemos constatar en las lecturas, por lo que se descartó el sensor y se cambió al SHT11.

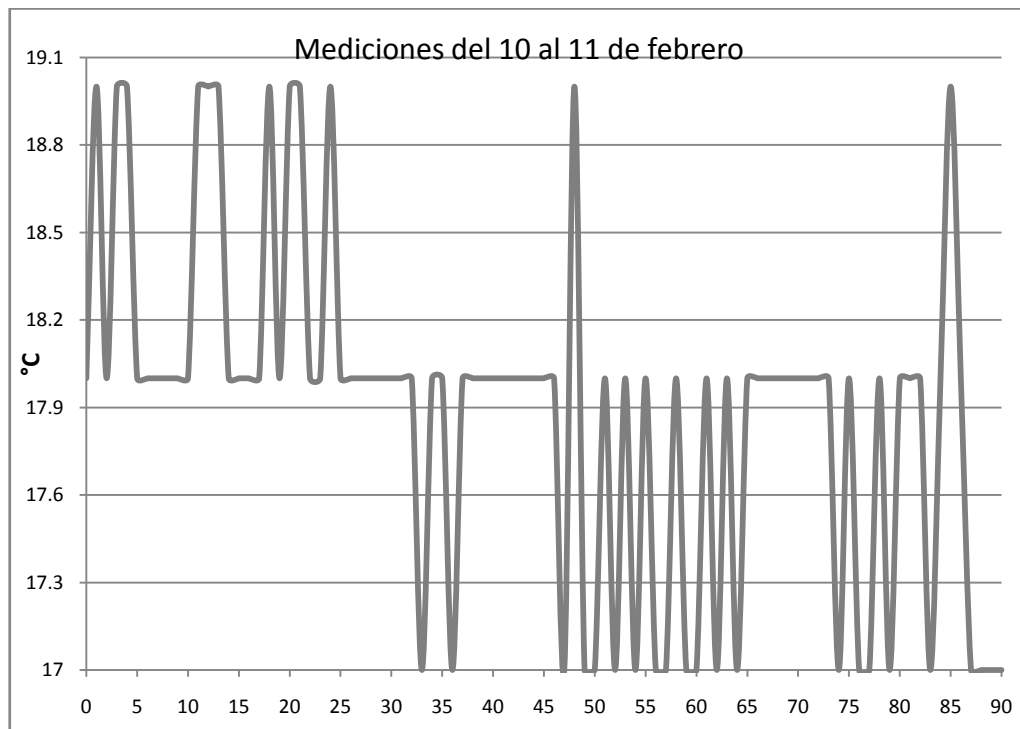


Gráfico 4.1. Temperatura de 90 muestras en el CEDIT, planta baja.

Como se puede observar en el gráfico anterior, los cambios de temperatura eran muy drásticos, aproximadamente 2°C entre cada lectura, por lo que se realizó un filtro en las lecturas y se comparó si dicho filtro ayudaba en los resultados. Los resultados obtenidos se pueden observar en el gráfico 2.

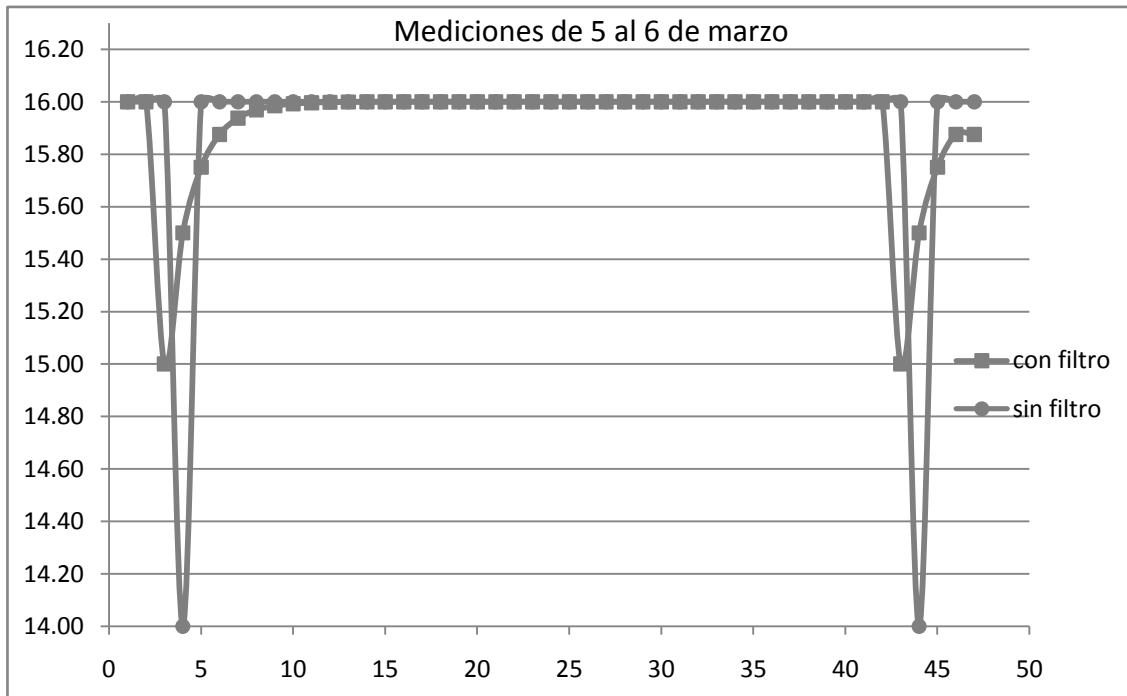


Gráfico 4.2. Lecturas normales vs lecturas filtradas.

Por lo que se puede observar, los resultados obtenidos con el filtro de promedios, no son los esperados, ya que el error de 2°C de diferencia únicamente se redujo a un grado centígrado. Como se explicó en el capítulo anterior se emigro de tecnología en el sensor. Con la nueva tecnología MEMS se hicieron pruebas en el mes de marzo en el laboratorio de Mecatrónica.

4.1.2 Pruebas en el Laboratorio de Mecatrónica

Las lecturas se realizaron del 24 al 30 de marzo dando como resultado las siguientes gráficas. Estos resultados ya presentan el comportamiento de la humedad relativa, también medida por el sensor SHT11.

El comportamiento de estas pruebas se pueden observar en el gráfico3. Los datos son tomados por tiempo y no por muestra como también se ha observado. El lapso de tiempo es de 10 minutos, que en comparación con los resultados anteriores, el lapso de tiempo programado era de cada 5 minutos como se mencionó con anterioridad.

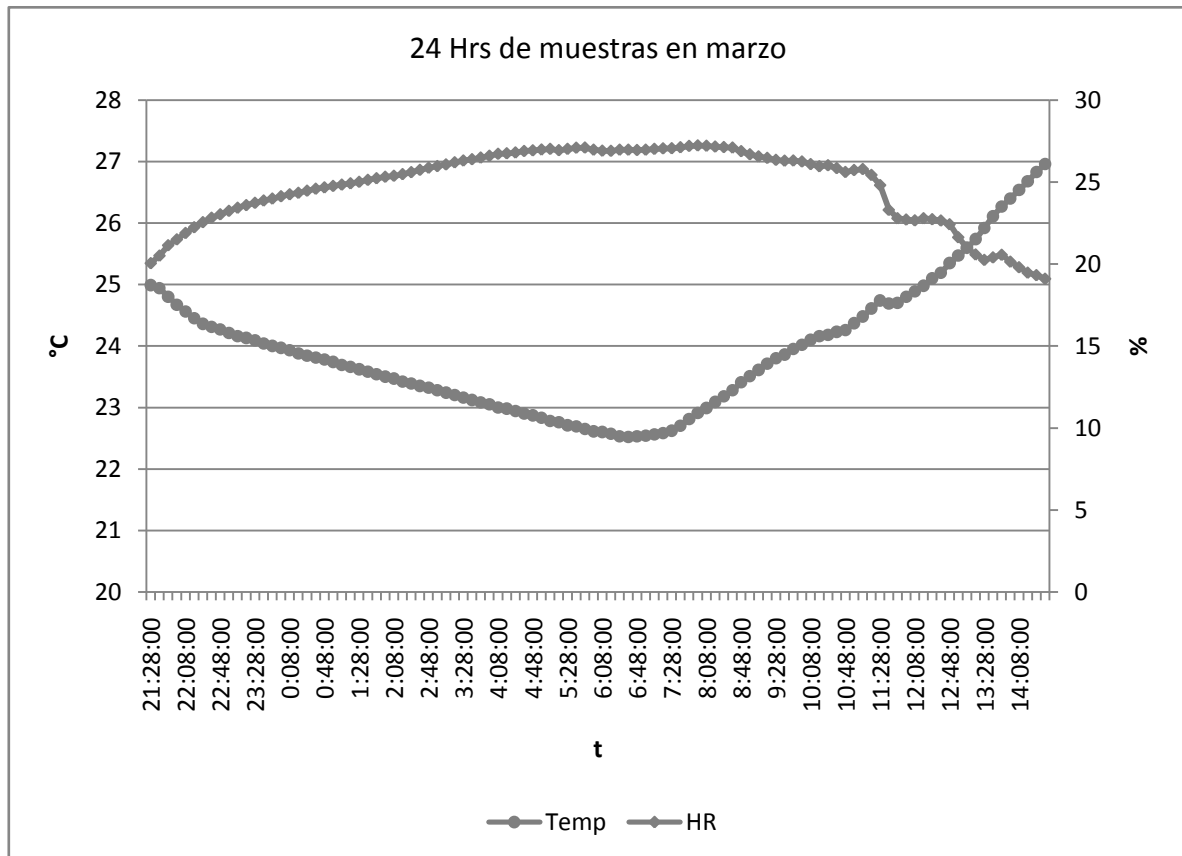


Gráfico 4.3. Lecturas del 24 al 25 de marzo al interior del laboratorio.

En la gráfica se nota el comportamiento inverso que tiene la temperatura y la humedad relativa del ambiente. La temperatura máxima detectada en el lapso de 24 horas coincide con la humedad relativa mínima detectada en el mismo lapso de tiempo. El siguiente gráfico presenta la comparación entre la temperatura externa, la temperatura interna del laboratorio de Mecatrónica y los datos de temperatura obtenidos por el CEA, los días 25 y 26 de marzo.

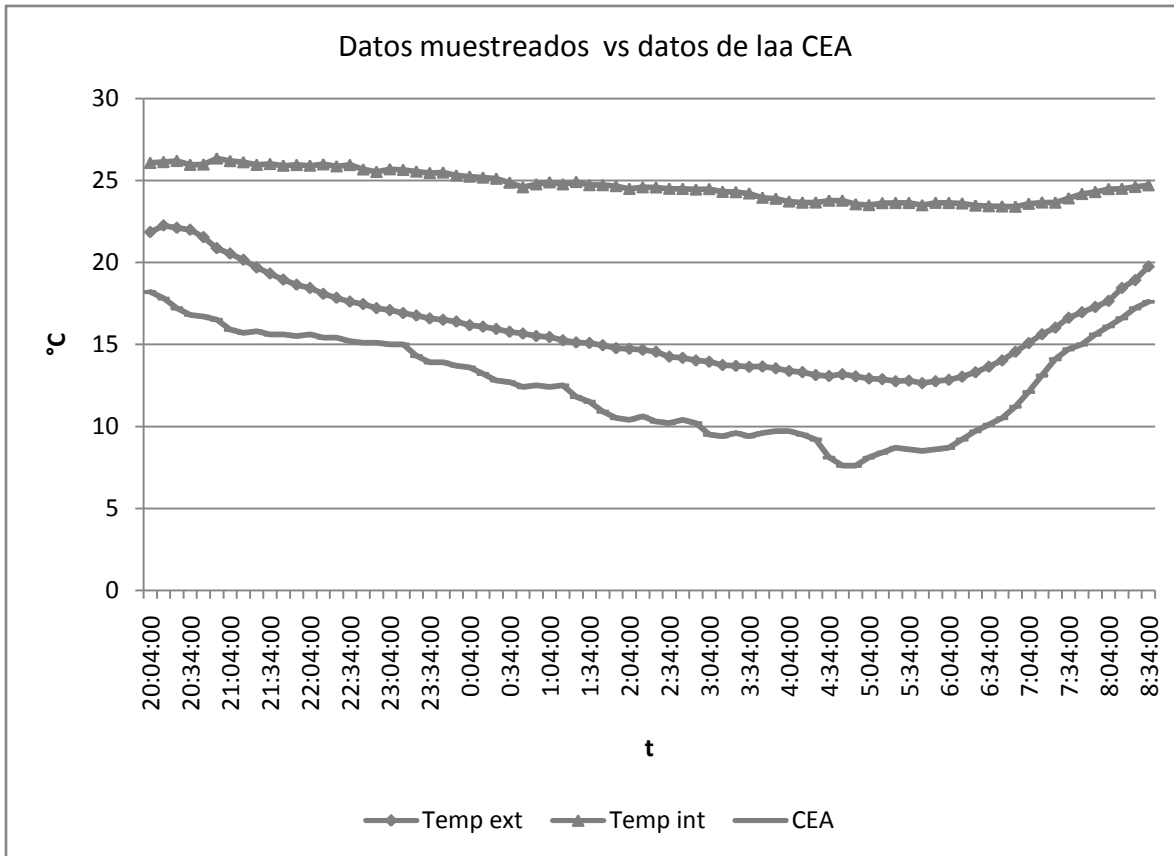


Gráfico 4.4. Comparación temperaturas.

Como se mencionó en el capítulo 3, se nota la diferencia entre las temperaturas de CEA y las tomadas en la UAQ, esto es por la localización de los sensores y los posibles obstáculos que puedan modificar las lecturas, y con la temperatura interna, se observa que el edificio a pesar de ser un área grande, la temperatura es levemente elevada y esto es por la orientación del mismo inmueble y los materiales con los que fue construido.

La orientación se refiere a que cara del edificio recibirá más horas de luz solar, por la orientación que presenta el edificio, la cara posterior, donde se encuentra la cortina de hierro, capta todas las del día de luz solar, por eso que su temperatura es elevada en comparación a la exterior.

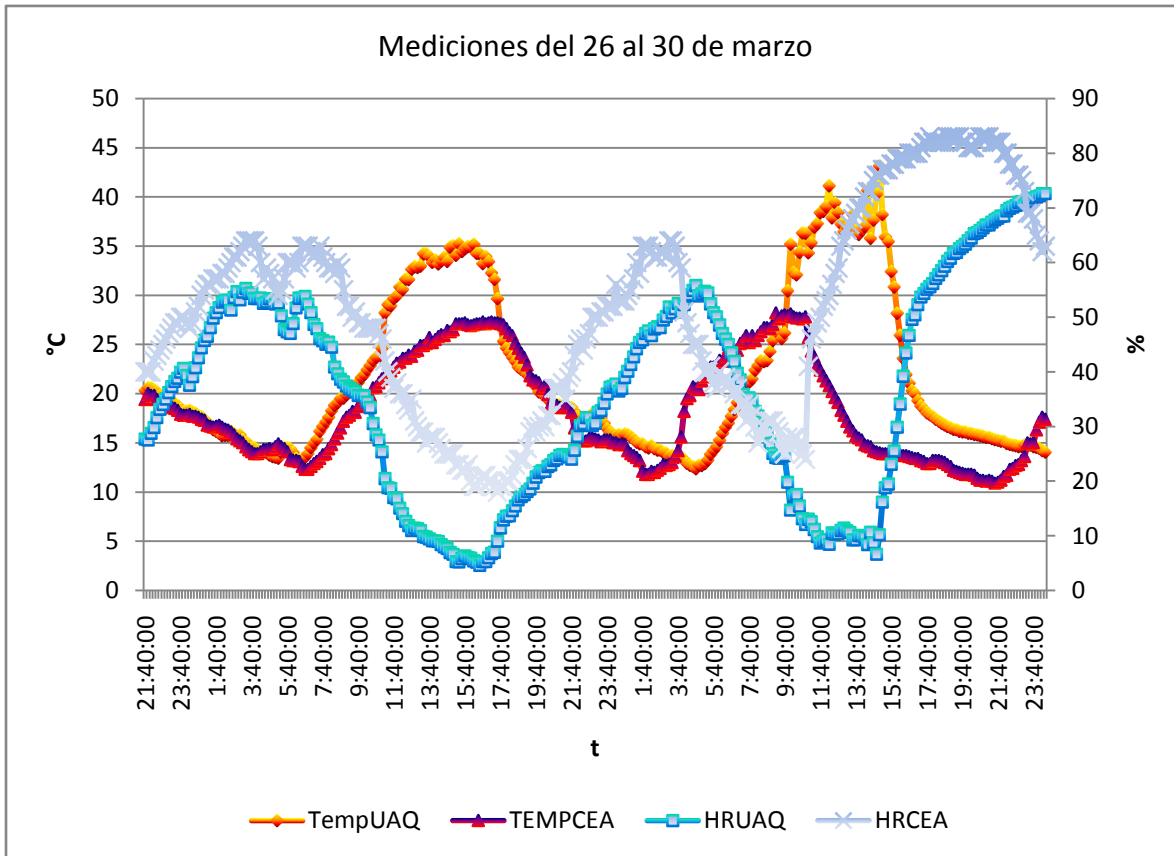


Gráfico 4.5. Comparación de temperatura y humedad relativa externa.

Se presentaron las mismas diferencias entre las lecturas, pero se observa que la humedad relativa medida por el CEA y la adquirida en la UAQ tiene la misma tendencia, lo mismo para las temperaturas, el desplazamiento que se percibe en algunos puntos, se produjo porque los datos del CEA por momentos no son continuos. Al momento de revisar los archivos, era notoria la falta de datos en lapso de tiempo hasta de una hora, por consiguiente existe una diferencia a la hora de compararlos gráficamente.

Los siguientes gráficos muestran el comportamiento de la temperatura y los cambios que presentan la velocidad del viento y la radiación solar. Esto se realizó para demostrar que la temperatura está ligada con estos 2 parámetros climatológicos y no se podían descartar dentro de las variables del modelo tipo ANN.

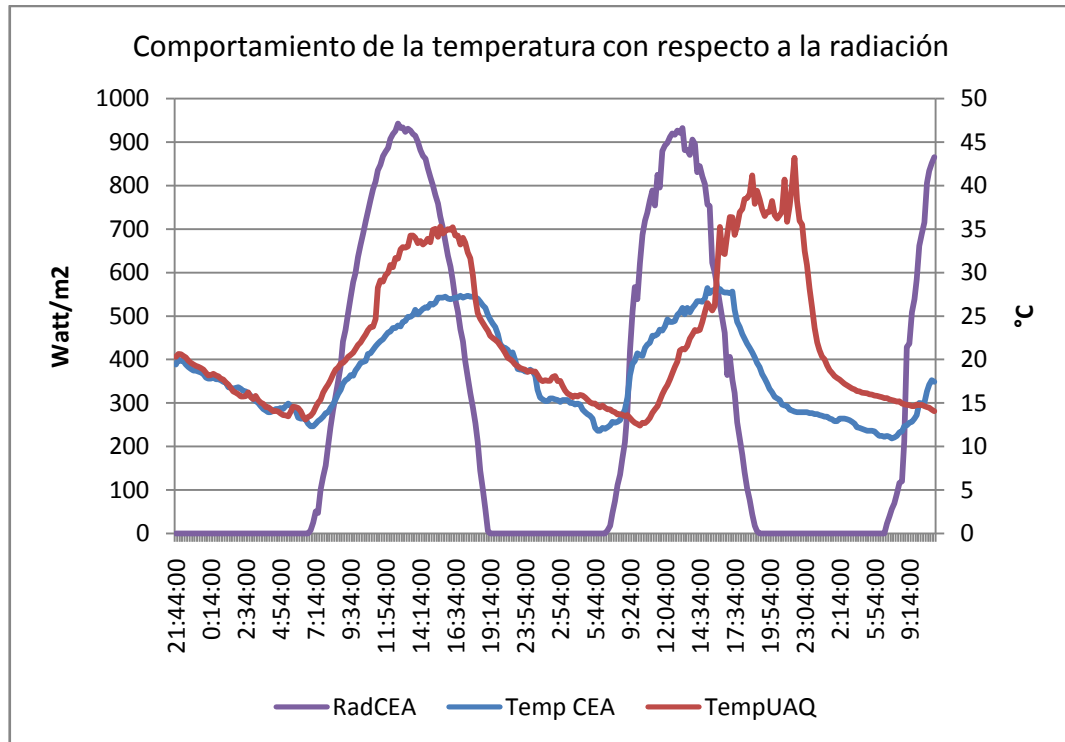


Gráfico 4.6. Comportamiento de la radiación solar y la temperatura

En el gráfico 6 se observa que la relación temperatura-radiación solar, que es proporcional, a lo que nos lleva a una correlación del tipo lineal de primer orden.

