



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM VALLE DE MÉXICO

Diseño, construcción y estudio de la eficiencia de paneles
verdes con un sistema de monitoreo de variables físicas

TESIS

Que para obtener el Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

P r e s e n t a

C. Oscar González Woge

Asesor: D. en C. en Ing. Eléctrica Carlos Omar González Morán

Co Asesor: Dr. en Ing. Héctor Herrera Hernández



Atizapán de Zaragoza, Edo. de Méx. agosto, 2017.

Contenido

Resumen	5
Abstract	6
Justificación	7
Antecedentes	11
Definición	11
Contexto regional y mundial	17
Requerimientos	18
Composición básica	20
Estado del arte	23
Objetivos	26
Objetivo General	26
Objetivos Específicos	26
Hipótesis	26
Metodología	27
Aportación	63
Resultados	66
Aplicación comercial del proyecto	105
Conclusiones	107
Bibliografía	109
Anexos	111

Índice de Tablas

Tabla 1	Carga máxima permitida según la norma Nadf-013-Rnat-2007
Tabla 2	Tabla de conversión para pendientes de porcentajes a grados
Tabla 3	Métodos y materiales del sistema de monitoreo
Tabla 4	Hoja de especificaciones DHT 11
Tabla 5	Hoja de especificaciones LDR
Tabla 6	Parámetros de medición LDR
Tabla 7	Hoja de especificaciones CNY 70
Tabla 8	Tamaño de la muestra en un lapso
Tabla 9	Arreglo de la selección de variables físicas
Tabla 10	Muestras de los datos observados durante el experimento de monitoreo
Tabla 11	Arreglo de la selección de las variables físicas, en cada uno de los experimentos
Tabla 12	Cantidad de datos adquiridos por el sistema
Tabla 13	Medidas de tendencia central en prototipo
Tabla 14	Resultados de regresión primera ecuación en prototipo
Tabla 15	Resultados de regresión segunda ecuación en prototipo
Tabla 16	Medidas de tendencia central para edificio “F”
Tabla 17	Resultados de regresión tercera ecuación en edificio “F”
Tabla 18	Resultados de regresión cuarta ecuación en edificio “F”
Tabla 19	Resultados de regresión quinta ecuación en edificio “F”
Tabla 20	Medidas de tendencia central del experimento exterior
Tabla 21	Resultados de regresión sexta ecuación en exteriores

Tabla 22	Resultados de regresión séptima ecuación en exteriores
Tabla 23	Resultados de regresión octava ecuación en exteriores

Índice de figuras

Figura 1	Panel verde en un hogar
Figura 2	Composición de un panel verde
Figura 3	Diagrama de bloques
Figura 4	Esquemático del sistema de monitoreo de variables físicas
Figura 5	Caracterización del sensor de humedad relativa DHT11
Figura 6	Caracterización del sensor de temperatura DHT11
Figura 7	Gráfica de los parámetros de medición para el sensor LDR
Figura 8	Descripción de la conexión de los pines para el sensor CNY70
Figura 9	Esquema de la conexión en 3D
Figura 10	Esquema de la conexión en 3D, paneles sensores, Arduino y computadora, para interiores
Figura 11	Esquema de la conexión en 3D de sistema de monitoreo para exteriores
Figura 12	Capacitor de placas paralelas
Figura 13	Gráfica para la caracterización del sensor de humedad del sustrato
Figura 14	Construcción del recinto para el sensor de vibración
Figura 15	Sensor CNY70 diodos
Figura 16	Revisión del CNY 70
Figura 17	Sensor de vibraciones
Figura 18	Gráfica del sensor de vibración
Figura 19	PCB en 123D circuits
Figura 20	Hojas de transferencia
Figura 21	Placa fenólica
Figura 22	Placa fenólica completada
Figura 23	Corrosión
Figura 24	Placa con pistas grabadas
Figura 25	Taladrar con mototool en posiciones correctas
Figura 26	Placa perforada
Figura 27	Ubicar componentes en su posición
Figura 28	Circuito integrado
Figura 29	Hoja de cálculo en Excel (prueba)
Figura 30	Armado de tablaroca
Figura 31	Tapete asfáltico para impermeabilizante
Figura 32	Tapete derritiéndose con el soplete
Figura 33	Maqueta con impermeabilizante
Figura 34	Maqueta con panel verde en su techo
Figura 35	Dimensiones de la maqueta 1er prototipo
Figura 36	Maqueta en su ubicación exterior con postes para malla ciclónica
Figura 37	Maqueta terminada en el exterior
Figura 38	Construcción del 2do prototipo de la maqueta
Figura 39	Perspectiva superior de la maqueta
Figura 40	Vista desde debajo de la maqueta
Figura 41	Vista desde arriba

Figura 42	Dimensiones de maqueta 2do prototipo
Figura 43	Maqueta terminada y en su ubicación en el exterior
Figura 44	Maqueta vista lateral
Figura 45	Maqueta 3er prototipo
Figura 46	Proceso de impermeabilizado de las paredes de Tablaroca
Figura 47	Esquema 3D de la maqueta finalizada con los sensores instalados
Figura 48	Matriz de dispersión de puntos para muestra 1
Figura 49	Matriz tipo correlograma muestra 1
Figura 50	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 1, muestra 1
Figura 51	Gráfica para variable “dummy” 2, ecuación 1, muestra 1
Figura 52	Gráfica para variable “dummy” 3, ecuación 1, muestra 1
Figura 53	Gráfica de dispersión con línea de regresión, ecuación 1, muestra 1
Figura 54	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 2, muestra 1
Figura 55	Gráfica para variable “dummy” 2, ecuación 2, muestra 1
Figura 56	Gráfica de dispersión con línea de regresión ecuación 2 muestra 1
Figura 57	Gráfica de dispersión entre variables para muestra 2
Figura 58	Matriz con correlograma muestra 2
Figura 59	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 1, muestra 2
Figura 60	Gráfica para variable “dummy” 2, ecuación 1, muestra 2
Figura 61	Gráfica para variable “dummy” 3, ecuación 1, muestra 2
Figura 62	Gráfica para variable “dummy” 4, ecuación 1, muestra 2
Figura 63	Gráfica de dispersión con línea de regresión ecuación 1, muestra 2
Figura 64	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 2, muestra 2
Figura 65	Gráfica para variable “dummy” 2, ecuación 2, muestra 2
Figura 66	Gráfica para variable “dummy” 3, ecuación 2, muestra 2
Figura 67	Gráfica para variable “dummy” 4, ecuación 2, muestra 2
Figura 68	Gráfica de dispersión con línea de regresión ecuación 2, muestra 2
Figura 69	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 3, muestra 2
Figura 70	Gráfica para variable “dummy” 2, ecuación 3, muestra 2
Figura 71	Gráfica para variable “dummy” 3, ecuación 3, muestra 2
Figura 72	Gráfica para variable “dummy” 4, ecuación 3, muestra 2
Figura 73	Gráfica de dispersión con línea de regresión ecuación 3, muestra 2
Figura 74	Matriz que muestra la relación entre variables físicas mediante una dispersión
Figura 75	Correlograma en matriz con dispersión de puntos
Figura 76	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 1, muestra 3
Figura 77	Gráfica para variable “dummy” 2, ecuación 1, muestra 3
Figura 78	Gráfica para variable “dummy” 3, ecuación 1, muestra 3
Figura 79	Gráfica para variable “dummy” 4, ecuación 1, muestra 3
Figura 80	Dispersión de datos registrados con variables transformadas, ecuación 1, muestra 3
Figura 81	Gráfica para variable “dummy” 1, ecuación 2, muestra 3
Figura 82	Gráfica de dispersión con línea de regresión ecuación 2, muestra 3
Figura 83	Gráfica de dispersión con línea de regresión ecuación 3, muestra 3
Figura 84	Luxes en función del tiempo
Figura 85	Estructura de los paneles y paneles verdes
Figura 86	Paneles verdes sobre las columnas del segundo piso del periférico

Resumen

En esta tesis se realizó un diseño de un sistema electrónico de monitorización de un conjunto de variables seleccionadas y luego se realizó la construcción del sistema para después estudiar y presentar los resultados de un análisis estadístico posterior a la adquisición de datos de los valores de las variables elegidas dentro y fuera del prototipo de un panel verde: temperatura, humedad relativa, humedad del sustrato, cantidad de luz y vibraciones mecánicas y telúricas, mediante el sistema de monitorización automático, que efectuaba mediciones periódicas de las variables capturadas por una serie de sensores conectados a una tarjeta llamada “Arduino Uno”, conectado mediante un cable USB a un ordenador que mandaba a capturar los registros de los sensores en Microsoft Excel, con un intervalo de monitoreo definido por código abierto, creando una base de datos, después de 44 de monitoreo, para poder continuar con el procesamiento mediante software estadístico, de nombre “R studio” de código abierto, la correlación entre variables quedó demostrada mediante los coeficientes de correlación (R) por metodología “Pearson” para las variables, sus frecuencias, curvas de densidad e histogramas ayudaron para la interpretación de los datos al graficar las observaciones y calcular sus medidas de tendencia central. Los estudios de series de tiempo fueron interpretados con los modelos de ecuaciones lineales y no lineales con logaritmos, términos cuadráticos, primeras diferencias, variables falsas también llamadas “dummies” y constantes, y mediante el método de los mínimos cuadrados y el método GARCH, ejecutados con paquetería de análisis estadístico principalmente E views, y en segundo grado Minitab, SPSS, SAS y STATA. Al final de la regresión simple los resultados confirmaron la eficiencia de los paneles verdes, demostrando que los tapetes vegetales instalados en los edificios reducen hasta 8 °C en la temperatura y la humedad relativa es potencializada hasta en un 15 %, más que en un edificio común. Además, tienen el potencial de disminuir el microclima urbano por área verde determinada y reducir el monóxido de carbono y dióxido de carbono de la atmósfera.

Abstract

This thesis had some challenges such as to design and then construct an electronic system for monitoring the values of a select group of physical variables in a prototype of a green panel, the selected variables were temperature, relative humidity, soil humidity, mechanic and telluric vibrations and quantity of light, then study their behaviors of these variables mentioned before. To get the system ready for data acquisition and saving the data, it became necessary the construction of an electronically arrangement that understands; Open Source code, diverse types of electronic sensors and a free hardware dispositive named “Arduino Uno board”. The prototype of a green panel in which we installed the electronic system with sensors that recorded the changes in an automatic way, then they were sent to a computer connected to the system with an USB wire for capturing data in Microsoft Excel, with an interval defined by Open Source Code, constructing a database, after 44 days of monitoring, for processing the data we occupied the software “R studio” of Open Source for continuing the study with a statistical analysis giving the central tendency measures, graphs, histograms, density curves and proving the correlation between variables with correlation coefficient (R) obtained by “Pearson” methodology. The study of time series and for developing linear and non-linear equations were done with the least squares methodology and GARCH method, running a simple regression, that included: logarithmic therms, quadratic therms, first differences, “dummies” and constants, in this case the statistical suites of choice were primarily E views, secondarily Minitab, SPSS, SAS and STATA. At the end of the regression, the results were in favor for the implementation of green panels in buildings, because they can bring several benefits to the environment. The conclusion was that the experiment generated atmospheric conditions that reduced in 8 °C of atmospheric temperature and the relative humidity in air is augmented in 15%, and reduces carbon dioxide and carbon monoxide and the diminution of the urban weather for a determined green area.

JUSTIFICACIÓN

Los muros y techos vivos o verdes (*living or green roofs and walls*) son paredes o azoteas que están completa o parcialmente cubiertas de vegetación distribuida en forma de cuadros (paneles verdes) y que se unen entre ellos para cubrir zonas ya sean solitarias o integradas a un edificio o recinto. El término techos verdes no se refiere a techos con pasto sintético de color verde, ni tampoco a techos con jardines en macetas, sino a azoteas y/o paredes acondicionadas con tapetes vegetales en la superficie. Cubiertas verdes, paneles verdes, tapetes vegetales, jardines verticales, techos y paredes ajardinadas; son algunos nombres que describen el sistema de instalación de áreas verdes en paredes y techos de edificios. Entre sus características destacan las siguientes: pueden mejorar la biodiversidad, reducir el riesgo de inundación (mediante la retención de agua de lluvia), mejorar el desempeño térmico de un edificio, y disminuir los costos de energía eléctrica y/o recursos no renovables (gas, combustibles fósiles), apoyan el desarrollo sustentable y mejoran el aspecto de la ciudad, contrarresta el fenómeno de isla de calor urbana (*Urban Heat Island Effect*); es el domo de aire caliente que se forma por efecto de los rayos del sol rebotando contra las superficies de concreto y pavimentadas que han ido sustituyendo las áreas de vegetación deviniendo en un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de la energía calórica absorbida durante el día por las construcciones y superficies impermeables generando cambios en el microclima de la ciudad. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que las grandes ciudades dispongan, como mínimo, de entre 10 m² y 15 m² de área verde por habitante. En la Ciudad de México CDMX, se sabe que existe un promedio de 15.1 m² de áreas verdes por habitante. Aunque parece que los datos no son tan malos, en realidad la distribución de dichas áreas no es equitativa. Existen delegaciones pequeñas con gran densidad de población y pocas áreas verdes. Y delegaciones grandes con menor densidad de población y grandes áreas verdes [1]. Por lo tanto, es una necesidad el aumentar las áreas verdes de la ciudad con los paneles verdes para lograr una distribución más equitativa de las áreas verdes y que se logre disminuir algunos de los efectos negativos de las construcciones sobre el medio ambiente.

En materia de sustentabilidad en las grandes ciudades, aquejadas de grave contaminación del aire y degradación ambiental, es una medida con un impacto muy positivo camino a un sostenible desarrollo. Paneles verdes también son útiles como huertos urbanos, lo que fomenta el autoconsumo en la comunidad y reduce gastos en la lista de la compra. En el entorno rural también se usan para regular la temperatura, pueden ser reductores de los contaminantes del aire, suponen una reducción del gasto sanitario derivado

y mejoran la calidad del aire, absorben hasta el 80% de la lluvia por lo que evitan posibles inundaciones, mejoran la apariencia de un edificio y aumentan su plusvalía [2].

En el documento de Estrategia Nacional de Cambio Climático menciona la importancia de los sistemas de jardines en techos y paredes [3]:

“Promover el fortalecimiento, adopción y aplicación de reglamentos, estándares y leyes para impulsar tecnologías de ahorro y aprovechamiento de agua, energía, gas, aislamiento térmico, utilización de energía renovable y prácticas de captura de carbono (por ejemplo, azoteas verdes, jardines verticales y huertos urbanos) en edificaciones nuevas y existentes”.

De acuerdo con la PROY-NADF-013-RNAT-2007 [4] en la actualidad, el uso de sistemas de naturación a nivel urbano ha mostrado grandes beneficios ambientales en diversas ciudades del mundo, además se cuenta con los materiales para su construcción que garantizan el correcto funcionamiento operativo de dichos sistemas. Sin embargo, el uso de sistemas de naturación no ha tenido la debida difusión, por lo que es necesario establecer los requerimientos mínimos de calidad y las especificaciones técnicas mínimas para su construcción y funcionamiento.

Marco de referencia.

Los parámetros de las magnitudes físicas que estaremos registrando son los siguientes:

Para la temperatura atmosférica en una habitación en invierno es de 17-18 °C, en verano es de 26-27 °C. Para la humedad relativa atmosférica en invierno la humedad relativa no debe sobrepasar de 30 %, en verano la humedad relativa debe ser mínimo de 40 % y máximo de 70 %. Para la variable cantidad de luz medida en lúmenes debe ser no menos de 500 luxes para una habitación promedio según la NOM-025-STPS-2008 [5]. Para la humedad del sustrato se midió con la magnitud física conocida como capacitancia y sus unidades son picofaradios, la cual no debe ser menos de 0.16 pF y la máxima es 2479.82 pF. Para la variable vibraciones telúricas y mecánicas medida en porcentaje su mínimo debe tener una media de 4.61 %.

Los parámetros por lograr con el experimento.

El interés en este tema radica en el hecho de que los paneles verdes pueden tener también resultados benéficos para los habitantes del lugar donde se encuentran, en este estudio se pretende evaluar el desempeño de un prototipo de panel verde a través del monitoreo de variables físicas con sensores como: higrómetros, termómetros, luxómetros, sensores de vibraciones mecánicas y telúricas. Con su implementación de los sistemas de monitoreo en un prototipo de un panel verde, se conseguirá la reducción de la temperatura hasta 8° C en la azotea y de 2 a 4° C en el piso inmediato inferior del inmueble en los meses cálidos y se retiene el calor en los meses fríos [6]. Aumenta la humedad relativa del 15 al 80% en lugar, convirtiéndose así en una zona de confort para las personas que están en ella [7]. Ciclo natural del agua: del 50 al 60 % del agua de lluvia que se regresa a la atmosfera vía evapotranspiración y evitamos que se vaya al drenaje. Se supone que las vibraciones telúricas se reducen y las estaremos comprobando, si es verdad. La verificación de la cantidad de luz que entra al edificio.

Delimitación del objeto de estudio.

