



Sistema de gestión basado en la medición de la temperatura y humedad con cálculo de pronóstico de la durabilidad de los materiales en el Sub-sótano de las casas en la región sur de los EE.UU

Autor Corresponsal:

Ing. Daniel Saloni, Ph.D.²

desaloni@ncsu.edu

Ing. Alejandro Díaz Montero¹

Ing. Eduardo Fajardo Meza¹

Ing. Biaggio Cante¹

Ing. Guillermo Velarde²

¹Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.

²North Carolina State University. Carolina del Norte, EEUU.

Historia del Artículo

Recibido 06 de Noviembre de 2017

Aceptado 06 de Noviembre de 2017

Disponible online: 28 de Noviembre de 2017

Resumen: En el presente trabajo se expone un sistema de gestión basado en la medición de la temperatura y humedad, con cálculo de pronóstico de la durabilidad de los materiales en el sub-sótano de las casas en la región sur de los EE.UU. El cual, fue desarrollado con el fin de controlar la temperatura y humedad en los sub-sótanos, previniendo la creación de hongos que afectan al ser humano, además de disminuir el gasto energético, producto del consumo de los equipos que son utilizados como solución a dicho problema.

Este sistema es capaz de realizar la gestión de los datos de temperatura y humedad, obtenidos de una medición por medio de sensores, para monitorear los niveles que posee el sótano en un momento determinado. Según los datos obtenidos, se realiza la activación o desactivación de los equipos que son empleados para ayudar en el proceso de nivelación de la temperatura y humedad, utilizando un dispositivo de control con el fin de mantener los niveles normales del ambiente, y así evitar la incubación de hongos y el consumo excesivo de energía eléctrica en las casas de la zona sur de los Estados Unidos.

Los procedimientos metodológicos seguidos, están basados en el Prototipado Evolutivo que consiste en la construcción de una serie de versiones sucesivas de un producto. En este modelo se construye una versión parcial del sistema, para luego obtener retroalimentación en base a las pruebas y mejoras del producto, repitiendo este proceso indefinidamente hasta obtener una versión que cumpla con todos los requerimientos.

Para el desarrollo de este sistema se utilizó el lenguaje Java, aplicando Frameworks como: Hibernate, Spring, Quartz; también patrones de diseño como: DAO, Singleton, Factory; que permitieron obtener una aplicación modular, flexible y escalable que realiza el monitoreo y control de los valores de temperatura y humedad en el sub-sótano de las casas.

Palabras Clave: Viviendas, monitoreo y control, humedad relative

Management system based on the measurement of temperature and humidity with prediction calculation of the durability of materials in the Crawlspace of houses in the southern region of the USA.

Abstract: The present work describes a management system for the Southern U.S. that predicts the durability of the materials in a crawlspace based on calculations from recorded measurements of temperature and relative humidity in that environment. The system was developed to control the temperature and humidity in the crawlspace, preventing the creation of mole that affect humans, and reduces the energy expenditure, resulting from the consumption of the equipment being used as a solution to the problem.

This system is capable of managing the temperature and humidity data obtained from a measurement using sensors to monitor the levels that has the crawlspace at one time. According to the data, it performs the activation or deactivation of equipment that are used to assist in the process of leveling of the temperature and humidity, using a control device in order to maintain

normal levels of the atmosphere, and thus avoid incubation of mole and excessive consumption of electricity in the houses of the southern United States.

The methodological procedures followed are based on the evolutionary prototype that consists of the construction of a series of successive versions of a product. This model builds a system demo and then gets feedback based on testing and product enhancements, repeating this process indefinitely until a version that meets all requirements.

For the development of this system was used the Java language, using Frameworks such as Hibernate, Spring, Quartz, also design patterns such as DAO, Singleton, Factory, we have obtained a modular, flexible and scalable that monitors and control of temperature and humidity in the sub-basement of the home.

Keywords: Housing, Monitoring and Control, Relative Humidity

I. INTRODUCCIÓN

Los daños ocasionados por los cambios climáticos en los sub-sótanos de las casas en el sur de los Estados Unidos, son perjudiciales si no se poseen los equipos necesarios para su control, debido a que si no se mantiene un monitoreo constante de los mismos, se generan las condiciones adecuadas para el crecimiento de organismos destructivos, como los hongos, que afectan significativamente la estructura de las casas, al igual que la salud de sus habitantes, por no ser detectados a tiempo.

El presente artículo consiste en el desarrollo de un sistema compuesto por tres módulos que ofrecen una solución eficiente, empleando el monitoreo y control de la temperatura y humedad en el sub-sótano de las casas del sur de los Estados Unidos; como método de prevención contra el daño generado en estos sub-sótanos por los cambios climáticos que sufren durante las diferentes estaciones del año. Obteniendo así, un sistema de gestión con cálculo de pronóstico de la temperatura y humedad para el mes en curso.

En el desarrollo del sistema se utilizaron tecnologías conocidas como Java para la codificación del módulo de gestión, aplicando los patrones de diseño: DAO, Singleton y Factory, con el uso de los frameworks: Hibernate, Spring y Quartz. En el módulo de monitoreo fue utilizado el sistema MOTE-VIEW, almacenando la data proporcionada por dicho sistema en el manejador de bases de datos PostgreSQL. Por último, en el módulo de control se utilizó la tecnología PICAXE para la programación del microcontrolador.

De igual manera, fue realizada una investigación de los métodos predictivos: suavizado exponencial, medias móviles y proyección lineal; para determinar cuál era el más adecuado, a partir de los datos obtenidos en el sistema, para

pronosticar los valores de temperatura y humedad. Además se realizó una investigación sobre las propiedades de los materiales ubicados en el sub-sótano (madera, tuberías y cables), para determinar un modelo matemático que permitiera pronosticar sus tiempos de vida, según la predicción de los valores de temperatura y humedad previamente mencionados.

Para verificar el correcto funcionamiento de este sistema, se realizó su implementación en los laboratorios del Departamento de Ciencias del Papel y la Madera de la Universidad Estatal de Carolina del Norte en los Estados Unidos, debido a que contaban con el escenario adecuado para la simulación de las condiciones reales de las casas en dicha zona.

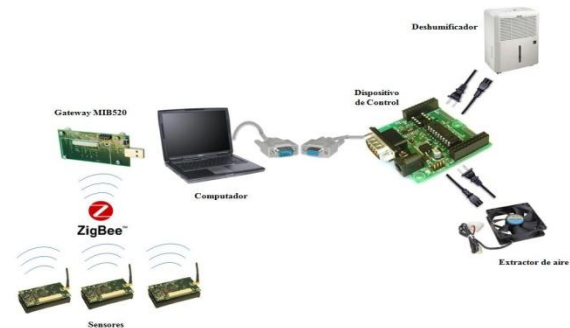


Figura 1. Diagrama del Diseño Global del sistema

II. PROBLEMA PLANTEADO

Las casas en los EE.UU. son susceptibles al clima, ya que el medio ambiente cambia a menudo. La severidad de las estaciones en algunas áreas, así como los cambios impredecibles y rápidos en las condiciones meteorológicas afecta negativamente a las casas y a sus ocupantes. Este fenómeno se acentúa aún más en las casas del Sur de los estados Unidos debido al alto contenido de humedad y las altas

temperaturas a las que se puede alcanzar en ciertas épocas del año.