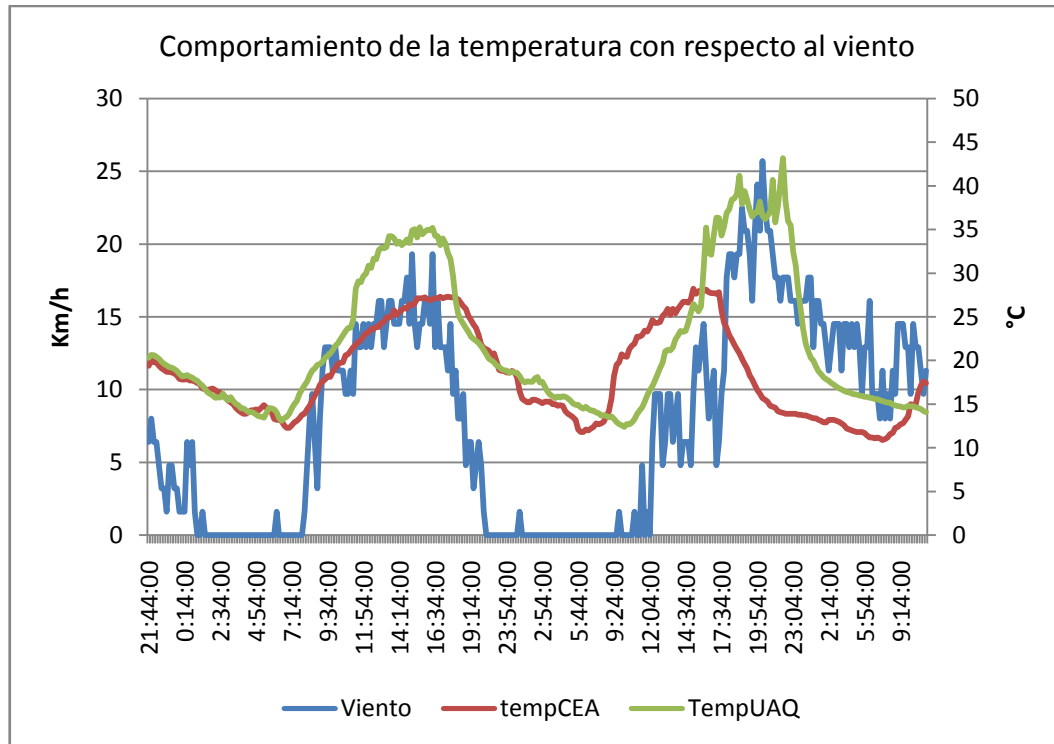


Gráfico 4.7. Comportamiento de la velocidad del viento y la temperatura

El gráfico 7 demuestra claramente el comportamiento de los vientos que se producen por diferencias de presión atmosférica, atribuidas, a diferencias de temperatura. Las variaciones en la distribución de presión y temperatura se deben, en gran medida, a la distribución desigual del calentamiento solar, junto a las diferentes propiedades térmicas de las superficies.

Los datos presentados en las gráficas del laboratorio de Mecatrónica son datos que se obtuvieron por medio inalámbrico usando la tecnología ZigBee.

4.1.3 Pruebas en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería

A continuación se presentan los gráficos de los datos obtenidos en los días del 31 de marzo al 7 de abril, del auditorio de la facultad.

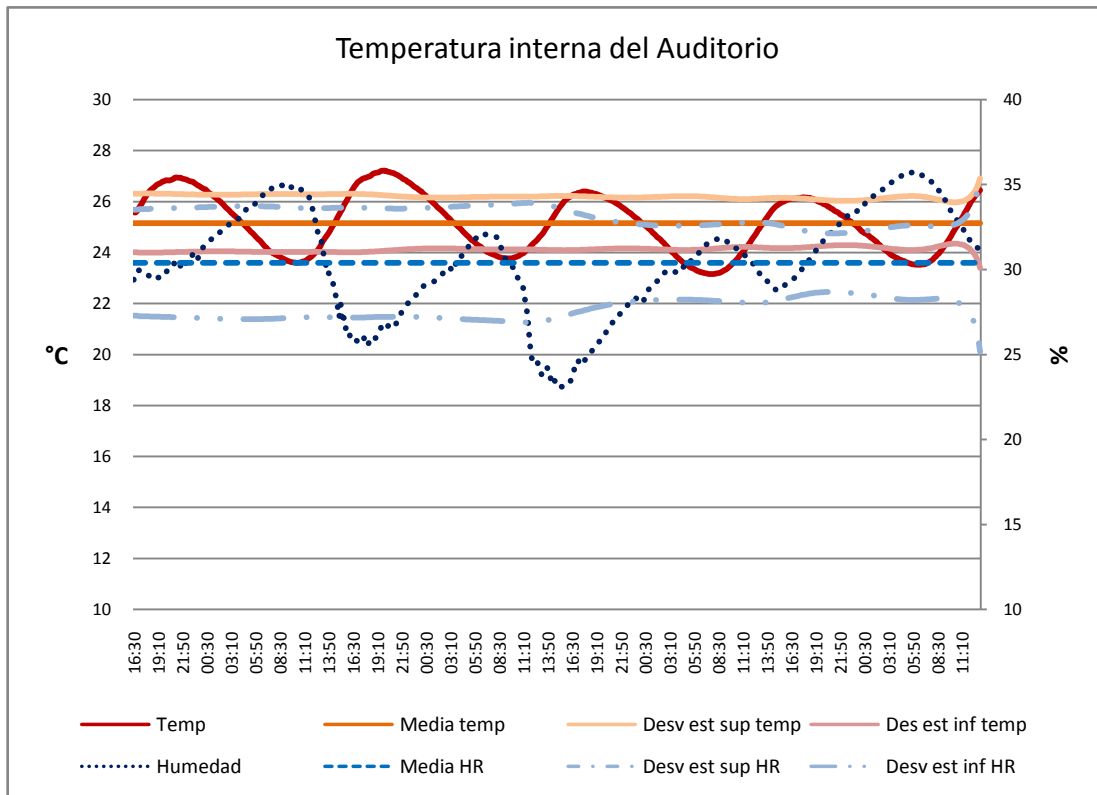


Gráfico 4.8. Datos recabados dentro del auditorio.

En esta ocasión se presentan menos datos de los esperados, ya que el sistema fue acumulando retardos del mismo programa que controlaba el sensor, a pesar de eso se observa que el interior del auditorio en cuanto a temperatura es muy constante, ya que fluctúa de 23 a 27 grados centígrados.

Se puede corroborar con que se encontró la mediana de la temperatura adquirida los días del 31 de marzo al 07 de abril, fue de 25.15°C. Donde la temperatura máxima fue de 27.21°C presentándose entre las 19 y 20 horas del segundo día muestreado. La temperatura mínima fue de 23.16°C, pero todos los días amanecía el techo con temperatura entre los 23.16°C y los 23.6°C.

La humedad relativa presentó una media de 30.4% la primera semana del mes de abril en el espacio comprendido por el techo rojo. La humedad relativa máxima fue de 35.76% mientras que la mínima fue de 23.08% presentándose a medio día, pero no fue el día que hubo la temperatura máxima, ese día la máxima fue de 26.35°C, 0.86 de grado de diferencia para alcanzar la máxima temperatura del periodo de datos tomados.

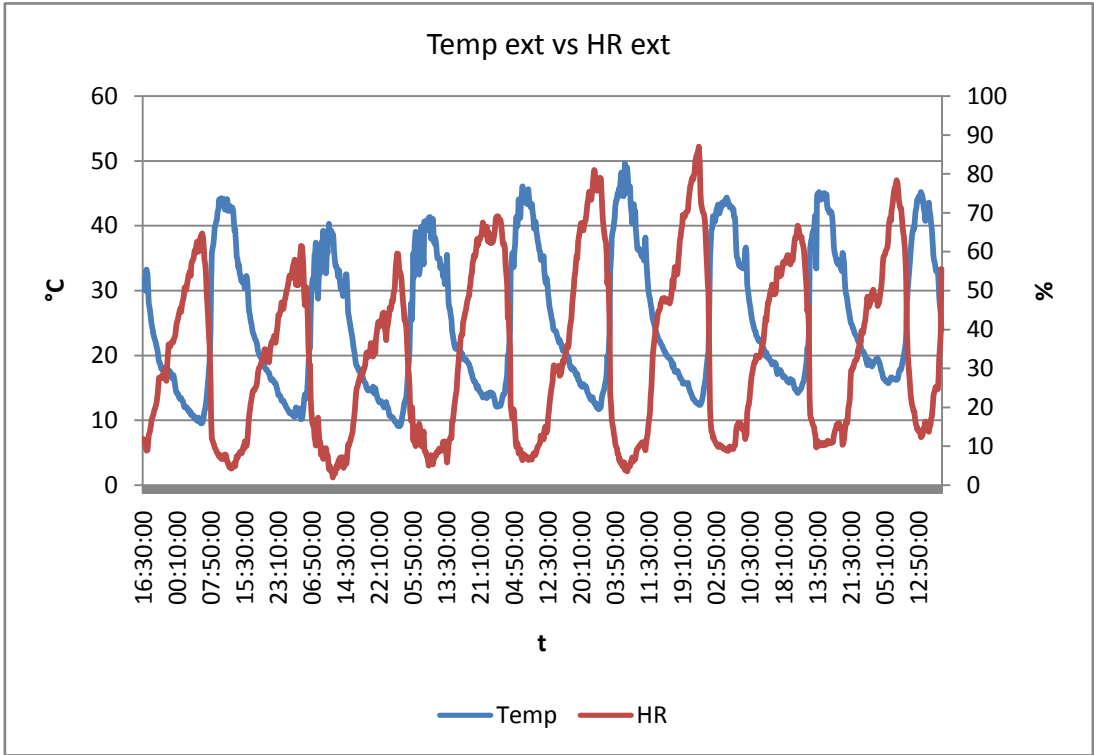


Gráfico 4.9. Datos recabados en el techo del auditorio.

Este nodo funcionó correctamente ya que se encuentran todos los datos esperados para el tiempo que se dejó el sensor en el techo. Presenta temperaturas muy elevadas, ya que afecta la temperatura que adquiere el techo ya que el sensor estaba en contacto con la superficie de éste.

4.2 Techos de Posgrado

Se tomaron muestras en el mes de noviembre del presente año, con éstos resultados se puede observar el comportamiento de cada techo (bitumen en color rojo, blanco y negro y el techo verde). A continuación tenemos las gráficas

del comportamiento de la temperatura del salón con bitumen rojo y la sala de juntas de posgrado.

4.2.1 Techo con bitumen asfáltico con color rojo

Como se mencionó en el capítulo 3 éste salón tiene un área de 61.48m² de impermeabilizante a base de bitumen asfáltico rojo, éste es uno de los materiales más utilizados en la ciudad de Querétaro, ya sea por la comodidad de su aplicación y de su bajo costo.

En la gráfica 10 se observa la temperatura y la humedad relativa muestreada por el sensor exterior del salón 21.

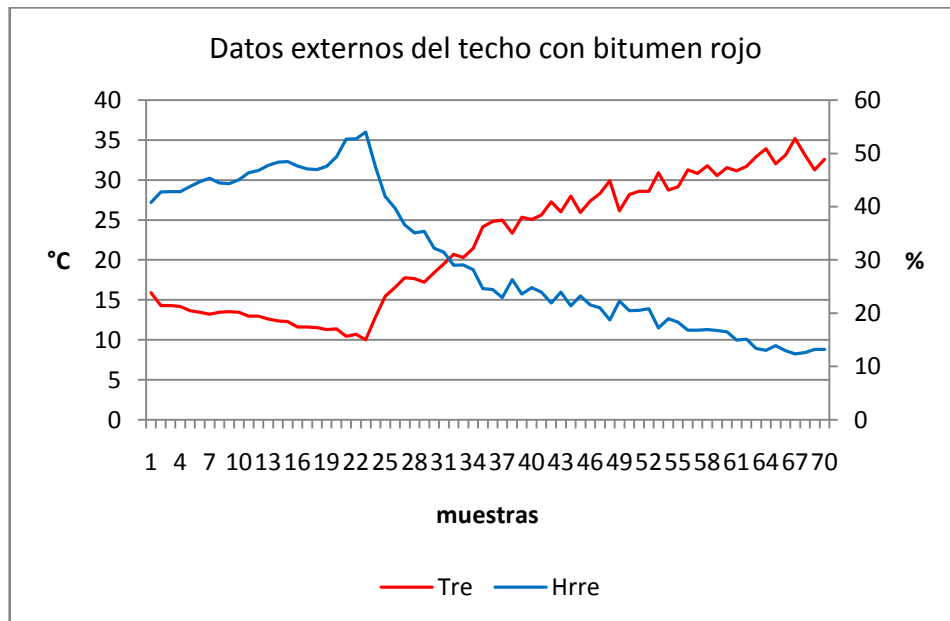


Gráfico 4.10. Temperatura y humedad relativa tomadas sobre el bitumen asfáltico rojo.

La temperatura máxima fue de 35.18°C con una humedad relativa de 12.41%, demostrándose nuevamente el comportamiento inverso que éstos 2 parámetros ambientales tienen. La temperatura mínima fue de 10°C con una la humedad relativa máxima de 53.97%, éstos datos fueron aproximadamente tomadas a las 8 de la mañana del 11 de noviembre.

Comparados los valores de la temperatura mínima en el exterior, podemos observar al interior a esa hora que la temperatura fue de 16.39°C, siendo la mínima al interior con la humedad relativa máxima de 43.91, gráfico 11.

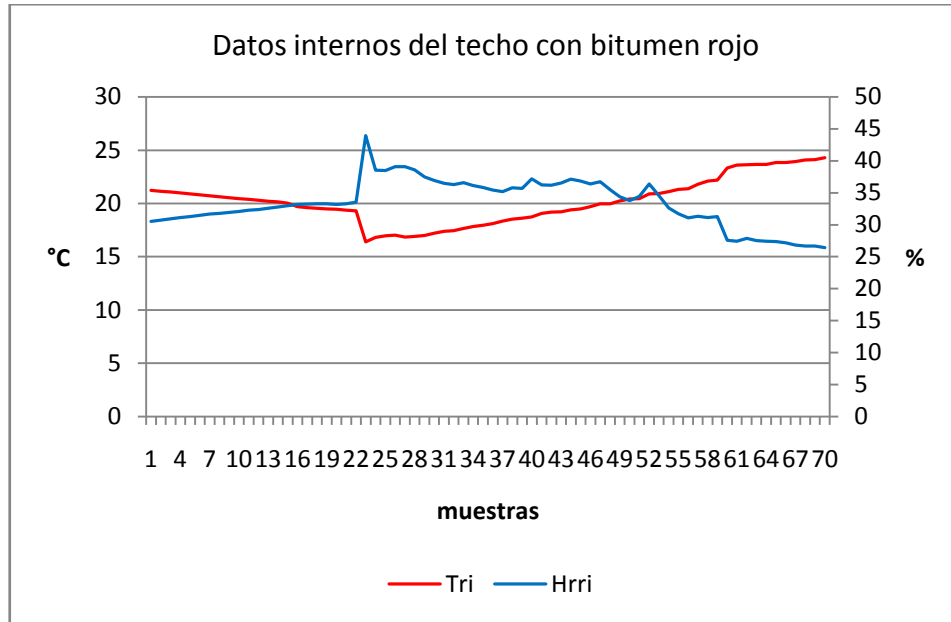


Gráfico 4.11. Temperatura y humedad relativa interna del salón 21.

La temperatura máxima detectada al interior fue de 24.11°C con la humedad relativa de 26.41%, con éstos datos podemos ver que entre la temperatura existen 11.07°C de diferencia en la temperatura máximas y 6.39°C en la temperatura mínima.

En cuanto a la humedad relativa encontramos una diferencia de un 10% en los momentos máximos y de 13% aproximadamente en los mínimos.

4.2.2 Techo Verde

En el capítulo 3 se dijo que éste salón tiene un área de 102.438m² de vegetación dividida en 4 capas, ésta técnica de colocar en el techo vegetación se está volviendo una de las técnica o materiales más utilizados en diferentes ciudades del mundo, por mencionar una la ciudad de Chicago, EUA.

En la gráfica 12 se observa la temperatura y la humedad relativa muestreada por el sensor exterior de la sala de juntas.

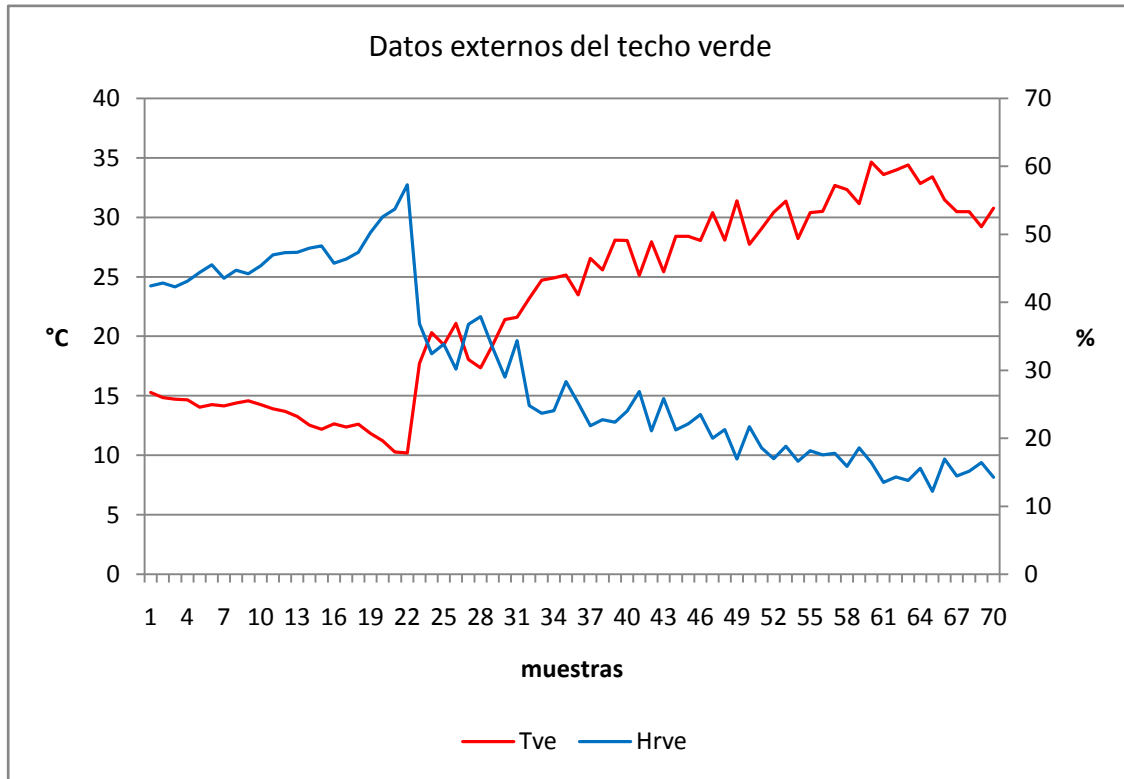


Gráfico 4.12. Temperatura y humedad relativa tomadas por el sensor sobre el pasto.

La temperatura máxima fue de 34.64°C con una humedad relativa de 12.18%, la temperatura mínima fue de 10.18°C con una la humedad relativa máxima de 57.28%, éstos datos fueron aproximadamente tomadas a las 8 de la mañana del 11 de noviembre.

Comparando los valores de la temperatura mínima en el exterior, podemos observar al interior a esa hora que la temperatura fue de 17.84°C, pero la mínima fue de 17.68°C, siendo ésta la mínima temperatura al interior con la humedad relativa máxima de 39.87%, observándose con mejor detalle en el gráfico 13.

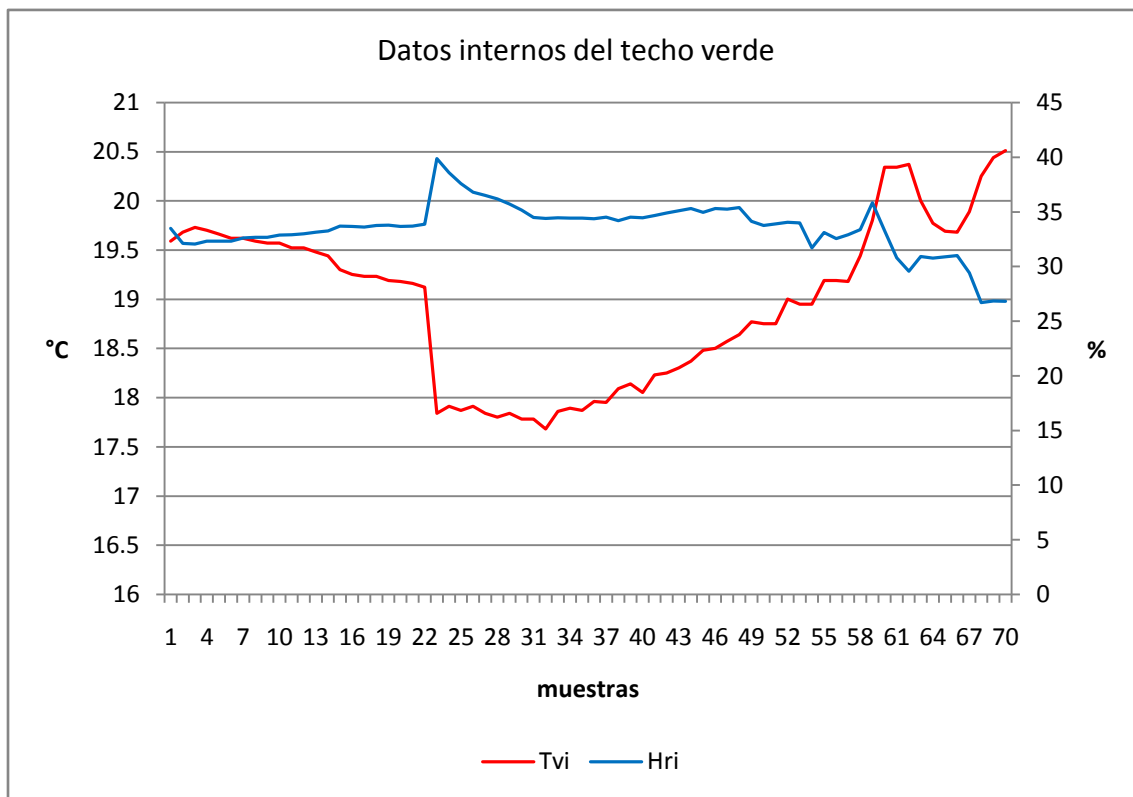


Gráfico 4.13. Temperatura y humedad relativa interna de SAJUPO.

