

Internet de las cosas y variaciones de temperatura y humedad dentro de un site

Internet of things and temperature and humidity variations inside a site

J. B. Jiménez–Morales ^a, J. Suárez–Cansino ^{b,*}, V. López–Morales ^b, A. Franco–Árcega ^b

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Computación y Electrónica, Maestría en Internet de las Cosas, Colonia Carboneras, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Computación y Electrónica, Cuerpo Académico de Computación Inteligente, Colonia Carboneras, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen

El conocimiento y control del comportamiento de las variables de temperatura y humedad dentro de un SITE o Centro de Datos es de vital importancia para evitar situaciones de riesgo dentro del mismo, tales como por ejemplo oxidaciones, sobrecalentamiento de dispositivos o equipos de cómputo, incendios de los mismos, etc. Este es un tema que preocupa a diversas organizaciones cuyos servicios se soportan por equipos de cómputo o informáticos localizados en espacios especiales cerrados ubicados dentro de la misma organización, y que son conocidos como SITE o Centro de Datos. En este trabajo y en esta fase del proyecto, se llevan a cabo mediciones experimentales de humedad y temperatura dentro y fuera de un SITE con el propósito de adquirir información acerca de los procedimientos teóricos que modelen el comportamiento del frío y humedad dentro del Centro de Datos, acerca de los procedimientos experimentales que permitan obtener datos confiables de temperatura y humedad con los cuales sea posible validar, a futuro, los modelos propuestos que describen el comportamiento de estas variables, y acerca de los procedimientos que usen el concepto de IoT para obtener una mejor comprensión del comportamiento de las variables mencionadas y cómo éstas pueden adquirirse y controlarse por medio de esta tecnología. La metodología empleada es experimental con adquisición de datos a través de Internet de las Cosas, realizando el análisis de éstos a través de técnicas estadísticas que determinan la confiabilidad de los mismos, para posteriormente estudiar la capacidad predictiva y de control que tiene una red neuronal artificial adaptable lineal, buscando con ello tener una idea de cómo homogeneizar, en el tiempo y en el espacio, las temperaturas y humedades dentro del SITE. Los resultados obtenidos son prometedores ya que se descubre efectivamente una fuerte correlación entre las temperaturas en dos puntos diferentes dentro del SITE y como funciones del tiempo y algo similar ocurre con la humedad. Esto facilita la forma de homogeneizar las variables, aunque es necesario aclarar que se requiere de un mayor número de sensores distribuidos espacialmente dentro del SITE, para así lograr que los campos de temperatura y humedad sean estadísticamente más aceptables, y con los datos hacer posible la validación de sus modelos de distribución.

Palabras Clave: Temperatura, Humedad, Sensor, IoT, SITE

Abstract

The knowledge and control of the behavior of temperature and humidity inside a SITE or Data Center is an important topic when one needs to avoid the existence of risky situations in the SITE such as, for example, oxidations, overheating, or firing of devices or computers. Diverse organizations where computer equipment supports their services require the finding of solutions to these problems. A closed room called SITE or Data Center, inside the same organization, contains the computer devices. In this paper and at this stage of the research project, one makes experimental measures of humidity and temperature inside and outside of the SITE to acquire information about theoretical procedures modeling the temperature and humidity behaviors inside the Data Center, about how to get reliable data with experimental procedures, and about the IoT procedures to obtain a better understanding of the behavior of the variables and how this technology can help to acquire and control these variables. The experimental data acquisition through the Internet of Things technology, the statistical analysis of the obtained data to describe their reliability, and the study of the predictive and the control capability of an artificial neural network define the applied methodology. These characteristics look for techniques to homogenize temperatures and humidities inside the SITE. The obtained results are promising since, as shown here, there is a strong correlation between the temperatures in two different spatial points inside the SITE, where the temperatures are also functions of the time. A similar situation occurs with humidity. These facts make relatively simple the variable homogenization, although one needs to make clear that the experiment needs to use more sensors to get statistically acceptable fields of temperature and humidity so that to make possible the validation of their distribution models.

Keywords: Temperature, Humidity, Sensor, IoT, SITE

* Autor para correspondencia: jsuarez@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: Ji233161@uaeh.edu.mx (Juan Bertino Jiménez–Morales), jsuarez@uaeh.edu.mx (Joel Suárez–Cansino), virgilio@uaeh.edu.mx (Virgilio López–Morales), afranco@uaeh.edu.mx (Anilú Franco–Árcega).

Historial del manuscrito: recibido el 14/04/2022, última versión-revisada recibida el 29/06/2022, aceptado el 02/08/2022, publicado el 31/08/2022. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial3.9006>



1. Introducción

En la actualidad los servicios WEB representan una herramienta de gran importancia para la sociedad, desde la comunicación en tiempo real gracias a los servicios de mensajería instantánea, así como los médicos, financieros, de seguridad, vigilancia, educativos y sociales.

Estos servicios se encuentran alojados en equipos de cómputo de alto rendimiento (servidores), trabajando en conjunto con routers, switches y dispositivos de almacenamiento de información, los cuales se encuentran activos de manera ininterrumpida, resguardados en habitaciones comúnmente conocidas como SITE o Centro de Datos.

Un Centro de Datos contiene toda la infraestructura necesaria para el almacenamiento, procesamiento y resguardo de la información digital, algunos ejemplos son la infraestructura de distribución de energía, sistemas de control ambiental, almacenamiento de datos y equipos de comunicación y red (Levy and Hallstrom, 2017).