A fin de responder a estas condiciones particulares, las casas en los EE.UU. tienen que ser diseñadas y construidas teniendo en cuenta las condiciones ambientales particulares para cada zona. A pesar de estos hechos, poca investigación se ha realizado en sistemas de medición y control de las condiciones ambientales interiores y exteriores de las casas, y algunos ejemplos se pueden encontrar en la medición y optimización de consumo de energía de refrigeración y elementos de calefacción dentro de una casa. Sin embargo, es reconocido entre los expertos que la temperatura y la humedad son dos variables fundamentales para ambos; los ocupantes y la estructura de la casa. La temperatura y la humedad pueden afectar significativamente la durabilidad de una casa y sus componentes, así como la salud y el confort de sus ocupantes.

Independientemente de la importancia de estas variables para las casas, pocos avances se han aplicado en la medición y control de la temperatura y la humedad, los intentos exitosos cada vez son menores para lograr el control y monitoreo de estas variables por parte del propietario. Se puede afirmar que existe un déficit en la investigación en relación con la centralización de las mediciones de esta temperatura y la humedad en un único panel de control, como una herramienta para la protección de los elementos de la casa y mejora de la durabilidad.

Debido a los cambios climáticos que existen actualmente, se puede notar que las casas en el Sur de los EE.UU. y sus habitantes son bastante susceptibles a éstos, por lo tanto es necesario implementar un sistema que permita la nivelación de temperatura y humedad en el sub-sótano de estas casas de manera que al haber un cambio considerable en estos niveles, el sistema sea capaz de optimizarlos. Este también debe ser capaz de pronosticar la durabilidad de los materiales en el sub-sótano de manera que los habitantes de la casa puedan estar prevenidos para así tomar decisiones sobre el mantenimiento adecuado en dicho espacio a futuro.

Esto se logrará con el diseño e implementación de un sistema para el usuario final, que permita el

registro automático y la visualización de los eventos ocurridos, es decir, la nivelación de la temperatura y humedad. También permitirá el pronóstico de la durabilidad de los materiales usando al menos tres métodos predictivos.

III. DESARROLLO

En este artículo se establece el uso de una metodología para el desarrollo del sistema, siguiendo las fases que la componen para alcanzar los objetivos planteados. La selección de la metodología prototipado evolutivo, estuvo influenciada por la dificultad de la aplicación y el desconocimiento de ciertos elementos y recursos claves para realizar el levantamiento de información. Una de las limitantes fue, no tener un entorno real donde estudiar el comportamiento de la temperatura y humedad en el sub-sótano de la casa de Carolina del Norte (Estados Unidos). Esto, obligaba al desarrollo de un prototipo que fuera trasladado, probado e implementado en el escenario adecuado para el funcionamiento del sistema.

Prototipo Inicial

El prototipo inicial se desarrolló por módulos; comenzado con la Aplicación de Monitoreo, continuando con el Módulo de Control y finalizando con la Aplicación de Gestión. Cada prototipo obtenido por cada módulo, fue sometido a la Fase de Pruebas. Para luego determinar si se necesitaban realizar mejoras, de forma tal de iterar la cantidad de veces necesarias hasta obtener el producto Final. A continuación se describe el desarrollo de cada módulo:

Aplicación de Monitoreo

Para el desarrollo del prototipo inicial en esta fase, se implementó la aplicación MOTE-VIEW tal y como se definió anteriormente. Este Prototipo se desarrolló con el fin de obtener los datos de temperatura y humedad de los tres ambientes definidos, para su respectivo monitoreo y control. Como se puede observar en la **figura 2**.

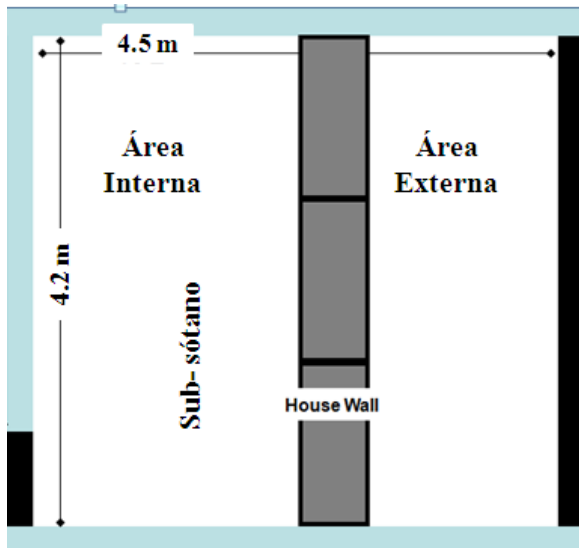


Figura 2. Plano de la Casa Laboratorio.

Los sensores Crossbow MTS_420 (ver figura 3), utilizados para obtener los datos de temperatura y humedad, están compuestos por una unidad de radio y una tarjeta electrónica con los sensores para medir dichas variables. Estos sensores fueron configurados a través de un aplicativo ‘MoteConfig’ instalado junto a la aplicación de monitoreo, permitiendo definir los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de los sensores.



Figura 3. Sensor Crossbow MTS_420

A través del MoteConfig, se configuraron los diferentes sensores indicando el tipo y modelo de radio que se utiliza para la comunicación, la frecuencia en la que se realiza la transmisión de la data y el tiempo estipulado para la medición de los valores obtenidos; el cual fue establecido en veinte segundos, de forma tal de realizar cuatro mediciones por minuto. Obteniendo en mayor

detalle los valores de temperatura y humedad en intervalos de tiempo relativamente cortos.

Al igual que los sensores, la tarjeta MIB520 (ver Figura 4) fue configurada para permitir la comunicación, bajo el protocolo Zigbee, con los sensores CrossBow MTS_420.



Figura 4. Puerta de enlace USB MIB520

La base de datos fue creada en el proceso de instalación de la aplicación de monitoreo, utilizada para almacenar los datos obtenidos a través de cada sensor. Estos son identificados con un número único de cuatro dígitos definido por el fabricante, almacenando en la tabla correspondiente a dicho modelo de sensor, la fecha y hora de la medición, la identificación del nodo, los valores en voltaje de la temperatura y humedad.

Módulo de Control

El circuito fue construido teniendo como principal componente un PICAXE de 28 pines (ver Figura 5). Este dispositivo actuó como el cerebro del circuito, el cual fue programado bajo el lenguaje BASIC, basado en diferentes condicionales que comparaban los datos de entrada con los asignados inicialmente en el programa, para activar una salida de dato en particular.

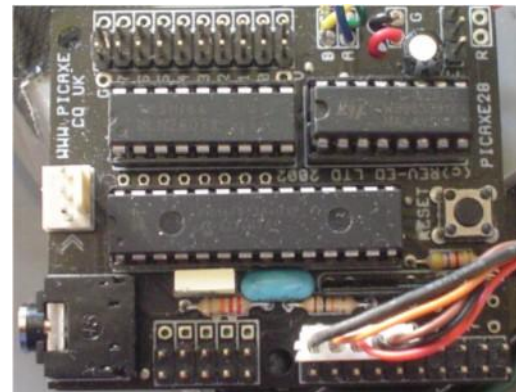


Figura 5. Sensor Crossbow MTS_420.

Continuando con la construcción del circuito, se incorporaron los componentes necesarios para gestionar la comunicación utilizando una interfaz RS-232 permitiendo el intercambio de datos entre un computador y el dispositivo de control. Para esto se utilizó un MAX 232, para convertir los valores lógicos RS-232 a valores TTL. Esta interfaz generalmente es implementada cuando se utilizan microcontroladores en un circuito, porque estos funcionan con valores lógicos TTL.