La temperatura máxima detectada al interior fue de 20.44°C con la humedad relativa de 26.84%, con éstos datos podemos ver que entre la temperatura existen 14.2°C de diferencia en la temperatura máximas y 7.5°C en la temperatura mínima.

En cuanto a la humedad relativa encontramos una diferencia de un 17.41% en los momentos máximos y de 14.66% en los mínimos.

4.3 Techos de Posgrado: Comparación entre bitumen asfáltico rojo y el techo verde.

Teniendo los resultados individuales del comportamiento de los techos podemos hacer una comparación entre ellos, esto es para poder decir cuál es el idóneo para el clima semi-seco de la ciudad de Querétaro.

Los primeros en comparar son el bitumen asfáltico rojo y el techo verde, esto es porque uno es una nueva técnica que está empezando a tener mucho auge y la segundo material es de los más comunes en la ciudad.

En el gráfico 14 se observan las temperaturas de cada uno de los materiales tanto en su interior como el exterior, recordando que en la parte de afuera los sensores de encuentran a 40 cm del material en estudio y en el interior se encuentran a 30 cm del techo.

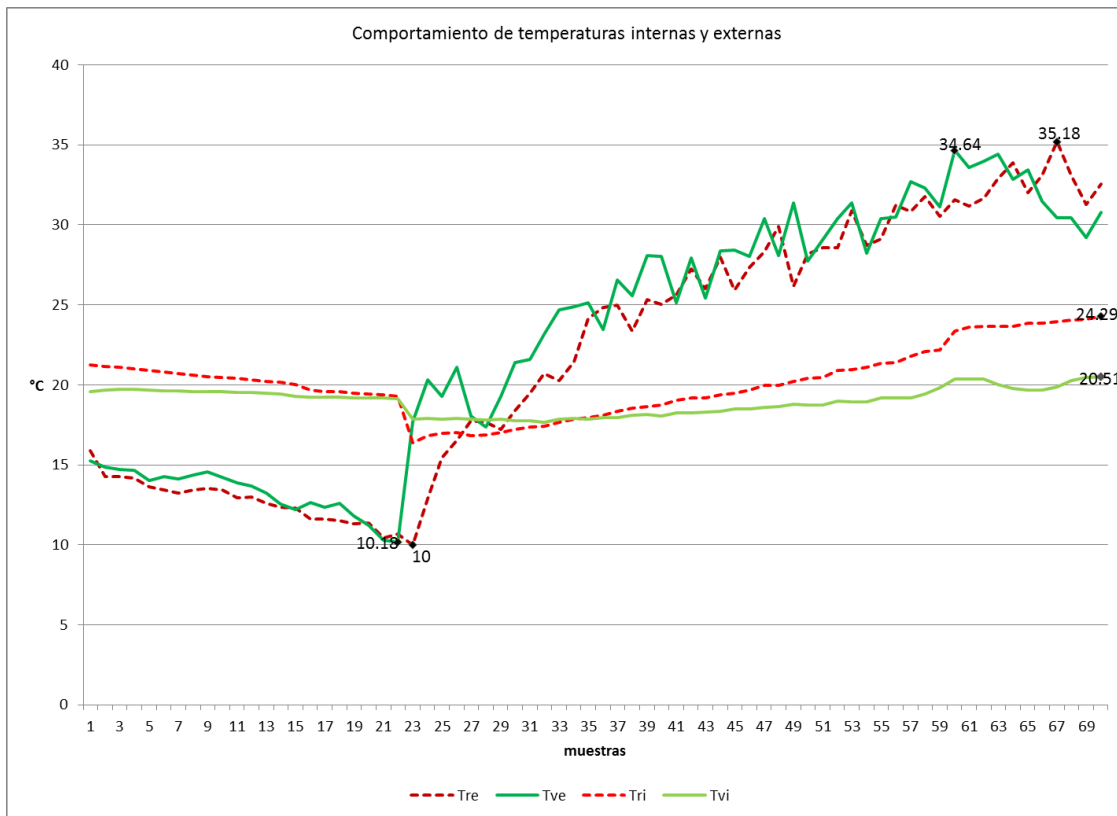


Gráfico 4.14. Datos de las temperaturas en el salón 21

La diferencia de temperaturas mínimas al exterior es mínima, ya que es de 0.18°C en comparación de los 0.54°C en el momento máximo de temperatura muestreada en cada salón, siendo mejor la temperatura del techo verde.

En el interior las temperaturas máximas presentan una diferencia de 3.78°C, con un mejor confort térmico el techo verde. En cuanto a las temperaturas mínimas que se presentaron, la diferencia es de 1.45°C .

En ambos casos para el ser humano las diferencias son poco notables cuando se está teniendo una actividad sencilla como es el de tomar una clase.

Para la humedad relativa también las diferencias son mínimas, ya que para las máximas exteriores existe una divergencia de 3.31% con una discrepancia de 5.38% en las máximas internas, éstos datos se pueden comprobar en el gráfico.

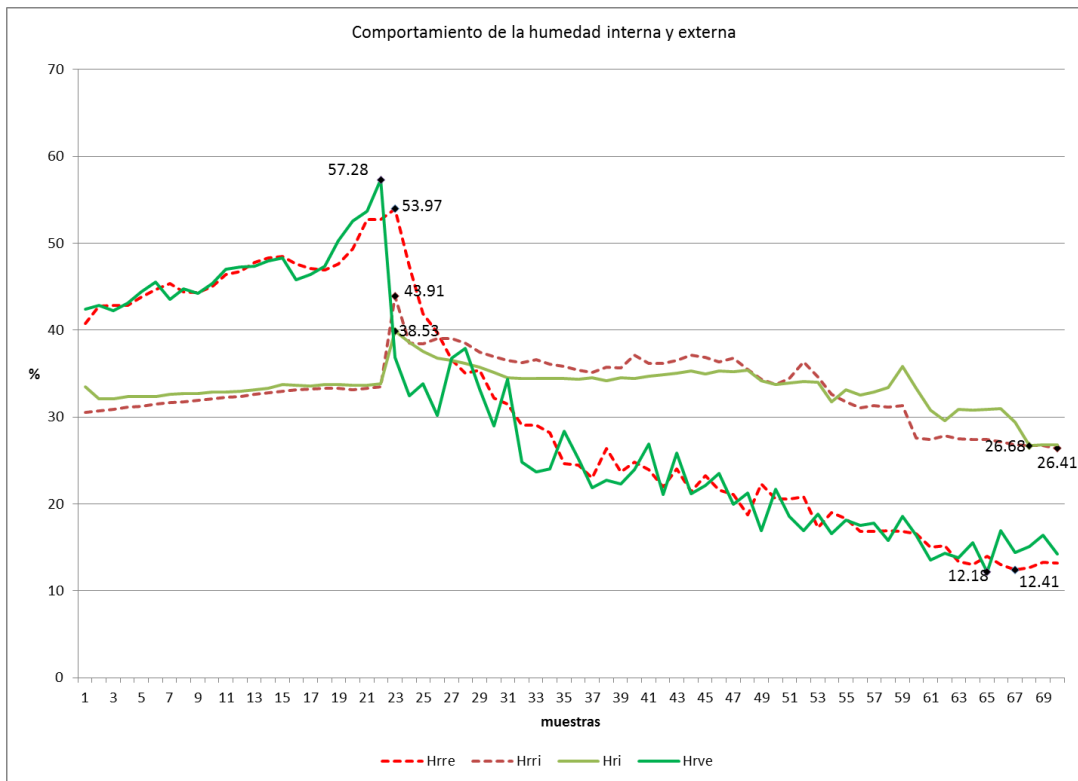


Gráfico 4.15. Datos de la humedad relativa en el salones 21

En cuanto a la humedad relativa mínima, existe una diferencia de 0.27% para el interior de los salones y 0.23% para el exterior.

4.4 Análisis estadístico

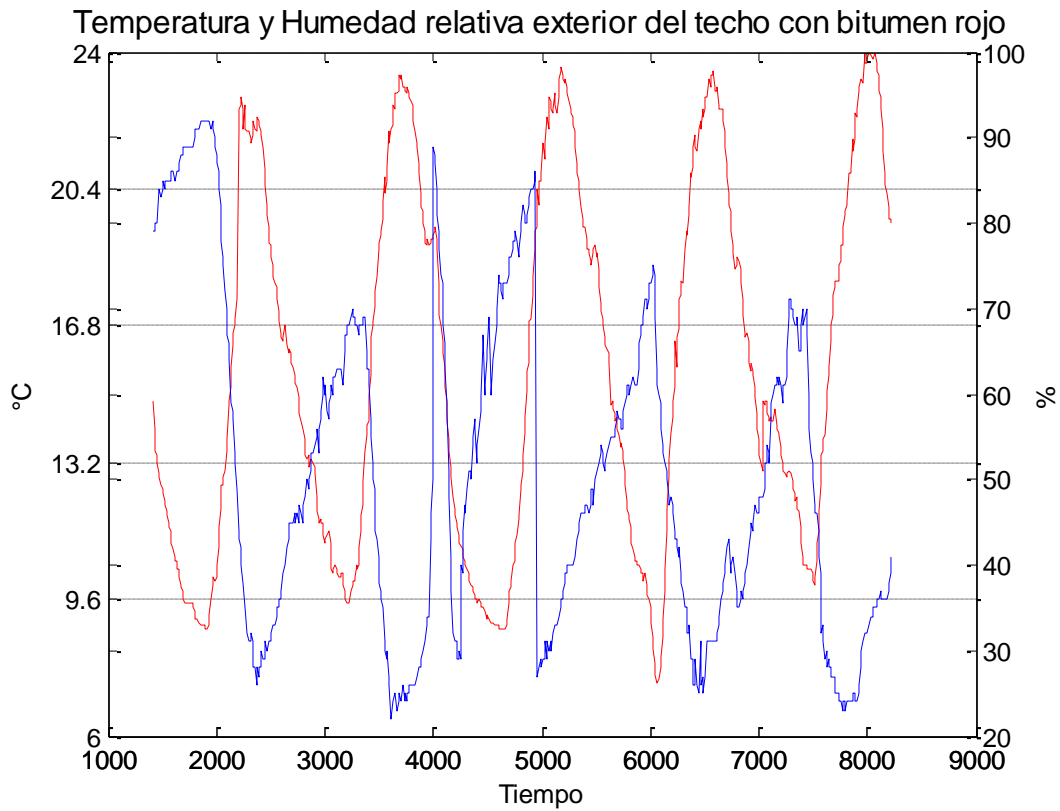


Gráfico 4.16. Comportamiento inverso de la temperatura y humedad relativa en techo rojo

Tabla 4.1. Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero del techo rojo

Temperatura		Humedad	
Varianza	23.6953	Varianza	385.2888
Mediana (°C)	15.2	Mediana (%)	48
Máximo (°C)	24	Máximo (%)	92
Mínimo (°C)	7.4	Mínimo (%)	22
Desviación estándar	4.8678	Desviación estándar	19.6288
Kurtosis	1.6298	Kurtosis	2.0794
Moda (°C)	9.5	Moda (%)	31
Promedio (°C)	15.7536	Promedio (%)	51.2085
		Temp. Vs Hum.	
Coeficiente de correlación		-0.757	
Covarianza		-72.3297	

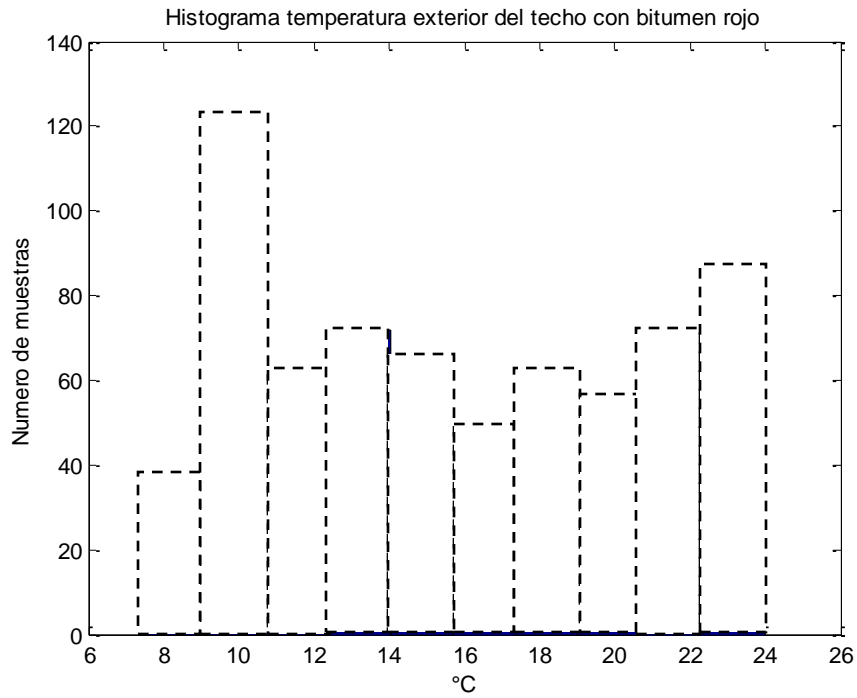


Gráfico 4.17 Tendencia de las muestras a una temperatura en techo rojo

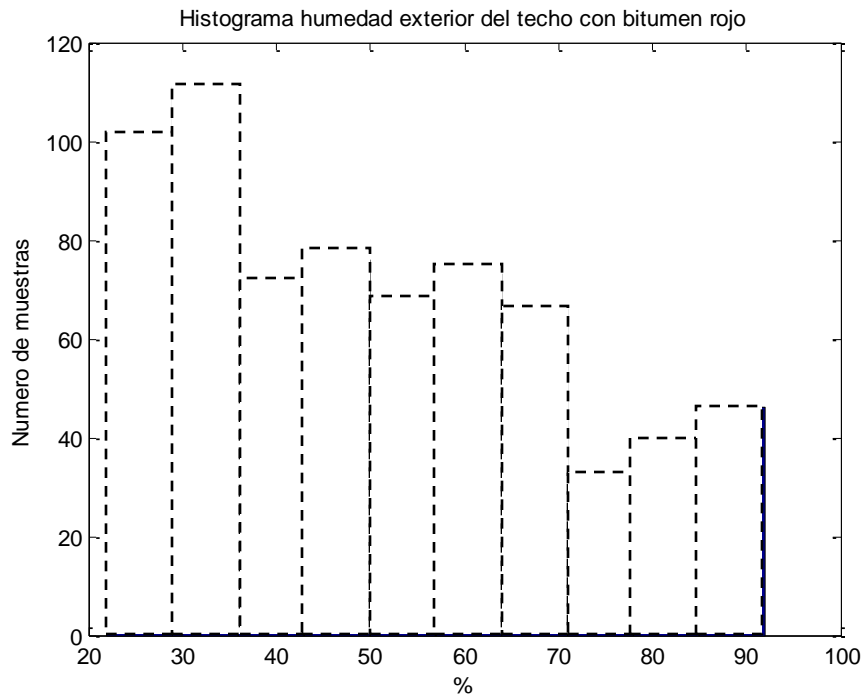


Gráfico 4.18 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en techo rojo

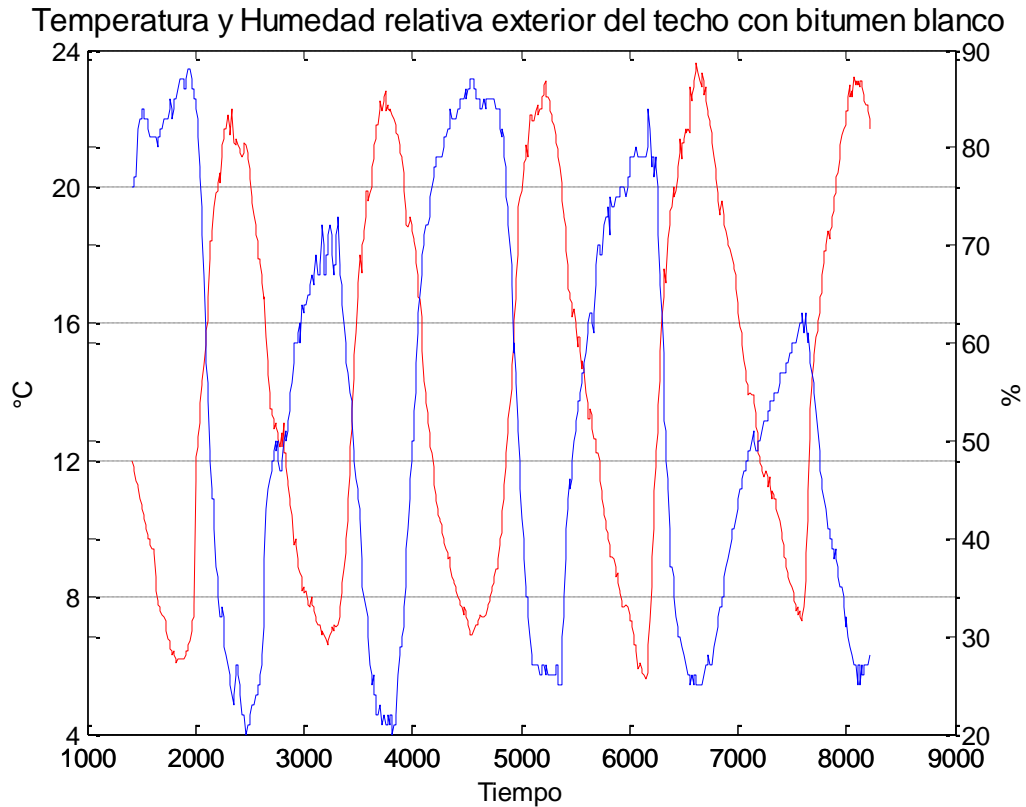


Gráfico 4.19 Comportamiento inverso de la temperatura y humedad relativa en techo con bitumen blanco

Tabla 4.2. Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero del techo blanco

Temperatura	s3	Humedad	s3
Varianza	32.2383	Varianza	464.4425
Mediana (°C)	13.9	Mediana (%)	54
Máximo (°C)	23.6	Máximo (%)	88
Mínimo (°C)	5.6	Mínimo (%)	20
Desviación estándar	5.6779	Desviación estándar	21.5509
Kurtosis	1.5151	Kurtosis	1.6052
Moda (°C)	7.7	Moda (%)	27
Promedio (°C)	14.3999	Promedio (%)	53.9897
		Temp. Vs Hum.	
Coeficiente de correlación		-0.9167	
Covarianza		-112.1657	

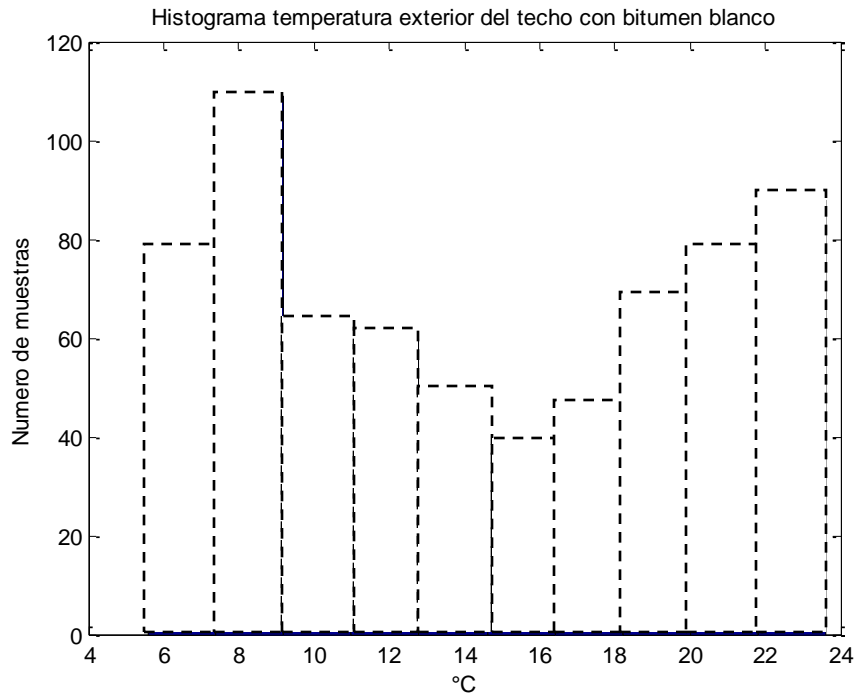


Gráfico 4.20 Tendencia de las muestras a una temperatura en techo blanco

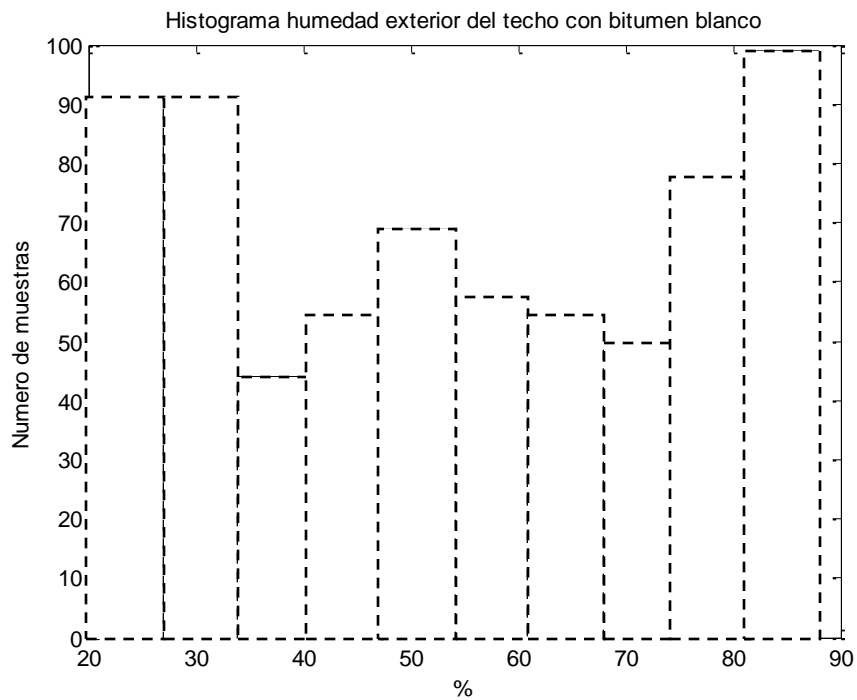


Gráfico 4.21 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en techo blanco