Derivado de la gran importancia que un Centro de Datos o SITE tiene en la actualidad dentro del mundo tecnológico y de servicios, resulta relevante mantenerlo en condiciones de estabilidad, seguridad y óptimo rendimiento.

Existen diferentes riesgos o problemas técnicos, incluyendo al factor humano, que pueden causar un daño a la integridad de un SITE.

La temperatura es uno de los principales factores a considerar dentro de un Centro de Datos y representa un factor importante para la presencia de averías y degradación de los dispositivos electrónicos, dado que parte de la energía que reciben se transforma en calor (Pérez and Pérez, 2014).

De acuerdo con la Asociación Internacional de Expertos en Cuartos de Cómputo y la Sociedad de Ingenieros Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, ICREA y ASHRAE por sus siglas en inglés respectivamente, la temperatura de un Centro de Datos o SITE debería localizarse entre 18°C y 27°C , con un factor de humedad relativa entre 40% y 60% (Medina-Santiago et al., 2020).

Adicionalmente, algunos autores mencionan que el rango de temperatura adecuado para el correcto funcionamiento de las computadoras generalmente debe oscilar entre 15°C y 25°C , aproximadamente (Alegre-Ramos and García-Cervigón-Hurtado, 2011).

Algunos dispositivos están diseñados para realizar un apagado forzado al encontrarse en una situación de riesgo causada por altas temperaturas. En general la temperatura ambiente óptima en un Centro de Datos es de 21°C a 23°C . La mayoría de los equipos de cómputo pueden operar en rangos más amplios de temperatura, pero una temperatura cercana a 22°C es lo mejor para mantener niveles seguros de humedad relativa asociados.

La cantidad de humedad en una muestra de aire a una temperatura dada expresada en porcentaje es la humedad relativa (HR %), donde 0% hace referencia a que el aire se encuentra completamente seco y por el contrario 100% representaría presencia de vapor de agua. Si el aire retiene toda la humedad que puede para un conjunto específico de condiciones, se dice que está saturado (100% de humedad relativa o HR).

Los niveles ambientales entre el 45% y el 50% de HR son óptimos para la confiabilidad del sistema. La mayoría de los equipos de procesamiento de datos pueden operar dentro de un rango de HR bastante amplio (20% a 80%), pero se prefiere el rango de 45% a 50% por varias razones entre las que se destacan las siguientes:

- Corrosión: los niveles altos de humedad pueden causar condensación dentro de los equipos informáticos, lo que puede provocar la corrosión de los componentes.
- Descarga electrostática: las descargas electrostáticas pueden causar interferencias intermitentes en el equipo. Se genera fácilmente y se disipa con menos facilidad cuando la humedad relativa está por debajo del 35% y se vuelve crítica en rangos más bajos (Rob, 2002).

De acuerdo a lo anterior, la Tabla 1 muestra los rangos óptimos de temperatura y humedad relativa que deben conservarse en un SITE.

Tabla 1: Tabla de rangos óptimos de temperatura y humedad para Centros de Datos.

Factor	Óptimo	No operacional
Temperatura (T)	21°C a 23°C	$T < 20^{\circ}\text{C}$ ó $T > 60^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa (HR)	45% a 50%	HR >93%

La estrategia para el mantenimiento preventivo y correctivo del funcionamiento de un SITE debe contemplar la medición de variables de temperatura y humedad dentro del mismo. Si esto no se hace de la manera apropiada, entonces pueden ocurrir situaciones de riesgo como por ejemplo, el incremento en la velocidad de corrosión de los equipos, la presencia de campos electrostáticos con la consecuente pérdida de información, entre otros posibles daños.

Sin embargo, además del precio que implica la implantación de la estrategia indicada, la imposibilidad de contar con el número mínimo suficiente de sensores conduce a la problemática de tomar decisiones acerca de la seguridad del SITE con un número limitado de éstos, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos deben ser en cantidad suficiente para llevar a cabo un análisis estadístico confiable.

Al solucionar esta problemática, entonces se mantendrían seguros los equipos de cómputo en los rangos de producción óptimos para brindar una vida útil prolongada y una mejor calidad de seguridad de la información.

En este trabajo se plantea el objetivo de monitorear las condiciones climáticas en función de las variables de temperatura y humedad relativa en el interior del Centro de Datos y Telecomunicaciones realizando la integración de los módulos ESP-32 y sensores de temperatura y humedad relativa DHT22, compatibles con el manejador de bases de datos MySQL, y desplegando la cantidad mínima necesaria de sensores en puntos estratégicos de la habitación. Lo anterior permitirá realizar un análisis estadístico y con ello la toma de decisiones para salvaguardar la integridad de los equipos informáticos y su información almacenada.

2. Estado del arte

La primera ocasión en el que se utilizó el término Internet de las Cosas fue en el año 1999 por Kevin Ashton (Kramp et al., 2013) definiendo la interacción de los objetos de uso cotidiano interconectados capaces de trabajar entre sí y cooperar con dispositivos vecinos.

Por otro lado, Sheikh Ferdoush y Xinrong Li (Ferdoush and Li, 2014) realizaron la presentación de un diseño de red de sensores inalámbricos con un Raspberry Pi para el monitoreo de aplicaciones ambientales utilizando tarjetas Arduino con módulos Zigbee (Medina-Santiago et al., 2020).