En la actualidad existen edificaciones que por sí mismas proporcionan refugio ante la intemperie, pero se ha pasado por alto que sus limitaciones han sido las de una simple habitación que se queda en el mero propósito de dar resguardo y sólo eso. Lo que se intenta describir aquí es que los edificios pueden ser más que una simple residencia en donde ingresamos cuando queramos resguardarnos ante las inclemencias del exterior. No se pretende cambiar las normas vigentes de construcción o reinventar la vivienda de los seres humanos. Este trabajo de investigación propone mejoras a las construcciones, para que brinden algo extra como lo es la reducción del consumo de recursos no renovables, por ejemplo, electricidad y/o gas natural destinado a calefacción o al aire acondicionado, dependiendo de la temporada del año de la que se trate. Pueden ser instalados en edificios residenciales, comerciales e industriales, sus aplicaciones pueden ser:

- Reducir la propagación de un incendio, funciona como una capa ignífuga para las paredes y techos de una casa o edificio y ayudan a retardar la propagación del fuego durante un incendio, para poder hacer una evacuación de un edificio para que los bomberos lleguen a combatir el incendio, y ayudar a los habitantes u ocupantes salgan a tiempo del edificio sin sufrir pérdidas.

- También se puede aplicar el sistema de paneles verdes en un edificio comercial, industrial y/o residencial como atractivo visual y ayudar a la estética de un edificio.
- Además de que, en un edificio residencial, ayuda a aumentar la calidad de vida y tener mejoras en cuanto a reducir el estrés de los habitantes y la productividad en las instalaciones donde labore personal.
- Puede funcionar como protección para la estructura del edificio, la vegetación que crece sobre la cubierta da sombra a las superficies. Ciertamente la superficie de una cubierta verde puede tener una temperatura más baja que la temperatura ambiente, mientras que una cubierta convencional suele ser mucho más alta que la del aire a su alrededor.
- Sistema de filtración para las partículas suspendidas en el aire de la ciudad; dióxido de carbono, monóxido de carbono. Reducen la contaminación mediante la producción de oxígeno y el consumo de monóxido de carbono al elaborar la fotosíntesis.
- Aportan el aislamiento térmico mediante la regulación de la temperatura, en una habitación cubierta con paneles verdes la variabilidad en la temperatura es menos que comparada con otros cuartos que no tengan recubrimientos especiales en sus paredes y/o techos.
- Suelen ocuparse como huertos urbanos en los que se siembran y cosechan vegetales y también hortalizas para el consumo.

El enfoque que se intentó darle a la presente tesis fue el de realizar mediciones periódicas de las dimensiones de humedad relativa; relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener, temperatura; es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro, luminosidad; es el número de partículas por unidad de superficie y por unidad de tiempo en un haz, vibración mecánica y telúrica, es la variación o cambio de configuración de un sistema en relación al tiempo, en torno a una posición de equilibrio estable, y humedad del substrato o del subsuelo; es una expresión de la masa o volumen del agua en el substrato, que se pueden presentar dentro y fuera de las techumbres verdes. Para que después de terminar las mediciones culminar la tesis con un reporte de los resultados que tuvieron las variables mencionadas en un lapso definido.

ANTECEDENTES



Figura 1. Panel verde en un hogar.

La historia de las azoteas naturadas está arraigada en tiempos antiguos y se pueden diferenciar principalmente dos tipos: uno es la azotea con pasto y el otro es el jardín en la azotea. El primer descubrimiento que puede ser clasificado como una naturación artificial encima de un edificio, se encuentra en Egipto, y se remonta a los años 4000 A.C. [8]. Un jardín en una azotea es algo muy complejo, tanto en el aspecto de diseño como en el constructivo. Muchas veces se construyeron bóvedas y terrazas para ser usadas como estructuras de soporte y en ellas se colocó tierra o sustrato para sembrar flores, arbustos y hasta árboles. Además, en algunas épocas estuvo de moda tener fuentes y lagos pequeños en jardines. Fachadas y Azoteas verdes. Este tipo de azotea verde fue principalmente instalada en castillos, palacios y otras edificaciones, como acueductos y tumbas. Panel verde (*Green or living roofs and walls*): Es un tipo de cubierta diseñada para recrear las condiciones naturales

de los substratos del suelo. Esto permite albergar y sostener distintos tipos de vegetación, desde arbustos, céspedes y plantas pequeñas, hasta árboles de tamaño mediano. En la Figura (1), se muestra una imagen con el sistema de paneles verdes para un jardín vertical aplicado a la pared de un edificio. Se muestra el corte lateral para demostrar las capas que componen el sistema.

Los promotores inmobiliarios, financieros, arquitectos, ingenieros, administradores; así como los ocupantes y propietarios, son los actores que intervienen en cada una de las fases del ciclo de vida de un edificio, y sus actividades generan emisiones en la vida útil del edificio. Pero de acuerdo con el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), la fase del ciclo de vida con mayor

producción de emisiones de gases con efecto invernadero es durante el funcionamiento de un edificio. Esto se debe a que el consumo de energía de los equipos de aire acondicionado, calefacción, iluminación y aparatos electrodomésticos es ineficiente [9].

Por otro lado, el nivel de confort de los parámetros antes mencionados se relaciona con la salud del usuario. Cuando un espacio no cuenta con una buena iluminación puede producir fatiga visual e irritabilidad, asimismo las exposiciones al ruido pueden producir estrés y pérdida auditiva y la contaminación de aire al interior de edificio provocar enfermedades respiratorias. Además del impacto ambiental en el proceso de edificación, también es importante valorar las condiciones de habitabilidad del inmueble. El confort y la salud de los usuarios son aspectos que deben de tomarse en cuenta durante el diseño del edificio, ya que influyen en el comportamiento de sus ocupantes. El confort se refiere a las condiciones de bienestar del usuario con respecto al espacio que habita y se estiman con base en parámetros como temperatura, iluminación, aire y acústica.

¿Qué es un edificio verde?

Un edificio verde generalmente se refiere a un espacio habitado por personas en el que se busca disminuir su huella ambiental en el total de su ciclo de vida. Esto se logra a través del manejo de residuos, uso responsable de materiales, ahorro de agua y energía, así como ofrecer confort al usuario. Las edificaciones verdes pueden tomar distintas tendencias, pero principalmente se dividen en dos, el diseño activo y el diseño pasivo.

El diseño activo incluye la incorporación de aquellas tecnologías como son las fuentes de energías alternativas que se utilizan para reducir los impactos de producción y consumo de energía de una edificación. Son ejemplos de energías alternativas o energías verdes como: la solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica, principalmente. En la actualidad la tecnología verde permite sustituir la energía derivada de combustibles fósiles por sistemas como paneles fotovoltaicos, calentadores solares y turbinas eólicas, todo ellos tienen efectos menos contaminantes al reducir las emisiones de gases con efecto invernadero durante el ciclo de vida del edificio.

Por otro lado, la tecnología ha facilitado el consumo energético a través de la domótica, también conocida como diseño inteligente. La domótica se define como la tecnología inteligente utilizada en las edificaciones para controlar y automatizar la infraestructura y los servicios del inmueble, incluidos los consumos energéticos. Así, los servicios que controla la domótica pueden ser la iluminación, calefacción, aire acondicionado, sistemas eléctricos, comunicación y seguridad [10].

Si bien las energías alternativas y la domótica son una buena solución para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero, es importante señalar que actualmente la tecnología es muy costosa y su instalación sólo es accesible para cierto mercado inmobiliario. Por lo tanto, ¿qué alternativas económicamente accesibles presentan los edificios verdes para disminuir la liberación de gases con efecto invernadero durante el proceso de construcción y funcionamiento de una edificación?

El diseño pasivo es la opción más económica para disminuir los gases con efecto invernadero, porque hace uso de otras herramientas como son el emplazamiento, orientación e iluminación natural del edificio para ahorrar energía. Al análisis de los factores ambientales locales que influyen en el inmueble y afectan a sus usuarios se le llama bioclimática y es equivalente a la arquitectura vernácula.

Hay que recordar que los edificios verdes y la arquitectura sostenible existen desde el inicio de las civilizaciones. El ser humano se hizo sedentario a partir de que se estableció en un sitio y se adaptó a las condiciones y recursos que tenía disponibles en el ambiente. De modo que la arquitectura vernácula es un ejemplo de la construcción con materiales obtenidos de la naturaleza, que incorpora la orientación, asoleamiento, ventilación y humedad para conseguir el confort térmico y las condiciones óptimas de habitabilidad.

Domótica vs. Edificio verde

La domótica es la conjunción entre la comodidad y confortabilidad con la calidad de vida, se vale de diferentes herramientas para lograr generar un espacio que logre integrar la automatización de todos los sistemas que componen a un hogar. Para lograr llevar a cabo la automatización son necesarios diversos tipos de sistemas que se corresponden con los distintos aspectos que se abarcan, a saber: sistemas de automatización y telecontrol, sistemas audiovisuales y de tratamiento de la información interna y externa de todas las dependencias de la vivienda.

Los sistemas domóticos son sistemas de control en los cuales se pretende que el usuario decida sobre su propia vivienda. El usuario decide por su cuenta lo que precisa instalar en su domicilio. Entre las características mas importantes de los sistemas domóticos están los siguientes:

- Integración de servicios y sistemas. El control de un sistema determinado debe siempre tener en cuenta la situación de las variables que intervienen, como parámetros físicos, estados, entre otros que proceden de otro sistema distinto y al mismo tiempo, las órdenes que partiendo de sí mismo

pueden afectar a otros sistemas. Además, la programación de todos los elementos se debe ajustar a un modelo común que permita elaborar aplicaciones utilizables por todos los servicios.

- La capacidad de ampliación de servicios. La descentralización de los sistemas de control permite que paulatinamente se quiera disponer de nuevos servicios sin que sea necesario rediseñar completamente la instalación, o cambiar algunos elementos comunes.
- La flexibilidad. Es imprescindible para mejorar la funcionalidad de la vivienda domótica, y está directamente relacionada con la capacidad de ampliación de servicios del sistema.

Las principales funciones de un sistema domótico son las siguientes:

Área energética

- o Prevención de pérdidas de agua
- o Regulación automática de la calefacción
- o Control de consumo de energía
- o Prevención de incendios
- o Climatización
- o Prevención de riesgos de explosión
- o Control de funcionamiento de los electrodomésticos

Área de confort

- o Programación individualizada de electrodomésticos
- o Alumbrado y control de iluminación
- o Variación de la intensidad luminosa
- o Ambiente musical en la vivienda
- o Aislamiento térmico
- o Aislamiento acústico
- o Control de eliminación de olores
- o Gestión de la calidad del aire
- o Eliminación de los olores domésticos

Área de seguridad

- o Prevención de fracturas
- o Prevención de accidentes domésticos

- o Antirrobo y antivandalismo

Área asistencial

- o Sistema de alerta en caso de accidente
- o Seguimiento médico en relación con un centro

Área de comunicaciones

- o Sistemas para recibir o enviar todo tipo de informaciones

El edificio verde se define como un edificio que para su proceso de construcción y los materiales que se emplean para ese fin, así como durante el ciclo de vida del edificio, su impacto es el mínimo hacia el medio ambiente. Al igual al terminar el ciclo de vida del edificio, los materiales del mismo deben de ser reutilizables para reducir la huella ambiental que una construcción de este tipo deja en el planeta.

Al diseñar una casa ecológica se deben considerar los siguientes conceptos: las casas ecológicas deben servirse en su diseño y construcción de las posibilidades y las ventajas que el medioambiente les ofrece, estas estrategias vienen determinadas por los siguientes parámetros principales: orientación, control del sol (y en su caso del viento), y máxima calidad de vistas. Si bien es cierto que en cada situación particular habrá algunos elementos predominantes sobre otros. Si bien la estrategia principal de construcción de una casa ecológica está directamente ligada a las condiciones climáticas, y por tanto al aprovechamiento energético más conveniente para cada situación concreta, existen toda una serie de normas complementarias que deben ser tenidas en cuenta para completar el diseño de la manera más conveniente.

Principales conceptos básicos al construir un edificio verde:

1. Elección del emplazamiento adecuado
2. Abundancia de plantas tanto de interior como de exterior
3. Diseño bioclimático adecuado y correcta orientación solar de la vivienda
4. Selección de materiales de construcción naturales y ecológicos no tóxicos ni contaminantes
5. Obtención de pinturas naturales o al menos no tóxicas
6. Elección de mobiliario y de decoración interior en madera
7. Ventilación correcta para evitar problemas de acumulación de tóxicos en la vivienda
8. Eliminación de la contaminación eléctrica producida por líneas y transformadores
9. Orientación adecuada de las cabeceras de las camas en los dormitorios
10. Ahorro energético: electricidad, gas, agua, etc.

- Un buen emplazamiento para una vivienda es aquel que se halla alejado de las zonas de elevada contaminación atmosférica o que tiene un elevado nivel de ruido, como vías férreas o aeropuertos, y se encuentra alejado de las líneas de alta tensión, además no debe tener en las proximidades transformadores sectoriales.
- La abundancia de vegetación tanto en el exterior como en el interior de la vivienda permite disminuir los efectos de la contaminación atmosférica, y contribuye al mantenimiento del equilibrio térmico y del grado de humedad correcto. Además, un buen entorno, con paisajes relajantes y buenas vistas es un elemento esencial para la salud.
- El diseño de la vivienda con una buena orientación solar sirve para regular los cambios climáticos y de temperatura, y mantiene un ambiente adecuado sin aumentar los gastos energéticos, al mismo tiempo que se consigue que el aire se renueve correctamente. Hay que tener cuidado con las posibles barreras solares que a simple vista pueden pasar desapercibidas, por ejemplo, topográficas, vegetales, etc.
- Como materiales de construcción, son convenientes los más naturales; por ejemplo, los ladrillos cerámicos, la piedra, la madera, las fibras vegetales, el adobe y los morteros con abundante cal. Es necesario no usar los más tóxicos y los radiactivos, que producen gases o electricidad estática, entre ellos cabe señalar los plásticos, las superficies lacadas y las fibras sintéticas.
- Las pinturas al silicato son las más sanas, esto se debe a que son totalmente minerales, resisten al fuego o a la contaminación, son lavables y no tóxicas, y permiten que las paredes respiren.
- Las maderas de la decoración interior y el mobiliario se pueden tratar con aceites y barnices ecológicos, y pueden acabarse con cera y esencias aromáticas. Hay que evitar maderas con aglomerados y formaldehído.
- La ventilación correcta permite evitar problemas de acumulación de tóxicos en la vivienda.
- La contaminación eléctrica es la que producen las líneas eléctricas y los transformadores próximos a las viviendas. No es recomendable guardar aparatos eléctricos ni electrodomésticos en las proximidades de los lugares de reposo.
- Las orientaciones de la cama más recomendables son hacia el Norte magnético para dormir relajados o hacia el Este para recuperar fuerzas.
- El ahorro energético en todos sus aspectos electricidad, gas, agua, etc., son necesarios para construir una casa sana tanto para sus moradores como para el entorno. Ahorrar no significa pasar necesidad o estrechez, sino hacer un uso racional y no derrochar innecesariamente por haber desarrollado hábitos y costumbres inadecuados a la situación.

El reciclaje como parte fundamental de la filosofía de la casa ecológica. Una casa ecológica no se acaba cuando se termina su construcción. La idea de casa ecológica es una idea dinámica y lleva asociado a ella una filosofía de respeto al entorno que involucra activamente a sus moradores. En este sentido un aspecto muy importante para el desarrollo y buen funcionamiento de una casa ecológica es la correcta utilización y aplicación de la idea de reciclaje.

La ya anticuada idea de «usar, tirar y volver a comprar» que se impuso décadas atrás es incompatible con la filosofía asociada a la vivencia de una verdadera casa ecológica.

El concepto «basura» se queda pequeño en este contexto y en su sustitución aparece uno nuevo «residuos sólidos urbanos». Esta nueva presentación del concepto, que en realidad lo amplía, ayuda a los individuos a acostumbrarse a ser selectivos y a separar los elementos constitutivos de sus desechos; por ejemplo: papel, cartón, vidrio, plástico y metal son valiosas materias primas secundarias y, por tanto, deben separarse y depositarse en diferentes contenedores.

La materia orgánica (restos de comida en general) debe separarse de los tipos de desechos denominados materia prima secundaria, y formar «composta» que es la materia que fermenta y sirve para regenerar los suelos.

Además de los conceptos mencionados anteriormente, el edificio verde puede ser capaz de generar la energía que requieren los distintos servicios como calefacción, electricidad, entre otros, donde se valen de diferentes tipos de tecnologías construidas para la generación de electricidad o calentar el agua y/o los espacios del edificio sin necesidad de consumir energía de la red municipal.

Así es como se describen a continuación las alternativas energéticas desarrolladas para este fin: energía solar, energía eólica, energía geotérmica y energía hidroeléctrica. Las cuales tienen distintos grados de complejidad y de restricciones, pero los más comunes y adaptables, son la captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por medio de las celdas fotovoltaicas y los generadores eléctricos potenciados por la energía eólica.

Contexto regional y mundial.

La implementación de techos verdes surge como una necesidad de los habitantes de Europa y del Norte de América, donde se alcanzan temperaturas muy bajas, pues les ayudaban a conservar una confortable temperatura ambiente. El proceso de construcción constaba de 2 o 3 capas de turba apoyadas sobre ramas cubiertas por gruesos panes de césped. Hace aproximadamente 100 años, de manera muy similar, E.U. y Canadá implementaron este tipo de tecnologías, la cual lo más probable sea que proceda de Europa, y

consistía en la construcción de muros de entre 60 cm y 90 cm de ancho eran terrones de césped de 10 cm de espesor, que se colocaban trabados en una pared de piedra y con la capa de césped hacia abajo. La construcción del techo consistía en tirantearía, estructura de ramas, pasto de praderas y dos capas de terrones de pasto. El tradicional techo de pasto de Escandinavia tiene una inclinación de entre 30° y 45° que consta de una capa gruesa de unos 20 cm de terrones de césped, colocados sobre varias capas de corteza de abedul. Esta, por su alto contenido de tanino, es relativamente resistente a la descomposición y tradicionalmente era sellada con alquitrán para lograr un estrato resistente al pasaje de raíces y agua.