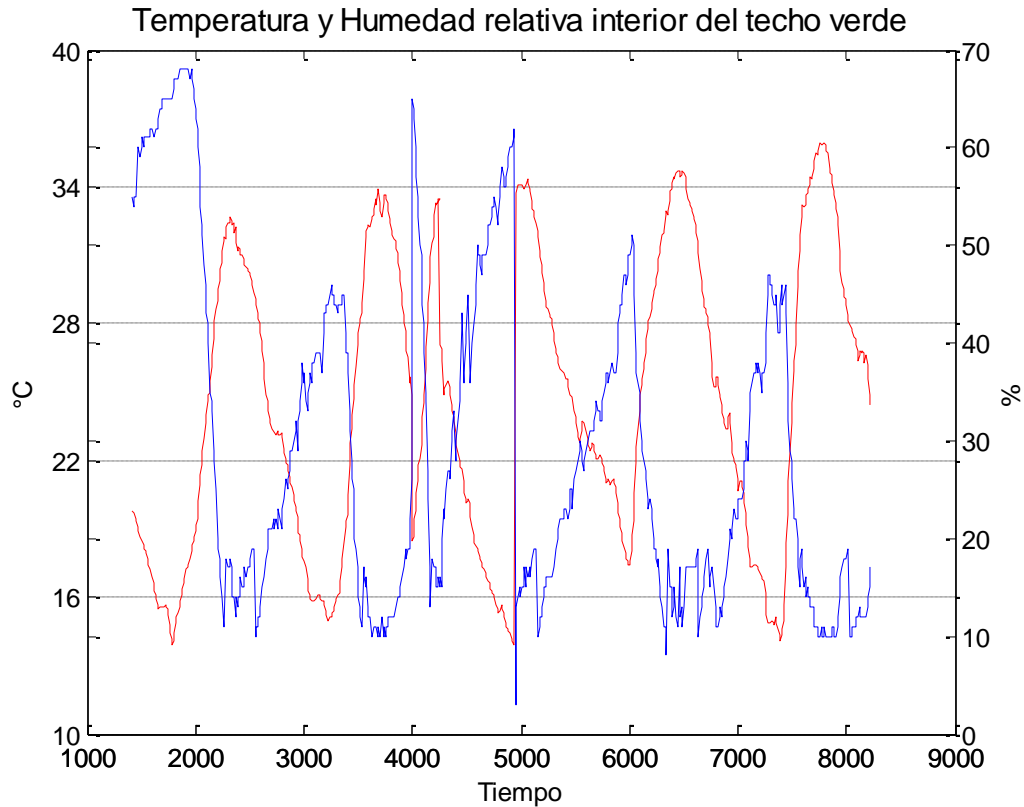


Gráfico 4.22 Comportamiento inverso de la temperatura y humedad relativa en el interior del techo verde

Tabla 4.3 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero en el interior del techo verde

Temperatura	s4	Humedad	s4
Varianza	41.4343	Varianza	288.9047
Mediana (°C)	24.2	Mediana (%)	24
Máximo (°C)	35.9	Máximo (%)	68
Mínimo (°C)	13.9	Mínimo (%)	3
Desviación estándar	6.4369	Desviación estándar	16.9972
Kurtosis	1.719	Kurtosis	2.3398
Moda (°C)	24.9	Moda (%)	17
Promedio (°C)	24.488	Promedio (%)	29.7137

	Temp. vs Hum.
Coefficiente de correlación	-0.8557
Covarianza	-93.6182

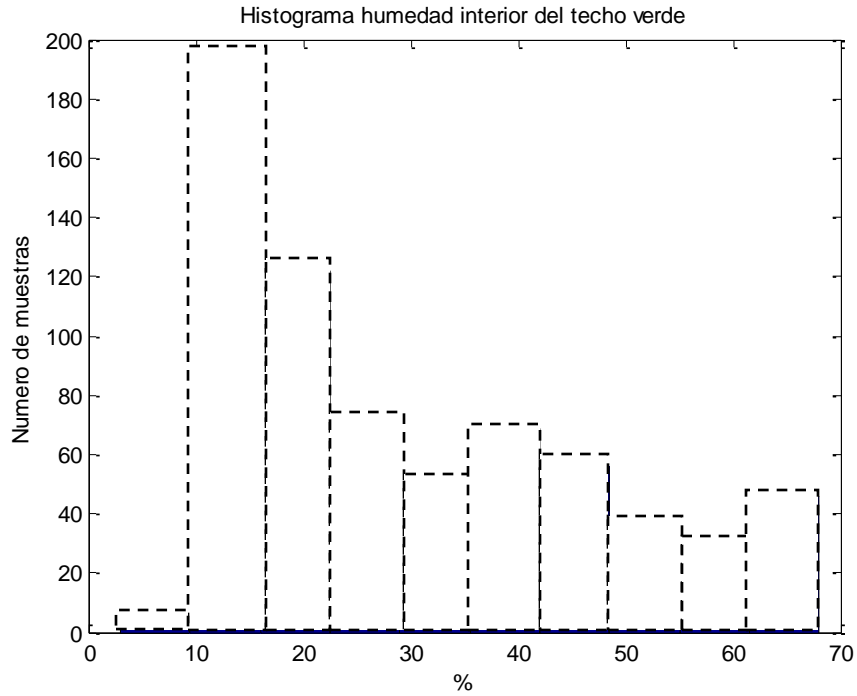


Gráfico 4.23 Tendencia de las muestras a una temperatura en el interior del techo verde

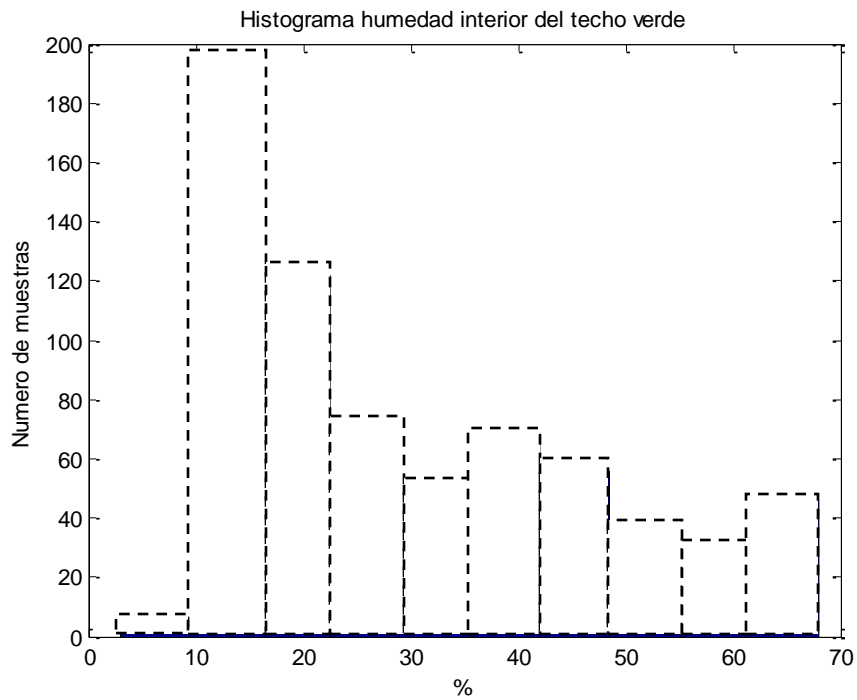


Gráfico 4.24 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en el interior del techo verde.

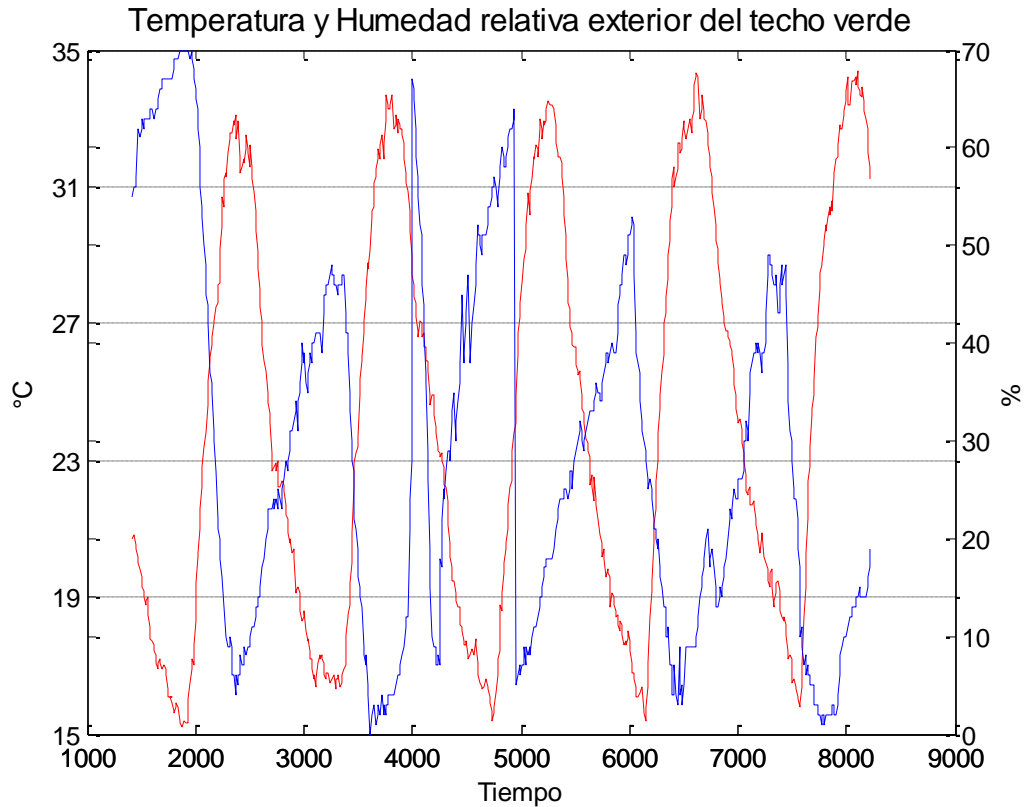


Gráfico 4.25 Comportamiento inverso de la temperatura y humedad relativa en el exterior del techo verde

Tabla 4.4 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero en el exterior del techo verde

Temperatura	s5	Humedad	s5
Varianza	37.4294	Varianza	384.6406
Mediana (°C)	23.3	Mediana (%)	26
Máximo (°C)	34.4	Máximo (%)	70
Mínimo (°C)	15.2	Mínimo (%)	0
Desviación estándar	6.118	Desviación estándar	19.6123
Kurtosis	1.5667	Kurtosis	2.0808
Moda (°C)	16.4	Moda (%)	9
Promedio (°C)	24.1943	Promedio (%)	29.1968
		Temp. vs Hum.	
Coeficiente de correlación		-0.7687	
Covarianza		-92.2295	

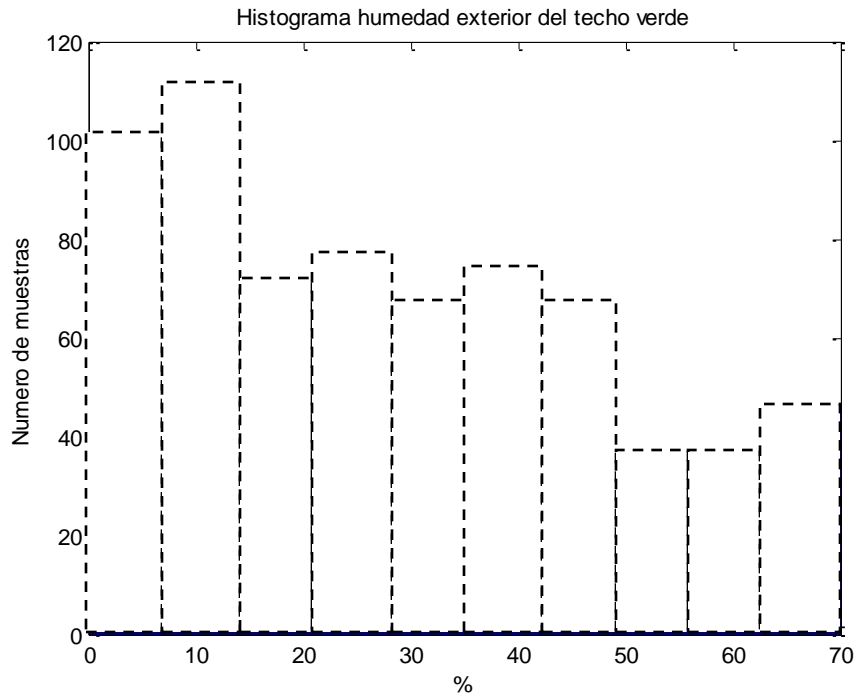


Gráfico 4.26 Tendencia de las muestras a una temperatura en el exterior del techo verde

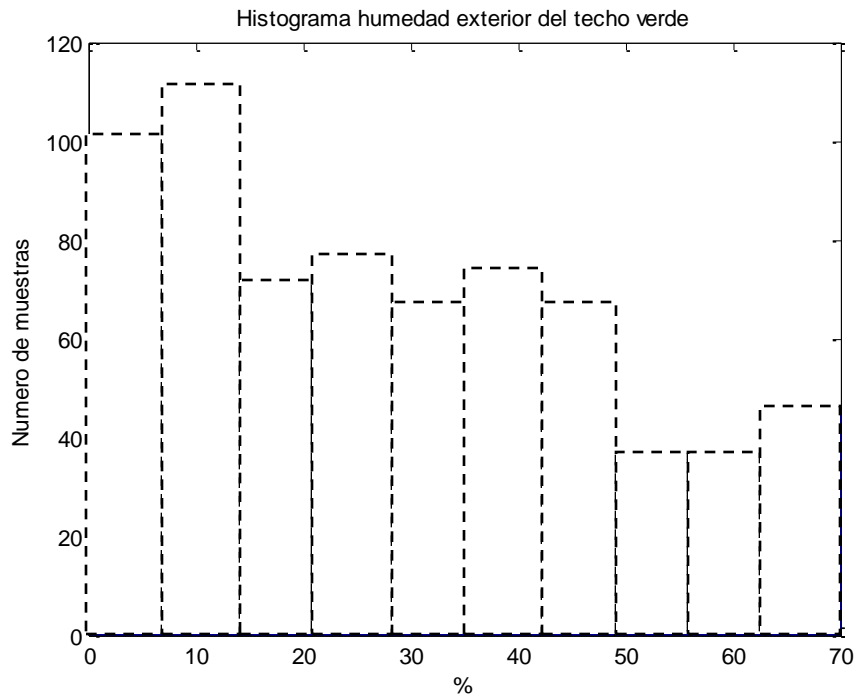


Gráfico 4.27 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en el exterior del techo verde.

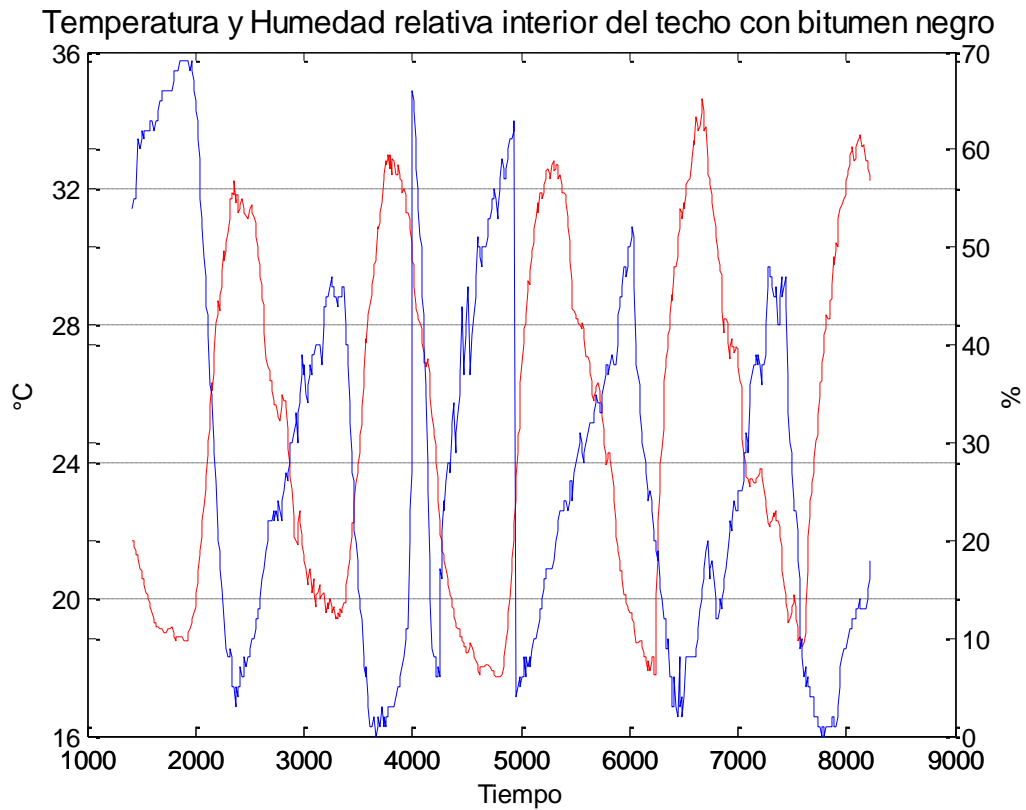


Gráfico 4.28 Comportamiento inverso de la temperatura y humedad relativa en el techo negro

Tabla 4.5 Resultados estadísticos de 5 días continuos en Enero en el techo negro

Temperatura	s7	Humedad	s7
Varianza	26.1813	Varianza	384.4748
Mediana (°C)	24.8	Mediana (%)	25
Máximo (°C)	34.6	Máximo (%)	69
Mínimo (°C)	17.7	Mínimo (%)	0
Desviación estándar	5.1168	Desviación estándar	19.608
Kurtosis	1.5823	Kurtosis	2.0805
Moda (°C)	19.6	Moda (%)	8
Promedio (°C)	25.173	Promedio (%)	29.1997

	Temp. vs Hum.
Coefficiente de correlación	-0.7197
Covarianza	-72.205

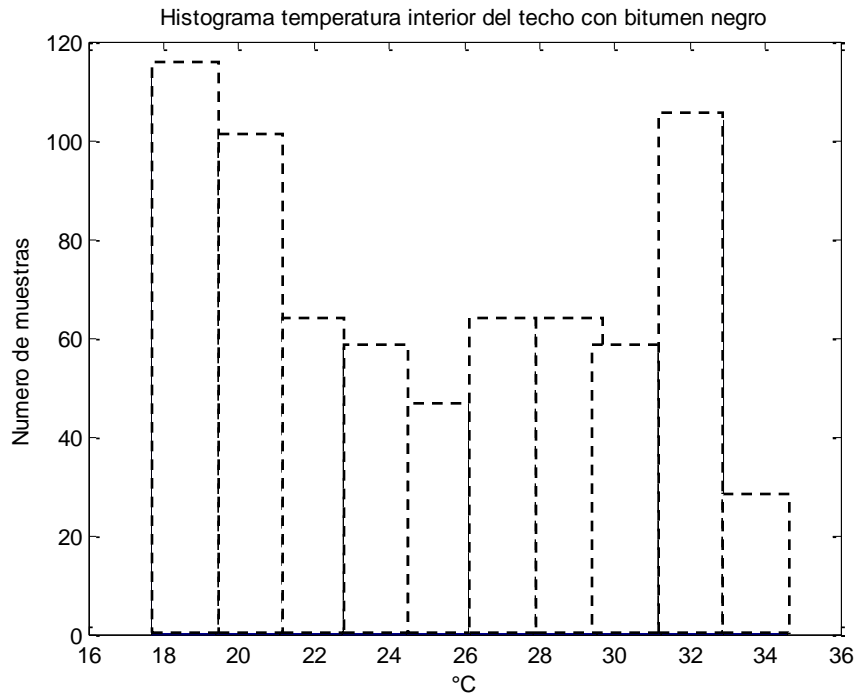


Gráfico 4.29 Tendencia de las muestras a una temperatura en el techo negro

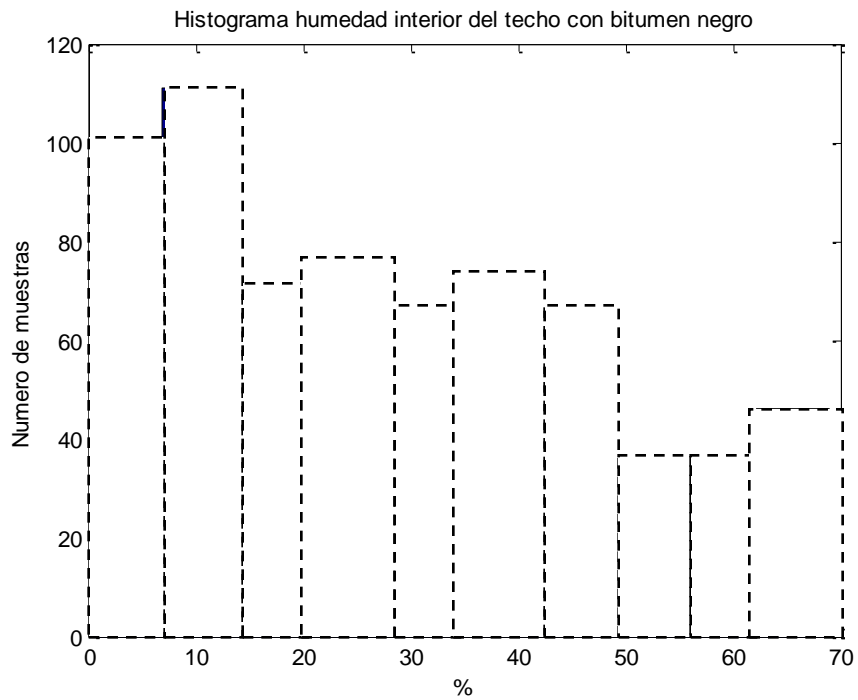


Gráfico 4.30 Tendencia de las muestras a un porcentaje de humedad relativa en el techo negro

4.5 Resultados de la predicción

Para obtener el comportamiento a los 10, 20 y 30 minutos se realizaron diferentes pruebas con la red neuronal artificial. Como se muestra en la tabla 4.6, los datos se dividieron en:

- Datos de entrenamiento
- Datos de validación
- Datos de prueba

Tabla 4.6 Características de las pruebas realizadas para la predicción de temperatura.