En los últimos años, el Internet de las Cosas ha tomado un papel más relevante en el desarrollo tecnológico en búsqueda de satisfacer las necesidades de constante conectividad de la sociedad y su integración con los dispositivos de uso cotidiano. Actualmente un solo dispositivo es capaz de comunicarse inalámbricamente con otros dispositivos y cambiar información desde cualquier otro dispositivo (Lima-Monteiro et al., 2018), un ejemplo de ello es el control de temperatura en el interior de hogares y edificios inteligentes. El Internet de las Cosas permite la interacción de dispositivos activos remotos compartiendo la información entre ellos y los sistemas de control y gestión dentro de los centros de datos (Mehta et al., 2018).

El conocimiento de la variable de temperatura actual (en tiempo real) conlleva un gran potencial en la automatización de edificios particularmente para la optimización del rendimiento y consumo energético. Si esto se traslada a los Centros de Datos, es de vital importancia entonces considerar mejorar el rendimiento de los sistemas de refrigeración manteniendo un buen ambiente para preservar la integridad física de los equipos ahí resguardados. Atendiendo la importancia de conocer la variable atmosférica de temperatura en interiores, algunos autores indican cómo aplicar algoritmos que permitan el análisis y posible predicción de las condiciones térmicas dentro de una habitación o edificio. Un ejemplo de esto es la implementación de la regresión lineal considerando que los datos de temperatura pasados y futuros pueden relacionarse mediante este método. Este análisis podría determinar los tiempos de encendido y apagado para la optimización del consumo energético de los sistemas de enfriamiento. De la misma forma, es posible considerar la media móvil integrada autorregresiva.

Otro enfoque de pronóstico que se puede considerar es el filtro de Kalman, que ha demostrado ser de utilidad en situaciones donde existe información incierta sobre la dinámica de un sistema, con la capacidad de extraer estimaciones precisas de series temporales. Otra de las características más destacables es el bajo consumo de recursos de hardware, ya que no requiere de cantidades considerables de memoria RAM para su aplicación en dispositivos IoT (Lima-Monteiro et al., 2018).

En la actualidad existen algunos dispositivos que permiten la medición de las variables de temperatura y humedad relativa y su control mediante la instrumentación de controladores externos, a continuación se mencionarán algunas soluciones disponibles actualmente en el mercado industrial y de hogar.

Los dispositivos CubySmart son elaborados en México, para uso doméstico en el control de sistemas de aire acondicionado mediante infrarrojo y monitoreo de temperatura y humedad relativa mediante una aplicación móvil. En la aplicación móvil se puede controlar manualmente el ajuste de temperatura del sistema de aire acondicionado y el ángulo de inclinación del deflector (smart, 2022).

Loxone es una empresa que permite la automatización y control dirigido a aplicaciones en hogar para el control de sistemas de calefacción y refrigeración con la finalidad de garantizar los valores de temperatura y humedad adecuados, mediante la implementación de un dispositivo miniserver en conjunto de sensores y pulsadores touch que pueden ser colocados en diferentes punto de la construcción (Loxone, 2022).

El control de la Temperatura (T) y la Humedad Relativa (HR) requiere de la presencia de un conjunto de sensores que midan estas variables y que estén distribuidos en ubicaciones estratégicas del SITE. Esta redundancia de mediciones resulta de importancia para llevar a cabo un análisis estadístico más confiable sobre los valores que arrojan las variables de temperatura y humedad, considerándolas como variables aleatorias que tienen una cierta distribución.

Una característica que debe tenerse en cuenta es que las temperaturas y los niveles de humedad varían de un punto espacial del Centro de Datos a otro punto espacial. De esta manera, se logra obtener hasta cierto punto una distribución espacial-temporal de temperaturas que, a medida en que se coloque el apropiado número de sensores, proporcionará datos suficientemente confiables para tomar decisiones acerca de la seguridad del Centro de Datos.

Naturalmente que el número de sensores se tiene que ajustar también al presupuesto con que se cuenta. En el caso ideal de contar con un SITE que tenga por ejemplo, un volumen aproximado de $13m^3$, entonces se requerirían de al menos unos 15 sensores (T y HR) para lograr levantar los campos de temperaturas y de humedad necesarios. Con las herramientas estadísticas adecuadas, se podría disminuir a un número óptimo esta cantidad de sensores.

3. Metodología

Actualmente, existen en el mercado dispositivos con un alto desempeño pero esto conlleva a altos costos si se pretende obtener campos de temperatura y humedad en una gran cantidad de puntos del espacio del SITE. Al desarrollar un dispositivo que integre módulos ESP-32 con el sensor de temperatura y humedad DHT22, entonces se podría obtener una misma calidad y eficiencia similares a las soluciones industriales, además de contar con la suficiente información para tomar decisiones acerca de las condiciones de operación.

En el presente proyecto, se hacen las pruebas en un SITE en donde se utiliza un servidor que trabaja con el Sistema Operativo Linux CENTOS, habiendo instalado Apache Server 2.4.53, y la versión de PHP siendo 8.0.18. La versión de MySQL es la 10.3.34 en conjunto con el Gestor de Base de Datos denominado PhpMyAdmin en la versión 4.9.7. El servicio de cloud computing utilizado es el proporcionado por Hostin-

ger Internacional: <https://www.hostinger.mx/> que es un servicio comercial de suscripción anualizada.

De acuerdo con el Datasheet, del módulo ESP-32 WROOM, éste utiliza el protocolo de comunicación 802.11 b/g/n, lo cual permite integrar un dispositivo compatible con equipos router Wi-Fi de diferentes fabricantes https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.