Como el alquitrán de madera está clasificado como cancerígeno, esta solución no es recomendable. Además, la vida útil del techo es de aproximadamente 20 años. En E. U., por ejemplo, actualmente se desarrollan normas, recomendaciones y leyes que incentiven el uso de tecnologías verdes en los edificios, por ello, actualmente existen empresas dedicadas a la instalación de techos verdes, puesto que además de ser una tecnología amigable con el ambiente, es también un atractivo visual.

En Copenhague, nombrada Capital Verde Europea 2014, no han dudado en tomar una decisión que afectará de manera positiva su nivel de eficiencia energética como ciudad: convertir en jardines las zonas muertas de sus azoteas, en los llamados techos verdes [11]. Singapur también forma parte del cambio a favor de las denominadas “azoteas verdes”. Por parte del gobierno de ese país se exhorta a los ciudadanos a instalar en sus techos los paneles verdes y son recompensados económicamente.

Aunque parece un fenómeno bastante reciente, en los países escandinavos se llevan usando desde hace siglos. Alemania los dio a conocer en los 60's y este país cuenta con cerca de un 10% de techos de estas características. Copenhague ha tomado la inteligente decisión de convertirlos en obligatorios con el objetivo de conseguir emisiones neutras de CO₂ para el año 2025 [12].

Requerimientos.

Las plantas se han de mantener sanas, y se deben seleccionar aquellas especies que vayan más acorde con el tipo de clima para reducir recursos y gasto en mantenimiento (plantas que necesiten más o menos agua o más o menos luz).

La instalación de un panel verde y sus elementos constituyentes deberán satisfacer por lo menos lo siguiente:

- Estabilidad y resistencia mecánica: La cubierta verde y sus componentes deben ser estables y resistir las acciones consideradas en el cálculo estructural de la edificación, se deberá garantizar el correcto comportamiento estático y estructural de la construcción en su conjunto.

- Impermeabilidad: Los sistemas de paneles verdes deben impedir el paso del agua al interior de la edificación protegiéndola de los agentes climáticos previsibles garantizando la evacuación total del agua excedente, una vez alcanzado el estado de saturación del sistema.
- Resistencia a la acción de las raíces sobre la estructura: la instalación del sistema de paneles verdes debe proyectarse y construirse con los materiales adecuados, garantizando que las raíces de la capa de vegetación no penetren la membrana impermeabilizante para evitar daños a la estructura de la edificación.
- Seguridad civil en maniobras: La naturación debe proyectarse y construirse de modo que permita el acceso para los trabajos de mantenimiento, inspección y reparación tanto de los elementos de la propia superficie a naturar como de las instalaciones que discurren por ella, y debe disponer de los elementos de seguridad adecuados para el personal que realiza estos trabajos.

Estática y seguridad estructural.

Para la construcción de un sistema de naturación, la carga máxima permitida en un elemento constructivo será aquella determinada en el cálculo estructural de la edificación.

En estructuras o edificaciones existentes no se podrá sobrepasar la carga máxima permitida, según se estipule en el cálculo estructural del elemento constructivo que se pretenda naturar.

Para efectos del cálculo estructural, el peso de la naturación será considerado como una carga muerta y el valor a tomar deberá corresponder con el indicado en la siguiente tabla (1):

Tabla 1. Carga máxima permitida según la norma Nadf-013-Rnat-2007.

Tipo de naturación	Extensiva	Semi-Intensiva	Intensiva
Carga adicional	110-140 kg/m ²	250 kg/m ²	>250 kg/m ²

- La cubierta deberá contar con pretilos de por lo menos 20 cm en toda la periferia para contener el sistema. En caso de no tener pretilos, deberán construirse antes de iniciar los trabajos de naturación.
- Verificar que los desagües y/o bajadas de aguas funcionen correctamente y tengan la capacidad suficiente para desalojar toda el agua de las precipitaciones sobre la cubierta.
- En todos los casos la cubierta deberá contar con rebosaderos con una altura de 5 cm, por arriba del nivel de substrato.

- Se debe preparar la superficie a natural de modo que los equipos y las instalaciones que se encuentren sobre la cubierta no obstaculicen los trabajos; especialmente los de impermeabilización.
- La cubierta deberá contar con chaflanes a 45° de por lo menos 8 cm de altura en todos los puntos de encuentro con elementos.
- La cubierta a natural deberá tener una pendiente mínima de 2% (1.15° aproximadamente). Para el caso de cubiertas inclinadas, con pendiente superior al 36% (20° aprox.) y menor al 58% (30° aprox.), se deberán implementar las protecciones adecuadas contra deslizamientos, ver (Tabla 2).

Tabla 2. Tabla de conversión para pendientes de porcentajes a grados.

2%	1.15°		50%	26.57°
5%	2.86°		55%	28.81°
10%	5.71°		60%	30.96°
15%	8.53°		65%	33.02°
20%	11.31°		70%	34.99°
25%	14.04°		75%	36.87°
30%	16.70°		80%	38.66°
35%	19.29°		85%	40.36°
40%	21.80°		90%	41.99°
45%	24.23°		95%	43.53°

- Por su parte los equipos que se encuentren sobre la cubierta de la edificación tales como tinacos, tanques de gas, etc. deberán colocarse en bases a una altura de por lo menos 15 cm sobre el nivel del sustrato.

Composición básica.

Para que su instalación no afecte a la estructura del edificio, se necesita colocar varias capas, donde cada una hace una función: (1) capa de vegetación, (2) la tierra o el sustrato donde crecerán y echarán raíces, así, deberá contar con, al menos, (3) una capa anti-raíces, y/o una capa permeable que deje pasar el agua pero no la tierra, puede ser; de tezontle o cualquier material similar y, (4) una capa impermeable, ya sea;

plástico o impermeabilizante y (5) aislante (chapopote) para evitar daños al (6) tejado del edificio. En ocasiones pueden realizarse con algo de pendiente para mejorar el drenaje, aunque esto dificulta el mantenimiento de la tierra húmeda como se muestra en la siguiente Figura (2).

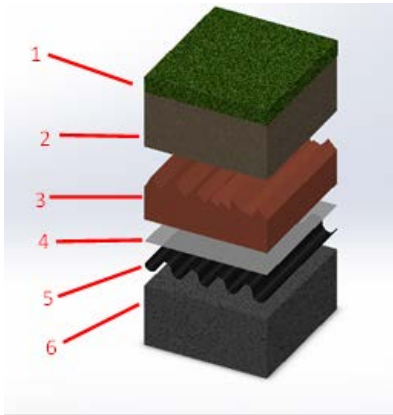


Figura 2. Composición de panel verde.

En los sistemas de paneles verdes, es necesario plantar una variedad de plantas o vegetación que requieran poco mantenimiento, que puedan adaptarse a las condiciones extremas del lugar de plantación y que permitan obtener una cobertura de vegetación rápida y duradera.

Las condiciones generales que deberá soportar la vegetación en este sistema son:

- Alta radiación solar (cuando la vegetación esté dispuesta horizontalmente u orientada hacia el sol).
- Escaso volumen de suelo (predominantemente mineral).
- Largos periodos de sequía.
- Temperaturas extremas.
- Condiciones de nulo mantenimiento.
- Con un desarrollo tapizante rápido y duradero.
- Resistentes a la acción del viento.
- Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana.
- Adaptada al clima y microclima de la zona.

Con fines orientativos y no restrictivos se enlistan a continuación algunos grupos de vegetación que suelen adaptarse adecuadamente a estas condiciones:

- Césped y pastos silvestres.
- Plantas C-4.
- Plantas CAM “*Crasulacean Acid Metabolism*”.
- Plantas Cespitosas.
- Plantas Herbáceas Perennifolias.
- Plantas Subarbusivas.
- Plantas Suculentas.
- Plantas Vivaces.
- Musgos y líquenes.

Para que la capa de vegetación pueda soportar estas condiciones deberán usarse agrupaciones vegetales cuyas condiciones se asemejen a las anteriormente descritas y que se encuentren adaptadas a las condiciones físicas y climáticas de la zona.

No se podrá usar una sola especie vegetal en este sistema, sino agrupaciones vegetales adaptadas a cada biotipo y a las condiciones particulares de cada edificación. Deberán considerarse diferentes agrupaciones de vegetación a fin de favorecer la viabilidad y la biodiversidad del sistema.

Suministro y plantación.

Para el establecimiento de la capa de vegetación, se podrán utilizar algunos de los siguientes materiales vegetativos:

- Plántulas
- Propágulos vegetativos
- Semillas
- Tapices vegetales pre cultivados.
- Plantas, arbustos y árboles

En caso de utilizar plántulas o propágulos vegetativos, deberá existir un equilibrio entre la parte aérea y la parte subterránea de las plantas suministradas. Éstas deberán ser sanas, para que no peligren el arraigo y su desarrollo futuro en las condiciones del sistema. En caso de que el suministro de planta sea en envase, la extracción total deberá ser sin adherencias a las paredes del mismo. Toda planta suministrada deberá

contar con un cepellón bien formado y consistente, no se deberán establecer plantas con la raíz desnuda y las plantas utilizadas deberán tener por lo menos un mes y medio de establecidas. Asimismo, deberán tenerse en cuenta las siguientes características de la vegetación a plantar:

- Planta visiblemente vigorosa.
- Follaje del color característico para la especie sin pigmentación artificial.
- Sistema radicular bien desarrollado, con un cepellón estabilizado y compacto.
- La raíz no deberá presentar daños o malformaciones.
- Las plantas deberán tener por lo menos 1.5 meses de desarrollo.
- La planta que presente daño en el sistema radicular o que venga con la raíz desnuda no podrá ser sujeto de plantación.

Las plantas deberán ser producidas en vivero y no obtenidas de áreas naturales. Una vez finalizada la plantación deberá realizarse un riego saturando la capacidad de riego del sustrato. Para la realización de los trabajos de riego se debe cuidar que el agua llegue suavemente a la superficie naturalizada en forma de lluvia fina o con un sistema de riego por goteo y/o micro aspersión que no exceda la capacidad de absorción del sustrato para evitar la escorrentía superficial del agua. En inmuebles y/o complejos arquitectónicos que cuenten con sistemas de captación de agua pluvial, agua tratada o plantas de tratamiento de aguas; los riegos deberán realizarse con agua proveniente de estas. Posterior a los trabajos de plantación será necesario un riego; la dosis de dicho riego variará en relación con las características de la capa de sustrato y de la época del año en que se realicen los trabajos. La superficie que cuente con capa vegetal deberá regarse regularmente durante la época de estiaje (aproximadamente cada tercer día) hasta que se alcance una cobertura vegetal del 85% tras la fase de plantación.

Estado del Arte.

Al encontrarse en una época donde los medios de transporte, la generación de electricidad y el uso de combustibles fósiles, se ha hecho tan común, el deterioro del medio ambiente ha ido aumentando hasta generar riesgos para el futuro de la humanidad, por lo tanto las investigaciones más recientes, intentan descubrir una nueva forma de disminuir el efecto de la huella ecológica que hemos ido dejando en el planeta, por lo tanto, la ciencia apunta al uso de tecnologías como la de los techos y paredes verdes para reducir el deterioro ambiental que producen las construcciones en zonas que antes eran bosques o selvas. Por lo tanto, diversas soluciones se han ido desarrollando, pero es cuestión de que sean implementadas

para que surtan efecto, ya que si bien, ya existen soluciones al problema planteado anteriormente, su correcta difusión e implementación está lejos de tener el efecto que se busca lograr. En los párrafos siguientes, mencionamos algunos nuevos desarrollos en favor del medio ambiente y que no limitan el uso de tecnología para las generaciones futuras, sino que la potencializan y la diversifican.

Con el avance y desarrollo de la ciencia, se han descubierto nuevos métodos que aumentan las cualidades térmicas de un edificio o casa, por lo tanto, es un reto lograr generar interés de los lectores en las nuevas ideas de sustentabilidad en hogares. Edificios verdes e inteligentes son los nuevos desarrollos que han surgido con los techos verdes y otros diversos sistemas que han sido propuestos por los nuevos profesionistas para el mejoramiento de los lugares donde vivimos.

Dichos sistemas no sólo incluyen la parte humana sino también la parte ambiental, asegurando que los edificios funcionen como un conjunto integrado por técnicas avanzadas de construcción, mecanismos de ahorro de energía compuestos por interruptores automáticos de luces y de cortinas o persianas, automatización de las actividades de mantenimiento como; el corte de pasto mediante robots y sistema de irrigación, reciclaje de los residuos orgánicos por medio de compostas y/o fosas que producen biogás, captación de agua de lluvia para reutilizarla en otras necesidades como el riego, jardines verticales (paredes verdes), a su vez, la instalación de paneles o celdas solares, generadores eólicos de energía eléctrica, calentadores de agua alimentados por energía solar, uso de materiales reciclados en la construcción, como por ejemplo; blocks de PET reciclado, etc. Todas estas son alternativas para que las funciones que se llevan a cabo dentro de un hogar no sean siempre y exclusivamente manejadas por el personal, sino que sean ejecutadas como un complejo integrado tecnología, maquinaria, materiales nuevos y personas.

Ejemplo de materiales nuevos para la construcción: Se trata de un hormigón que favorece el crecimiento biológico en su superficie y se puede utilizar como jardín vertical [13].

El hormigón biológico desarrollado por los investigadores de la Universitat Politècnica de Catalunya del Grupo de Ingeniería de la Construcción. Los investigadores del Grupo de Tecnología de Estructuras estudian el nuevo tipo de hormigón biológico a partir de dos materiales a base de cemento. El primero de ellos es el hormigón convencional carbonatado (basado en cemento Portland). El segundo material está fabricado con un cemento de fosfato de magnesio (MPC, del inglés *Magnesium-Phosphate Cement*), conglomerante hidráulico que no requiere ningún tratamiento para reducir el pH, puesto que este es ligeramente ácido. Este nuevo tipo de hormigón tiene capacidad para que organismos pigmentados crezcan de forma natural y acelerada y, de este modo, busca una mayor integración de la naturaleza en las ciudades, respondiendo a una nueva tipología de fachada vegetal, ofrece ventajas medioambientales,

térmicas y ornamentales respecto a otras soluciones de construcción similares. Los sistemas de hormigón biológico actual presentan algunos inconvenientes como por ejemplo los costes de instalación y mantenimiento o la restricción que puede darse en su uso para rehabilitaciones. Este proyecto pretende dar respuesta a las limitaciones actuales y permite un elevado grado de integración, tiene un coste menor y un uso más amplio.

La innovación de este hormigón es que se comporta como un apoyo biológico natural para el crecimiento y desarrollo de determinados organismos biológicos, concretamente de ciertas familias de micro algas, hongos, líquenes y musgos. Es un material que mejora el confort térmico en edificios y permite reducir el CO₂ de la atmósfera.

El hormigón biológico funciona no sólo como material aislante y regulador térmico, sino también como alternativa ornamental, de forma que sirve para decorar la fachada de edificios o la superficie de construcciones con diferentes acabados y tonalidades cromáticas. Está pensado para colonizar áreas determinadas sin necesidad de cubrir toda una misma superficie incorporando variedad de colores. La idea es crear una pátina de materia como cobertura biológica o pintura “viva”. Por otro lado, también ofrece posibilidad de usos en zonas ajardinadas como elemento decorativo y de integración paisajística y sostenible.

Una vez patentada la idea, el equipo investiga la mejor manera para favorecer el crecimiento acelerado de este tipo de organismos en el hormigón. El objetivo de la investigación es conseguir acelerar el proceso natural de colonización, obteniendo un aspecto atractivo en no más de un año. La idea es también que las fachadas construidas con el nuevo material muestren una evolución temporal mediante cambios de coloración en función de la época del año, así como de las familias de organismos predominantes. En este tipo de construcción, se evita la aparición de otros tipos de vegetación para impedir que sus raíces echen a perder el elemento constructivo.

OBJETIVOS

Objetivo General:

El objetivo de la investigación cuantitativa es el de adquirir conocimientos fundamentales y la elección de los modelos más adecuados que nos permitan conocer la realidad de una manera más imparcial, que se recogen y analizan los datos a través de los conceptos y variables. Por lo tanto para el presente trabajo de investigación en modalidad “Tesis”, se pondrán en práctica los conceptos y variables adquiridos por medio de la metodología presentada en las siguientes páginas, basándonos en los conceptos de la generación de modelos estadísticos que nos demuestren el desempeño de los paneles verdes, mediante la adquisición de datos de sensores que miden las variables seleccionadas: temperatura ambiental, humedad relativa atmosférica, cantidad de luz, humedad del sustrato, y vibraciones mecánicas y telúricas.

Para demostrar los parámetros en el panel verde es necesario realizar un análisis estadístico cuantitativo, para desarrollar modelos de predicción del comportamiento de las variables con mayor grado de correlación entre ellas para que los modelos presentados con las variables correlacionadas puedan dar estimaciones precisas de los comportamientos reales a través del tiempo con la mayor confiabilidad posible.

Objetivos Específicos:

- Diseñar y construir un panel verde para estudiar su comportamiento y desempeño.
- Diseñar el sistema de sensores.
- Desarrollar un sistema de adquisición de datos que estén vinculados a los sensores desarrollados.
- Analizar la información monitoreada para demostrar la eficiencia del sistema.