Para completar el circuito del dispositivo de control, fue necesaria la inclusión de un componente que permitiera o interrumpiera la conducción de corriente. Es por esto que se empleó un relé para 5 voltios, que actuaba como interruptor entre el controlador y los dispositivos utilizados para la nivelación, que trabajan a 110 voltios, permitiendo la conexión de estos dispositivos al Módulo de Control.

Una vez que se realizó la construcción del circuito con sus componentes primordiales, se obtuvo una primera versión del Módulo de Control capaz de encender o apagar los dispositivos encargados de nivelar la temperatura y humedad del sub-sótano, y establecer una comunicación a través de un puerto serial con el computador.

Pruebas del prototipo inicial

Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo construido, se realizaron distintas pruebas conectando el dispositivo de control a una computadora con una interfaz RS-232.

Una vez conectado los dos dispositivos, se descargó al microcontrolador un código de prueba para encender o apagar un bombillo de luz incandescente, simulando la implementación de un dispositivo para la nivelación de temperatura y humedad real.

Mediante el programa Hyperterminal, se realizó la prueba enviando un carácter determinado para encender o pagar el dispositivo de control, comprobando el correcto funcionamiento del condicional que realiza la comparación entre el dato de entrada y el descrito en el programa, obteniendo un resultado satisfactorio.

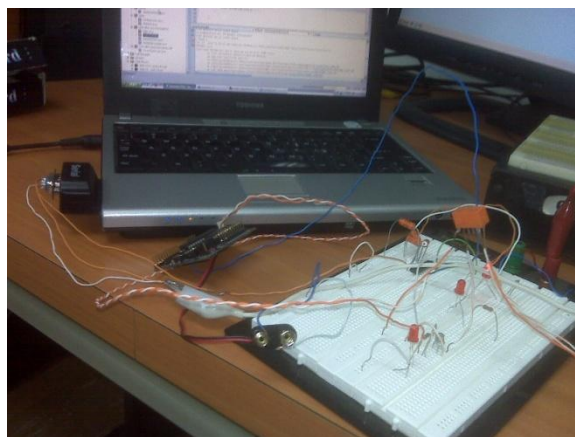


Figura 6. Prototipo del dispositivo de control

Ya teniendo el prototipo inicial del Módulo de Control construido en la tableta de prueba, y luego de haber realizado las pruebas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de todos los dispositivos que intervienen en el circuito, se continuó con su construcción en un circuito impreso, de manera de obtener el prototipo final para la integración con la Aplicación de Gestión.

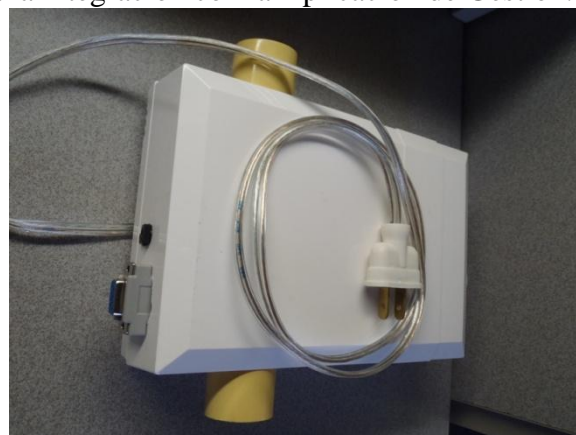


Figura 7. Prototipo final del Dispositivo de Control.

Aplicación de Gestión

En la presente fase se realizó la construcción de la aplicación encargada de gestionar los valores de temperatura y humedad, obtenidos a través de la Aplicación de Monitoreo.

Como primer paso para la codificación de la aplicación, se realizó la configuración para la conexión con la base de datos bajo el manejador PostgreSQL, la cual es alimentada por los sensores a través de módulo de monitoreo.

Hibernate, fue el *framework* utilizado para llevar a cabo la tarea de mapeo de los atributos que conforman la base de datos, gestionando la

conexión con la misma. Para esto se crearon las clases referentes al Modelo de datos, donde destacan las clases: *MTS_420* y *DatosMeteorológicos* en las que se describen la estructura de datos, el tipo de los datos y la forma en que se relacionan.

Luego de la configuración de *Hibernate* se integró con el framework Spring, para facilitar la implementación del patrón de diseño DAO y poder obtener fábricas de diferentes objetos, basado en la inyección de dependencia. Esta integración se logró mediante la codificación de una clase (Spring) encargada de gestionar la inyección de los objetos, donde cada clase creada dentro del proyecto fue referenciada, permitiendo disminuir el número instanciaciones. Todo esto se realizó en función de los requerimientos no funcionales descritos en la fase de análisis, desarrollando una aplicación flexible y modulable.

Teniendo la base del sistema, la creación de los objetos de dominio y sus respectivas configuraciones en Spring, se desarrollaron las interfaces de acceso a los datos para realizar las consultas requeridas por la aplicación. También se llevaron a cabo las clases para realizar las consultas de los datos, las clases para la conversión de los datos lógicos de temperatura y humedad a unidades de medición como Grados centígrados y porcentaje de humedad relativa, respectivamente, y las clases para gestionar el control en el sub-sótano.

Según Merrit, una humedad constante de 65% y temperaturas superiores a los 24 grados centígrados, crean unas condiciones favorables para el crecimiento de hongos, los cuales producen alergias y problemas respiratorios a los habitantes de las casas. Basado en esta premisa se definieron los valores límites de temperatura y humedad en 24 grados centígrados y 50% de humedad relativa respectivamente. Estos valores fueron utilizados como claves constantes dentro del sistema, comparando los valores de la temperatura y humedad obtenidos mediante el sensor ubicado en el sub-sótano, con estas constantes para conocer si las condiciones eran las adecuadas en esa área.

Para lograr la nivelación de los valores de temperatura y humedad adecuados, se desarrolló

un algoritmo para la toma de decisión sobre la nivelación de la temperatura y humedad en el Sub-sótano, basado en cuatro condicionantes tomando en cuenta la combinación de los diferentes estados de la temperatura y humedad en los tres ambientes.

La aplicación fue desarrollada para ser capaz de decidir que método de nivelación implementar según el condicional adecuado. Se definieron tres dispositivos: Deshumificador, extractor de aire y ventilador; con el objetivo nivelar los valores de humedad y temperatura en el sub-sótano.

Para controlar los valores de temperatura y humedad en el sub-sótano fue necesario realizar un proceso repetitivo que permitiera monitorear de forma constante los valores de dichas variables y conocer, luego de un tiempo determinado, las condiciones en las que se encontraba el sub-sótano para poder accionar o desactivar los diferentes dispositivos que ayudan a la nivelación de estas en dicha área.

Este proceso repetitivo fue desarrollado utilizando una librería para JAVA denominada QUARTZ, que sirve para la creación y ejecución de tareas repetitivas o programadas. Esta permitió definir el tiempo de repetición del monitoreo en veinte segundos y la forma como se debía ejecutar dicha tarea.

Para poder completar la aplicación de gestión, fue necesaria la integración del prototipo obtenido en el desarrollo del controlador encargado de activar y desactivar los diferentes dispositivos conectados al mismo, mediante una señal enviada desde la aplicación.

La comunicación entre el PC y el controlador se realizó a través de un puerto serial implementando una librería para JAVA denominada "SerialPort.jar". Esta permitió la comunicación a través de la instanciación de un puerto serial habilitado en el ordenador para la transmisión de datos que permitieran accionar el dispositivo de control.

Con el desarrollo de todas las actividades anteriormente descritas, se logró obtener un prototipo inicial de la Aplicación de Gestión capaz de medir y controlar las condiciones de temperatura y humedad en el sub-sótano.