Adicionalmente, se recolectan y analizan las variables de temperatura y humedad mediante muestras obtenidas con 739 datos recolectados por cada uno de los sensores de temperatura y humedad DHT22. Al ser una muestra de 739 datos, recolectados por cada uno de ellos cada 30 segundos, entonces la frecuencia de muestreo necesaria es igual a $\frac{1}{30}$ de datos por segundo, o lo que es lo mismo 2 datos por minuto. Esto da un total de $\frac{739}{2} = 369.5$ minutos, lo que equivale aproximadamente a 6.158 horas de tiempo para obtener la muestra.

Uno de los problemas presentados es que un sensor DHT22 (sensor 3) no funcionó debido a fallas en la conexión Wi-Fi, ya que la red presentaba intermitencias de conectividad, ocasionadas por saturación y en consecuencia se desconectaba de algunos equipos conectados vía Wi-Fi. Adicionalmente, se descubrió que se tenía un problema con las asignaciones IPs.

El proceso que se llevó a cabo para cumplir con el objetivo de este trabajo fue el siguiente:

- Se integró un dispositivo electrónico de bajo costo mediante el sensor de temperatura y humedad DHT22 en conjunto con la placa de desarrollo ESP-32 para monitorear los rangos de temperatura y humedad dentro del Centro de Datos. Para poder alimentar cada uno de los cuatro módulos ESP-32 se utilizaron cuatro adaptadores de corriente ca/cc USB de 5 Volts y 1 Ampere, cada uno con un cable de conexión USB/ micro USB. No se usaron baterías ya que las fuentes de los adaptadores de corriente fueron conectadas a las mismas conexiones disponibles en el rack, las cuales se encuentran protegidas por un UPS.

En total, se instalaron cuatro dispositivos ESP-32 junto con cuatro sensores de temperatura y humedad DHT22, definiendo así cuatro conjuntos compuestos cada uno de ellos por un módulo ESP-32 y un sensor de temperatura y humedad DHT22. Tres de estos cuatro conjuntos se colocaron dentro del Centro de Datos como se aprecia en el diagrama del arreglo experimental dado por la Figura 1 y otro más en la parte exterior a 2 metros de distancia de la puerta de acceso al SITE.

- Se conectaron los sensores y se enviaron los datos de temperatura y humedad recolectados a una base de datos MySQL para su organización, resguardo y análisis estadístico.
- Finalmente, se desplegaron los sensores dentro y al exterior de un Centro de Datos y telecomunicaciones en un determinado rango de tiempo, para obtener un análisis de rendimiento evaluando la efectividad del dispositivo.

4. Arreglo experimental

El arreglo experimental está conformado de un módulo de desarrollo ESP-32 WROOM que se encarga de realizar la recolección de muestras en un intervalo de 30 segundos por dato y que cuenta con un sensor de temperatura y humedad DHT22, con valores de exactitud de $\pm 2\%$ de humedad relativa y menor al $\pm 0.5^\circ\text{C}$, de acuerdo a su ficha técnica.

El dispositivo ESP-32 está programado a través del IDE de arduino basado en el lenguaje de programación C++, mediante el cual se realiza la configuración de la interfaz Wi-Fi, la configuración de conexión a la base de datos, el reconocimiento de entradas/salidas analógicas y digitales, por último establece el tiempo de intervalo de recolección de muestras.

Los datos de temperatura y humedad obtenidos por el sensor DHT22, una vez recolectados por la placa de desarrollo ESP-32 WROOM vía Wi-Fi, son enviados al servidor MySQL alojado en la nube. La Figura 1 muestra un esquema del arreglo experimental utilizado.

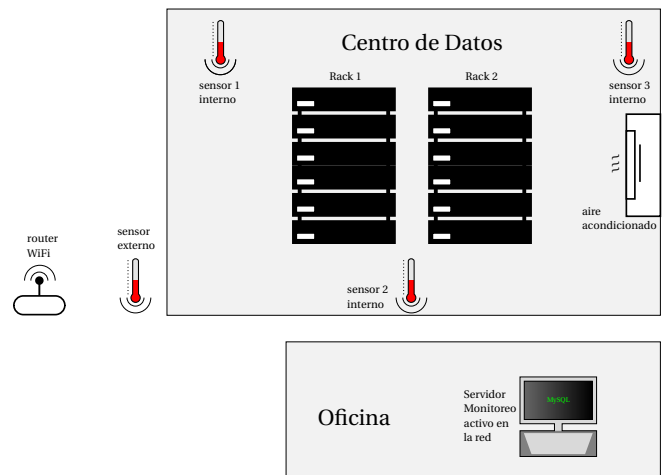


Figura 1: Distribución de dispositivos y sensores para obtener datos que permitan analizar el comportamiento de la temperatura y humedad dentro del Centro de Datos.

El muestreo de temperatura y humedad se realizó con una frecuencia igual a $\Delta = \frac{1}{30}$ datos por segundo, lográndose un tamaño de muestra igual a $m = 739$. Esto quiere decir, que con el arreglo experimental se pudieron obtener muestras de temperatura y humedad solamente en tres puntos señalados como sensor 1 interno, sensor 2 interno y sensor externo, ubicados aproximadamente en las posiciones correspondientes indicadas en la Figura 1.