HIPÓTESIS

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el demostrar las principales diferencias de temperatura ambiental, humedad relativa atmosférica, humedad del sustrato en el panel o tapete vegetal, cantidad de vibraciones que se monitoreen dentro del prototipo dotado del sistema de ingeniería denominado “paneles verdes” y una habitación sin tal cualidad en sus techos y/o paredes, al igual, registrar, estudiar y analizar las muestras tomadas en los experimentos: el prototipo, en la oficina de trabajo y los

exteriores durante el intervalo de 44 días contados desde el 27 de noviembre de 2016 en adelante, en condiciones típicas atmosféricas y con un ritmo de monitoreo parejo durante todo el experimento.

Se realizará monitoreos hasta juntar una población estadística conformada por 3 muestras de los 3 experimentos realizados y se analizarán las muestras con paquetería para análisis estadístico, análisis de regresión lineal y de series de tiempo, para concluir con resultados que apoyen los desarrollos inmobiliarios del mañana, considerando el sistema paneles verdes, para los hogares, edificios, etc.

Mostrar las principales características que destacan los inmuebles con arquitectura sustentable, y lograr posicionar su ventaja competitiva por métodos científicos.

METODOLOGÍA

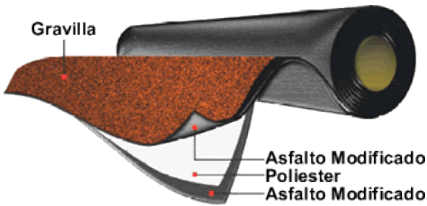
Se usarán sensores de humedad, temperatura y luminosidad, y se construirán sensores de vibraciones telúricas con el propósito de monitorear el porcentaje de humedad, los grados Celsius, movimientos y/o vibraciones y lúmenes. El sistema compuesto por las variables se denominó <<THUMVILUX>> por las siglas de las variables temperatura (T), humedad (HUM), vibración (VI) y cantidad de luz (LUX). Se capturarán en una base de datos donde se guarden y se puedan recoger después de un lapso definido con anticipación. Los higrotermómetros, sensor de proximidad y fotorresistencias, se instalarán, en un edificio construido a escala para simular las condiciones de un panel verde, junto con su sistema de recepción de datos, para que sea una estación de tipo meteorológica y sensible a la vibración y a la luz en el interior del edificio. Posteriormente se manipularán con el fin de establecer gráficas estadísticas que integren las variables. Se analizará el reporte gráfico de los números con sus escalas.

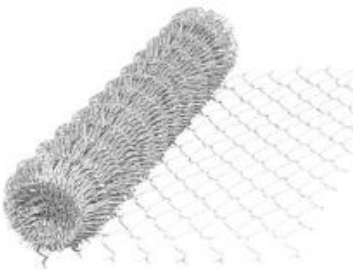
Climatología estudia las condiciones medias de la atmósfera y las características medias de los meteoros. Contamos con la climatología analítica para el análisis estadístico de las características climáticas que se consideran más significativas. Se trata básicamente de establecer los valores medios de los elementos atmosféricos y establecer la probabilidad de que se alcancen determinados valores extremos.

Nuestro sistema de monitoreo se compone de componentes electrónicos y de materiales complejos, dichos componentes se describen a continuación, ver (Tabla 3):

Tabla 3. Métodos y materiales del sistema de monitoreo.

Arduino UNO R3 	Precio \$397.00	Hardware (microprocesador) empleado para conectar y adquirir los datos de los sensores.
Sensor DHT 11 	\$116.00	Utilizado para medir la temperatura y humedad relativa.
Sensor LDR 	\$5.00	Fotorresistencia uso en electrónica para medir la cantidad de luz.
Sensor CNY 70 	\$18.00	Fototransistor ocupado como sensor de proximidad.
Placa fenólica 	\$14.00	Placa de baquelita con cobre para hacer circuitos impresos.
Ácido férrico (botella de 220 ml) 	\$55.00	Se utiliza para atacar el cobre, eliminándolo y dejando las rutas de conexión para los componentes electrónicos.
Protoboard 	\$129.00	Placa para prototipos electrónicos.
Resistencias 	\$20.00	Usado en electrónica para disminuir el flujo de electrones.
Pines 	\$113.00	Utilizado para conectar los sensores y Arduino.
Tablaroca 	\$130.00	Lo emplearemos para construir la maqueta a escala de nuestro panel verde.

Tapetes vegetales 	\$45.00	Los ocuparemos para cubrir las paredes y techos de nuestra maqueta y simular las condiciones de un panel verde en un hogar.
Impermeabilizante 	\$910.00	Lo colocaremos en las paredes y techos de nuestra maqueta para aislarlo de la humedad.
Polín de madera 	\$60.00	Utilizaremos el polín de madera para construir una estructura de madera que de soporte a los paneles de tablaroca de nuestra maqueta.
Musgo 	\$60.00	Lo ocuparemos para untarlo en las paredes de la maqueta y lograr que se adhiera licuándolo y crear una pintura “viva”, para pintar las paredes.
Postes para malla ciclónica 	\$600.00	Funcionan como ancla para restirar la malla ciclónica y darle un perímetro definido al área que deseamos cercar.

Malla ciclónica 	\$150.00	Sirve para delimitar un área de terreno que queremos que nadie acceda a ella más que personas autorizadas.
Cable para Arduino USB 	\$370.00	Conexión requerida para el sistema de monitoreo y adquisición de datos desde el área de maqueta hasta la computadora donde se crearán las bases de datos.
TOTAL	\$3192.00	Costo de construcción de maqueta con sistema de monitoreo de variables físicas.

Herramientas extra: cautín tipo lápiz, pinzas, tijeras, plancha para ropa, *mototool* (taladro para barrenos pequeños), brocas, desarmador, espátulas, licuadora, brochas, soplete, manguera para gas, tanque de gas, llave tipo perico, guantes de alta temperatura, *googles* y bata.

El microprocesador Arduino UNO R3 tiene las siguientes características:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 6
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

El método para realizar mediciones de las variables es por medio de sensores que se esquematizan en las siguientes Figuras (3 y 4).

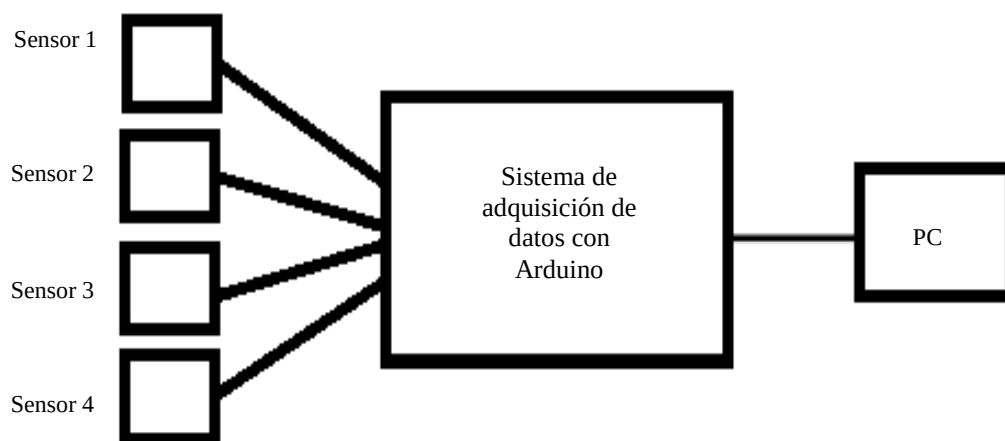


Figura 3. Diagrama de bloques para los sensores del sistema de adquisición de datos DAQ para transmitirlos a la PC.

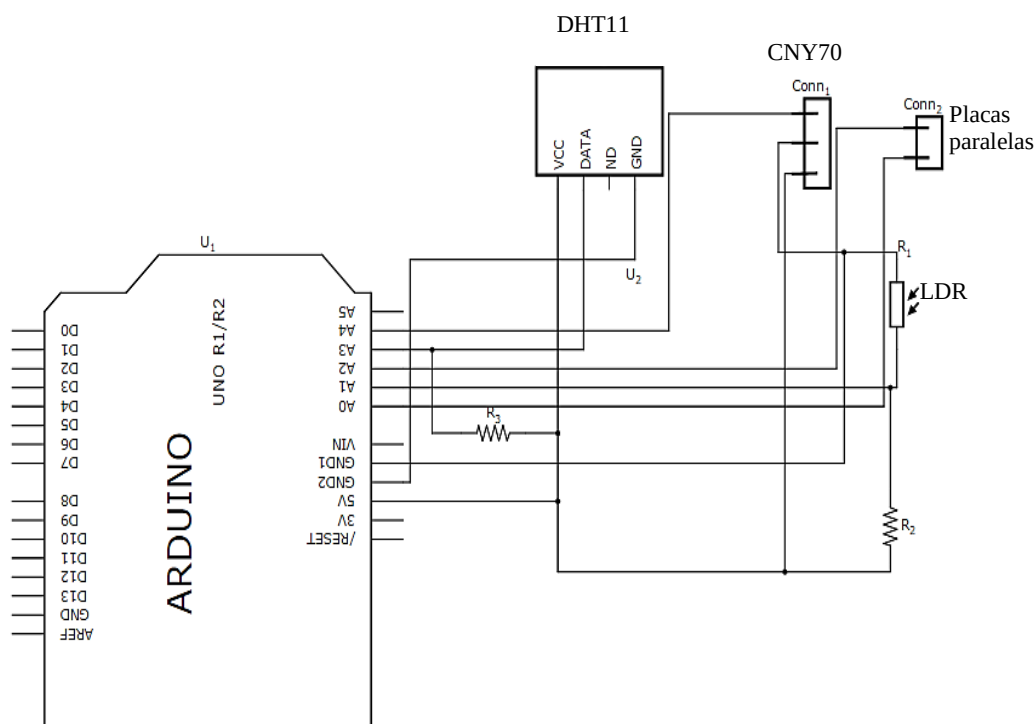


Figura 4. Esquemático del sistema de monitoreo de variables físicas.

Prototipo # 1. Diseño y construcción del sistema de monitoreo y adquisición de variables físicas.

Paso 1. Construcción de la estación de monitoreo. La estación de monitoreo se compone de los siguientes instrumentos de medición: a) DHT11; captura variables de temperatura y humedad relativa; ver (Tabla 4), b) LDR; detector de luminosidad ver (Tabla 6), c) Sensor CNY 70 ver (Tabla 8) y d) sensor capacitivo de placas paralelas para registrar humedad del sustrato o tierra.

Tabla 4. Hoja de especificaciones del DHT11.

Humedad relativa	Temperatura
Resolución: 8 Bit, 1% RH	Resolución: 8 Bit, 0.1 °C
Margen de error: $\pm 1\%$ RH	Margen de error: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
Rango de Precisión: $x=\pm 5\%$ RH	Rango de Precisión: $x=\pm 2^{\circ}\text{C}$
Tiempo de respuesta: 1 / e (63%) de 25°C 6s 1m / s aire 6s	Tiempo de respuesta: 1/ e (63%) 10S
Hysteresis: $<\pm 0.3\%$ RH	
Estabilidad a largo plazo: $<\pm 0.5\%$ RH / en un año	

Características Eléctricas del DHT11.

Alimentación eléctrica: DC 3.5~5.5V

Fuente de corriente: medición 0.3mA en espera 60 μ A

Periodo de prueba: más de 2 segundos

Descripción de los pines del sensor DHT11

1, VDD alimentación eléctrica 3.5~5.5V DC

2, DATOS seriales, puerto único

3, NC, pin (No Connection)

4, GND, Tierra

Caracterización del sensor de humedad relativa: DHT11.

A continuación, se realiza la caracterización de la humedad, por medio del sensor DHT11. La respuesta del sensor frente al cambio de humedad se expresa según la siguiente ecuación [14].

$$V = 24.06\%RH^{0.303}$$

Donde:

V= Voltaje

RH= Humedad Relativa

Para determinar si la función corresponde al comportamiento del sensor de humedad se genera experimentalmente la medición de la humedad con variaciones y se compara con los valores de la Ecuación. Obteniendo como resultado lo ilustrado en la Figura (5), el rango de tolerancia del sensor es ilustrado en la tabla (5).

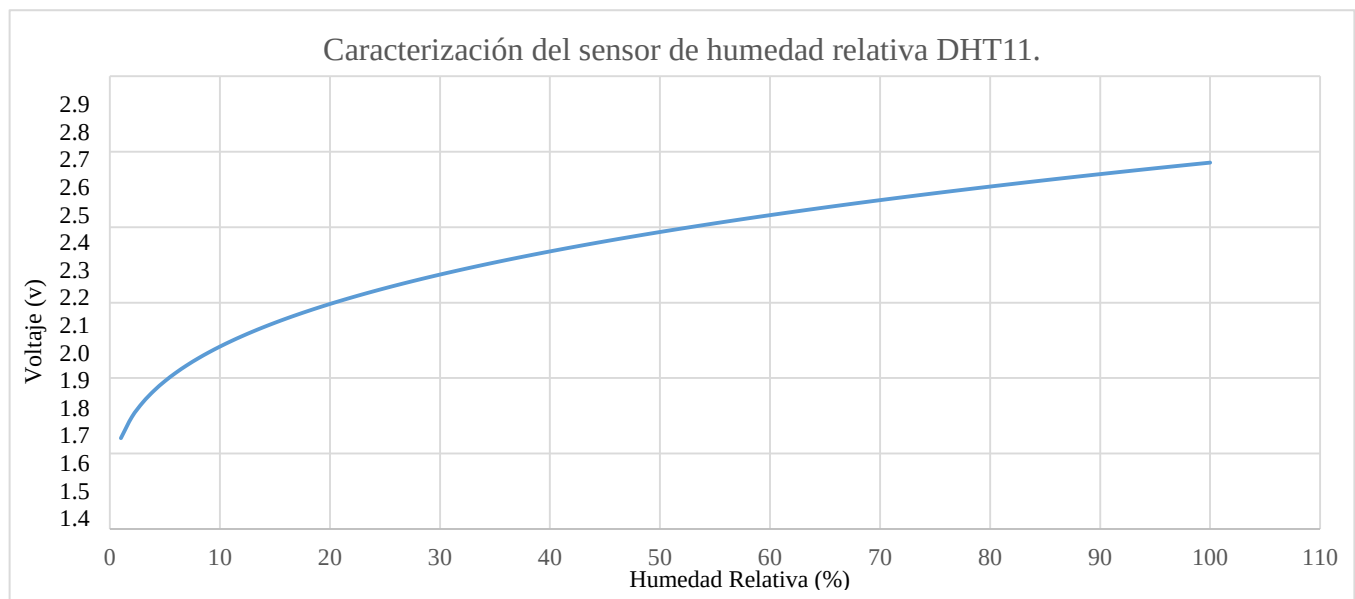


Figura 5. Caracterización del sensor de humedad relativa DHT11.

Tabla 5. Rango de tolerancia para el sensor DHT11.

Rango de tolerancia %RH	% Error (V)
0.10-15	4.348
16-20	1.756
21-25	0.413
26-30	0.285
31-35	0.826
36-40	0.46
41-45	0.955

Caracterización del sensor de temperatura: DHT11.

Respuesta del sensor ante los cambios de la temperatura, ver la siguiente gráfica (Figura 6).

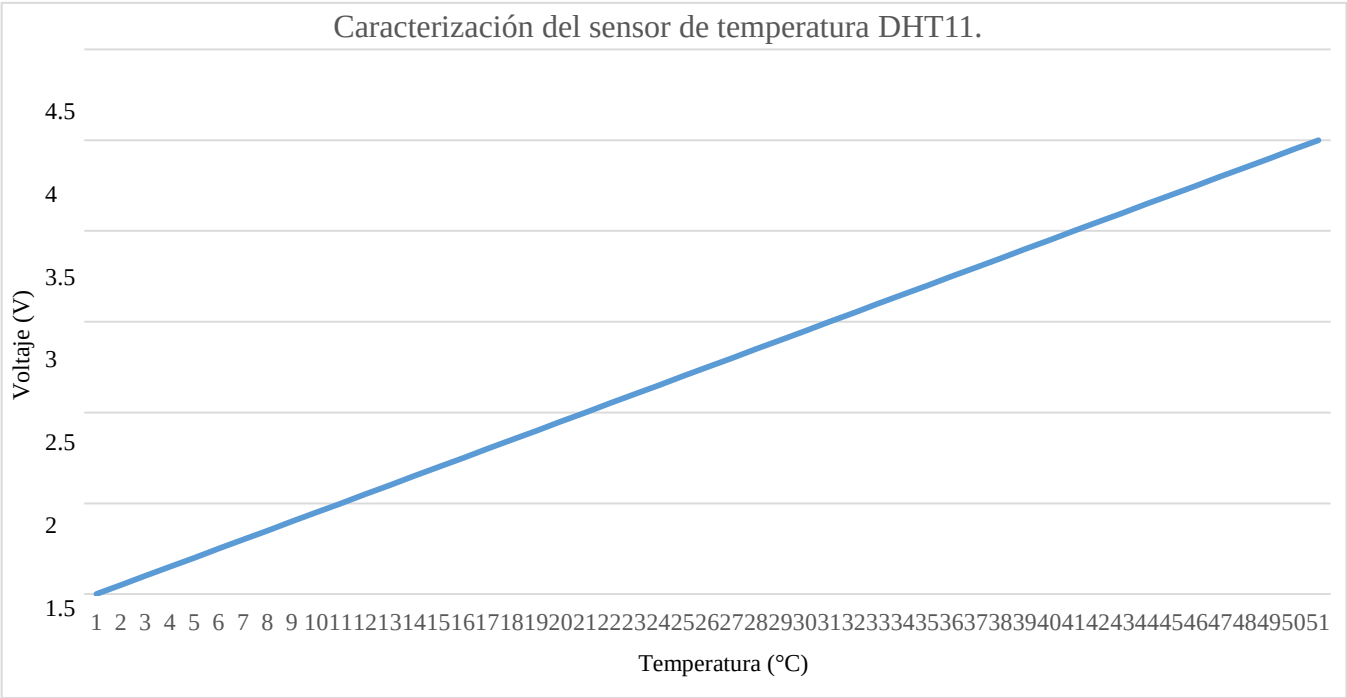


Figura 6. Caracterización sensor de temperatura DHT11.