Acción	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Entrenamiento	341 --> 50%	443 --> 65%	375 --> 55%	341 --> 50%	443 --> 65%
Validación	238 --> 35%	102 --> 15%	102 --> 15%	238 --> 35%	102 --> 15%
Prueba	102 --> 15%	136 --> 20%	204 --> 30%	102 --> 15%	136 --> 20%
Acción	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	
Entrenamiento	375 --> 55%	409 --> 60%	443--> 65%	409--> 60%	
Validación	102 --> 15%	204 --> 30%	136 --> 20%	204 --> 30%	
Prueba	204 --> 30%	68 --> 10%	102 --> 15%	68 --> 10%	

Obteniendo los mejores resultados en el error cuadrático medio (MSE) con las pruebas 3 y 7. Por lo que los resultados a continuación son de dichas pruebas.

4.5.1 Techo rojo

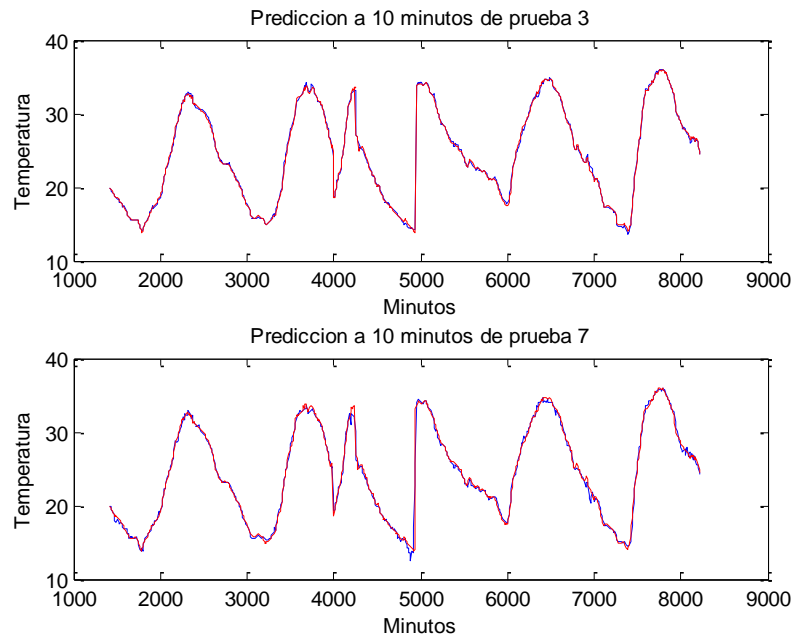


Gráfico 4.31 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 minutos

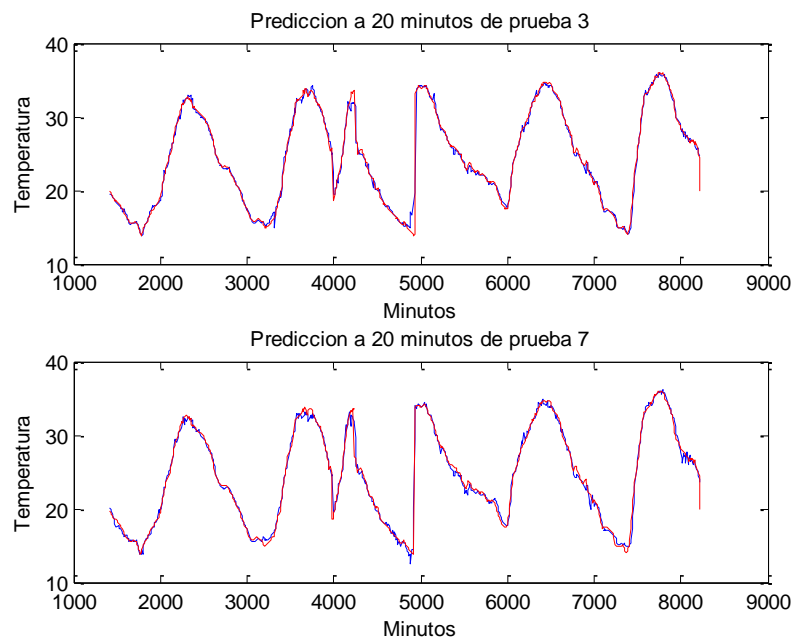


Gráfico 4.32 Comparación a los 20 minutos

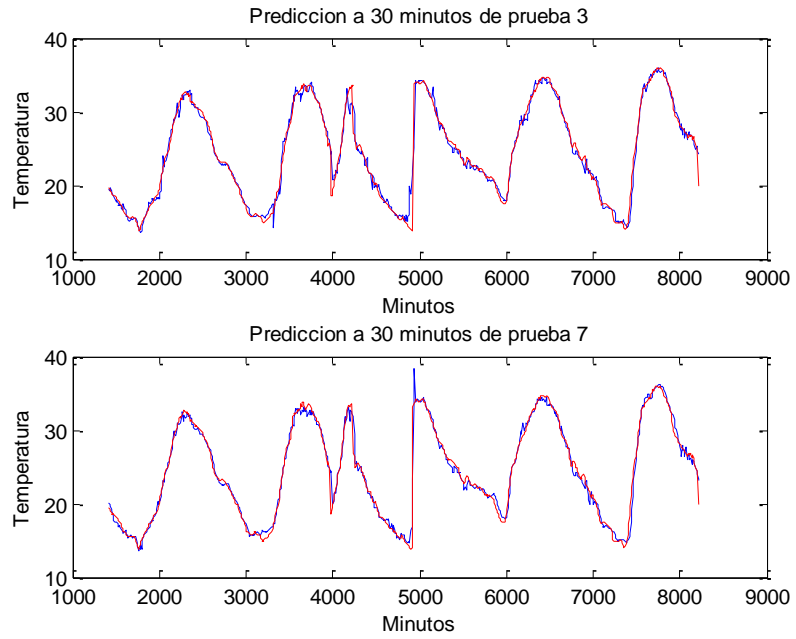


Gráfico 4.33 Comparación a los 30 minutos

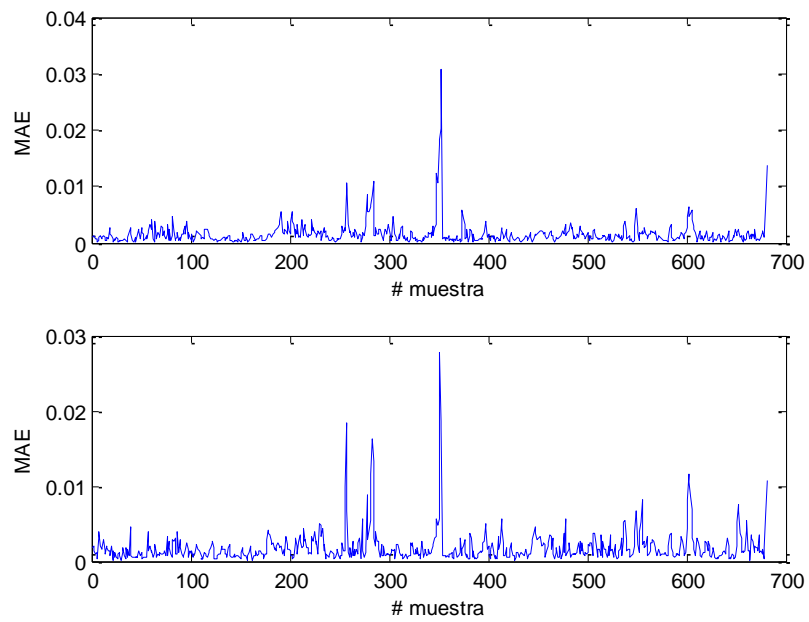


Gráfico 4.34 MAE Error medio absoluto

4.5.2 Techo Blanco

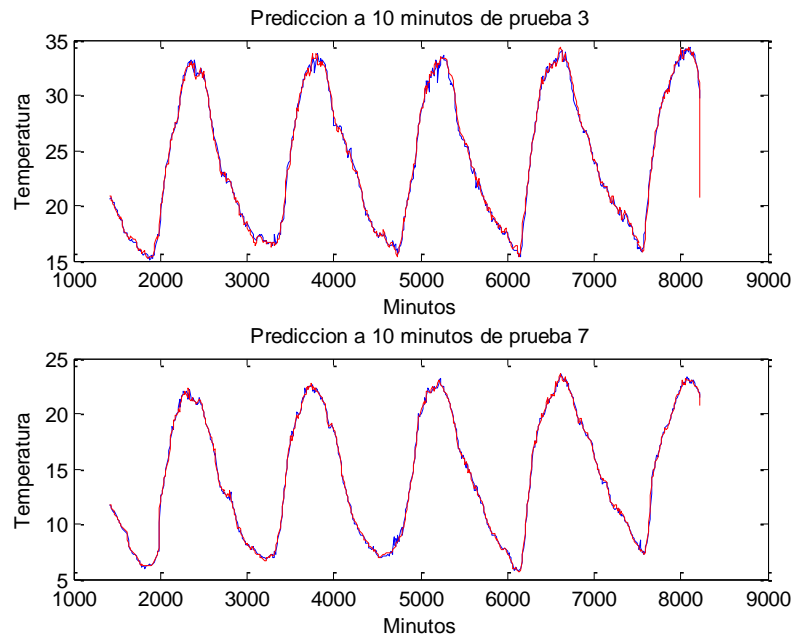


Gráfico 4.35 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 minutos

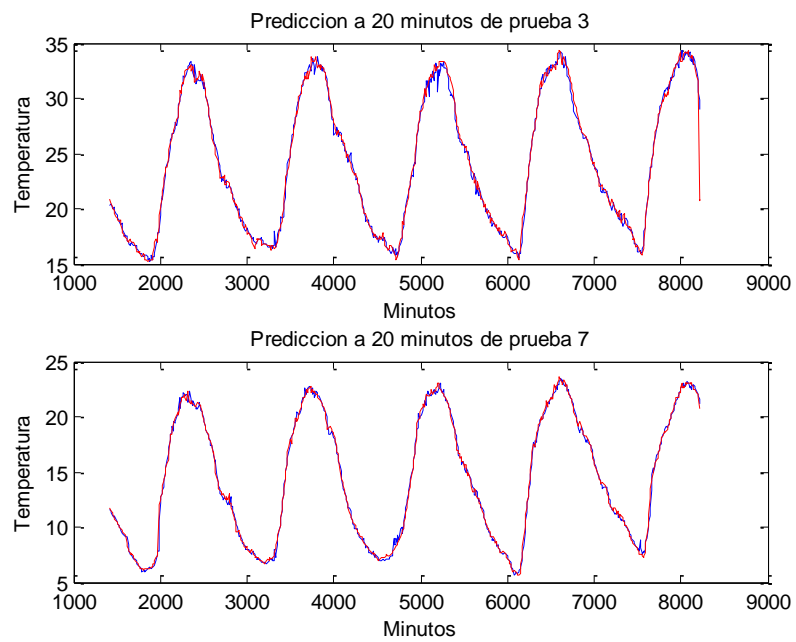


Gráfico 4.36 Comparación a los 20 minutos

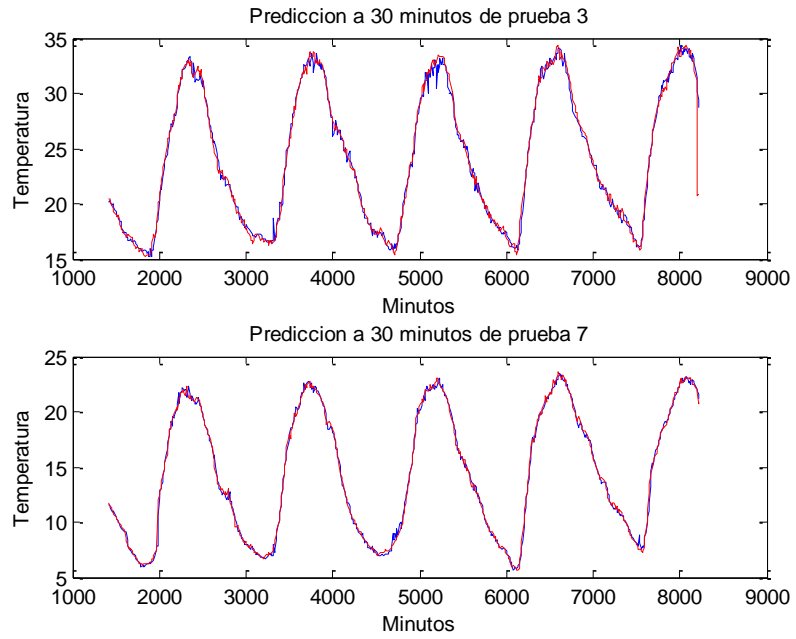


Gráfico 4.37 Comparación a los 30 minutos

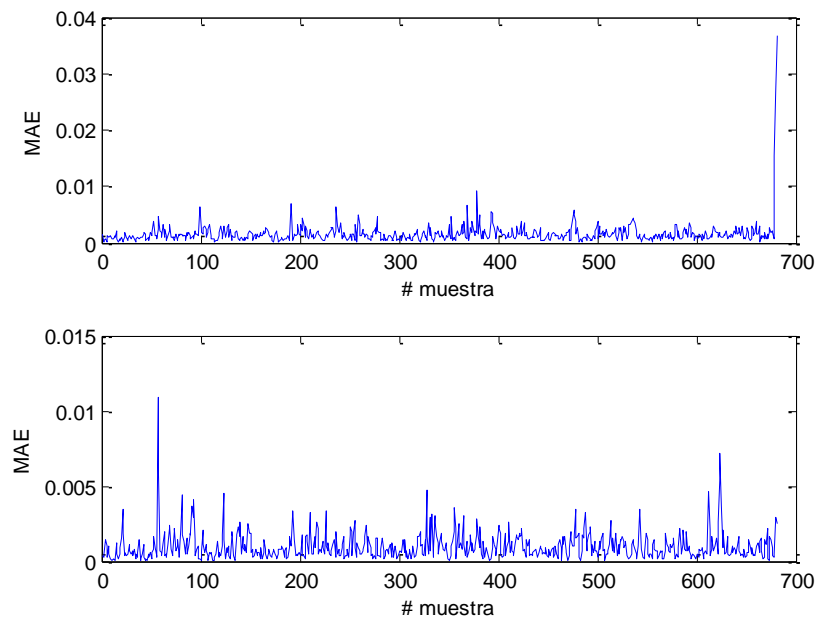


Gráfico 4.38 MAE Error medio absoluto

4.5.3 Techo verde

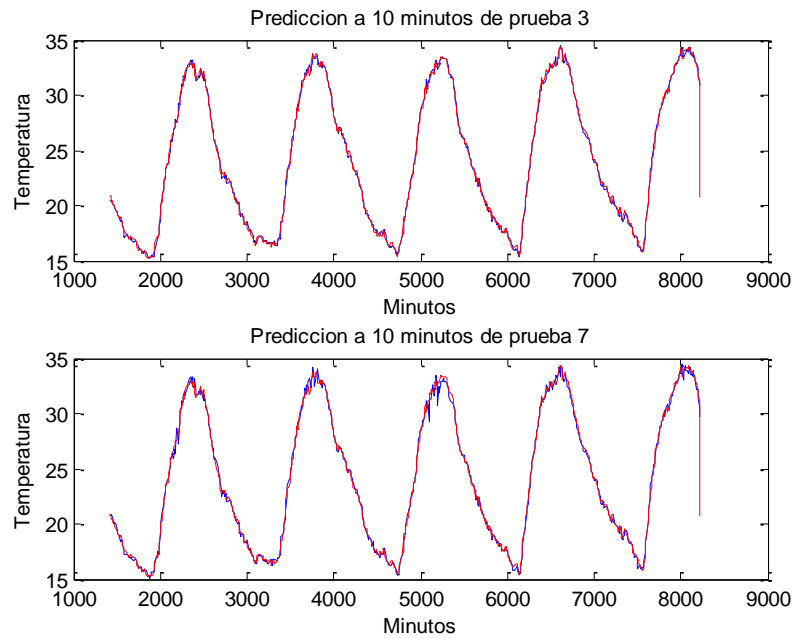


Gráfico 4.39 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 minutos

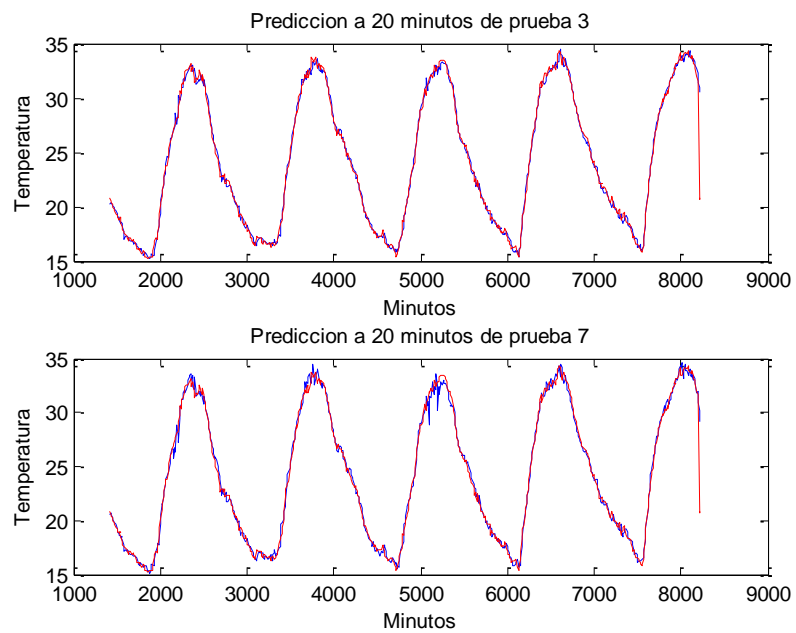


Gráfico 4.40 Comparación a los 20 minutos

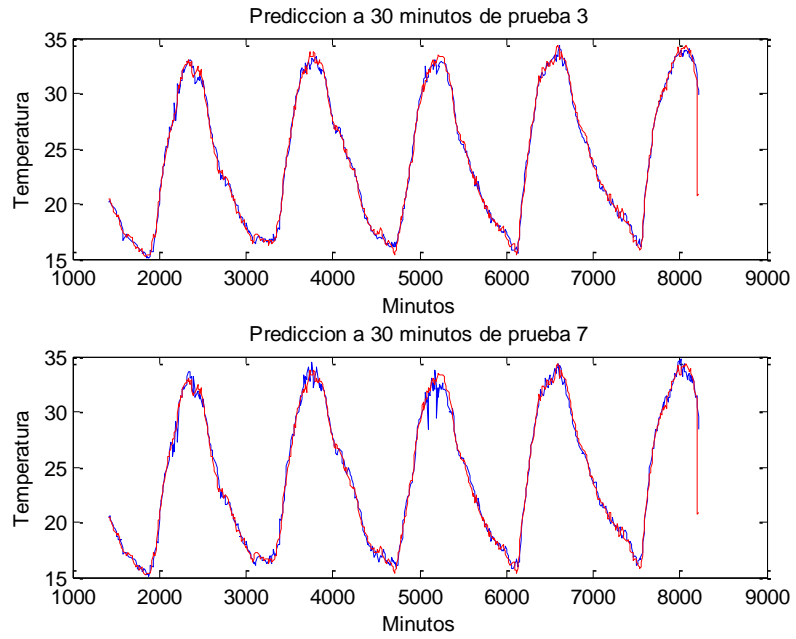


Gráfico 4.41 Comparación a los 30 minutos

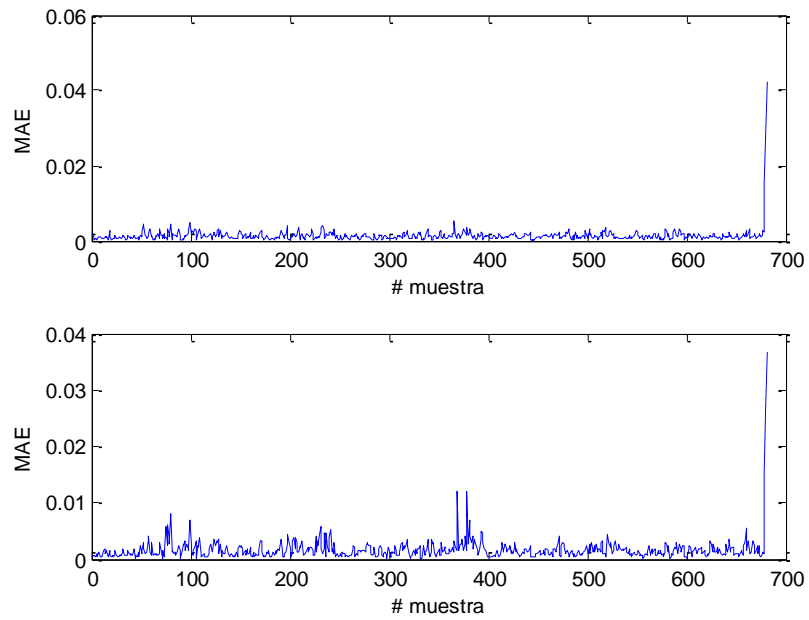


Gráfico 4.42 MAE Error medio absoluto

4.5.4 Techo negro

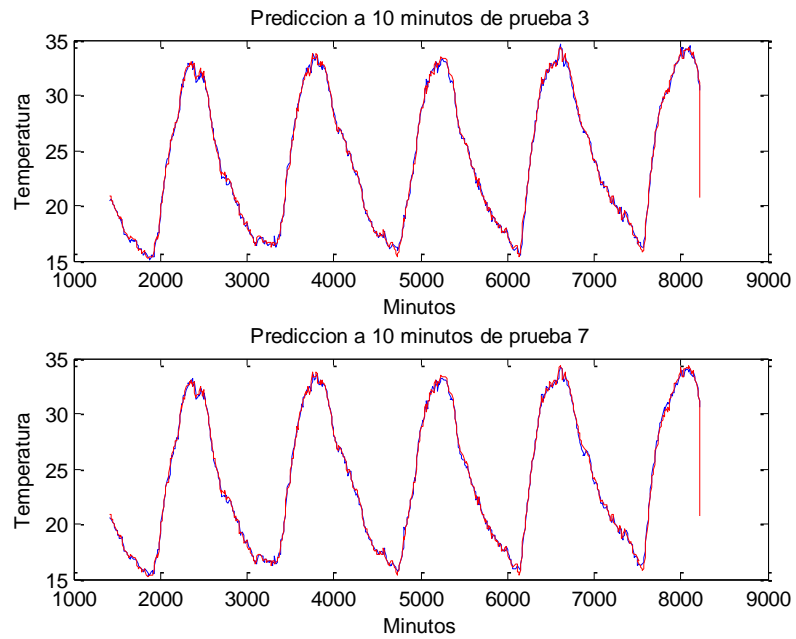


Gráfico 4.43 Comparación de la predicción con 30% y 10% de los datos a 10 minutos

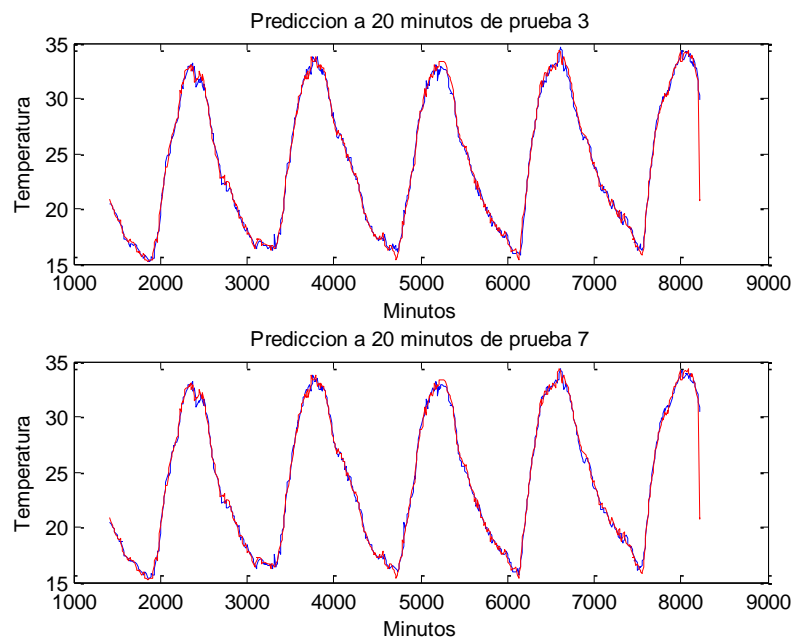


Gráfico 4.44 Comparación a los 20 minutos

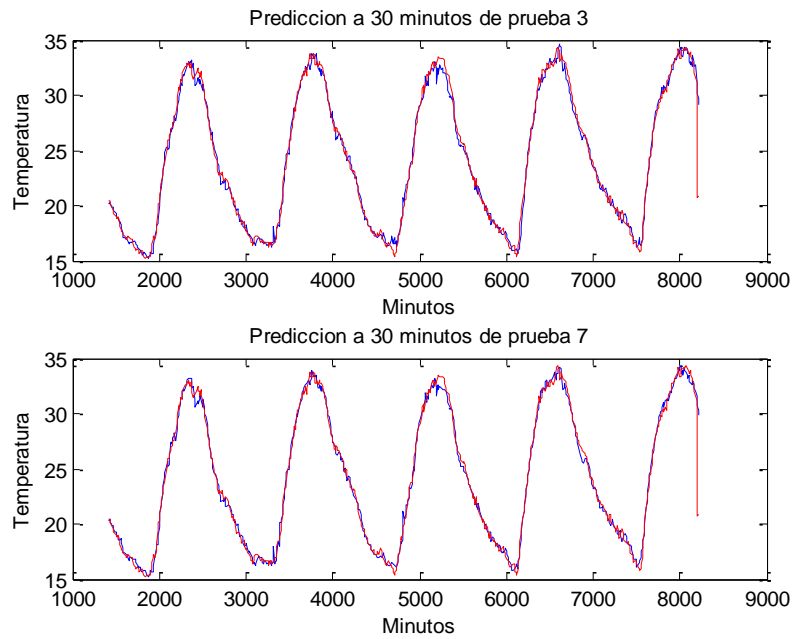
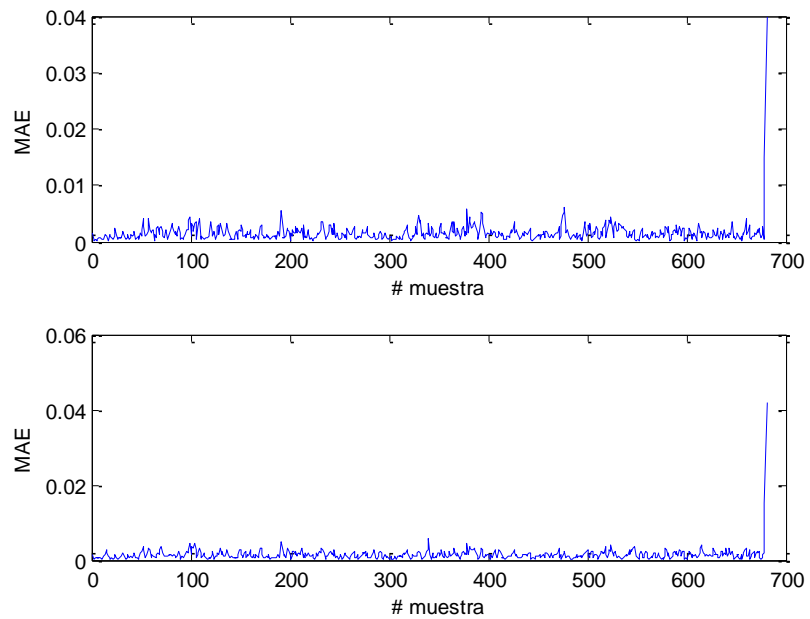


Gráfico 4.45 Comparación a los 30 minutos



Gráfica 4.46 MAE Error medio absoluto

4.6 Análisis de la varianza de una vía (one way ANOVA)

El procedimiento para determinar si existen diferencias significativas entre varias poblaciones o grupos se llama Análisis de Varianza, o ANOVA por Analysis of Variance, en inglés. ANOVA es un nombre genérico y se usa para una variedad inmensa de modelos de comparación de medias, también conocido como diseño de experimentos. En éste trabajo se realizó ANOVA simple o de una vía (one way ANOVA), que se refiere a la comparación de medias de dos o más tratamientos. Vamos a llamar factor a una variable cualitativa que usaremos para designar a los grupos o tratamientos a comparar. Los niveles del factor serán el número de tratamientos o grupos.

El análisis de varianza es similar al análisis de regresión y en realidad los dos pertenecen a la gran familia de los modelos lineales. Los modelos lineales se caracterizan por investigar la relación entre una variable respuesta cuantitativa y una o más variables explicatorias. Sin embargo el análisis de varianza difiere del análisis de regresión en que en el ANOVA las variables explicatorias son cualitativas o factores.

Lo que nos interesa en el análisis de varianza de una vía es extender el test t para dos muestras independientes, para comparar más de dos muestras.

El análisis de varianza se define como una técnica en la que la variabilidad de un conjunto de datos se divide en varios componentes y cada uno de ellos se asocia a una fuente específica de variación, de manera que durante el análisis es posible encontrar la magnitud con la que contribuye cada una de esas fuentes en la variación total.

4.6.1 Prueba t de Student

Probablemente el primer análisis estadístico que uno realiza en su vida es la comparación de dos medias. Esta situación se plantea cuando se están comparando dos grupos (normalmente dos tratamientos) con relación a una variable de eficacia cuantitativa. La prueba de elección es la t de Student. Su

cálculo no tiene mayor dificultad, sin embargo, requiere de ciertas asunciones que a menudo no se suelen verificar, pudiendo llegar a conclusiones erróneas.

4.6.1.1 Asunciones de la prueba t de Student

Técnicamente se puede describir la prueba t de Student como aquella que se utiliza en un modelo en el que una variable explicativa (variable independiente) dicotómica intenta explicar una variable respuesta (variable dependiente) dicotómica. Es decir en la situación: dicotómica explica dicotómica.

La prueba t de Student como todos los modelos estadísticos de contraste se basa en el cálculo de datos estadísticos descriptivos previos: el número de observaciones, la media y la desviación típica en cada grupo. A través de estos estadísticos previos se calcula el estadístico de contraste experimental. Con la ayuda de unas tablas se obtiene a partir de dicho estadístico el p-valor. Si $p < 0,05$ se concluye que hay diferencia entre los dos tratamientos.

Las hipótesis o asunciones para poder aplicar la t de Student son que en cada grupo la variable estudiada siga una distribución Normal y que la dispersión en ambos grupos sea homogénea (hipótesis de homocedasticidad=igualdad de varianzas). Si no se verifica que se cumplen estas asunciones los resultados de la prueba t de Student no tienen ninguna validez.

Por otra parte no es obligatorio que los tamaños de los grupos sean iguales, ni tampoco es necesario conocer la dispersión de los dos grupos.

4.7 Prueba Tukey

La prueba de Tukey declara que dos medias son significativamente diferentes si el valor absoluto de sus diferencias muestrales excede:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(a, f) \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \quad (4.1)$$

Donde $q = \frac{\bar{y}_{maz} - \bar{y}_{min}}{\sqrt{CM_E/n}}$, que es lo que se conoce como estadístico del rango studentizado.

A continuación se muestran las tablas con los resultados del ANOVA de una vía usando prueba Tukey.

Tabla 4.7. Resultados de ANOVA usando prueba Tukey para observar la variación de la humedad relativa externa de cada techo.

Prueba Tukey	Diferencia de promedios	Prob	Alpha	Sig
HrextverdeHrextrojo	-6.98515	2.22E-16	0.05	1
HrextnegroHrextrojo	-2.08834	1.56E-05	0.05	1
HrextnegroHrextverde	4.89682	2.22E-16	0.05	1
HrextblancoHrextrojo	-6.35039	2.22E-16	0.05	1
HrextblancoHrextverde	0.63476	0.48168	0.05	0
HrextblancoHrextnegro	-4.26205	2.22E-16	0.05	1

Tabla 4.8. Resultados para observar la variación de la humedad relativa interna de cada techo.

Prueba Tukey	Diferencia de promedios	Prob	Alpha	Sig
HrintverdeHrintrojo	-5.34771	2.22E-16	0.05	1
HrintnegroHrintrojo	-6.73178	2.22E-16	0.05	1
HrintnegroHrintverde	-1.38407	0.00157	0.05	1
HrintblancoHrintrojo	-7.73909	2.22E-16	0.05	1
HrintblancoHrintverde	-2.39138	1.98E-09	0.05	1
HrintblancoHrintnegro	-1.00731	0.04051	0.05	1