Pruebas del prototipo inicial

Las pruebas del prototipo inicial de la Aplicación de Gestión, estuvieron orientadas a la integración de éste con los prototipos de los otros dos módulos, probando el proceso de medición de datos de temperatura y humedad a través de los sensores, la gestión de estos datos y la comunicación con el controlador.

Esta prueba se realizó en las instalaciones de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (NCSU) en los Estados Unidos, específicamente en el laboratorio de Ciencias del Papel y Madera.

Este laboratorio cuenta con una cámara aislante donde se construyó un modelo de casa compuesto por un sub-sótano (ver Figura 8), una puerta y dos ventanas. La cámara permite aislar las condiciones atmosféricas del ambiente exterior para que no afecten los experimentos que se realicen, simulando condiciones frías, calientes, húmedas y no húmedas, tanto en el exterior de la casa como dentro de la misma.



Figura 8. Foto frontal de la Casa Laboratorio.

Se implementaron varios tipos de pruebas, simulando las condiciones externas (ver figura 9) e internas (ver figura 10) de la casa así como las condiciones en el Sub-sótano.



Figura 9. Sección externa de la Casa Laboratorio.



Figura 10. Sección interna de la Casa Laboratorio.

Las primeras pruebas (ver figura 11) se enfocaron hacia la simulación de valores de temperatura en el ambiente exterior, inferiores a la temperatura en el interior y humedad en el interior menores a la humedad en el exterior. Estos valores de humedad mínimos estuvieron alrededor 18 grados centígrados y con humedad relativa (RH por sus siglas en inglés) por encima de 60% aproximadamente. Las condiciones dentro de la casa eran de veinticuatro grados centígrados y humedad por debajo de 50%. Estas condiciones son semejantes a los conseguidos en los meses de enero a marzo en la localidad de Raleigh.



Figura 11. Acondicionamiento del escenario de prueba en la Casa Laboratorio.

Para realizar cada prueba fue necesario monitorear y ajustar las condiciones de los tres ambientes. Para nivelarlos se emplearon aires acondicionado para manipular los valores de la temperatura, y deshumidificadores para ajustar los valores de humedad en cada uno de los espacios. Para cada prueba era necesario generar valores de

humedad por encima de 50% para que el sistema, luego de monitorear, ejecutara los métodos de nivelación y accionara los diferentes dispositivos de control.

Dichas pruebas hacían referencia al tercer método de nivelación planteado en la fase de diseño, en el cual se simulan las condiciones atmosféricas durante los meses de invierno en el estado de Carolina del Norte.

La primera prueba permitió estudiar el comportamiento del sistema de control, accionando los tres dispositivos (deshumificador, extractores de aire y ventilación de aire desde la

casa). En el momento que los valores de temperatura y humedad excedían los límites estipulados, se accionaban los dispositivos descritos anteriormente. Como resultados (ver figura 12 y 13) de estas pruebas se observó que la duración del proceso de nivelación era muy lenta, por lo que se procedió a realizar pruebas alternando los diferentes dispositivos para la nivelación, realizando las mismas pruebas anteriores pero con la variante de la eliminación del ventilador que introducía aire desde la casa hacia el sub-sótano.

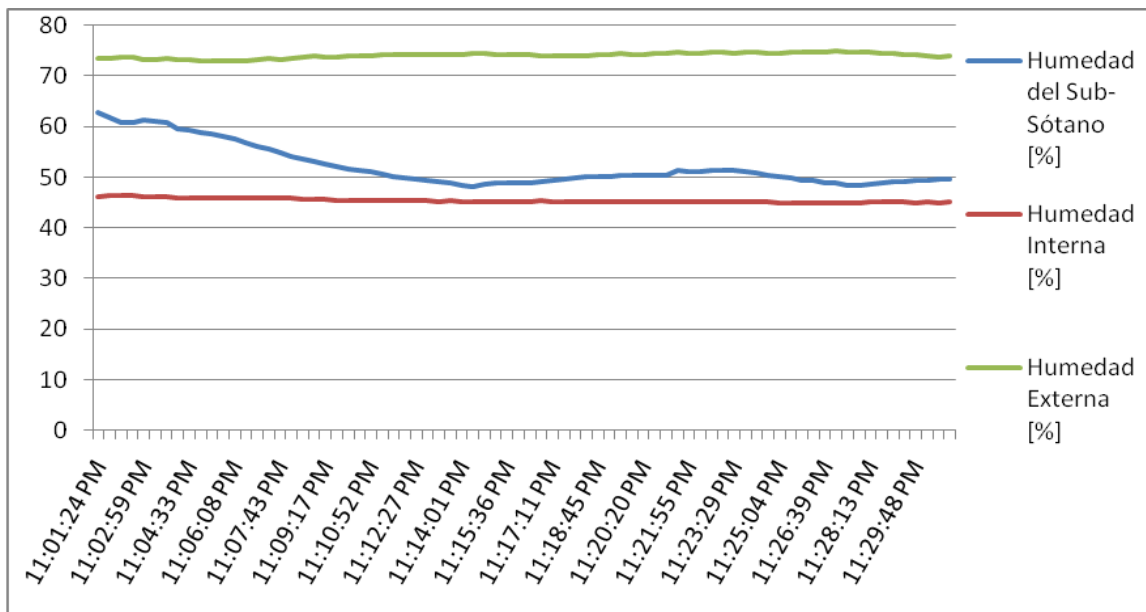


Figura 12. Gráfica del comportamiento de la humedad en el Sub-sótano. Humedad Externa Mayor que la Interna.

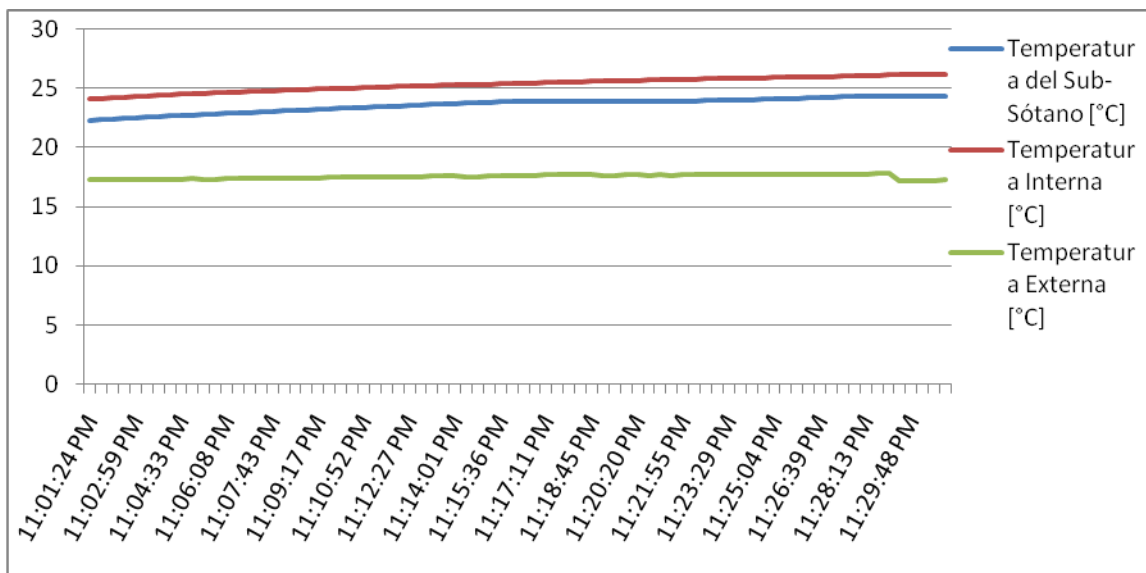


Figura 13: Gráfica del comportamiento de la Temperatura en el Sub-sótano. Temperatura Externa Menos que la Interna.