Especificaciones del sensor fotorresistivo, ver Tabla (6):

Tabla 6. Hoja de especificaciones del LDR (Características eléctricas).

Parámetro	Condiciones	Mín.	Típico	Máx.	Unidad
Resistencia de celda	1000 lux 10 lux	-	400 9	-	Ohm K Ohm
Resistencia en oscuridad	-	-	1	-	M Ohm
Capacitancia en oscuridad	-	-	3.5	-	pF
Tiempo de ascenso	1000 lux 10 lux	-	48 120	-	ms ms
Tiempo de descenso	1000 lux 10 lux	-	48 120	-	ms ms
Voltaje AC/DC pico	-	-	-	320	V máx.
Intensidad de corriente	-	-	-	75	mA máx.
Disipación de potencia	-	-	-	100	mW máx.
Temperatura de operación	-	-60*	-	+75	° C

Para conocer las cantidades de luz que registra el sensor con sus escalas respectivas; ver (Tabla 7 y la Figura 7).

Tabla 7. Parámetros de medición para el LDR.

Fuente de iluminación	LUX*
Luz de luna	0.1
Foco de 60 W a 1 m de distancia	50
Foco de 1 W MES a 1 m de distancia	100
Luz fluorescente	500
Luz solar	30000

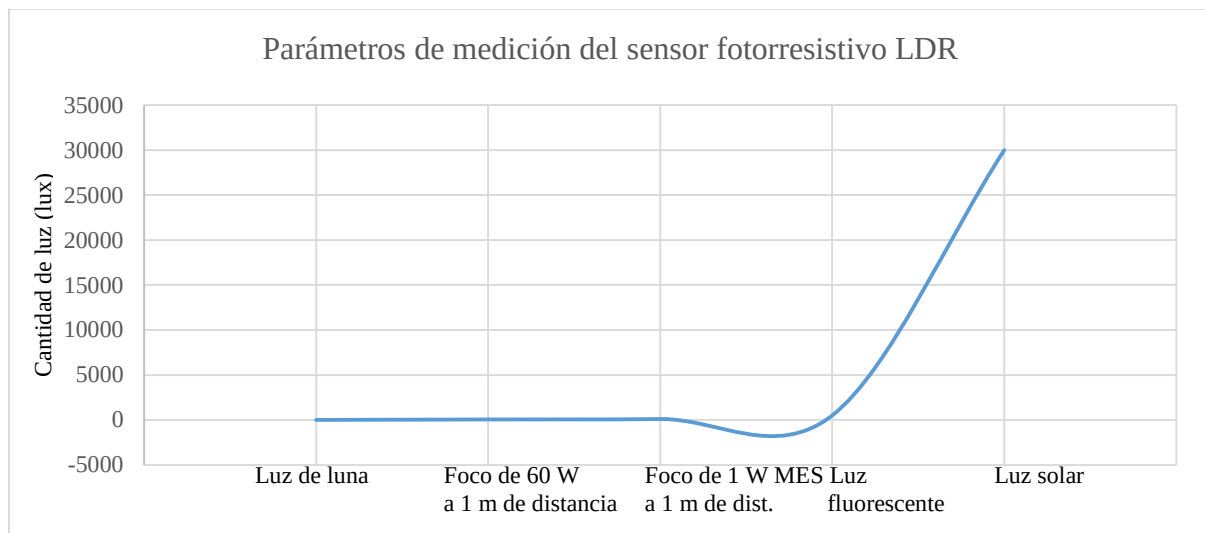


Figura 7. Parámetros de medición para el sensor LDR.

* Lux: Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado, mientras que un lumen equivale a una candela x estereorradián. El flujo luminoso total de una fuente de una candela equivale a lúmenes (puesto que una esfera comprende estereorradianes).

Tabla 8. Tabla de especificaciones del CNY 70 (Características eléctricas).

Parámetro	Condición de prueba	Símbolo	Valor	Unidad
COUPLE				
Disipación total de potencia	$T_{amb} \leq 25^{\circ}C$	P_{tot}	200	mW
Rango de temperatura ambiente		T_{amb}	-40 a + 85	$^{\circ}C$
Rango de temperatura de almacenamiento		T_{alm}	-40 a + 85	$^{\circ}C$
Temperatura de soldadura	Distancia de 2 mm	T_{sd}	260	$^{\circ}C$
ENTRADA (EMISOR)				
Voltaje de reversa		V_R	5	V
Intensidad de corriente inversa		I_F	50	mA
Intensidad de corriente que surge	$t_p \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	3	A
Disipación de potencia	$T_{amb} \leq 25^{\circ}C$	P_V	100	mW
Temperatura de unión		T_j	100	$^{\circ}C$

Cualidades:

- Tipo de detector: fototransistor
- Dimensiones (Largo x Ancho x Alto en mm): 7 x 7 x 6
- Distancia de operación pico: < 0.5 mm
- Rango de operación dentro > 20 % colector relativo de corriente: 0 mm a 5 mm
- Salida típica de corriente durante prueba: $I_C = 1 \text{ mA}$
- Longitud de onda del emisor: 950 nm

Las aplicaciones del sensor de proximidad infrarrojo CNY 70 son: detector de colores, seguidor de línea, detector de presencia para activar un switch o un solenoide. Los pines se conectan según la siguiente Figura (8).

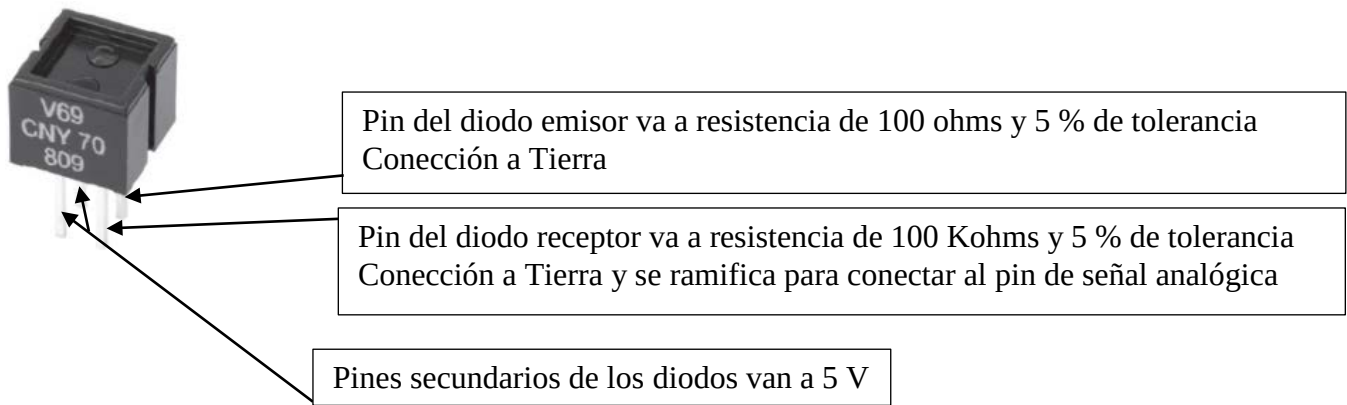


Figura 8. Descripción de la conexión de los pines para el sensor CNY 70.

En principio se desarrolló el sistema en un *protoboard* para poder modificarlo antes de construir el PCB (*Printed Circuit Board*). Posteriormente se construyó en una placa fenólica que consta de un circuito impreso (PCB) que será conectado a Arduino y el sistema de adquisición de datos. Todos los componentes estarán conectados por medio de Arduino a una computadora que será el display de la estación de monitoreo, por medio de Arduino los sensores recogerán los datos dentro de la maqueta y cualquier cambio será reflejado por los sensores.

En la Figura (9), se aprecian las conexiones con colores, de los componentes para medir las variables a estudiar para determinar el desempeño y eficiencia que tienen los paneles verdes.

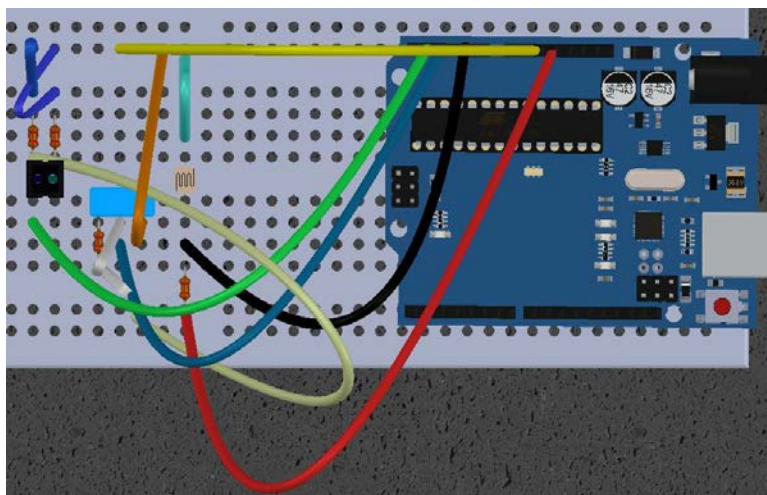


Figura 9. Esquema de las conexiones entre Arduino y los sensores por medio de protoboard

Enseguida se presenta el código de colores de conexión del sistema:

-  Cable de conexión de tierra o “GND” del Arduino al *protoboard*.
-  Cable de conexión de 5 V del Arduino al *protoboard*.
-  Cable de conexión de DHT11: pata “S” o data del sensor, a pin análogo 3 del Arduino.
-  Cable de conexión DHT11: pata “GND” tierra, del sensor a *protoboard* negativo.
-  Cable de conexión de CNY 70: pata “V” voltaje del sensor, a *protoboard* positivo.
-  Cable de conexión de CNY 70: pata señal o data del sensor, a pin análogo 0.
-  Cable de conexión de CNY 70: puente para el sensor entre diodos emisor a detector.
-  Cable de conexión de LDR: pata positiva del sensor a pin análogo 1.
-  Cable de conexión de LDR: pata negativa del sensor a *protoboard* negativo.

Paso 2. Código de sistema de monitoreo y de sistema de adquisición de datos, ver (anexo 1).

Una vez conectados los componentes electrónicos de manera correcta posteriormente se carga el código de programación para que Arduino nos proporcione las cifras y/o gráficas de las variables a medir. Los datos se envían a Excel para que se tenga una hoja de cálculo con los datos de los sensores y podamos hacer cálculos estadísticos y graficar para analizarlos.

Las adquisiciones de datos de las variables físicas serán programadas durante ciertos lapsos, ver (Tabla 9).

Tabla 9. Tabla de tamaño de la muestra en un lapso.

Memoria en disco	Tiempo de monitoreo/cantidad de datos en libro de Excel.
129 Kbytes de información	Una hora de estar capturando datos cada dos segundos nos genera 5965 celdas de Excel con datos alfanuméricos.

Paso 3. Montar el sistema de monitoreo y de adquisición de datos en la maqueta y edificio para realizar el monitoreo predefinido en lapsos, ver (Figuras 10 y 11).

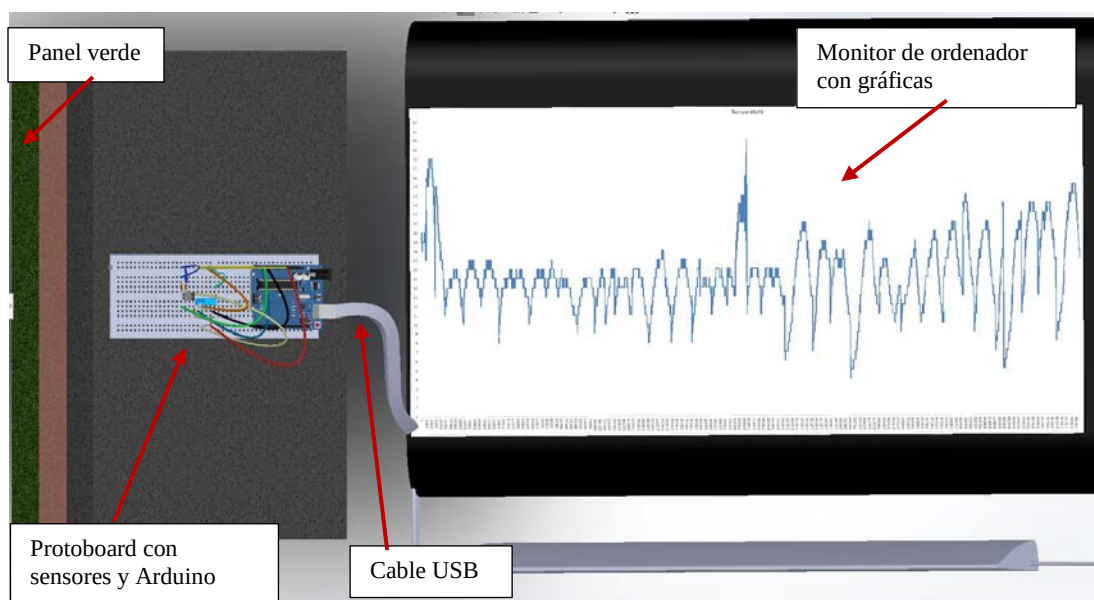


Figura 10. Esquema de la conexión en 3D; panel verde, sensores, Arduino y ordenador, para interiores.

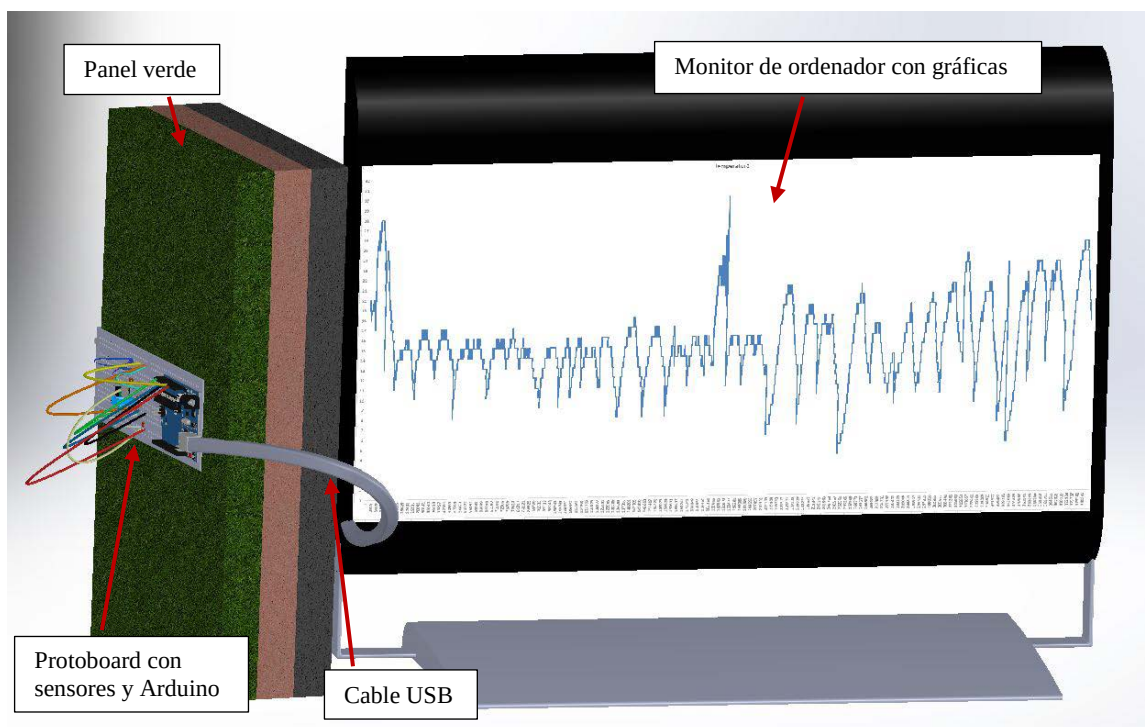


Figura 11. Esquema de sistema “Thumvilux” Externo.

Prototipo #2. Diseño y construcción del sistema de monitoreo y adquisición de variables físicas.

Concluidos los circuitos en *protoboard* del sistema de adquisición de datos y monitoreo de variables físicas, procedemos a construir el sistema real que será instalado en la maqueta descrita a continuación. Su procedimiento para construir los sensores, sus conexiones y su código se describe en las siguientes páginas. Primero se describirán los sensores contruidos con componentes accesibles.

Construcción de los sensores de humedad del substrato y de vibración.

Sensor de humedad del substrato explicación del funcionamiento y construcción.

El sensor de humedad del substrato es un importante componente en el ciclo atmosférico del agua, que se utiliza en agricultura y el modelamiento de la escala de la interacción entre la atmósfera y la tierra. Sin embargo, los sensores de humedad del substrato son aplicados en las estaciones meteorológicas.

La humedad del substrato es una expresión de la masa o volumen del agua en el substrato.