Tabla 4.9. Resultados de ANOVA usando prueba Tukey para observar la variación de la temperatura externa de cada techo.

Prueba Tukey	Diferencia de promedios	Prob	Alpha	Sig
TextverdeTextrojo	3.2	2.22E-16	0.05	1
TextnegroTextrojo	4.38686	2.22E-16	0.05	1
TextnegroTextverde	1.18686	2.22E-16	0.05	1
TextblancoTextrojo	4.7	2.22E-16	0.05	1
TextblancoTextverde	1.5	2.22E-16	0.05	1
TextblancoTextnegro	0.31314	0.05509	0.05	0

Tabla 4.10. Resultados para observar la variación de la temperatura interna de cada techo.

Prueba Tukey	Diferencia de promedios	Prob	Alpha	Sig
TintverdeTintrojo	3.5	2.22E-16	0.05	1
TintnegroTintrojo	6.49847	2.22E-16	0.05	1
TintnegroTintverde	2.99847	2.22E-16	0.05	1
TintblancoTintrojo	4.58686	2.22E-16	0.05	1
TintblancoTintverde	1.08686	3.33E-16	0.05	1
TintblancoTintnegro	-1.91161	2.22E-16	0.05	1

4.7 Conclusiones

Lo que se pudo aprender en el desarrollo de éste proyecto, fue que para mantener la temperatura dentro de las aulas de estudio, se necesita un recubrimiento, aislante o impermeabilizante con los coeficientes de absorberencia solar medios, porque en la época de otoño e invierno mantienen la temperatura interna entre arriba de los 30⁰ C en los momentos de mayor ocupación del salón de clases y mayor a los 10⁰ C cuando el salón está completamente vacío (en la madrugada de días muy fríos).

Con esto podemos concluir que para la ciudad de Querétaro en la época de otoño, el material impermeabilizante que ayude al control térmico en el interior de inmuebles, el bitumen asfáltico rojo sigue siendo un buena opción, pero si se cuentan con los recursos económicos para colocar el techo verde, esté también es una opción viable.

Siguiendo con las temperaturas de los demás colores, el color blanco que presenta un coeficiente de absorberencia 0.1 aproximadamente, demostró que la mínima es de 5.6⁰ C en comparación con los demás colores, es el más frío para la época de otoño e invierno. Para ésta temporada el mejor color es el color negro pues sus temperatura mínima fue de 17.7⁰ C.

Como conclusión general se puede decir que la predicción de temperaturas para todos los casos el error cuadrático fue igual o menor a 0.5, esto

quiere decir que puede haber una diferencia de medio grado al momento de la predicción, con lo que se confirma que las redes neuronales artificiales son una herramienta eficiente al momento de hacer predicción de temperatura.

En cuanto al uso de los aislantes utilizados en la investigación podemos decir que para conocer un impacto considerable de los beneficios que tiene un techo verde, se debe de colocar por lo menos el 80% de la superficie a aislar o en dado caso tener más edificios con techos verdes.

Con los colores el ideal es el color blanco para las épocas de calor ya que mantiene una temperatura promedio de 15° C aproximadamente en comparación de los casi 16° C del techo con impermeabilizante rojo y 25° C del negro, las 3 temperaturas en promedio.

Para tener mejores resultados en cuanto al conocimiento del comportamiento térmico de los impermeabilizantes o recubrimientos utilizados comúnmente en la ciudad de Querétaro se tendría que considerar, el uso de inmueble, la cantidad de gente que los usa, las horas en las que se encuentran ocupados y las que están vacíos, así como la ropa que portan los usuarios y finalmente las actividad que están realizando.

Falta mucho que seguir investigando para tener los mejores resultados para poder conocer realmente el comportamiento y eficacia de los aislantes comerciales y sobre todo de los techos verdes.

Referencias

1. Baronti P., Pillai P., Chook V.W.C., Chessa S., Gotta A., y. Hu F. 2007. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Comput Comm.*,30: 1655–1695.
2. Bertil T. y Mohsen S-M. 2006. Artificial neural network models for indoor temperature prediction: investigations in two buildings. *Neural Comput Appl.*, 16:(1) 81-89.
3. Bilbao P. A., Volantino V., Bernacchia T., Bernacchia A., Pereyra . O., Cruz D. D. 2008. Mediciones higrotérmicas efectuadas en una vivienda construida con bloques de hormigón celular curado en autoclave. *AVERMA.*, 12: 08.25-08.32.
4. Cao X., Chen J., Sun Y. 2009. An interface designed for networked monitoring and control in wireless sensor networks. *Comput Stand Interfac.*, 31: 579–585.
5. Chow T., Zhang L., Kwong-fai F., Lok-shun C., Miao-miao H. 2009. Thermal performance of natural airflow window in subtropical and temperate climate zones – A comparative study. *Energ Convers Manag.*, 50: 1884–1890.
6. Estrada-Flores S., Mertsb I., De Ketelaerec B., Lammertynd J. 2006. Development and validation of “grey-box” models for refrigeration applications: a review of key concepts. *Inte J Refrig.*, 9:931 – 946.
7. Galindo M., Pérez C., Benites J. L., Leyva O. 2008. Sistema de Aislamiento e impermeabilización de techos: Evaluación de viviendas del desierto. *Revista Energética* 40: 5-12.
8. González E. y Almaso N. 2000. Estudio experimental comparativo de cuatro tipos de techos en condiciones cálidas y húmedas. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad del Zulia.
9. Hart J. K., Martinez K. 2006. Environmental sensor networks: A revolution in the earth system science?. *Earth Sci Rev.*, 78:177–191.

10. Hornbostel C. 2004. Materiales para la construcción; tipos usos y aplicaciones, México.
11. Jang S., Healy W. M., Skibniewski M. J. 2008. Wireless sensor networks as part of a web-based building environmental monitoring system. *Autom Construct.*, 17:729–736.
12. Kaşka Ö, Yumrutaş R. y Arpa O. 2009. Theoretical and experimental investigation of total equivalent temperature difference (TETD) values for building walls and flat roofs in Turkey. *Appl Energ.*, 86:737–747.
13. Kolokotsa D., Pouliezos A., Stavrakakis G., Lazos C. 2009. Predictive control techniques for energy and indoor environmental quality management in buildings. *Build Environ.*, 44(9):1850-1863.
14. Mathúna C., O'Donnell T., Martínez-Catala R. V., Rohan J. y O'Flynn B. 2008. Energy scavenging for long-term deployable wireless sensor networks. *Talanta.*, 75: 613–623.
15. Kharrufa S. N. y Adil Y. 2008. Roof pond cooling of buildings in hot arid climates. *Build Environ.*, 43:82–89.
16. Silva H. A. y Domínguez C. M. A. 2007. Estudio del comportamiento térmico de casa habitación típicas de la región. Verano de la Ciencia. Facultad de ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro.
17. Soleimani-Mohseni M., Thomas B. y Fahlén P. 2006. Estimation of operative temperature in buildings using artificial neural networks. *Energ Build.*, 38:635–640.
18. Teemusk A. y Mander Ü. 2009. Green roof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: A case study from Estonia. *Build Environ.*, 44:643–650.
19. Volantino, V. L.; Etchechoury, E. 2002. Influencia de la absorbencia solar en el comportamiento térmico de muros para condiciones de verano. 4º Jornadas de Desarrollo e Innovación.
20. Vrečko D., Vodopivec N. y Strmčnik S. 2009. An algorithm for calculating the optimal reference temperature in buildings. *Energ Build.*, 41:182–189.