Luego de realizar las pruebas se determinó que lo más conveniente era accionar el deshumificador y los extractores de aire, evitando así el ingreso al sub-sótano de aire caliente que perjudicaba la efectividad de la nivelación, obteniendo un resultado satisfactorio que se puede observar en la Figura 12. En este gráfico se observa la curva de color azul, que representa el comportamiento de la humedad en el sub-sótano, donde se puede observar la efectividad del método logrando disminuir los niveles de humedad desde un 60% hasta, un control, alrededor de 50% de humedad. Una vez determinado esto se comprobó si lo obtenido por la prueba anterior era válido, realizando nuevas pruebas pero cambiando las condiciones ambientales de los diferentes

ambientes en los que se invirtieron los valores de temperatura y humedad dentro y fuera de la casa. Para ello se abrieron las puertas de la cámara para aprovechar las condiciones atmosféricas externas, las cuales se encontraban por encima de los 28 grados centígrados y 80% de humedad relativa, obteniendo unas condiciones reales en estación de verano.

Continuando con el experimento se accionó el deshumificador y se bloquearon las ventanillas de ventilación del sub-sótano, evitando así la circulación del aire caliente del exterior hacia el espacio en control. Resultando un cambio en la tendencia de los valores de humedad y temperatura logrando disminuir los valores de dichas variables. (Ver Figura 14).

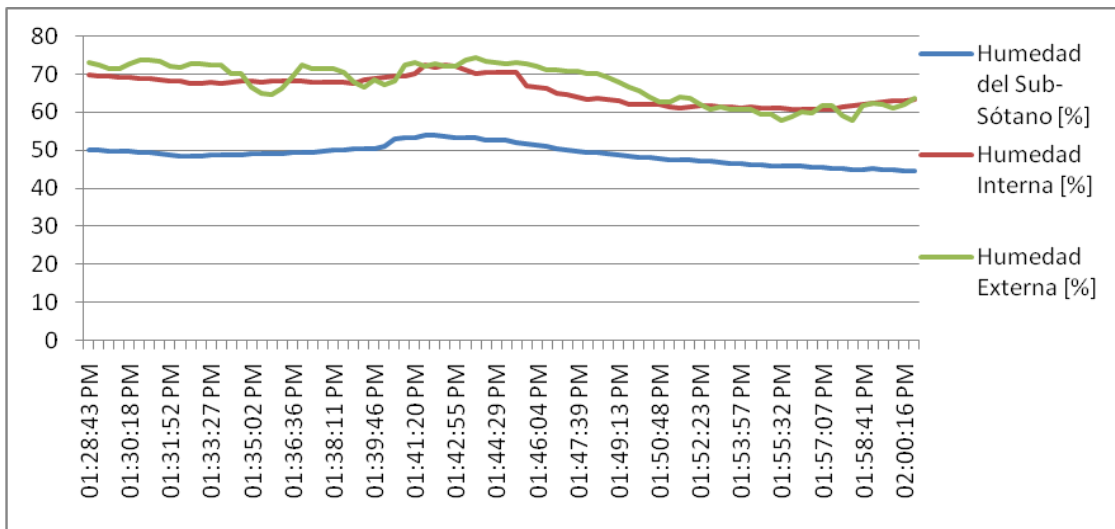


Figura 14. Gráfica del comportamiento de la Humedad en el Sub-sótano. Humedad Interna menor que la Externa.

Estudiando el comportamiento de las masas de aire, a través de la carta psicrométrica (ver figura 15), se concluyó que los métodos de decisión debían ser modificados contemplando el comportamiento de las masas de aire frías y calientes para nivelar los valores de temperatura y humedad en el sub-sótano.

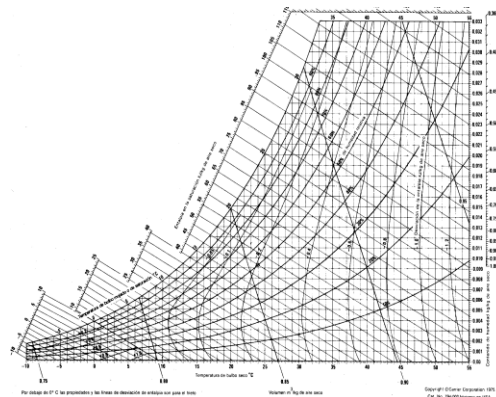


Figura 15: Carta Psicrométrica sobre el estudio y comportamiento de las masas de aire.

Basado en las pruebas anteriores, el sistema fue sometido a unas mejoras en su programación, modificando los métodos de decisión para solo encender el deshumificador cuando el aire externo es más caliente que el aire en el sub-sótano.

Continuando con las mejoras del algoritmo, se programó el método para controlar la temperatura y humedad cuando las condiciones externas de temperatura son inferiores a las obtenidas en el sub-sótano.

Para esto se determinó que en aquellos caso donde la temperatura era inferior en el exterior que en el interior del sub-sótano, se accionaría el deshumificador y los extractores de aire para aprovechar el comportamiento de las masas de aire y acelerar la circulación del aire húmedo y la rápida nivelación de los valores de temperatura y humedad en el sub-sótano de las casa.

Esto permite descartar por completo la introducción de aire desde el interior de la casa, eliminando la señal que activa uno de las tres salidas del dispositivo de control.

Una vez que se realizaron las mejoras correspondientes, se volvieron a realizar las pruebas descritas anteriormente, sometiendo al sistema a diferentes condiciones de temperatura y humedad en las diferentes áreas de la casa.

Luego de realizar las pruebas del sistema, se observó el correcto funcionamiento de los métodos de nivelación de la temperatura y humedad. Sin embargo, durante la ejecución de las pruebas se determinó que el valor de nivelación para la humedad relativa en el sistema

Prueba Final: Humedad Interna menor que la Humedad Externa y Temperatura Interna Mayor que la Temperatura Externa.

debía disminuirse para optimizar el proceso de nivelación y prolongar el tiempo en el que aumentan los niveles de humedad.

En la iteración anterior, el sistema solo nivelaba la humedad cuando los valores estaban por encima de 50% y se desactivaban los dispositivos cuando la temperatura disminuía por debajo de dicho valor. Basado en el estudio de las graficas del comportamiento de la temperatura y humedad en las diferentes áreas, se observaba, que el tiempo en el que el sub-sótano se mantenía por debajo de 50% RH era muy corto.

Basado en las pruebas anteriores, se realizaron los cambios correspondientes de los valores de humedad y temperatura para la activación o desactivación del proceso de nivelación.

Se sometió el sistema a las diferentes pruebas con las que ha sido evaluado desde la primera iteración, obteniendo un resultado satisfactorio del sistema de gestión de temperatura y humedad en el sub-sótano. Observando las figuras 16 y 17 se puede apreciar mediante la curva azul, que representa el comportamiento de la humedad y temperatura en el sub-sótano, como disminuye hasta valores por debajo de 45% RH, momento en el que se desactivan los dispositivos de nivelación.

Una vez que se desactivan los dispositivos, la curva comienza a aumentar hasta llegar a valores de humedad por encima de 50% RH y comenzar a disminuir nuevamente gracias al control del sistema de gestión.