5. Resultados

La Figura 2 muestra el comportamiento de las temperaturas proporcionadas por cada uno de los tres sensores, al interior y fuera del SITE. La forma en que se comportan las series de tiempo asociadas a los sensores internos de temperatura, sugiere que existe una alta correlación entre ambos valores.

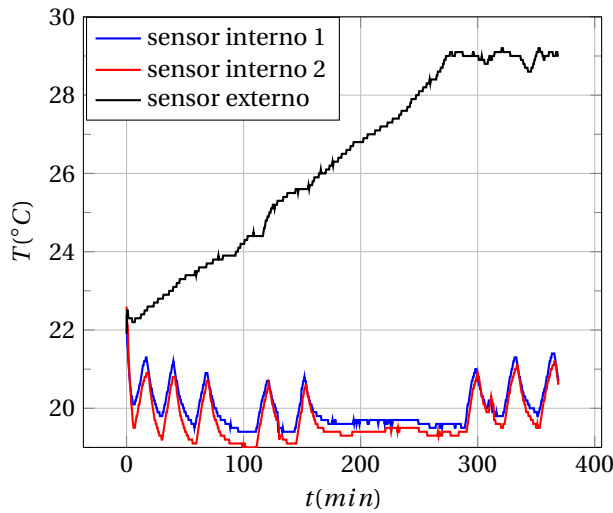


Figura 2: Series de tiempo (t) para tres sensores de temperatura (T), colocados en sitios convenientes, que proporcionan el comportamiento de la misma dentro y fuera del SITE.

El coeficiente de correlación que existe entre las temperaturas dadas por los sensores en el interior del SITE es igual a $\rho = 0.9665$, lo cual indica que existe una alta correlación entre las temperaturas en las localidades en que se encuentran los sensores interiores. Como se escribe más abajo, también se presenta una situación similar para las mediciones de humedades relativas, tal como las Figuras 4 y 5 ilustran.

La Figura 3 muestra que efectivamente, la temperatura del sensor 2 puede ser predicha por el sensor 1. En la Figura, se indican los intervalos de confianza empleando la prueba t -Student, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ para una prueba de dos colas, o que el valor se encuentra dentro de la banda mostrada en la figura con un nivel de confianza igual al 95%.

En este caso, se tienen 739 datos, lo que da un total de $737 = 739 - 2$ grados de libertad (dof) y un valor del estadístico t -Student igual a 1.96, después de consultar una tabla de la distribución t .

Con estos datos es que se construyen los límites superior e inferior de la banda de confianza que muestra la Figura 3. Por supuesto, se asume que previamente se calcula el intervalo de confianza para cada punto experimental, con lo cual se obtiene una región acotada por las dos líneas continuas cercanas, por arriba y por abajo, a la línea de ajuste $T_2(T_1) = 1.0448T_1 - 1.1675$.

El cálculo implica la presencia del valor del estadístico t y una desviación estándar residual por la cual se multiplica el t -score consultado en una tabla del estadístico t -Student.

Una vez verificados los niveles de confianza que se tienen para las muestras obtenidas, se procede ahora a determinar modelos de predicción relativamente simples para las temperaturas y humedades fuera y dentro del SITE.

Por ejemplo, se puede pensar en tener un control en la humedad registrada por el sensor 1 tomando en cuenta la humedad registrada por el sensor 2, siendo que éste tiene un nivel de humedad un poco mayor que la registrada por el primero. Cabe mencionar que también se puede considerar la temperatura.

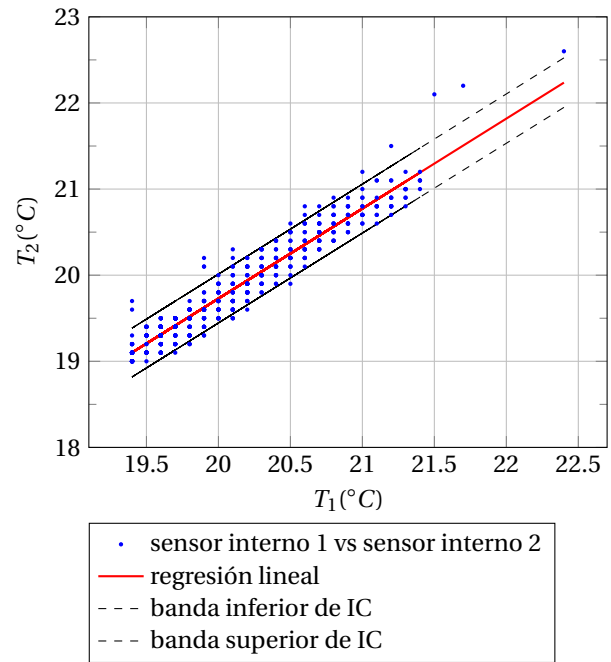


Figura 3: Regresión lineal de temperaturas internas al SITE dando el comportamiento de las temperaturas dentro de éste, según dos sensores colocados en sitios convenientes del mismo. T_i se refiere a la temperatura del sensor $i = 1, 2$. El nivel de significancia es $\alpha = 0.05$ de que el valor de temperatura se encuentra dentro de la banda de confianza mostrada. Es decir, se tiene un 95% de confianza de que el valor de la temperatura se encuentra dentro de la banda mostrada. IC es el acrónimo de Intervalo de Confianza.