21. Wicker S. y Manohar R. 2006. Wireless devices and sensor networks for communication. Information, Computation, and Communication. R E S E A R C H without BOUNDARIES. Cornell University. USA

Anexo A

Artículo enviado el 17 del mayo del 2011 a la revista:

International Journal of the Physical Sciences

Thermal behavior in different roof coverings on classrooms

Yajaira I. Curiel-Razo², Genaro M. Soto-Zarazúa^{*1}, Edgar Rivas-Araiza², Omar Chavez-Alegria³, Manuel Toledano-Ayala²

¹Biosystems Department. School of Engineering. Querétaro State University C.U. Cerro de las Campanas S/N. C.P. 76010. Querétaro. México.

²Design Center and Technology Innovation (CEDIT). Research and Graduate Division. School of Engineering. Querétaro State University. C.U. Cerro de las Campanas S/N. C.P. 76010. Querétaro. México.

³Soil Mechanics Laboratory of Engineering. Queretaro State University. C.U. Cerro de las Campanas s/n. C.P 76010, Querétaro. México.

*Corresponding author: Dr. Genaro M. Soto-Zarazúa

E-mail: genaro.soto@uaq.mx

Tel.: (+52) (442) 1921200 ext. 6016. Fax: (52) (442) 1921200 ext. 6016.

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the internal temperature behavior of classrooms in relation to outside temperature and the roof deck. The temperature was measured in four rooms with a mean area of 75.5 m². Three of the classrooms were covered with asphaltic bitumen of three different colors (red tile, matte white, and ebony black) the last one was cover with typical clay of the region. Were placed in each classroom two sensors. One sensor was placed outside at 0.40 meters above the roof surface; the interior sensor was placed at 0.15 meters below the

ceiling. The sampled data were recorded over ten minutes with the remote terminal units which form a wireless sensor network. With these results were found significant differences in temperature between the four classrooms with a grade of significance of 0.05 and showed that the color of the roof deck significantly influences the thermal behavior inside the classroom. The influence of external temperature over the internal temperature was quantified with the r-Peron coefficient with a mean value of 1.

Keywords: Thermal behavior, color cover, thermal comfort, roof surface

INTRODUCTION

The analysis thermal behavior inside the buildings is studied worldwide to find the ideal thermal conditions for comfort of the users in their social living places like office, dwelling or school, etc. (Chun and Tamura, 2005). The environmental parameters affect the indoor weather of the buildings for mentioning some the external temperature, solar radiation, relative humidity, wind speed, etc. (Suehrcke et al., 2008). The solar radiation cause the temperature increment in cities because the exposure and warming for the sun light of roofs and walls surfaces of buildings and houses . The roofs surfaces represent over 32% of the horizontal surface of the built areas in an urban zone (Okeil, 2004).

The increase temperature phenomenon cause change in the energy flow on urban ecosystems causing environmental problems (Oberndorfer et al., 2007; Shahmohamadi et al.,2010) such as the urban heat island effect and greenhouse effect (Takebayashi and Moriyama, 2007). In specific the urban heat island effect is

characterized for the increment of temperature over the cities between of 4 to 8°C this increment depends the size of the city and population in the city (Karlessi et al.,2011).

Not only the environmental parameters like temperature increase in the urban areas affects the people activities in the office, school and dwelling. Researchers have found inside buildings some contaminates or factors that affect the people health (Redman et al., 2011). Some of these factors are: forced ventilation in sealed buildings, walls and floor lined, uniform thermal environment, etc. These factors are some to describe the sick building syndrome (Sumedha, 2008). The obtained results through the sick building syndrom are seen in the occupant's poor performance mainly in poorly ventilation buildings (Norbäck and Nordström, 2008). Another factor that can cause thermal discomfort in people is the increase and decrease relative humidity of the environment. The behavior of relative humidity with the temperature increment make changes in the human confort in anyplace. The changes in the thermal comfort through the relative humidity and temperature had been research in different places e.g. office buildings, schools, house to mention some (Orosa, 2009).

Actions that can take to control the temperature and the relative humidity is modify physically the construction. Before construction begins can geographically target the building in the direction that the walls are not exposed directly to sunlight for several hours and avoid the increase of the indoor temperature, the use of paints with low absorption solar radiation, waterproof or coated to reflect solar radiation short wavelength (from 0.2 μ m to 2.5 μ m) (Etchechoury,2002).

Other way that the researchers found benefits is using different materials such as the elements of the roof and walls for reducing thermal effects of the environment whether urban or rural area (Hernandez and Dominguez, 2007). Exist materials, traditionally not used in the construction, these materials can be used to preserve the building and to maintain the weather inside it e.g. endemic plants over the roof. In the study field of thermal comfort some researchers have been done studies with different organic or inorganic materials and other studies in the behavior of the wall and roof surfaces, also have been done researches in places of the buildings like passages. These investigations are for mitigate heat inside and outside the buildings or solve other problems caused for the buildings in urban zones.

Testing some organic materials Liang and Huang (2011) in Taiwan used *Cynodon dactylon*, an endemic plant of Finland. This grass was chosen because of its rapid growth and its behavior in the times of drought. The grass been used over the roof of the building under study. The thickness grass that presented best results was 0.10 m. With this thickness grass study confirmed that less long-wave radiation was emitted from the planted roof and heat flux transfer to indoor was greatly reduced under the same lawn planted area. This mention results confirmed that rooftop lawn contributes benefits on its surrounding environment and improvement the beneath indoor comfort.

In Turkey was made a study which demonstrated the Total Equivalent Temperature Difference for calculating cooling load due to heat gain in the space between the layers of walls and flat roofs. The results demonstrated that the thermophysical properties of the wall or roof materials had a great impact in the heat flux transfer to indoor causing the temperature increment. Also the research shows an increase

indoor heat as a result of the outside air temperatures and the geographical orientation affects because the solar radiation flux is higher in the west compared to the other directions that had fewer hours exposed to the sunlight causing the heat of the walls and again incrementing the indoor temperature (Kaşka et al., 2009).

In other areas of the buildings in study as corridors, the researchers Chun and Tamura (2005) verified that in a tropical climate the transition zone between inside and outside a public building; the thermal comfort can be influenced widely for the relative temperature sources such as open doors or air conditioned placed along the corridors. They conclude that thermal comfort in transitional spaces can be adapted very widely compared to comfort inside of buildings.

In the field of the physical modification, the color of the roof surface was changed, used and studied in this paper . The color of the roof surface used shows the solar absorbcency rate, which determines the material ability to reflect or absorb solar radiation (Takebayashi and Moriyama, 2007). The dark and light paints have very different capabilities for absorp solar radiation (ebony black \approx 100% and matte white \approx 10%). But comparing with long-wave emission these two colors have similar conduct. For that characteristic the cooling of the light color surface or dark color is equal at the moment of releasing the stored heat and make the energy balance with the environment (de Brito Filho et al., 2011).

Based on the absorption and reflection of long wave radiation known as thermal radiation know that is more important the surface state. This is it because the smooth and polished surfaces are better than the rough surfaces for reflect and absorb the infrared radiation of long wave (de Brito Filho et al., 2011)

The changes thermal behavior in different areas or surfaces of buildings is principally to the solar radiation-material interaction.

The aim of this work is the analysis of the thermal behavior indoor and outdoor of a scholar building that its structural concrete roof had been covered with a layer conformed by bitumen-based asphalt waterproofing. The covers of bitumen based asphalt were selected in three different colors to compare the thermal behavior of each color. The colors used were red tile, matte white, and ebony black and other non-common material in construction. The clay typical of the region is a non-common material used in construction for that reason was chosen another classroom which was covered with the clay. Also was selected this clay for known if an endemic material helps the conservation of buildings and thermal comfort of people.

With the results obtained of the thermal behavior of these colors and the material that were used in this study to cover the reinforced concrete slab 0.10m thick, will can select one of them to maintain a comfortable condition in classrooms in a semi-desert area like the city of Queretaro, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Site Description

The experiment was conducted in the classrooms of the School of Engineering of the Queretaro State University located at 20 ° 35'27 .38 "N 100 ° 24 '47.78" W and 1,818 amsl with a semi-arid and semi-hot as Köppen-Geiger classification (Kottek et al., 2006). The building's geographical orientation in study is southeast; it causes only two sides of the building receive direct sunlight at different times of day. In the morning the sunlight is on the southeast and in the afternoon is on the northwest.

The building has an area of 424.62 m² divided into 6 rooms as shown in Figure 1. Only 4 rooms were selected to acquire temperature data from October 25, 2010 to November 26, 2010. So consider only the last third of the fall season for this study. In Figure 1 the area 3 is covered with red bitumen based asphalt. This material is the most commonly used for waterproof in the public buildings and houses in the region. This section of the building has an area of 61.488 m².

The areas marked with the numbers 1 and 6 have an area of 69.048 m². The area 1 is covered with white bitumen based asphalt and the area number 6 with black bitumen based asphalt. Finally the area marked with number 5 of 102.438 m² area was covered with clay. The roof with clay will be called brown roof. This roof was made of 3 layers: a) waterproof acrylic (0.02m thick) b) waterproofing membrane (0.02m thick) and c) substrate (clay thickness 0.12m approximately). The brown roof was an option to view a behavior as a thermal insulation material in the region. With the soil we can see if it can reduce or maintain a comfortable temperature inside a building in the region.

Temperature monitoring system

We developed an inexpensive and simple circuit (Figure 2) that is energized by a 60 watt solar panel connected to a battery of 12 volts 4 Ah. The battery powers the electronic circuits or nodes which are remote terminal units (RTU's) that make up the wireless sensor network of point-multipoint architecture. The RTU's are responsible for acquiring the data inside and outside of each selected classrooms. The UTR's were placed on the classrooms girders. As shown in Figure 3 the sensors on the interior is at 1.5 meters from point A to B. The external sensors are 4 meters from point A to B. The rooms have a height of 2.80 meters as the internal

sensors are 2.65m from the ground. The external sensors are on the roof surface to 0.40 meters. The height of the internal and external sensors was taken with respect to the standards set by the WMO(WMO,2008).

The RTU's internal and external communicate via wireless through the set of protocols that generate high-level ZigBee technology. This model of data transfer was chosen due to its low power consumption and easy integration (Gill et al., 2009). The acquired data are sent to a remote computer which is located in the room marked as area 3. The computer stores the samples from each sensor in real time in text files. Sampled data are subsequently exported to specialized software for further statistical analysis.

Measuring devices (RTU's)

The main element of the terminals is a digital sensor (STH11) which measures temperature and relative humidity. This sensor delivers high accuracy digital output which makes easier to interpret. This device has a capacitive part for measuring relative humidity and a "band-gap" type for temperature. Both measuring elements are connected to a digital-analog converter and a 14-bit serial interface circuit contained within the same chip. This measurement is achieved fast high quality and immune to external shocks.

A microcontroller is responsible for manipulating the active and sleep modes of the sensor. It is also responsible for performing serial communication by controlling the Zigbee antenna.

Sampling

The data sampling is carried in several stages:

1. The sensor of each RTU is sampling to 300ms which is the minimum time required for don't have data leaks in the sensor.
2. The Matlab program executes the query of data in each node thus generating a sampling cycle every eight seconds.
3. Subsequently the computer program processes the order to organize the files after 10 minutes of sampling. Take the average with ensuring that there will be no errors in the readings for each sensor and these new data is stored in another text file.

Then this file can be imported into other software which makes data processing and statistical analysis.

Statistical analysis

Data were statistically analyzed with the commercial software OriginPro 8 SR0 for Windows. A one-way analysis of variance (ANOVA) was performed to evaluate the degree of significance of the differences among temperature and relative humidity measurements inside and outside of the classrooms with different color of the cover roof with a $P < 0.05$ level of significance. The degree of association among the temperatures inside and outside was quantified by the r-Pearson matrix analysis correlating the temperature data.

RESULTS AND DISCUSSION

Internal data

The table 1 shows the r-Pearson correlation between the internal and external temperature in the four roofs with different colors. Where shown a positive correlation of 1 in the brown and red roofs. Compared with the correlations of the white and black roofs which are 0.96.

Comparing the behavior of the inside temperatures of the colors on the roofs Table 2 shows that the black roof presented the maximum temperature of the 4 roofs being of 37.8°C about 8°C difference with maximum temperature of the red roof being the one with the lowest maximum temperature. The minimum temperatures in these two roofs there was a difference of 4.6°C almost the half of the difference of maximum temperatures between these roofs.

The white and brown roofs shown similar behavior the maximum temperatures showed a difference of 0.6°C and minimum temperature of 1.8 °C in contrast with the black roof is the minimum temperature increased by 0.34°C minimum temperature of white roof. The temperatures of white and brown roofs had a difference about 3°C above the maximum and minimum temperatures that showed the red roof.

Can corroborate the above results in Figure 4 the behavior of the internal temperature sampled during the period of the study of the 4 roofs.

Other results that were important being the values produced by analysis of variance one-way (ANOVA one-way) supported by the Tukey test, Figure 5. With

these results obtained between the roofs can see that the internal temperatures show a mean significant difference ($P < 0.05$).

External data

The outside temperature shown in Table 3 can see a maximum difference of 4.7°C mainly from the red and white roofs. And a minimum difference of 0.7 degree centigrade between the brown and black roof. Although the minimum temperature difference of white and black roofs was 0.8 degree Celsius.

Minimum temperatures did not exceed the 3.1°C being the black roof. This temperature was higher by 0.4 degree Celsius than the minimum temperature of white roof. The minimum temperature of brown roof was almost 2 degrees Celsius lower than the temperature of the black roof. The color of deck which presented less temperature was the red; this one presented -2°C . The external temperature of the red roof in general is less temperature than other colors during the sampling period this phenomenon can be observed in Figure 6.

In Figure 7 can confirm that the mean difference is not significant at $P < 0.05$ using one-way analysis of variance (ANOVA) between the black and the white roofs. In contrast all other outcomes between the roofs have a statistically significant variation ($P < 0.05$) in outdoor temperature. Those have an average of 11.4°C for the red roof, 14.6°C for brown roof, 15.8°C for black roof and 16.1°C for the white roof.

CONCLUSIONS

To maintain a temperature within the study rooms in balance with users and the environment you need a coating, insulation and waterproofing with a mean solar absorbance coefficient. At autumn maintain internal temperature above 35⁰C at moments of increased occupancy in the classroom and 5⁰C when the room is completely empty (in the early hours of extremely cold days.)

With this we can conclude that for the city of Queretaro in the autumn season, the waterproofing material that helps to control temperature inside buildings is the white asphalt bitumen. Being a good choice, but if you have the financial resources to place another material like clay, becomes another viable option to control the internal temperature of buildings.

Acknowledgements

The authors want to acknowledge CONACYT for the economic support to the student under the CVU number 294977 also to the Research and Graduate Division of Querétaro State University for the facilities for the use of the facilities where this project was held.

REFERENCES

Chun C, Tamura A (2005). Thermal comfort in urban transitional spaces. *Build Environ.*, 40: 633- 639.

de Brito Filho JP, Henriquez JR, Dutra JCC (2011). Effects of coefficients of solar reflectivity and infrared emissivity on the temperature and heat flux of horizontal flat roofs of artificially conditioned nonresidential buildings. *Energy Build.*, 43: 440– 445.

Etchechoury EV (2002). Influence of solar absorbance in the thermal behavior of walls to summer conditions. Research and Development Center in Building (CECON). 4th Conference on Development and Innovation.

Gill K, Yang S, Yao F, Lu X (2009). A zigbee-based home automation system. *IEEE Trans Consum Electron.*, 55(2): 422- 430.

Hernandez A, Dominguez MA (2007). Study of thermal behavior of guest house typical of the region. Faculty of Engineering. Sumer Science. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Karlessi T, Santamouris M, Synnefa A, Assimakopoulos D , Didaskalopoulos P , Apostolakis K (2011). Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. *Build Environ.*, 46: 570- 576

Kaşka Ö, Yumrutaş R, Arpa O (2009). Theoretical and experimental investigation of total equivalent temperature difference (TETD) values for building walls and flat roofs in Turkey. *Appl Energy.*, 86: 737- 747.

Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z.*, 15(3): 259- 263.

- Liang HH, Huang KT (2011). Study on rooftop outdoor thermal environment and slab insulation performance of grass planted roof. *Int. J. Phys. Sci.*, 6(1): 65-73
- Norbäck D, Nordström K (2008). Sick building syndrome in relation to air exchange rate CO₂ room air temperature and relative humidity in university computer classrooms: An experimental study. *Int Arch Occup Environ Health.*, 82: 21-30.
- Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, Reid RC, Doshi H, Dunnett N, Gaffin S, Kohler M, Liu KKY, Rowe B (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures functions and services. *BioScience.*, 57(10): 823- 833.
- Okeil A (2004). In search for energy efficient urban forms: The solar residential block. *Building for the Future: The 16th CIB World Building Congress.* Toronto, Canada.
- Orosa JA (2009). Research on general thermal comfort models. *Eur J Sci Res.*, 27(2): 217- 227.
- Redman T, Hamilton P, Malloch H, Kleymann B (2011). Working here makes me sick! The consequences of sick building syndrome. *Hum Resource Manag J.*, 21(1): 14–27.
- Shahmohamadi P, Che-Ani AI, Ramly A, Maulud KNA, Mohd-Nor MFI (2010). Reducing urban heat island effects: A systematic review to achieve energy consumption balance. *Int. J. Phys. Sci.*, 5 (6): 626- 636.

Suehrcke H, Peterson EL, Selby N (2008). Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. *Energ Build.*, 40: 2224– 2235.

Sumedha MJ (2008). The sick building syndrome. *Indian J Occup Environ Med.*, 12(2): 61- 65.

Takebayashi H, Moriyama M (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Build Environ.*, 42: 2971– 2979.

WMO (2008). CIMO Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, Switzerland. World Meteorological Organization.

TABLES

Table 1. The r–Pearson analysis shown the correlation between the internal and external temperatures of the four classrooms with the different colors used in the study.

<hr/> r - Pearson for Temperatures <hr/>	
Outside red roof - Inside red roof	1
Outside brown roof - Inside brown roof	1
Outside black roof - Inside black roof	0.96
Outside white roof - Inside white roof	0.96

Table 2. Can see the results of a brief descriptive statistical analysis of each inside temperature of each color respectively to each classroom.

Roof	Samples	Mean	SD	Min	Max
Red	3098	19.44	4.89	6.00	30.60
Brown	3098	22.94	4.89	9.50	34.10
Black	3098	25.94	5.21	11.64	37.81
White	3098	24.02	4.76	11.30	34.70

Table3. Descriptive statistical analysis of the outside temperatures in the four classrooms with different coatings on the roof.

Roof	Samples	Mean	SD	Min	Max
Red	3098	11.44	4.89	-2	22.6
Brown	3098	14.64	4.89	1.2	25.8
Black	3098	15.82	4.76	3.1	26.5
White	3098	16.14	4.89	2.7	27.3

FIGURES

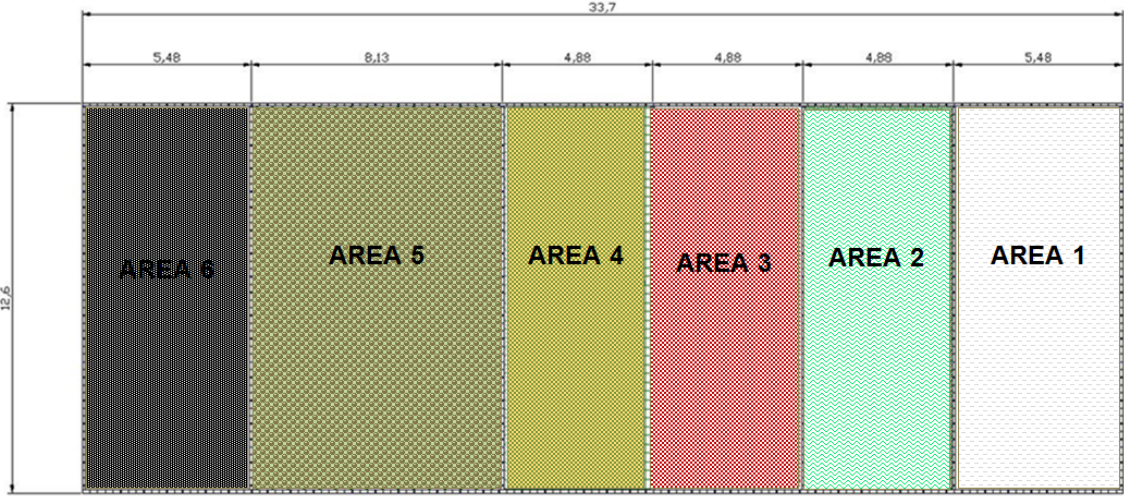


Figure 1. Areas and dimensions of the building used in the study.

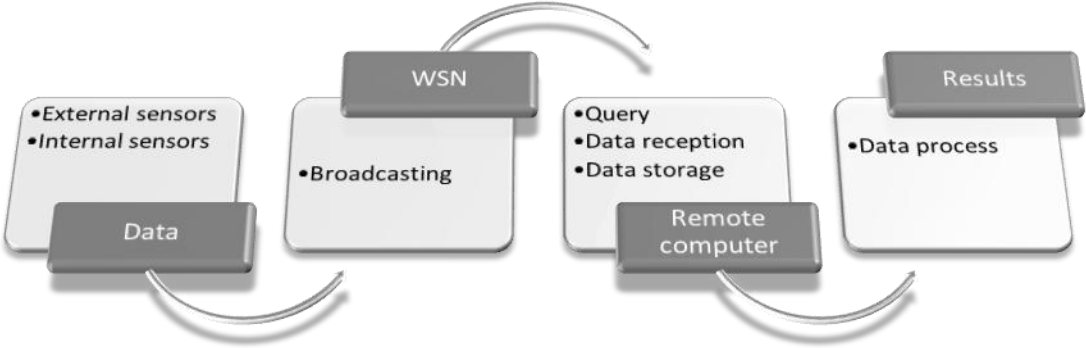


Figure 2. Block diagram showing the phases of the data acquisition system used in the investigation.