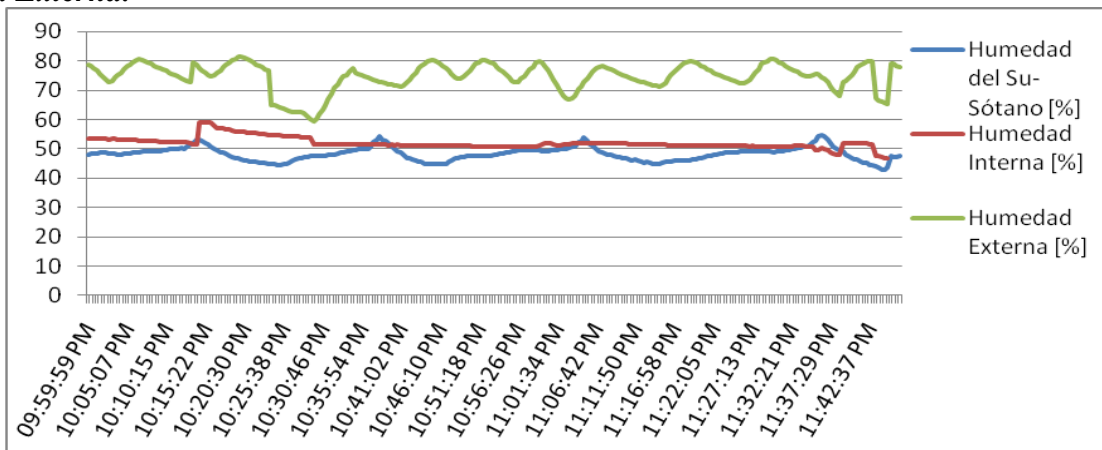


Figura 16. Gráfica del comportamiento de la Humedad en el Sub-sótano. Temperatura Externa Menos que la Interna

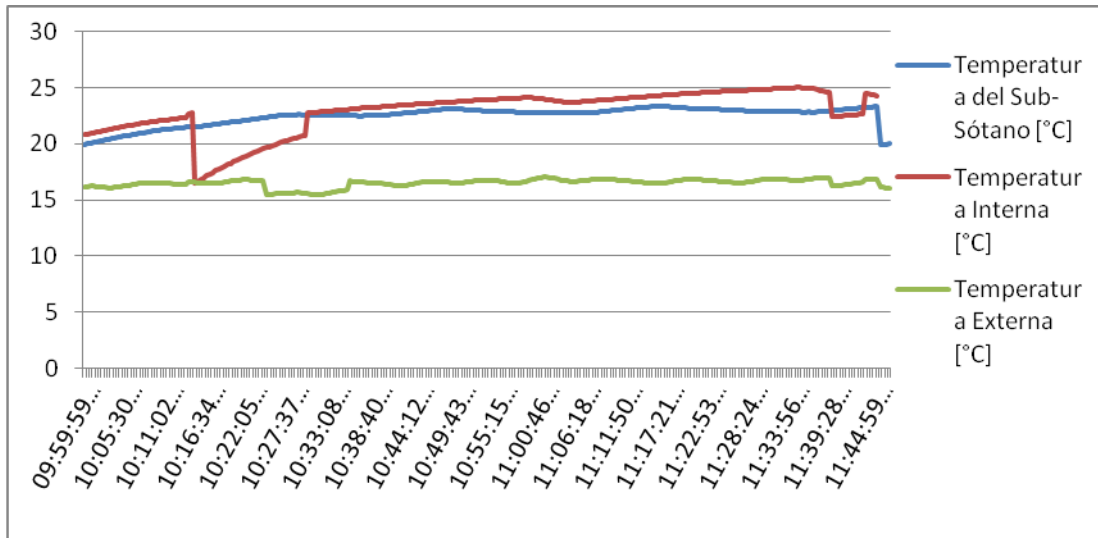


Figura 17. Gráfica del comportamiento de la Temperatura en el Sub-sótano. Temperatura Externa Menos que la Interna.

Finalmente se obtiene un sistema de gestión encargado de controlar la humedad y la temperatura.

Pronóstico de la durabilidad de los materiales

El estudio de las propiedades de los materiales para determinar un modelo matemático que permita predecir la durabilidad de cada uno de los tres materiales: madera, tuberías y cables, que se encuentran en el sub-sótano.

Pronóstico de la durabilidad de la madera.

En cuanto a la madera, se realizó una investigación sobre las variables que contribuían a su degradación. Luego de recopilar diferentes motivos por los cuales se puede generar dicha degradación junto con diferentes opiniones de expertos en el área, como lo son los profesores del departamento de ciencias del papel y madera en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, se llegó a la conclusión de que la degradación del material depende de la situación en que se encuentre expuesta esa madera en cuanto a: temperatura, humedad, luz ultravioleta, bacterias, insectos, entre otros; además de los factores que influyeron en el crecimiento de la misma antes de ser procesada para la construcción de la casa.

Una vez realizada esta investigación, se decidió vincular la degradación de la madera con el daño que producen las termitas sobre el material una vez establecidas en este. Luego de obtener información variada sobre el ambiente adecuado para la reproducción de las termitas, se llegó a la

conclusión de que la temperatura adecuada es entre 25°C y 30°C y la humedad relativa adecuada es entre 75% y 80%. (Residential, Structural & Community Pests,)

Teniendo ya el ambiente adecuado para su reproducción, se prosiguió a investigar sobre como es su ciclo reproductivo, obteniendo como resultado las premisas a continuación:

- Es necesario que exista una termita reina y una termita rey para que inicie la reproducción de las termitas y en consecuencia la formación de un nido.
- La termina reina produce aproximadamente entre 1000 y 2000 huevos diarios una vez establecido el nido.
- De los huevos producidos, el 96 % aproximadamente nace y el otro muere.
- Del porcentaje de nacidas, entre un 90 % y 95 % son termitas de tipo obreras que son las que comen madera.

Teniendo el número aproximado de termitas obreras que nacen, se prosiguió con la investigación para conocer la cantidad de madera que consumen las termitas por día, obteniendo como resultado que una colonia de termitas (que tiene 1.000.000 de termitas aproximadamente), puede llegar a consumir 456 Kg en un año aproximadamente, que daría un total aproximado de 0,013 g de madera que son consumidos por cada termita diariamente. (Residential, Structural & Community Pests,)

Una vez concretada la cantidad aproximada de madera que consume cada termita diariamente, se prosiguió a realizar un modelo matemático que arroje la cantidad de kg que se come un nido en un rango de días delimitado, para ello se utilizaron Distribuciones Estadísticas Normales, ya que, los números encontrados son todos aproximados.

Para definir las cantidades aleatorias de huevos que pone una reina, cantidad de termitas que nacen y, de las que nacen, qué cantidad de ellas son obreras; se utilizó la distribución normal que se muestra a continuación:

$$y = \mu + \sigma(r)$$

Donde:

y: es el valor aleatorio a calcular.

μ : es el promedio.

σ : es la varianza.

r: es un número aleatorio entre cero (0) y uno (1).

Una vez definida la distribución normal, planteamos las distribuciones normales necesarias para plantear el modelo matemático requerido, a continuación se describen las mismas:

- Para definir la cantidad aleatoria de huevos que pone una reina, se planteó la siguiente distribución:

$$h = 1500 + ((2000 - 1000) * r)$$

Donde:

h: es la cantidad de huevos que produce una termita reina.

r: un número aleatorio entre cero (0) y uno (1).

- Para definir la cantidad aleatoria de termitas que nacen de esos huevos que pone una reina según la fórmula anterior, se planteó la siguiente distribución:

$$T = \frac{h + (h * 0,96)}{2} + (h - (h * 0,96)) * r$$

Donde:

T: es la cantidad termitas que nacen.

h: es la cantidad de huevos que produce una termita reina.

r: un número aleatorio entre cero (0) y uno (1).