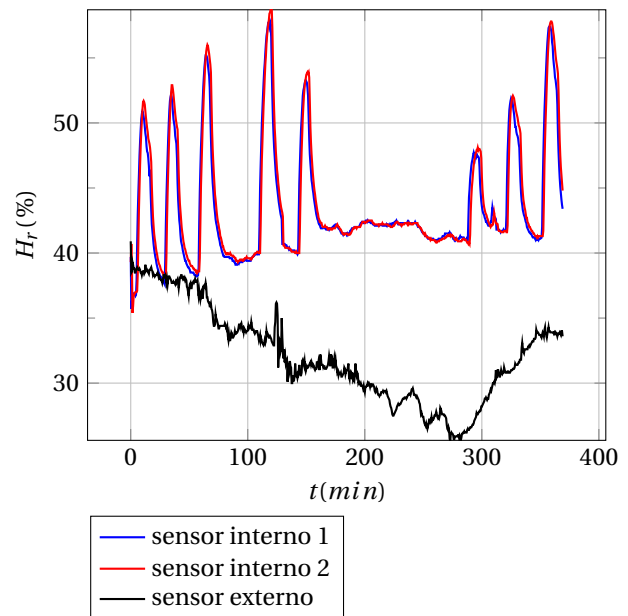


Figura 4: Series de tiempo para tres sensores de humedad (H) mostrando el comportamiento de la humedad relativa (H_r) dentro y fuera del SITE, según tres sensores colocados en sitios convenientes.

Para lograr este objetivo, se propone un sistema adaptable lineal bastante simple con arquitectura de red neuronal como la que muestra la Figura 6. Esta arquitectura define un filtro cuya salida $y(k\Delta t)$ es de la forma

$$y(k\Delta t) = \omega_0 x(k\Delta t) + \omega_1 x((k-1)\Delta t) + \dots + \omega_6 x((k-6)\Delta t) - \theta$$

donde $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_6$ y θ proporcionan las ponderaciones dadas a las entradas de la única neurona lineal que define la salida (Hagan et al., ND) (Demuth and Beale, 2004).

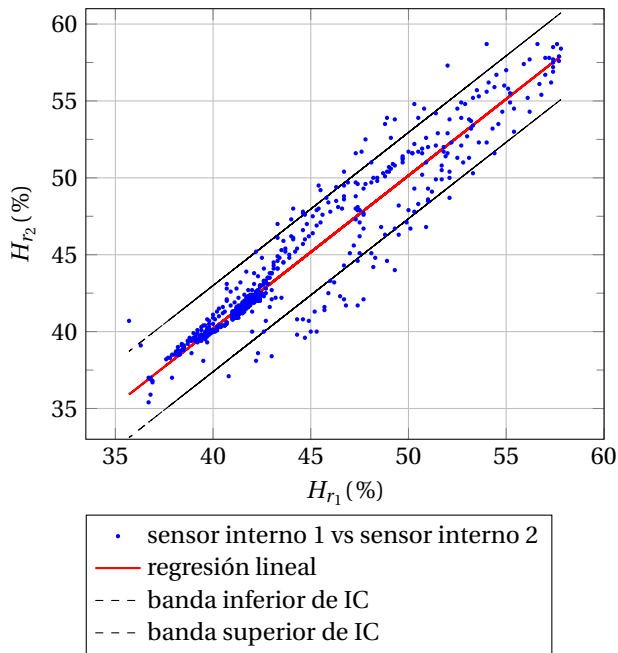


Figura 5: Regresión lineal de humedades internas al SITE indicando el comportamiento de las humedades relativas dentro del mismo, según dos sensores colocados en sitios convenientes. H_{r_i} representa la humedad relativa indicada por el sensor $i = 1, 2$. El nivel de significancia es $\alpha = 0.05$ de que el valor de humedad relativa se encuentra dentro de la banda de confianza mostrada. Es decir, se tiene un 95% de confianza de que el valor de humedad relativa se encuentra dentro de la banda mostrada.

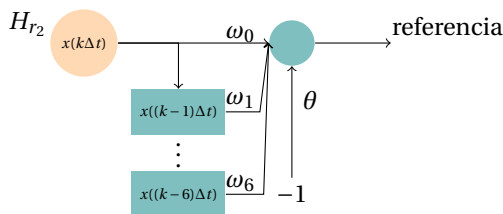


Figura 6: Arquitectura de red neuronal artificial adaptable lineal con seis retardos. La entrada es dada por la humedad relativa registrada por el sensor 2 (H_{r_2} , supuestamente con ruido) y la salida deseada converge a la humedad de referencia especificada por el sensor 2. La función de transferencia en la capa de salida es lineal.

La red neuronal que muestra Figura 6 se entrena en forma supervisada (y posiblemente online, en tiempo real) usando el algoritmo de Widrow–Hoff, o LMS o Regla Delta (Demuth and Beale, 2004).

Después del entrenamiento, se obtienen los pesos siguientes

$$\omega = (\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_6, \theta) = (0.4740, 0.3094, 0.1711, 0.0779, 0.0246, 0.0032, 0.0010, -0.0128)$$

y valores finales en retardos iguales a

$$P_f = \{48.7, 47.5, 46.6, 46, 45.4, 44.8\},$$

los cuales inician con valores nulos y coinciden con el valor de entrenamiento final de humedad reportada por el sen-

sor 2. La tasa de aprendizaje empleada tiene el valor de $\eta = 0.0001$.

El entrenamiento de la red neuronal artificial adaptable lineal propuesta se llevó a cabo en MatLab Versión R2010a 64 bits sobre Windows 7. Siendo una red neuronal con seis retardos, el proceso de entrenamiento inicia tomando los seis valores de los retardos y la entrada actual de humedad relativa proveniente del sensor 2, la cual se asume que proporciona la señal de referencia con ruido. Tomando en cuenta la Tabla 1, el valor de referencia se toma igual al 48%, que es un valor que está dentro del intervalo de valores óptimos de humedad.