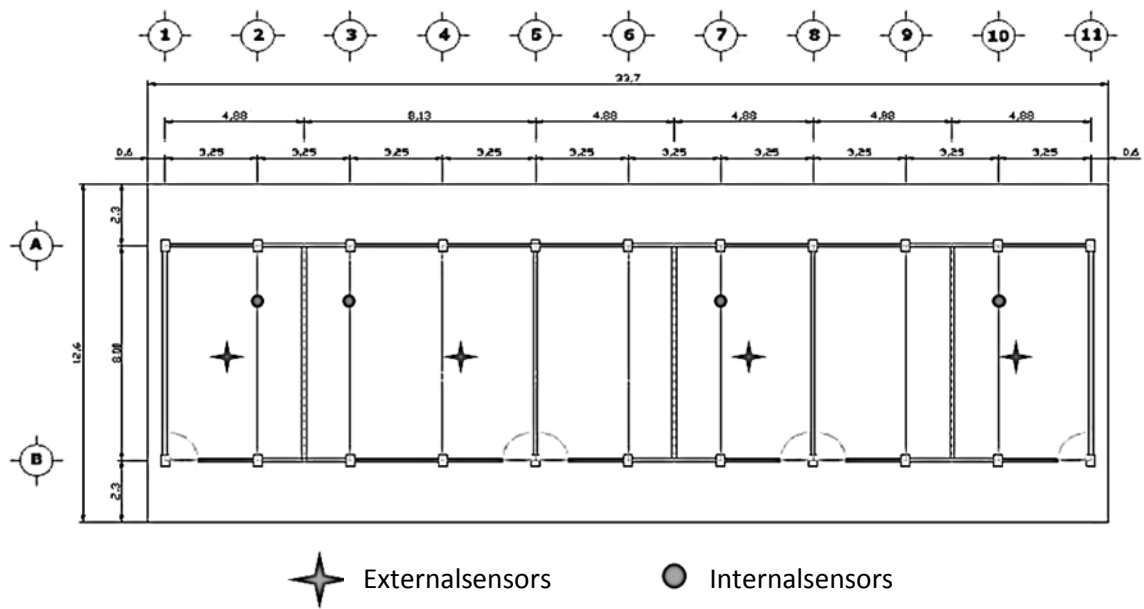


Figure 3. Sensors location in view of the architectural building plan.

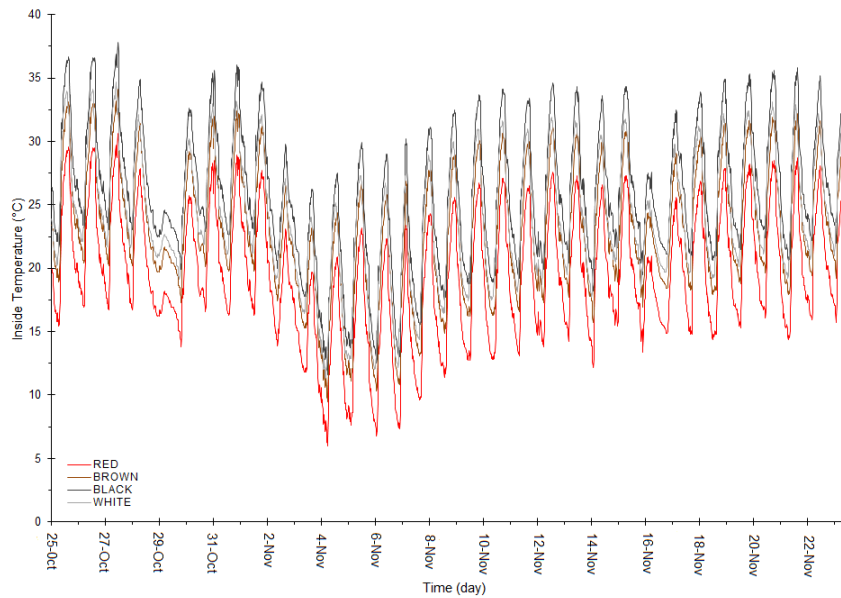


Figure 4. Internal temperature from 25 October to 26 November of 2010, data were acquired within the 4 rooms

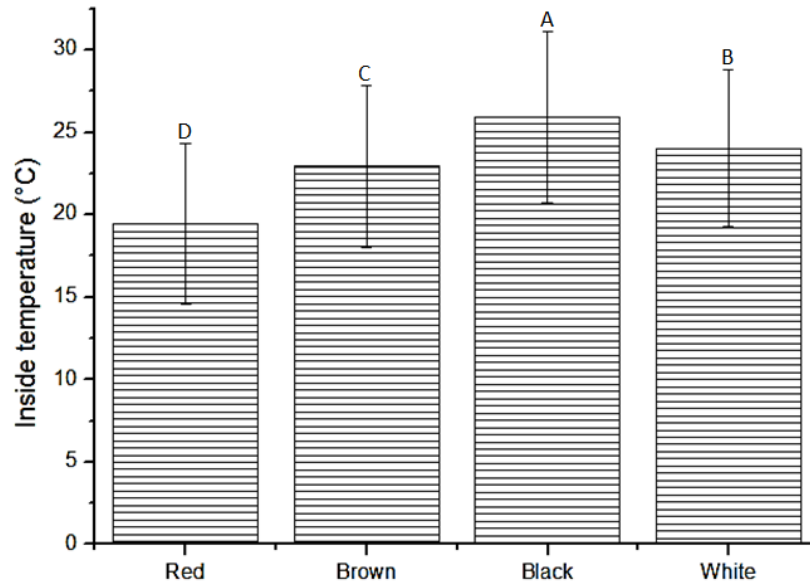


Figure 5. Behavior statistical analysis of one way ANOVA of the inside temperature of each roofs color.

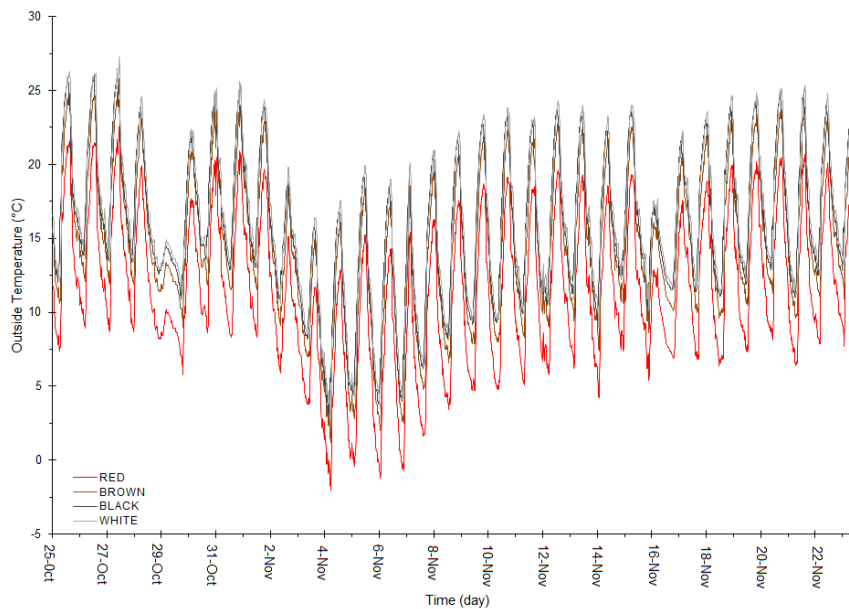


Figure 6. External temperatures from 25 October to 26 November of 2010, data were acquired within the 4 rooms.

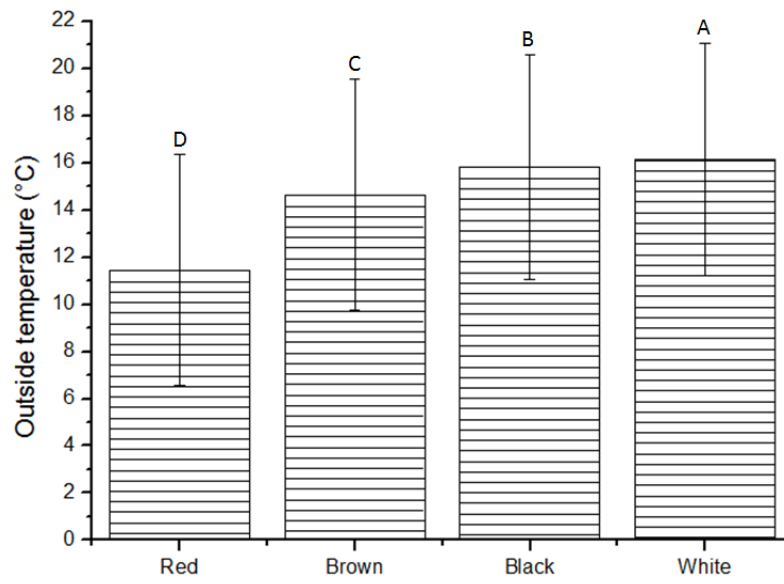


Figure 7. Statistical analysis of one way ANOVA in outside temperature data.

Anexo B

Código en lenguaje C para el control de las unidades terminales remotas
de la red inalámbrica del sistema.

```

#include<18F2550.h>
#fuses hs,nowdt,noprotect,noput,nobrownout,nolvp,nocpd,nowrt
#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#define clock      PIN_C0      //(pin de reloj)
#define data       PIN_C1      //(pin de datos)
#define check      PIN_C2
#define buf_length 32

int buf[buf_length],str[buf_length],str_flag=0,i=0,
nodo_7[3]={'7',0x0d,0};

#int_RDA          //Recibe del coordinador
void rcv_data1()  //entra a la interrupción cada que se
escribe un carácter
{
    buf[i]=getc();
    if(buf[i]==0x0d)
    {
        str_flag=1;
        buf[i+1]=0;
        strcpy(str,buf);
        i=0;
    }
    else
        i++;
}

void get_string()
{
    regresa:      //etiqueta "regresa"
    if(str_flag==0)
    {
        //delay_us(50);
        //restart_wdt();

        goto regresa;    //se va a la etiqueta "regresa"
    }
    str_flag=0;
}

//////////////////////////////////////////FUNCIONES//////////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////////Inicializacion//////////////////////////////////////////

void comstart (void)
{
    output_float(data); //"data high" Sets the specified pin to the
input mode.                //This will allow the pin to
float high to represent a high on an open collector type of connection.
    output_bit(clock, 0); //"clk low" Outputs the specified value
(0 or 1) to the specified I/O pin.
    delay_us(1);
    output_bit(clock, 1); //clk high
}

```

```

delay_us(1);
output_bit(data, 0); //data low
delay_us(1);
output_bit(clock, 0); //clk low
delay_us(2);
output_bit(clock, 1); //clk high
delay_us(1);
output_float(data); //data high
delay_us(1);
output_bit(clock, 0); //clk low
}

```

//Funcion para resetear la comunicacion con el SHT75//

```

void comreset (void)
{
    int8 i;

    output_float(data); //data high
    output_bit(clock, 0); //clk low
    delay_us(2);
    for(i=0; i<9; i++)
    {
        output_bit(clock, 1); //toggle clk 9 times
        delay_us(2);
        output_bit(clock, 0);
        delay_us(2);
    }
    comstart();
}

```

////////////////////Funcion desconocida////////////////////

```

int1 comwrite (int8 iobyte)
{
    int8 i, mask = 0x80; // 1000 0000
    int1 ack;

    delay_us(4);
    for(i=0; i<8; i++)
    {
        output_bit(clock, 0); //clk low
        if((iobyte & mask) > 0)
        {
            output_float(data); //data high if MSB high
        }

        else
        {
            output_bit(data, 0); //data low if MSB
        }

        delay_us(1);
        output_bit(clock, 1); //clk high
        delay_us(1);
    }
}

```

low

```

        mask = mask >> 1;                                //shift
to next bit
    }

    //Shift in ack
    output_bit(clock, 0); //clk low
    delay_us(1);
    ack = input(data); //get ack bit
    output_bit(clock, 1); //clk high
    delay_us(1);
    output_bit(clock, 0); //clk low
    return(ack);
}

//////////Funcion para leer mem SHT75//////////

int16 comread (void)
{
    int8 i;
    int16 iobyte = 0;
    const int16 mask0 = 0x0000;           //const:  BYTE CONST TABLE
[10]= {9,8,7,6,5,4,3,2,1,0};
    const int16 mask1 = 0x0001;         // sirve para establecer
parametros en la ROM del pic, en este caso int16 por los bits

    //shift in MSB data
    for(i=0; i<8; i++)
    {
        iobyte = iobyte << 1;
        output_bit(clock, 1);           //clk high
        delay_us(1);

        if (input(data))
        {
            iobyte |= mask1; //shift in data bit    iobyte = iobyte |
mask1
        }

        else
        {
            iobyte |= mask0; //iobyte = iobyte | mask0;
        }

        output_bit(clock, 0);           //clk low
        delay_us(1);
    }

    //send ack 0 bit
    output_bit(data, 0); //data low
    delay_us(1);
    output_bit(clock, 1); //clk high
    delay_us(2);
    output_bit(clock, 0); //clk low
    delay_us(1);
    output_float(data); //data high

    //shift in LSB data

```



```

for(i=0; i<8; i++)
{
    iobyte = iobyte << 1;
    output_bit(clock, 1);           //clk high
    delay_us(1);

    if (input(data))
    {
        iobyte |= mask1; //shift in data bit
    }

    else
    {
        iobyte |= mask0;
    }

    output_bit(clock, 0);           //clk low
    delay_us(1);
}

//send ack 1 bit
output_float(data); //data high
delay_us(1);
output_bit(clock, 1); //clk high
delay_us(2);
output_bit(clock, 0); //clk low

return(iobyte);
}

//////////Funcion para esperar la lectura del SHT75//////////

void comwait (void)
{
    int16 sht_delay;

    output_float(data);           //data high
    output_bit(clock, 0);         //clk low
    delay_us(1);
    for(sht_delay=0; sht_delay<30000; sht_delay++) // wait for max
300ms
    {
        if (!input(data)) break; //if sht_data_pin low,
SHT75 ready
        delay_us(10);
    }
}

//////////Function to soft reset SHT75 //////////

void sht_soft_reset (void)
{
    comreset(); //SHT75 communication reset
    comwrite(0x1e); //send SHT75 reset command
    delay_ms(15); //pause 15 ms
}

```

```

//////////Funcion paramedir temperatura del SHT75//////////

int16 measuretemp (void)
{
    int1 ack;
    int16 iobyte;

    comstart();          //alert SHT75
    ack = comwrite(0x03); //send measure temp command and read ack
status 000' 00011
    if(ack == 1) return;
    comwait();           //wait for SHT75 measurement to complete
    iobyte = comread();  //read SHT75 temp data
    return(iobyte);
}

//////////Funcion para medir humedad del SHT75//////////

int16 measurehumid (void)
{
    int1 ack;
    int16 iobyte;

    comstart();          //alerta al SHT75
    ack = comwrite(0x05); //send measure RH command and read ack
status 000 00101
    if(ack == 1) return; //Inicia nuevamente la función
    comwait();           //wait for SHT75 measurement to complete
    iobyte = comread();  //read SHT75 temp data
    return(iobyte);
}

//////////Funcion para calcular temperatura y humedad del SHT75/////

void calculate_data (int16 temp, int16 humid, float & tc, float &
rhlin, float & rhtrue)
{
    float truehumid1, rh;

    //calculate temperature reading
    tc = ((float) temp * 0.01) - 40.0;

    //calculate Real RH reading
    rh = (float) humid;

    rhlin = (rh * 0.0405) - (rh * rh * 0.0000028) - 4.0;

    //calculate True RH reading
    rhtrue = ((tc - 25.0) * (0.01 + (0.00008 * rh))) + rhlin;
}

//Funcion para medir y calcular temperatura y humedad del SHT75//

void sht_rd (float & temp, float & truehumid)
{
    int16 restemp, reshumid;

```

```

float realhumid;
restemp = 0; truehumid = 0;

restemp = measuretemp(); //measure temp
reshumid = measurehumid(); //measure RH
calculate_data (restemp, reshumid, temp, realhumid, truehumid);
//calculate temp & RH
}

//////////Funcion para inicializar el SHT75 a encendido//////////

void sht_init (void)
{
  comreset(); //resetea al mem
  delay_ms(20); //retraso del encendido
}

//////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////FUNCION MAIN//////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////

void main()
{
  float restemp, truehumid;

  sht_init();
  //printf("Sensor2\r");

  while(TRUE)
  {
    enable_interrupts(INT_RDA);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    output_bit(check,1);
    sht_rd (restemp, truehumid);
    //delay_ms(300); //delay 500 ms between reading to
prevent self heating of sensor
    get_string();
    if(strcmp(nodo_2,str)==0)
    {
      printf("T %3.2f ", restemp);
      printf("R %3.2f \r", truehumid);
    }

    //delay_ms(300); //delay 500 ms between reading to
prevent self heating of sensor
  }
}

```

Anexo C

Código maestro del sistema de adquisición de datos, realizado en
MATLAB.

```

%% El sensor 1 esta fuera del techo rojo
%% El sensor 2 esta fuera del techo negro
%% El sensor 3 esta fuera del techo blanco
%% El sensor 4 esta dentro del techo rojo
%% El sensor 5 esta dentro del techo verde
%% El sensor 6 esta fuera del techo verde
%% El sensor 7 esta dentro del techo negro
%% El sensor 8 esta dentro del techo blanco

clear all;
close all;
clc;

PS=serial('COM1');
set(PS,'Baudrate',1200);           % se configura la velocidad a 9600
Baudios
set(PS,'StopBits',1);             % se configura bit de parada a uno
set(PS,'DataBits',8);             % se configura que el dato es de 8
bits, debe estar entre 5 y 8
set(PS,'Parity','none');          % se configura sin paridad
set(PS,'Terminator','CR/LF');     % "c" caracter con que finaliza el
envío
set(PS,'OutputBufferSize',1);    % "n" es el número de bytes a
enviar
set(PS,'InputBufferSize',1);     % "n" es el número de bytes a
recibir
set(PS,'Timeout',2);             % 2 segundos de tiempo de espera

fopen(PS);

%% Vector de Sensores, o el dato de envio perteneciente a un
sensor

w=['1' '4' '5' '6' '7']; %% sensores colocados el 29, 30
noviembre 1 y 2 de diciembre
w=['1' '4' '5' '7']; %% 19 enero 2011

n=length(w);                      %%numero de sensores
num=1;                             %%Contador de ciclos
num2=1;

rr=datestr(now);
M=10;                               %% numero de muestras para el
promedio
fecha=rr(1:11);
%hora=r(13:20);

for j=1:200*10*n

    if mod(j,n)==1
        tic
    end

    %%Contador de lecturas
    K1=[];                          %%Dato recibido
    while length(K1)<17             %% Verifica que el dato esta completo
        K1= [];                    %% Se borra el dato de entrada
    end
end

```

```

    if mod(j,n)==0
        fwrite(PS,w(n),'uchar'); %si mandas un '1'
    else
        fwrite(PS,w(mod(j,n)),'uchar'); %si mandas un '1'
    end

    fwrite(PS,13,'uchar');          %%envio a traves de serial

    for i=1:17                      %%Recibe el dato de
        K1 = [K1 fread(PS,1,'uchar')];
    end

    %%fix

    tt=find(K1=='T');              %%Arregla el desfase de

    if ((tt>1) & (length(K1)==17))
        temp=K1(1:tt-1);
        K1(1:17-tt+1)=K1(tt:17);
        K1(17-tt+2:17)=temp;
    end

    char(K1)
    mod(j,n)

end

%r=datestr(now);
r=rem(now,1)*24;
if mod(j,n)==0                      %%Vector de destino
    T(n,num)=str2num(char(K1(1,3:7)));
    H(n,num)=str2num(char(K1(1,11:15)));
    hact(n,num)=r;
else
    T(mod(j,n),num)=str2num(char(K1(1,3:7)));
    H(mod(j,n),num)=str2num(char(K1(1,11:15)));
    hact(mod(j,n),num)=r;%r(13:20);
end

eval(cat(2,'save lecturas',fecha,' T H hact'));

%pause(100)

char(K1)
j

if ((mod(num,M)==0) & (mod(j,n)==0))
    hactp(num2)=rem(now,1)*24;
    for i=1:n
        Tp(i,num2)=mean(T(i,num-M+1:num));
        Hp(i,num2)=mean(H(i,num-M+1:num));
    end
end

```

```

        eval(cat(2,'save promedios',fecha,' Tp Hp hactp'));

        num2=num2+1;
    end

    if mod(j,n)==0
        %toc
        tiempo=toc
        num=num+1;
        %pause((600/10)-tiempo-0.01)

        if ((600/10)-tiempo-0.01)>=0
            %if ((60/10)-tiempo-0.01)>=0
                pause((600/10)-tiempo-0.01)
                %pause((60/10)-tiempo-0.01)
            end
        end

    end

end

fclose(PS);
delete(PS);
clear PS;

```