- Para definir la cantidad aleatoria de termitas obreras que nacen, se planteó la siguiente distribución:

$$T_o = \frac{(T * 0,95) + (T * 0,9)}{2} + ((T * 0,95) - (T * 0,90)) * r$$

Donde:

To: es la cantidad termitas obreras que nacen.

T: es la cantidad termitas que nacen.

r: un número aleatorio entre cero (0) y uno (1).

Una vez calculado To solo faltaría calcular la cantidad aleatoria de madera que consume una termita por día. Como ya se conoce una cantidad aproximada, se decidió hacer un promedio tomando como rango el valor aproximado de gramos que consume y ese mismo valor con un error del 50 %, debido a que la cantidad de termitas obreras que nacen no siempre es la misma. Para tener una idea más clara, se plantea la fórmula de distribución aleatoria para la cantidad de madera que consume una termita por día a continuación:

$$C_m = \frac{0,013 + (0,013 * 0,5)}{2} + (0,013 - (0,013 * 0,5)) * r$$

Donde:

Cm: es la cantidad de gramos madera que come una termita por día.

r: un número aleatorio entre cero (0) y uno (1).

Luego de calcular To y Cm se procedió a realizar el modelo matemático requerido tomando en cuenta estos datos, a continuación se plantea el mismo:

$$G_c = T_o * C_m$$

Donde:

Gc: es la cantidad de gramos de madera que come un nido de termitas por día.

Cm: es la cantidad de gramos madera que come una termita por día.

To: es la cantidad termitas obreras que nacen.

Ya teniendo el modelo matemático, solo faltaría plantear un algoritmo que incluya las distribuciones normales planteadas anteriormente, junto con el modelo matemático dentro de un ciclo que se ejecute durante el número de días que se quiera calcular y daría como resultado la

cantidad de madera que consumiría el nido por en ese tiempo.

Como resultado se obtuvo un algoritmo que incluye un modelo matemático para el cálculo de la cantidad de madera que puede llegar a consumir un nido de termitas en un rango de días. Este algoritmo no fue implementado debido a que no se garantiza un tiempo aproximado en el que se pueda llegar a instalar una termita reina y una termita rey para que se forme un nido, teniendo inclusive las condiciones de temperatura y humedad adecuadas para su reproducción.

Pronóstico de la durabilidad de la Tubería y Cable.

Para el pronóstico de la durabilidad de las tuberías de PVC, se realizó un estudio a gran escala sobre este polímero, comprendiendo sus propiedades, el método de fabricación y las ventajas y desventajas que este tipo de tuberías ofrecen.

Primero se identificaron los polímeros más usados para la fabricación de los diferentes sistema de tuberías que se utilizan en el área de la construcción, luego de identificarlos, se determinaron los tres principales materiales: Poli vinil de cloruro, polietileno y polipropileno.

El polipropileno es un polímero termoplástico utilizado en la industria con dos funciones, como plástico y como fibra. Es un material enfocado hacia la fabricación de productos terminados con resistencia a las altas temperaturas, ya que no funde por debajo de los 160 grados Centígrados. A pesar de las grandes bondades del material, varios estudios comprueban que este tiende a deteriorarse con temperaturas cercanas a 0 grados centígrados. Esto hace de este polímero el menos usado para tuberías en aquellas partes del mundo donde el invierno oscila cercano a 0 grados centígrados, como es el caso del estado de Carolina del Norte en Estados Unidos. (PVC, 2005).

El polietileno es otro de los polímeros más utilizados para la fabricación de bolsas plásticas, juguetes de niños, cables, tuberías plásticas, entre otros.

El PVC es el polímero más empleado en la industria de la construcción, específicamente en la fabricación de tuberías de agua. Es un material

que se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco.

Este material se caracteriza por ser inoloro, insípido e inodoro, además de ser resistente a la mayoría de los agentes químicos. Además es perfecto para la construcción de viviendas por ser ligero y no inflamable, por lo que es clasificado como material no propagador de la llama. No se degrada, ni se disuelve en agua y además es totalmente reciclable.

Este polímero es uno de los más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que por su amplia versatilidad es usado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, preservación de alimentos y artículos de uso diario, entre otros. Es por ello que este Trabajo Especial de Grado se enfoca específicamente en estudiar la durabilidad de las tuberías y cables hechos de este material.

La amplia aceptación de la tubería de PVC en todo el mundo, se debe a sus numerosas propiedades y ventajas sobre cualquier otro material. A continuación mencionamos algunas de estas ventajas:

Resistente y liviano

Su fortaleza ante la abrasión, bajo peso (1,4 g/cm³), resistencia mecánica y al impacto, son las ventajas técnicas claves para su elección en la edificación y construcción.

Versatilidad

Gracias a la utilización de aditivos tales como estabilizantes, plastificantes y otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, teniendo así gran variedad de aplicaciones.

Longevidad

Es un material excepcionalmente resistente. Los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años, como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua potable y sanitarios; de acuerdo al estado de las instalaciones se espera una prolongada duración de las mismas. Una evolución similar ocurre con los marcos de puertas y ventanas en PVC.

Rentable

Bajo costo de instalación y prácticamente costo nulo de mantenimiento en su vida útil.

Como todo material el PVC sufre por un proceso de degradación natural, perdiendo sus

propiedades con el tiempo. En el proceso de degradación del PVC intervienen múltiples variables que pueden afectar el rendimiento del material en el futuro y por ello es importante estudiar el comportamiento de la degradación de sus propiedades en el tiempo. (Rodríguez, 2010).

El estudio realizado sobre las múltiples variables que afectan directamente la composición físico-químicas del material, ha hecho cambiar el enfoque inicial en este Trabajo Especial de Grado, ya que las variables Temperatura y humedad poco influyen en este proceso de degradación.

Si bien la temperatura es una de las variables que se deben incluir para el estudio de la durabilidad de este material, también hay que tomar en cuenta la presión hidrostática que un tubo de PVC puede soportar.

El ensayo de Creep es el método más común y simple para explicar como el material se degrada en el tiempo. Este consiste en aplicar una carga constante a una barra en tensión o en compresión a la temperatura de interés.

Mediante este ensayo, se desea estudiar cuánto tiempo puede resistir una tubería, en este caso de PVC, a cierta presión; tomando en cuenta las características físicas de un tubo normalmente utilizado dentro del sub-sótano de las casa del Sur de Carolina del Norte.

Según Osorio, Para poder pronosticar la durabilidad de este material en especial de la tubería de PVC, se empleo la formula definida en la norma ISO/DTR 9080.2- Método de Extrapolación Estándar, cuya fórmula de cálculo es:

$$\log t = A + \frac{B}{T} * \log \delta + \frac{C}{T}$$

Donde,

T, son los valores de temperatura a los que se somete el tubo.

δ , tensión tangencial.

t, tiempo (en horas).

C, coeficiente de Seguridad.

La tensión tangencial se determina según la fórmula de Barlow

$$\delta = \frac{P(De - e)}{2e}$$

Donde,

P, es la presión hidrostática interior aplicada en Mpa.

De, es el diámetro exterior del tubo.

e, es el espesor del tubo.

Para lograr demostrar esto se investigó sobre las tuberías que se utilizan normalmente en el área de la construcción, seleccionando una tubería de referencia de la compañía PAVCO S.A, empresa dedicada la fabricación de tuberías para la construcción.