Al instante de tiempo siguiente, dictado por la frecuencia con que se obtienen los datos, el valor previo de humedad se almacena en el primer retardo, desplazando los valores previos hacia los otros retardos, y el valor de humedad relativa del sensor 2 se toma como la siguiente señal de entrada, junto con los valores almacenados ahora en los retardos, y así sucesivamente, hasta que se logra reducir el error. Bajo este esquema, el tamaño del bloque de datos de entrenamiento de la red neuronal artificial es igual al número de retardos más la señal actual de humedad relativa proveniente del sensor 2.

La Figura 7 muestra la forma en que se desarrolla el entrenamiento y se observa que inmediatamente la red neuronal ha aprendido la relación entre la entrada (el registro dado por el sensor 2 con ruido) y el valor deseado (el registro que proporciona la referencia en el sensor 2).

También se pueden ver las humedades reportadas por el sensor 2 en el intervalo de tiempo experimental ya especificado líneas arriba. Las gráficas de humedad calculada que deben aproximarse a la humedad de referencia especificada para el sensor 2 se indica ahí mismo, así como el error de esta diferencia de humedades.

De esta forma se comprueba la factibilidad de este esquema de entrenamiento al acceder de manera directa a los datos del sensor 2 en cada instante de tiempo (tiempo real). Por el momento, los resultados mostrados emplean un conjunto fijo de 739 datos obtenidos previamente bajo las condiciones experimentales ya especificadas, en bloques de tamaño siete, sin tener una interacción directa con la Base de Datos de MySQL.

La forma en que se conectan las señales de humedad para los sensores 1 y 2, para que finalmente el sensor 1 reporte una humedad similar a la que reporta el sensor 2, es muy similar a la estructura de conexión de un controlador proporcional, lo cual se muestra en la Figura 8.

Bajo estas consideraciones, el trabajo futuro debe estar orientado hacia diferentes aspectos, algunos de los cuales se listan a continuación,

1. Adquirir datos adicionales de temperatura y humedad dentro del SITE, de tal forma que por cada punto espacio-temporal se obtenga una muestra mínima necesaria de series de tiempo. Esto requiere, por supuesto, que se cuente con un número mínimo aceptable de sensores.
2. Llevar a cabo un análisis de la confiabilidad de los datos a través de diversas pruebas estadísticas para aceptar o rechazar las hipótesis acerca de la correlación estadística de las muestras y la relación con los parámetros

de las poblaciones previamente definidas. Estas pruebas estadísticas deben contemplar técnicas paramétricas y/o no paramétricas.

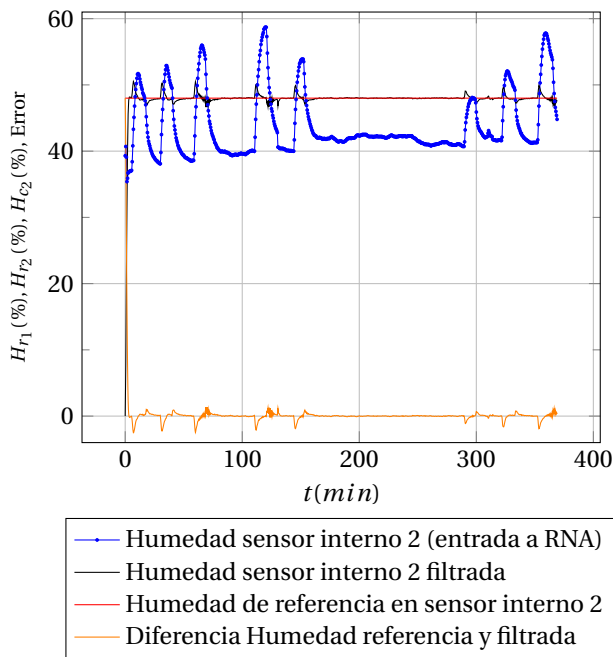


Figura 7: Adaptación de humedad relativa del sensor 1 (H_{r1}) a la del sensor 2 (H_{r2}) indicando la salida calculada H_{c2} del filtro lineal que tiene como entrada H_{r2} con ruido, considerada la señal de referencia una vez filtrada. Se compara H_{r2} filtrada con su valor de referencia constante e igual a 48%.

3. Determinar en forma abstracta un mecanismo que tome en cuenta las relaciones que existen entre las diversas variables para que, de manera teóricamente controlada, se mantenga un ambiente climático aceptable dentro del SITE. En este trabajo se describe el uso de una red neuronal adaptable lineal, pero existen muchos otros modelos que pudieran ser útiles y comparables entre sí.
4. Determinar la implantación real del modelo propuesto en el punto inmediato anterior de esta lista.
5. Profundizar en las relaciones que guardan las temperaturas y humedades externas con las temperaturas y humedades internas al SITE.
6. Desarrollar o emplear el software apropiado para que el sistema completo sea un excelente ejemplo del concepto de Internet de las Cosas.
7. Evaluar el rendimiento del dispositivo ante situaciones catalogadas como de riesgo de temperatura y humedad hacia los equipos de cómputo para precisar la efectividad de las herramientas de alerta del sistema a posibles daños en el equipo de cómputo.
8. Analizar mediante pruebas estadísticas los datos recolectados para fundamentar la toma de decisiones sobre la distribución del aire frío y operación de los sistemas de enfriamiento y con ello mejorar las condiciones climáticas dentro del Centro de Datos y así evitar posibles afectaciones al equipo informático.