El contenido de agua del suelo en base a su masa se expresa como el contenido gravimétrico de humedad del substrato, θ_g , definido por [15]:

$$\theta_g = M_{H_2O} / M_{substrato}$$

Donde:

θ_g = Humedad del substrato

M_{H_2O} = Cantidad de masa del agua

$M_{substrato}$ = Cantidad de masa del substrato

Donde: M_{H_2O} es la masa del agua en la muestra de substrato y $M_{substrato}$ es la masa de tierra seca que está contenida en la muestra. Valores de θ_g en meteorología se expresan generalmente en porcentaje.

El sensor de humedad del substrato está formado por dos láminas de aluminio, constituyendo un capacitor, ver (Figura 12). La constante dieléctrica de la película varía con la humedad relativa del ambiente. Las características del sensor no varían con el contacto del agua, pero la exposición o vapores de acetona debe ser evitada. Para la medida de humedad, se utiliza un sensor Capacitivo que varía su valor en función de la humedad relativa. Esta variación es adaptada convenientemente y convertida a capacitancia. Un microcontrolador alimentado por corriente directa (placa Arduino Uno) se encarga de transformar la medida en valores analógicos (pico Faradios) que son enviados al sistema de adquisición de datos. La precisión de la capacitancia es afectada por las variables, las dimensiones, y la superficie de cada una de las placas, y la separación entre ellas que se muestran en la Figura (12).

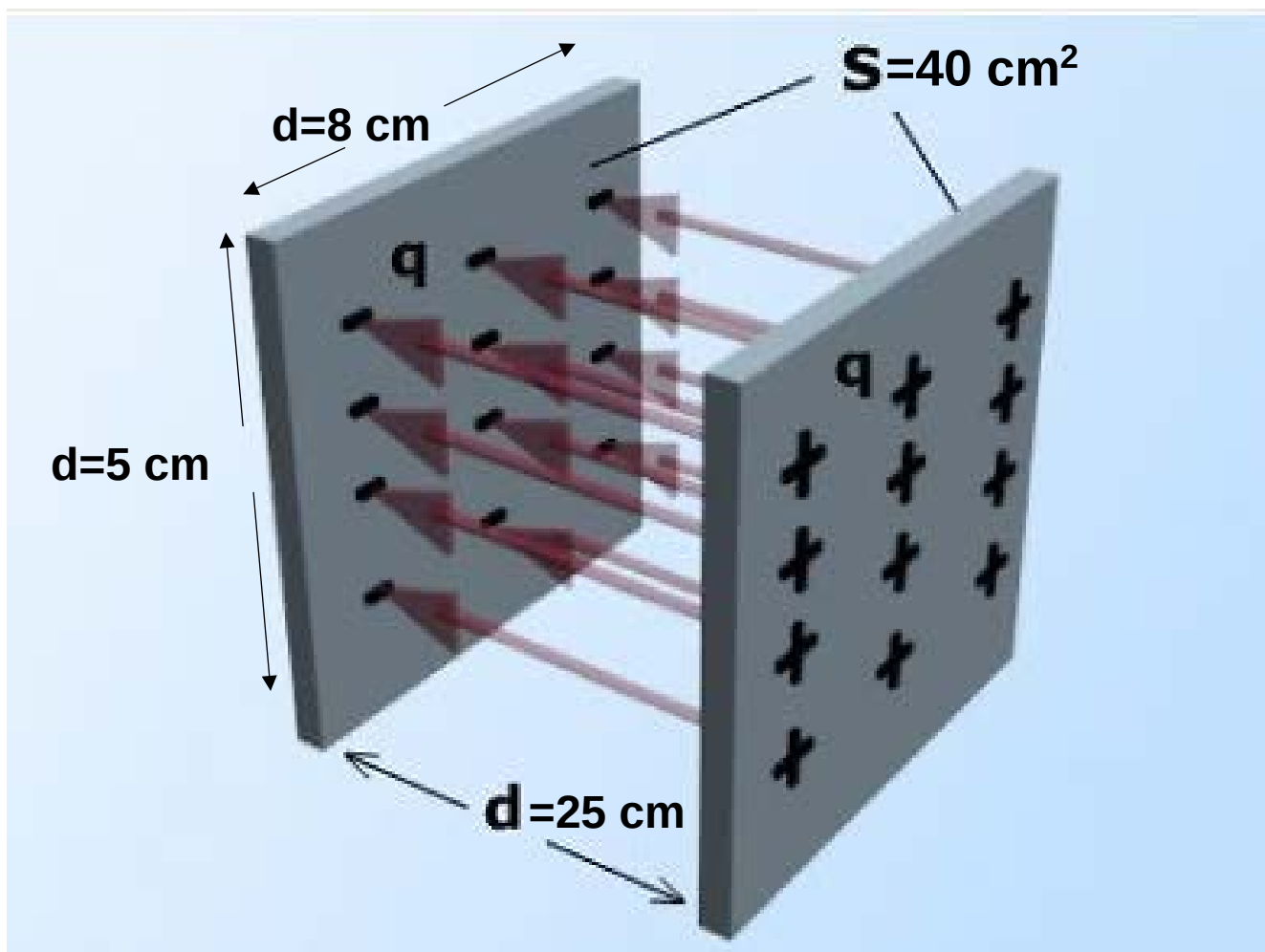


Figura 12. Capacitor de placas paralelas.

Caracterización del sensor capacitivo de placas paralelas para registrar la humedad del sustrato, ver (Figura 13).

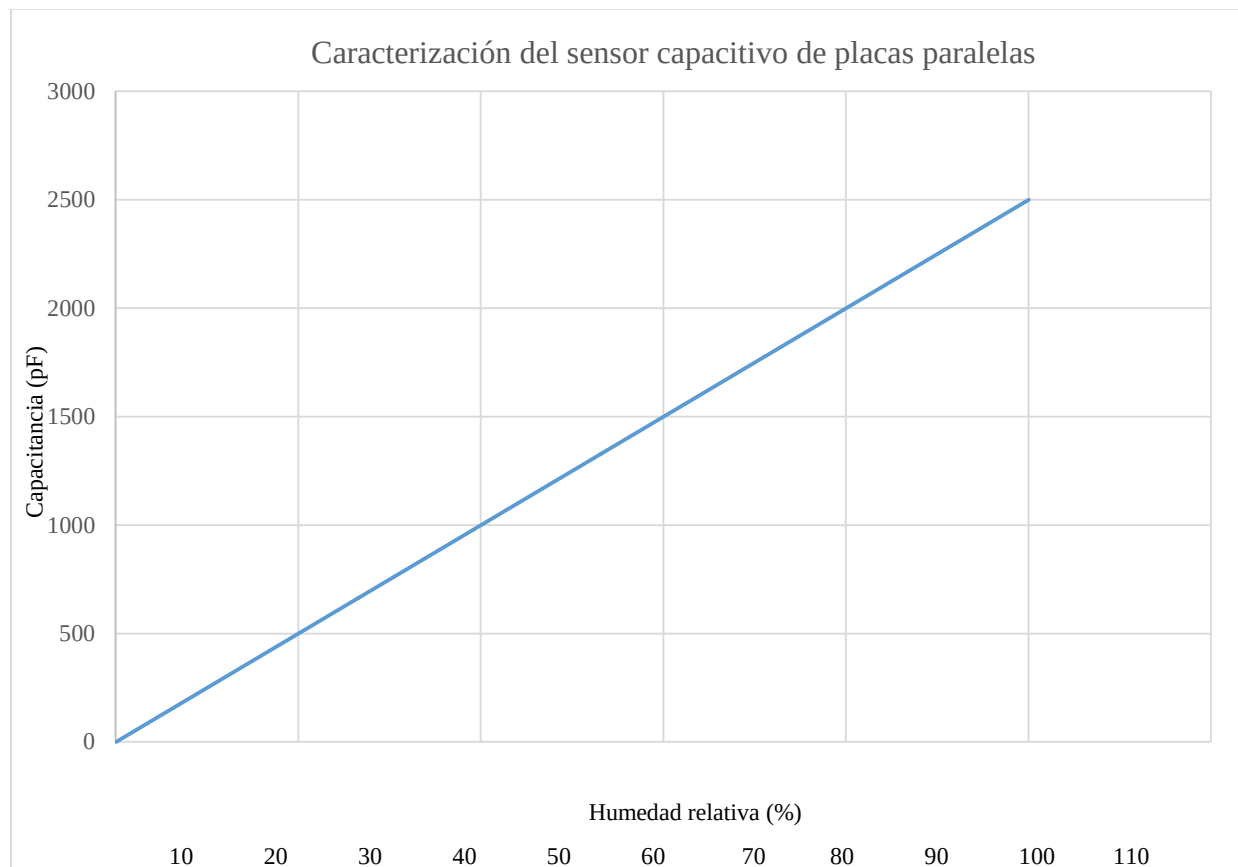


Figura 13. Gráfica para la caracterización del sensor de humedad del sustrato.

Sensor de vibración explicación de funcionamiento y construcción.

El funcionamiento del sensor de vibración sísmica es el siguiente; consta de un sensor de proximidad CNY 70* fijado en un recinto con 2 paredes, una base y un techo de acrílico transparente, ver (Figura 14), para poder suspender el sensor con resorte. El CNY 70, ver (Figura 15), cuenta con un diodo emisor de luz y un fototransistor, el sensor se coloca de tal forma que los diodos incidan sobre el área reflejante y el diodo receptor reciba el haz de luz infrarroja, ver (Figura 16) haciendo que cualquier movimiento que tenga el resorte que suspende el sensor, sea captado por el diodo receptor, ver (Figura 17) para que nos muestre un gráfico tipo sismógrafo, ver (Figura 18) de las vibraciones mecánicas y telúricas que reciba la maqueta que simulará los paneles verdes.

* El CNY70 es un sensor óptico reflexivo que tiene una construcción compacta dónde el emisor de luz y el receptor se colocan en la misma dirección para detectar la presencia de un objeto utilizando la reflexión del infrarrojo que rebota sobre el objeto hacia el receptor.

Construcción del sensor de vibraciones.

Paso 1. Ver (Figura 14). Construir un recinto para el CNY70 y sus conexiones, y que pueda suspender el sensor con un resorte. Se utilizaron 4 paredes: 1 base para colocar el circuito con dos resistencias de 10 K ohm y 100 ohm, y el sensor CNY70, dos paredes y un techo del cual se va a suspender el sensor. En la Figura (15) se puede observar físicamente el Sensor CNY70 el cuál se montará en el sistema de monitoreo de vibraciones.



Figura 14. Construcción del recinto para el sensor de vibración; 4 placas de acrílico unidas con cloroformo (Paso 1).

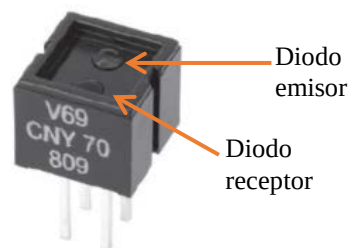


Figura 15. Sensor CNY 70, descripción de sus diodos.

Paso 2. Ver (Figura 16). Una vez conectados con Arduino el sensor emite luz infrarroja que será reflejada por un área reflectora que se colocará en el techo del recinto para que suspenda el sensor infrarrojo y al

recibir vibraciones de cualquier clase el resorte que suspende el sensor las transmite a éste y se impriman en la gráfica.



Figura 16. Conexión del CNY 70 (detector de proximidad) en el recinto y revisión del diodo emisor infrarrojo. (El diodo emisor solo es visible con la cámara del dispositivo móvil) (Paso 2).

Paso 3. En la Figura (17), se muestra el sensor de vibraciones terminado con todos los componentes en su lugar y funcionando para graficar.

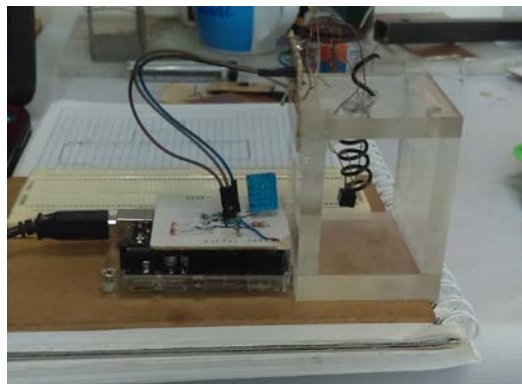


Figura 17. Sensor de vibraciones terminado, con el área reflejante suspendida con un resorte y las conexiones (Paso 3)

Paso 4. Gráfica de las perturbaciones en la escala de vibración, ver (Figura 18).

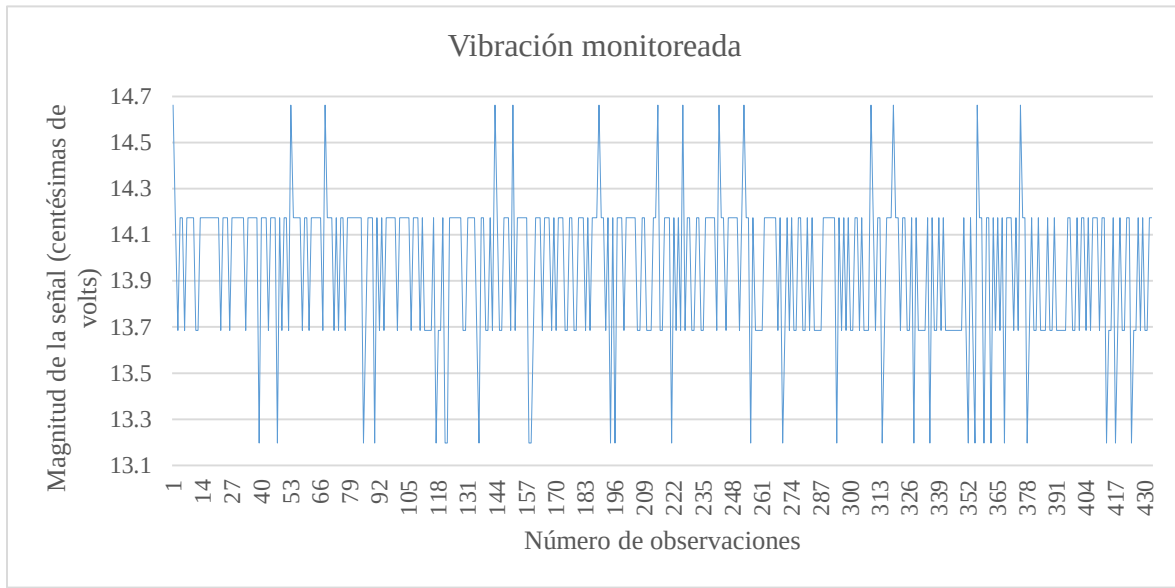


Figura 18. Gráfica del sensor de vibraciones mecánicas y telúricas.

Los otros sensores son DHT11 (temperatura y humedad relativa) y LDR (cantidad de luz). Los cuales se instalaron directamente.

Proceso del diseño y construcción del sistema de monitoreo y adquisición de variables físicas con Arduino. Ver (Figuras 19 hasta 28):

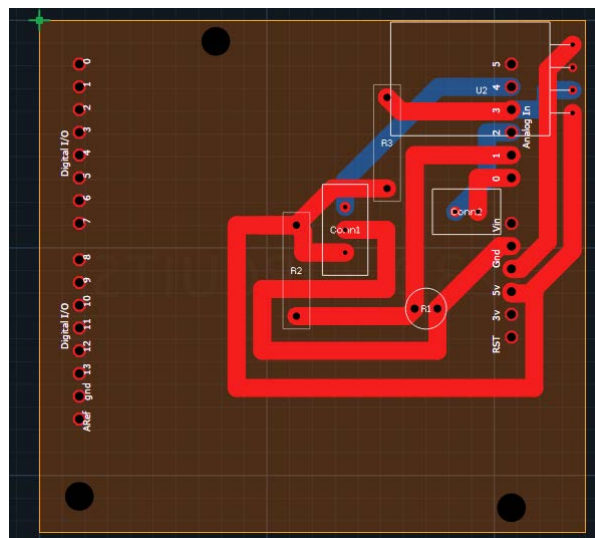


Figura 19. Captura de pantalla de 123D circuits. Diseño de PCB con las pistas de las conexiones entre los componentes y Arduino. (Paso 1).



Figura 20. Imprimir el diseño en hojas de transferencia para PCB (Este papel está hecho principalmente de Calcio y está compuesto por hojas con bases de papel de distintos gramajes para adaptarse a los especiales requerimientos de los distintos tipos y modelos de impresoras). (Paso 2).



Figura 21. Transferir por medio de calentar con plancha el diseño y la placa fenólica. (Paso 3).



Figura 22. Placa fenólica con diseño de las pistas.