Se seleccionó una tubería de ¾ pulgadas, comúnmente utiliza en el sistema de tuberías de aguas blancas, con diámetro exterior de 26 milímetros y espesor del tubo de 5 milímetros y con resistencia a la presión de 315 PSI (libra por pulgada cuadrada). Estos datos permitieron calcular el valor de la tensión tangencial que puede soportar la tubería de PVC, dato clave para lograr determinar el tiempo de vida útil del material.

Teniendo el valor de la tensión tangencial, la temperatura promedio a la que se somete un tubo de plástico en un espacio como el sub-sótano, el coeficiente de seguridad dado por el fabricante; se puede llegar a determinar el tiempo de duración de este material.

Sin embargo, determinar un modelo matemático para la durabilidad de este material no ha podido ser alcanzado por este Trabajo Especial de Grado, ya que si bien el PVC es un material que se deteriora en el tiempo, no es un fenómeno que ocurre en poco años. Lo que requiere de un estudio de las propiedades físico-químicas del material, que ayuden a determinar una curva que establezca el tiempo de vida de dicho material al pasar el tiempo.

Es por esto que el sistema de gestión no puede emplear el cálculo del pronóstico por no contemplar todas las variables necesarias, para dicho fin.

IV. RESULTADOS

Como resultado de esta investigación se obtuvo lo siguiente:

Un módulo de monitoreo capaz de medir la temperatura y la humedad, a través de tres sensores inalámbricos ubicados en tres áreas específicas de la casa: Sub-sótano, interior de la casa y exterior de la casa. Esta aplicación de monitoreo permitió medir los valores de las dos variables y almacenándolos en una base de datos relacional para su correcta gestión.

Un dispositivo de control capaz de activar o desactivar tres dispositivos destinados para el control y nivelación de los valores de temperatura y humedad en el sub-sótano, que a su vez es capaz de comunicarse a través de una interfaz serial con un computador.

Una aplicación de gestión construida de forma cohesionada y poco acoplada, gracias a la aplicación de patrones de diseño y arquitectura N capas, que aseguran la mantenibilidad, flexibilidad y escalabilidad para futuros desarrollos, que es capaz de integrarse con un módulo de monitoreo y un dispositivo de control para formar un sistema de gestión de temperatura y humedad.

La implementación de tres sensores inalámbricos, configurados para medir los valores de temperatura y humedad cada veinte (20) segundos y de medir valores digitales de temperatura y humedad, enviándolos, a través de un protocolo de comunicación inalámbrico como Zigbee, al terminal receptor de los datos.

La implementación de la técnica de predicción de series de tiempo Suavizado Exponencial, luego de haber realizado un estudio detallado de los métodos de pronóstico de serie de tiempo específicamente de: suavizado exponencial, Medias Móviles y proyección de tendencia, para la evaluación de la técnica que se ajustara a la solución del problema.

Un modelo matemático para determinar la durabilidad de uno de los materiales que intervienen en el sub-sótano, como lo es la madera donde se incluyó la variable Termitas como un factor degradante de las propiedades de la madera, facilitando así el cálculo de pronóstico de la durabilidad de dicho material.

La definición de dos métodos de nivelación. El primero establece que se debe accionar un deshumificador y los extractores ubicados en las ventanillas del sub-sótano para extraer el aire hacia el ambiente. El segundo establece que se debe accionar solamente el deshumificador para la nivelación, descartando por completo lo inicialmente diseñado para la introducción de aire desde el interior de la casa.

Un algoritmo de decisión basado en el comportamiento de las masas de aire frías y calientes, para tomar acciones correctivas sobre los niveles de temperatura y humedad en el sub-sótano. Dicho algoritmo es el encargado de decidir cuál de los dos métodos de nivelación accionar, para cumplir con la optimización de los valores adecuados de temperatura (25 C°) y de humedad (45%).

Las pruebas en el laboratorio de Ciencia de Papel y Madera en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, en un escenario que simulaba las características de una casa, incluida en una cámara controlada que aislaba el entorno del exterior permitiendo acondicionar los diferentes escenarios según lo necesitado para la correcta implementación de la prueba.

V. CONCLUSIÓN

Luego de realizar todo el estudio de los diferentes factores que influyen las condiciones de temperatura y humedad en el sub-sótano de las casas de Sur de EE.UU, se logró probar e implementar el sistema de gestión de temperatura y humedad en los laboratorios del Departamento de Ciencia de la Madera y Papel en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, donde, en el prototipo de casa, se lograron simular diferentes escenarios: fríos, calientes y húmedos; para probar la efectividad del sistema, obteniendo resultados positivos sobre el control de la temperatura y humedad en el sub-sótano. Resultando un producto final capaz de controlar los cambios bruscos, evitando el crecimiento de hongos, formación de termitas y el ahorro energético en las casa de del sur de los Estados Unidos.

Basado en todo lo expuesto en este artículo, el mayor aporte fue contribuir en la búsqueda de

una solución informática que permita mejorar la calidad de vida de los habitantes de las casas del sur de EE.UU. y disminuir el ahorro de energía, producto de un efectivo uso de los dispositivos de control de humedad y temperatura. Un deshumificador consume 446 Kwh aproximadamente, si se mide esto en relación a la cantidad de tiempo que un apartado de estos debe estar encendido para deshumificar un espacio, podremos entender el verdadero aporte a este mundo verde que globalmente se está impulsando.

Así mismo, el controlar los niveles de agua en el aire en el sub-sótano de estas casas, disminuye la posibilidad del crecimiento del hongo, reduciendo así el riesgo de enfermedades alérgicas que atacan a los habitantes de las casas construidas en el sur de EE.UU.

La madera, tiende a ser un material muy bueno, barato y rápido para la construcción de viviendas, pero también es un material propenso a sufrir terribles daños a causa de las termitas, que buscan siempre lugares idóneos para formar y propagar su colmena.

Es por ello que al construir complejos habitacionales en el sur EE.UU se debe tener presente las condiciones de temperatura y humedad en el sub-sótano de las mismas, e implementar una solución que permita mejorar la condición de vida de los habitantes de las casas en esa zona, la duración de los materiales y el ahorro energético que permita contribuir a un mundo mejor.

REFERENCIAS

- [1] Sensores y transductores. (s.f.) MiTecnologico, [en línea]. Disponible en: <http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresYTransductores> [2010,Abril].
- [2] Picaxe (s.f.). Microcontrolador Picaxe. Disponible: <http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/es/index.htm> [2010, Mayo].
- [3] Pressman, Roger S. (2006). Ingeniería del Software: Un enfoque práctico. (6a ed.). Madrid, España: McGraw Hill.
- [4] *Policloruro de vinilo – PVC* (2005, agosto). Textocientíficos.com. Disponible en: <http://www.textocientificos.com/polimeros/pvc> [2010, Septiembre].
- [5] Osorio F., Rodríguez J. (). *Tuberías de PVC y polietileno PAD*. Disponible en:

- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/osorio_e_fj/capitulo3.pdf [2010, Agosto].
- [6] Oliveros, Miguel (s.f.). *Pronósticos*. Mérida: Universidad Los Andes. Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/oliverosm/materiasdictadas/produccion1/clases/pronosticos.pdf> [2010, Agosto].
- [7] Jane Merrit, Moho y enmohecimiento: Prevención del crecimiento de microorganismos en las colecciones de los museos. Disponible en: <http://www.archives.gov/preservation/spanish/spanish-mold-and-mildew-prevention.html>. [2010, Julio].
- [8] *Formosan Termites in North Carolina*. Residential, Structural & Community Pests (NCSU). Disponible en: <http://www.ces.ncsu.edu/depts/ent/notes/Urban/termites/formosan.htm>. [2010, Septiembre].