9. Analizar mediante prueba estadística la influencia de la correlación de las variables de temperatura y humedad externas contra las internas en el Centro de Datos.

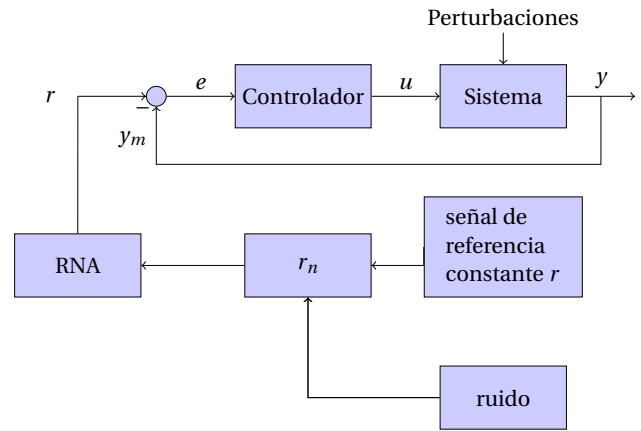


Figura 8: Estructura de conexión entre el sistema y el controlador. Se indica que la señal de referencia r es dada por el sensor 2, la señal de salida modificada y_m es dada por el sensor 1, y que la diferencia entre estas señales produce el error e . La red neuronal filtra la señal de referencia con ruido.

6. Conclusiones

El mantenimiento de condiciones óptimas de trabajo vía la Temperatura y la Humedad Relativa dentro de un Centro de Datos es un tema delicado que requiere observar diversas variables, dispositivos y técnicas de análisis de los datos.

Para un análisis completo del comportamiento de la temperatura y humedad dentro y fuera del SITE se requiere de experimentos adicionales que permitan adquirir información acerca del comportamiento de estas variables en el tiempo y el espacio.

Los resultados que arroja el análisis estadístico evidencian parcialmente la fuerte correlación entre los valores de las temperaturas y humedades en diferentes localidades del SITE y en todo instante de tiempo.

Esta correlación hace relativamente simple la homogeneización de la temperatura y/o humedad tomando en cuenta controladores basados en arquitecturas de redes neuronales artificiales bastante conocidas y sencillas.

Finalmente, en cada punto espacial del SITE donde se coloque un sensor, se deben obtener muestras de las variables de interés considerando diferentes series de tiempo que definan un tamaño aceptable de la muestra y que, por esto mismo, se tengan los insumos mínimos necesarios con los cuales sea posible llevar a cabo un análisis más profundo del comportamiento del clima dentro del SITE por debajo del cual, como se puede observar a partir de lo que se comenta en este trabajo, subyacen ciertos procesos estocásticos interesantes.

Referencias

Alegre-Ramos, M. P. and García-Cervigón-Hurtado, A. (2011). *Seguridad informática*. Paraninfo, Madrid, España.
 Demuth, H. B. and Beale, M. H. (2004). *Neural Network Toolbox: For Use with MATLAB, User's Guide Version 4*. The MathWorks, Natick, MA, USA.

- Ferdoush, S. and Li, X. (2014). Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. *Procedia Computer Science*, 34:103–110. The 9th International Conference on Future Networks and Communications (FNC-2014).
- Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H., and Jesús, O. D. (ND). *Neural Network Design, 2nd Edition*. Hagan and Demuth.
- Kramp, T., van Kranenburg, R., and Lange, S. (2013). Introduction to the Internet of Things. In Bassi, A., Bauer, M., Fiedler, M., Kramp, T., van Kranenburg, R., Lange, S., and Meissner, S., editors, *Enabling Things to Talk: Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model*, chapter 1, pages 1–10. Springer Open.
- Levy, M. and Hallstrom, J. O. (2017). A Reliable, Non-Invasive Approach to Data Center Monitoring and Management. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2(3):1577–1584.
- Lima-Monteiro, P., Zanin, M., Menasalvas-Ruiz, E., Pimentão, J., and Costa-Sousa, P. A. (2018). Indoor temperature prediction in an iot scenario. *Sensors*, 18(3610):1–15.
- Loxone, E. (2022). Loxone electronics gmbh. <https://www.loxone.com/eses/>.
- Medina-Santiago, A., Pano-Azucena, A. D., Gómez-Zea, J. M., Jesús-Magaña, J. A., Valdez-Ramos, M. L., Sosa-Silva, E., and Falcón-Pérez, F. (2020). Adaptive Model IoT for Monitoring in Data Centers. *IEEE Access*, 8:5622–5634.
- Mehta, G., Mitra, G., and Yadav, V. K. (2018). Application of IoT to optimize Data Center operations. In IEEE, editor, *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, pages 747–751, Galgotias University, Greater Noida, UP, India.
- Pérez, J. C. M. and Pérez, A. F. R. (2014). *Administración de Hardware de un Sistema Informático*. Editorial Ra-Ma, Madrid, España.
- Rob, S. (2002). *Enterprise Data Center Design and Methodology (Sun Blueprints, the Official Sun Microsystems Resource)*. Sun Microsystems, Palo Alto, California, USA.
- smart, C. (2022). Cuby smart, arteko electronics sa de cv. <https://cuby.mx/>.