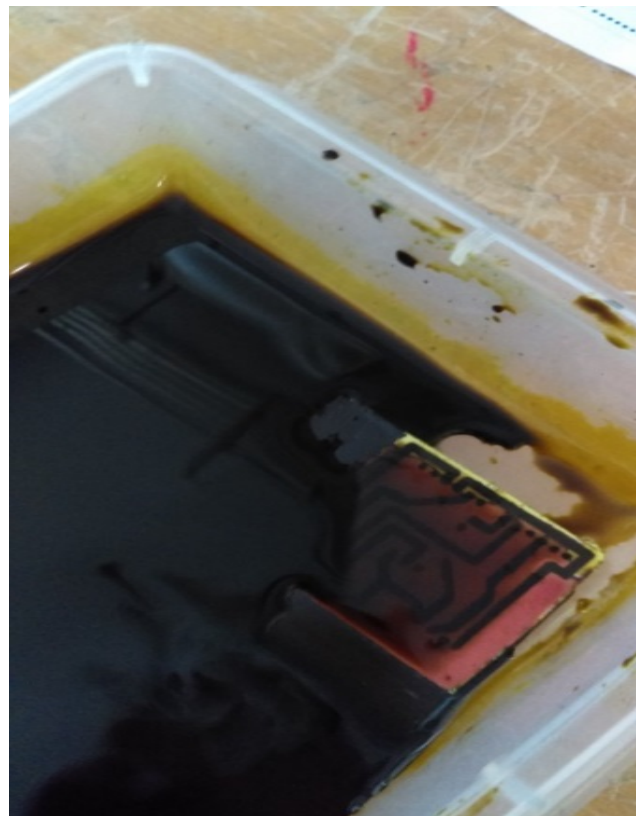


Figura 23. Sumergir la placa fenólica en ácido férrico para que la corrosión revele las pistas de la impresión. (Paso 4).

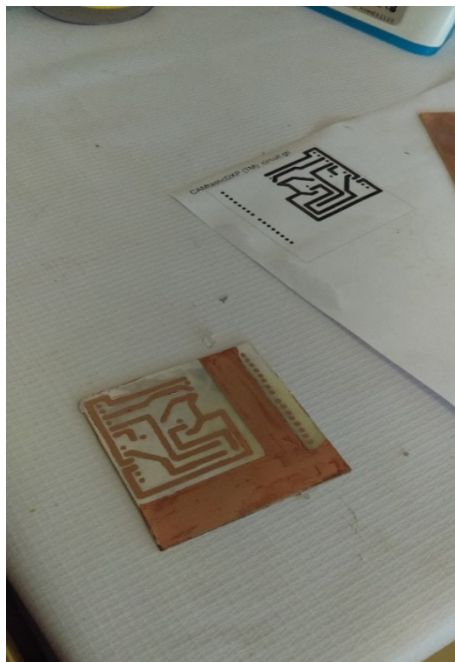


Figura 24. Placa con pistas grabadas.



Figura 25. Taladrar en las posiciones correctas. (Paso 5).

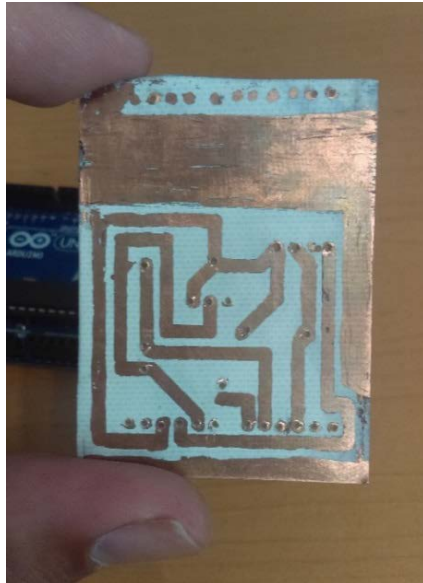


Figura 26. Placa perforada y lista para la colocación y soldadura de los componentes.



Figura 27. Ubicar cada componente en su posición para después soldar. (Paso 6).

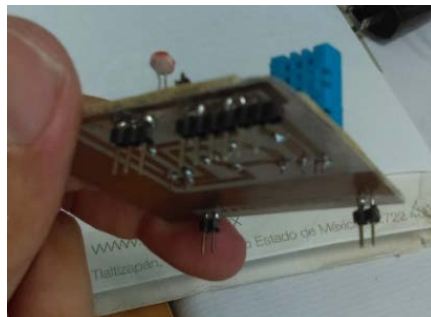


Figura 28. Circuito integrado finalizado.

Una vez que se completa el montaje electrónico denominado “*shield*”, se desarrolló el código para adquirir datos, ver (Anexo 1) desde los sensores y que los mandaba al programa Excel, mediante una aplicación llamada PLX-DAQ*, así se puede graficar, analizar y guardar los datos de monitoreo. Se hizo un total de 2 *Shields*, uno para monitorizar el interior de la maqueta experimental y otro para el monitoreo de los exteriores (condiciones climáticas atmosféricas). Su construcción fue exactamente la misma, sólo que uno (exteriores) no contaba con los *headers* (pines de conexión) para el sensor de vibraciones y el capacitor de placas paralelas, y el otro sí, ya que el experimento (prototipo) requería esas características.

Se conecta el *Shield* con Arduino Uno R3 y a su vez el Arduino Uno R3 a la computadora y se carga el código e inmediatamente comienza a capturar los datos en Excel. Ese es el procedimiento de construcción del sistema de monitoreo y adquisición de variables físicas. La Figura (29), muestra una captura de prueba de Excel de cada uno de los sensores.

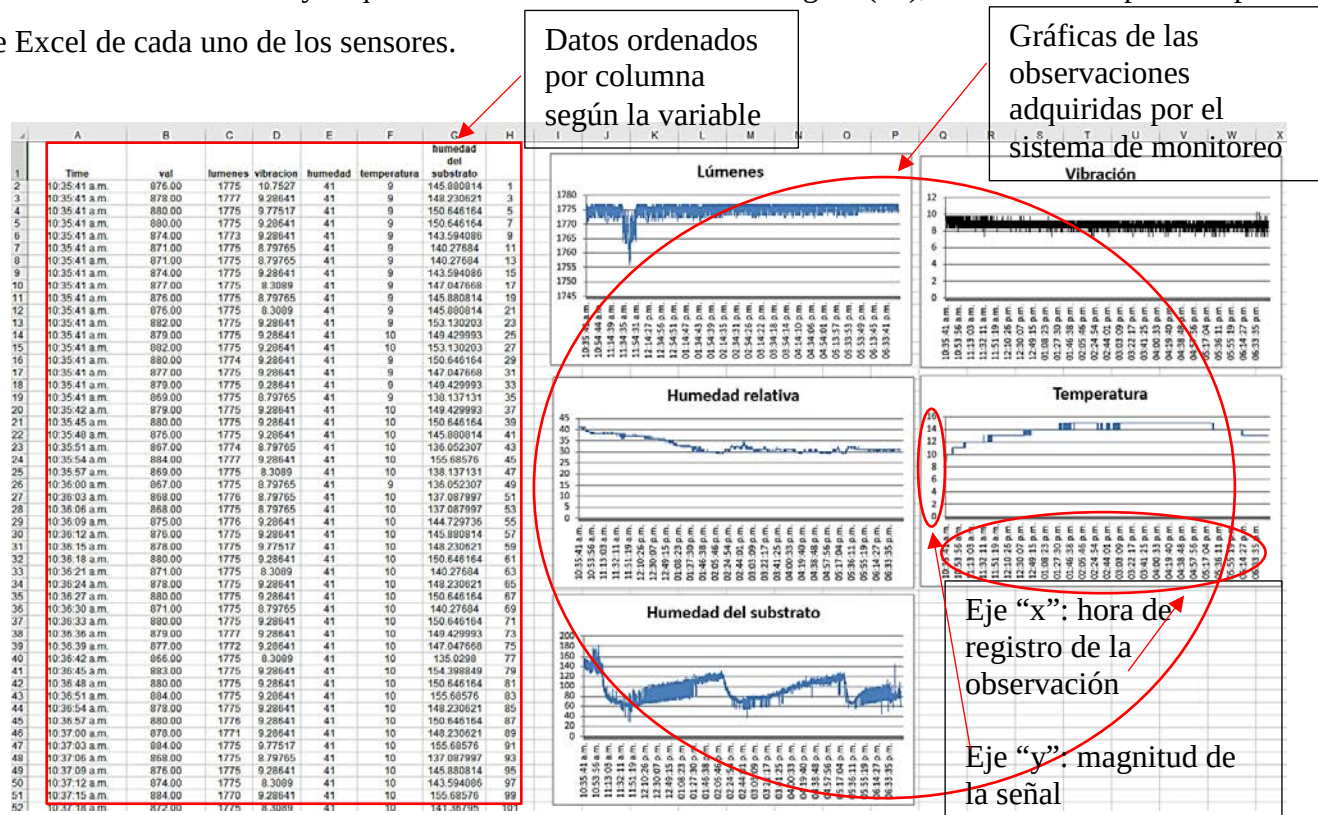


Figura 29. Hoja de cálculo de Excel con las observaciones de las variables adquiridas.

* El complemento del software Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ) para Microsoft Excel adquiere hasta 26 canales de datos de cualquier microcontrolador Arduino (Uno R3, Leonardo, Galileo, 101, Due, Yún, Robot, Esplora, Mega ADK, Ethernet, Mega 2560, Mini, Nano, Pro Mini, Pro, Micro, Fio, Lily Pad) y coloca los números en columnas, ver (Figura 29) a medida que llegan. PLX-DAQ proporciona un fácil análisis de la hoja de cálculo de los datos recogidos en el campo, análisis de laboratorio de sensores y monitorización de equipos en tiempo real.

Solamente queda el último paso que es construir la maqueta de un panel verde con materiales comerciales; con ella se hará una simulación de las condiciones presentes en un panel verde. En su interior se colocará el sistema de monitoreo y adquisición de variables físicas para capturar las variaciones del clima durante el día.

Prototipo #1. Construcción de la maqueta para simular las condiciones de un panel verde.

La maqueta está compuesta por paneles de tabla roca: ver (Figura 30 y Figura 31) y una membrana impermeable prefabricada con asfalto, un bastidor de madera cubierto por plástico impermeabilizante y un tapete vegetal de pasto.



Figura 30. Armado de la tablaroca.

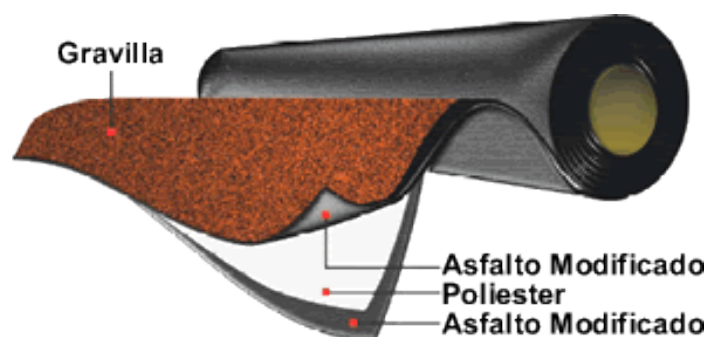


Figura 31. Tapete asfáltico para impermeabilizante.

La construcción inicia cortando, armando y sujetando los paneles de tabla roca, y juntándolos para formar un paralelepípedo que tenga firmeza y pueda soportar el tapete vegetal y el bastidor de madera.

Se continúa pegando el rollo asfáltico, derritiendo la cara de asfalto, con soplete en el techo de la maqueta; ver (Figura 32), posteriormente se le unta impermeabilizante acrílico líquido para darle mayor protección contra la humedad. Ver (Figura 33).



Figura 32. Tapete derriéndose con el soplete.



Figura 33. Maqueta impermeabilizada.

Después de terminar el impermeabilizado de la maqueta se procede a construir el bastidor que fungirá como maceta del tapete vegetal evitando que la tierra se desborde cuando se riegue el tapete vegetal de pasto. Se utilizan tablas y se unen con esquineros para darle la forma de bastidor y se continúa fijándolo a la maqueta sobre la cara que fue impermeabilizada.

Con los pasos descritos anteriormente se puede concluir la construcción de la maqueta, ver (Figura 34), y queda lista para hacer una simulación en miniatura de las condiciones que producen los paneles verdes en un hogar promedio.



Figura 34. Maqueta con panel verde en su techo.

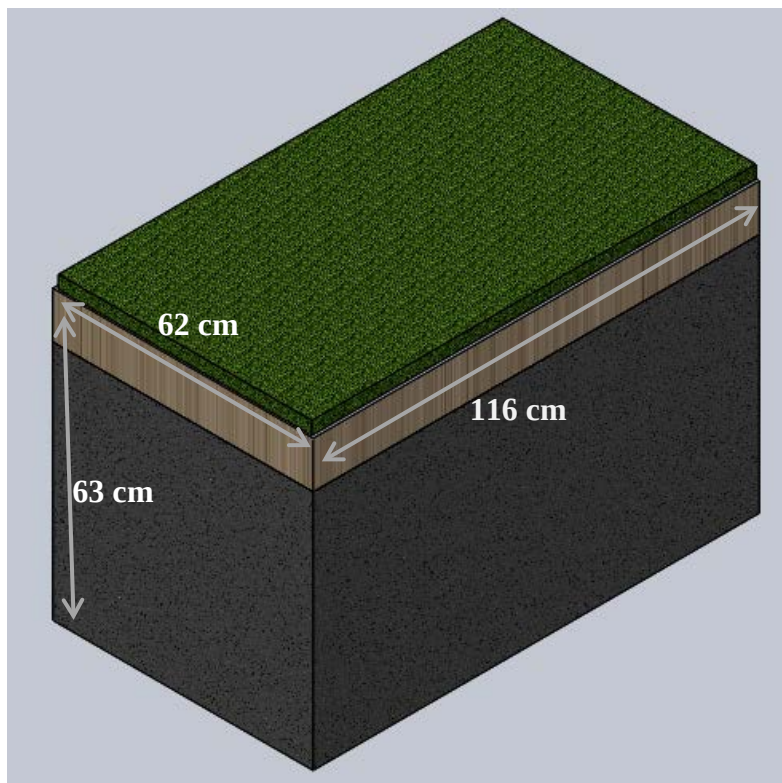


Figura 35. Dimensiones de la maqueta.

Instalación de la malla ciclónica para delimitar y proteger la maqueta del vandalismo, además de darle un mejor aspecto al área designada para instalar la maqueta. Ver (Figura 36 y Figura 37).



Figura 36. Maqueta en su ubicación, con postes de soporte para la malla ciclónica.



Figura 37. Maqueta con malla instalada.

La maqueta descrita anteriormente, se tuvo que retirar por que la humedad en las paredes hizo que el yeso en las paredes de tablaroca se cayera y se fue destruyendo hasta que se tuvo que pensar en una nueva maqueta que no le afectara las condiciones de humedad y que el yeso de la tablaroca se quedará sólido y

no tuviera riesgo de pulverizarse con la humedad por lluvia. Por lo tanto, describiremos en las siguientes páginas la construcción del **prototipo #2** para maqueta para el sistema denominado “Thumvilux”.

Prototipo #2. Construcción de la maqueta para simular las condiciones de un panel verde.

La segunda maqueta consta de paneles de tablaroca, armazones de lámina, vigas de madera, plástico negro, y una cubierta vegetal, constituida de pasto y tierra o sustrato.

Construcción de un paralelepípedo con tablaroca y armazones de lámina y madera, ver Figuras (38 hasta 44).



Figura 38. Construcción de la maqueta Prototipo #2.



Figura 39. Vista superior de la maqueta.



Figura 40. Vista desde abajo.



Figura 41. Maqueta vista desde arriba.

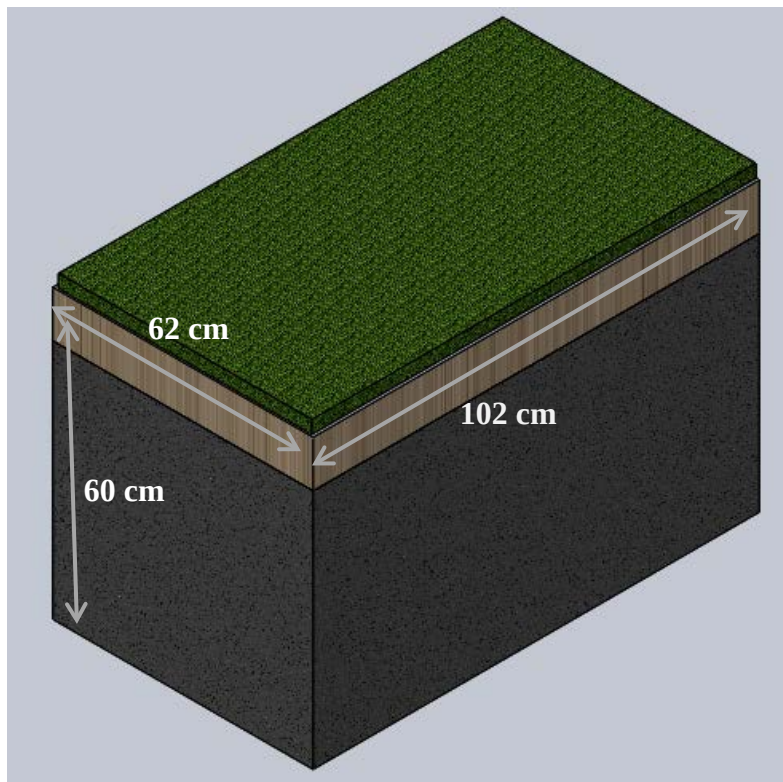


Figura 42. Dimensiones de la maqueta prototipo #2.



Figura 43. Maqueta en el exterior cubierta de plástico negro.



Figura 44. Maqueta con panel verde.

Paso siguiente; fijar el *conduit* en el techo del edificio F para poder llevar el cable de Arduino hasta la oficina y conectarlo a una computadora. La longitud del cable no afecta la calidad de la señal.

Prototipo #3. Construcción de la maqueta para simular las condiciones de un panel verde.

El tercer prototipo fue construido, ver (Figura 45), debido a que las condiciones del ambiente destruyeron las paredes de la maqueta, al igual que los primeros dos prototipos, se diseñó un nuevo prototipo, como se indica en los siguientes párrafos.

Comenzamos con una base de triplay y formamos una estructura de madera para fijar, sobre los pilares y los travesaños, los paneles de tablaroca y dejarlos firmes. Después de tener la estructura forrada de paneles de tablaroca, colocamos plástico aislante encima de la tablaroca, para evitar que se humedezca y que se destruya como los prototipos anteriores, así queda la maqueta preparada para colocarle el tapete vegetal de pasto en su techo y construir un bastidor de madera para que la tierra del tapete vegetal no se derrumbe o se resbale, cuando se riegue.



Figura 45. Maqueta Prototipo #3.

Posteriormente, retiramos el tapete vegetal y el plástico y colocamos un rollo asfáltico encima de todos los paneles de tablaroca, ver (Figura 46) evitando que se filtre cualquier tipo de humedad a los paneles de yeso, se corta un pedazo de rollo del tamaño del área que se requiere cubrir y luego se fija por medio de calentar la cara negra del rollo, hasta que se derrita un poco la parte asfáltica del rollo, para así poderlo

pegar a la cara de nuestro panel de tablaroca, se sigue el mismo procedimiento para todas las paredes y techo de la maqueta.



Figura 46. El proceso de pegar el rollo asfáltico es el mismo que en el primer prototipo.

Se obtienen de esta forma una maqueta que puede soportar el clima e incluso servir de soporte a musgos en las paredes y tapetes vegetales en el techo.

Se procederá a colocar el tapete vegetal de pasto en el techo de nuestra maqueta y lo rodeamos con un bastidor de madera que evita que la tierra se desborde con el riego, para después colocar un preparado de musgo licuado en las paredes de la maqueta que crezca con la humedad requerida y con un tiempo de riego adecuado. Otorgando mayor aislamiento térmico y por lo tanto mayor eficiencia.

Una vez teniendo los sensores y detectores ubicados en la maqueta podemos conectar la tarjeta Arduino a la computadora y comenzar a adquirir las variables de temperatura, humedad relativa, vibración, humedad del sustrato y cantidad de lúmenes, así podremos cuantificar los diferentes cambios que presente la maqueta en un lapso, para después efectuar un análisis estadístico y crear una base de datos para medir su eficiencia y comportamiento.

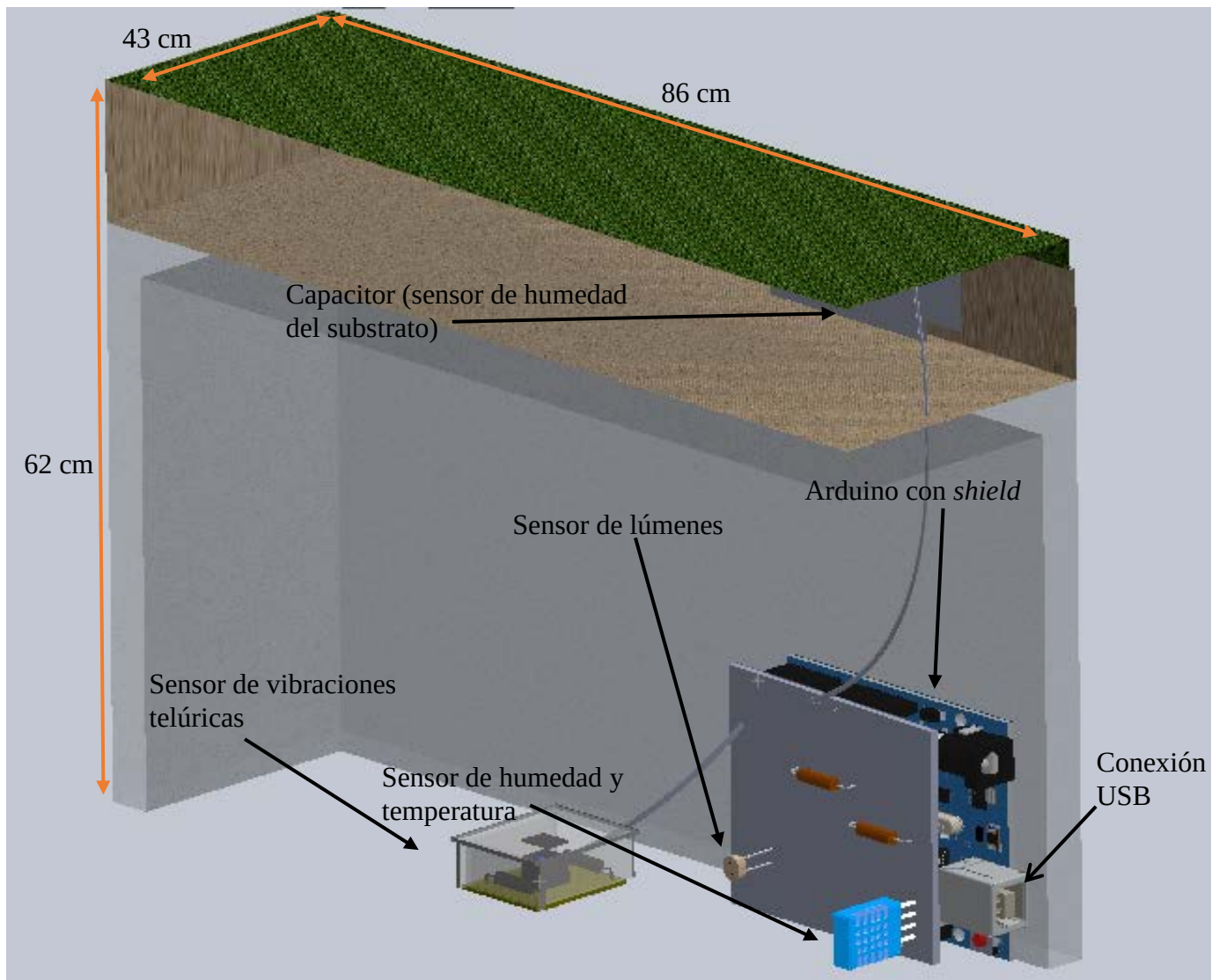


Figura 47. Maqueta en 3D vista con un corte lateral para esquematizar la ubicación de los sensores.

Así ejecutados los pasos descritos anteriormente, se terminó de construir la maqueta, y se procedió a realizar la monitorización, los intervalos de monitorización fueron generalmente, entre semana de lunes a viernes y de 10:00 a 19:00, el experimento se realizó por un total 44 días y lo cual resultó en una base de datos con muestras de diferentes tamaños, ya que en la maqueta se midieron 5 variables físicas, (temperatura, humedad relativa, cantidad de luz, humedad del sustrato y vibración sísmica, y mecánica) como se ve en la siguiente Figura (47), y en la monitorización exterior, sólo midió 3 variables (temperatura, humedad relativa y cantidad de luz).

APORTACIÓN

Aporte principal.

La idea original de plantear el sistema de monitoreo con fines estadísticos en paneles verdes.

Aportación ambiental.

- Calidad del aire: captación de 3 kg/m^2 de partículas suspendidas en el aire aproximadamente.
- Responder a la demanda de sustentabilidad que impera en nuestro tiempo.
- Corredor biológico: derivado de la deforestación en zonas urbanas se pretende que con una azotea verde juntamente con otras áreas de vegetación contribuya a la oxigenación de un área determinada.
- Contrarresta el fenómeno de isla de calor; es el domo de aire caliente que se forma por efecto de los rayos del sol rebotando contra las superficies de concreto y pavimentadas que han ido sustituyendo las áreas de vegetación. Las azoteas Verdes son espacios de que absorben los rayos del sol y contrarrestan este fenómeno.
- La vegetación tanto en una azotea verde como en cualquier otra superficie produce oxígeno y consume dióxido de carbono a través del proceso de la fotosíntesis, lo que mejora la calidad del aire que respiramos.
- La cantidad de energía que refleja una superficie, que determina cuánto se calentará, se llama albedo y se mide del 0 al 1 (de más caliente a más frío). El albedo de un techo de alquitrán o losa es de 0.08, mientras que el de una azotea con pasto es de 0.25. El asfalto y el hormigón son los materiales que absorben e irradian más calor, y por lo tanto su uso en techos y azoteas contribuye enormemente al efecto isla de calor. Las cubiertas verdes, por otro lado, no sólo son más reflectantes que los techos oscuros, sino que además enfrían el aire. Las plantas en una cubierta verde lo hacen absorber humedad de la tierra y evaporarla a través de sus hojas, enfriando la superficie de la hoja y el aire que la rodea.
- Entre las formas de mitigar el efecto isla de calor se encuentra; el aumento de vegetación y la mejora de la reflectividad de las superficies urbanas. Las cubiertas verdes proporcionan ambas. Mientras que en un edificio de asfalto promedio puede alcanzar los 70°C en un día de verano, una superficie cubierta de vegetación no suele exceder los 26°C .
- La vegetación elimina contaminantes y gases de efecto invernadero presentes en el aire a través de la deposición seca y la captura y almacenamiento de carbono. Además, la reducción de la demanda de energía resultante de las propiedades aislantes de las cubiertas vegetales también

reduce la contaminación atmosférica asociada a la producción de energía. Las cubiertas vegetales tienen el potencial de eliminar del aire compuestos volátiles orgánicos, material particulado y contaminantes gaseosos como los óxidos de nitrógeno, dióxido sulfúrico, monóxido de carbono y ozono.

-El desarrollo urbano también trastorna el movimiento natural del agua, conocido como ciclo hidrológico. La precipitación, al no poder infiltrar el asfalto y el hormigón, se escurre y puede inundar la ciudad. Los techos verdes retienen y detienen el agua de lluvia, reduciendo así el volumen de la escorrentía y la velocidad con que el agua llega a los sistemas pluviales. Diversas investigaciones han demostrado que las cubiertas verdes tienen la habilidad de retener el 50% del agua de precipitaciones de 30 mm. Se ha demostrado que las cubiertas verdes pueden retrasar el tiempo de escurrimiento del agua del agua de a 30 minutos a 4 horas y media, así como disminuir su velocidad de 42-96%. También se ha demostrado que las cubiertas verdes actúan además como filtros, reduciendo la carga de contaminantes que llegan a las alcantarillas. Las plantas y la tierra capturan contaminantes atmosféricos y las partículas de metales pesados se unen a las moléculas de la tierra.

-Las cubiertas verdes favorecen la biodiversidad y ayudan a crear conciencia sobre el vínculo entre la ciudad y la naturaleza. La preservación de la biodiversidad es una medida que se utiliza comúnmente para evaluar la salud de un ecosistema y es particularmente crítica en áreas desarrolladas. La fragmentación del hábitat, la contaminación y el ruido hacen de las ciudades lugares hostiles para la mayoría de las plantas y animales. Los techos verdes representan un hábitat saludable en el paisaje urbano; se ha verificado una mayor presencia de aves y de especies más diversas, así como también la instalación de flora autóctona dispersada por éstas.

Aportación Económica

- Aumento de la plusvalía del inmueble; se estima un Incremento de un 15% sobre su valor comercial.
- Impermeabilización de tipo permanente; al contar con una azotea verde ya no volverá a impermeabilizar.
- Incremento en la rentabilidad del inmueble; con una azotea verde será más atractivo el lugar para su arrendamiento.
- Incrementa el rendimiento y productividad del personal; por estudios internacionales una persona es más eficiente y productiva rodeada de áreas verdes en su lugar de trabajo.

-La popularidad de los espacios verdes también se refleja en los valores inmobiliarios. Muchos desarrollos inmobiliarios han comenzado a instalar cubiertas verdes elaboradas que incrementan significativamente el valor del metro cuadrado en los edificios.

-Las cubiertas verdes tienen otros beneficios económicos. Mientras las membranas de techo normales duran entre 10 y 15 años, la instalación de un jardín puede duplicar o triplicar la vida útil de la membrana al eliminar la contracción y expansión de la misma por la exposición al sol y los cambios de temperatura.

Aportación humana y social

- Mejora de la imagen de los hogares mexicanos frente a otros países.

-El verde en las ciudades mejora la calidad de vida de los residentes urbanos, reduciendo los niveles de estrés y creando un espacio de recreación y relajación. Varios estudios han relacionado los efectos calmantes de las plantas a tiempos más cortos de recuperación de pacientes enfermos por lo que cada vez más hospitales del mundo construyen jardines en sus terrazas para el disfrute de sus pacientes.

-Aislante de vibraciones mecánicas audibles: Las fachadas y azoteas verdes reducen el impacto del ruido externo y de fenómenos atmosféricos intensos como las granizadas. Las cubiertas ajardinadas reducen la reflexión sonora hasta 3 dB y son capaces de mejorar la insonorización hasta 8 dB.

RESULTADOS

El presente análisis estadístico cuantitativo se basa en conceptos de estadística descriptiva [16], debido a que las observaciones fueron adquiridas por sistemas de recepción, ordenación y adquisición de datos, elaborados para ese fin, además de resumirlas en conjuntos descritos como poblaciones y muestras, y posteriormente, poder presentar estos resultados. Nuestros esfuerzos se centraron en obtener variables numéricas continuas, debido a que eran medidas por escalas numéricas y descritas en los sistemas de adquisición y monitorización como cantidades positivas de porcentajes de humedad relativa atmosférica, grados Celsius de temperatura ambiental, picofaradios para la humedad del subsuelo, cantidad de luz en el exterior en luxes y porcentajes de vibración telúrica. Para generar una población estadística se logró fusionar las hojas de cálculo de Excel en el programa SPSS de IBM, que nos permitió tener una inmensa

base de datos, en total sumaba una población de 866,042 observaciones divididas en 3 muestras, ver (Tabla 10):

Tabla 10. Muestras de los datos observados durante el experimento de monitoreo.

Muestra a adquirir	Observaciones	Variables
Prototipo (Interior)	384,046	4
Edificio (oficina de trabajo)	141,734	3
Prototipo (Exterior)	340,262	3

Dependiendo del experimento, ciertas variables como: temperatura atmosférica, humedad relativa atmosférica, humedad del subsuelo y vibración telúrica, fueron aplicables a la maqueta, pero la variable; cantidad de luz, no fue aplicable.

Por otro lado, el experimento de monitorización en el exterior de la maqueta y en el interior del edificio “F”, contó con la selección de las siguientes variables; cantidad de luz, temperatura del ambiente y humedad relativa del ambiente, ver (Tabla 11).

Tabla 11. Arreglo de la selección de las variables físicas, en cada uno de los experimentos.

	Base de datos prototipo (interiores)		Base de datos edificio (oficina de trabajo)		Base de datos prototipo (exteriores)	
Nombre de la variable						
Temperatura		✓		✓		✓
Humedad relativa		✓		✓		✓
Cantidad de luz				✓		✓
Vibración		✓				
Humedad del substrato		✓				

Existe una relación entre los datos de todas las muestras, debido a que todas son señales analógicas, dadas las condiciones de los sensores todos eran convertidos a magnitudes físicas continuas con valores de números reales. Posteriormente, las observaciones eran almacenadas en la hoja de cálculo de Excel y después exportadas como datos para su análisis con paquetería estadística.

La información se recabó mediante la aplicación PLX-DAQ, que manda las capturas de los sensores que estan conectados a Arduino y los distribuye en una hoja de cálculo de Excel ordenando cada variable por columna, además de enumerarlas por tiempo, así recabamos la información con cada observación se capturaba un renglón de la hoja de cálculo, ver (Tabla 12).

Tabla 12. Cantidad de datos adquiridos por el sistema.

	Base de datos prototipo (interiores)	Base de datos edificio (oficina de trabajo)	Base de datos prototipo (exteriores)	Gran Total
Nombre de la variable				
Temperatura	384046	141734	340262	
Humedad relativa	384046	141734	340262	
Cantidad de luz		141734	340262	
Vibración	384046			
Humedad del substrato	384046			
Total de datos	1536184	425202	1020786	3407374

Para el análisis cuantitativo de las variables físicas, se prescindíó de los paquetes estadísticos: Excel 2016 de Office, SPSS 24 de IBM, SAS University Edition, Minitab 17, STATA 14, R Studio 3.4.0 y E Views 9 de IHS Global, los cuales fueron utilizados para el análisis estadístico. Dichos programas estadísticos daban una estimación del comportamiento de las variables con respecto al tiempo y de los valores medios de las bases de datos.

Experimento con el prototipo y sus resultados:

Al término de la adquisición de datos se comenzó el análisis estadístico de las bases de datos para poder verificar los comportamientos de las variables en cada uno de los experimentos, por ejemplo, en el primer experimento las variables atmosféricas se mantuvieron estables si las comparamos con el experimento del exterior e incluido el experimento de la oficina. Por lo cual se intentó resumir los resultados en ecuaciones, cada ecuación está numerada y describe en términos estadísticos los coeficientes de regresión que resultaron de la regresión. Para demostrar las relaciones de las variables se graficó con dispersión de puntos, es decir cada punto en la gráfica es un dato. Además de haber hecho otros gráficos de otro tipo como curvas de densidad, histogramas, diagrama de caja y brazo, antes de pasar al análisis de regresión y estudio de series de tiempo. Al terminar el análisis nos sorprendimos de encontrar que la temperatura era realmente reducida en el experimento del prototipo y la humedad igualmente, aunque ésta era potencializada en clima seco y disminuida en clima húmedo, por lo que se consiguió demostrar que el desempeño térmico y de la humedad del aire era mejor en un espacio rodeado de tapetes vegetales en su pared o en su techo, que en espacios con techos o paredes planas.

A continuación, se muestran las gráficas de dispersión para correlacionar las variables y formar una nube de puntos que indique si existe una relación entre variables o si no la hay, ver (Figura 48).

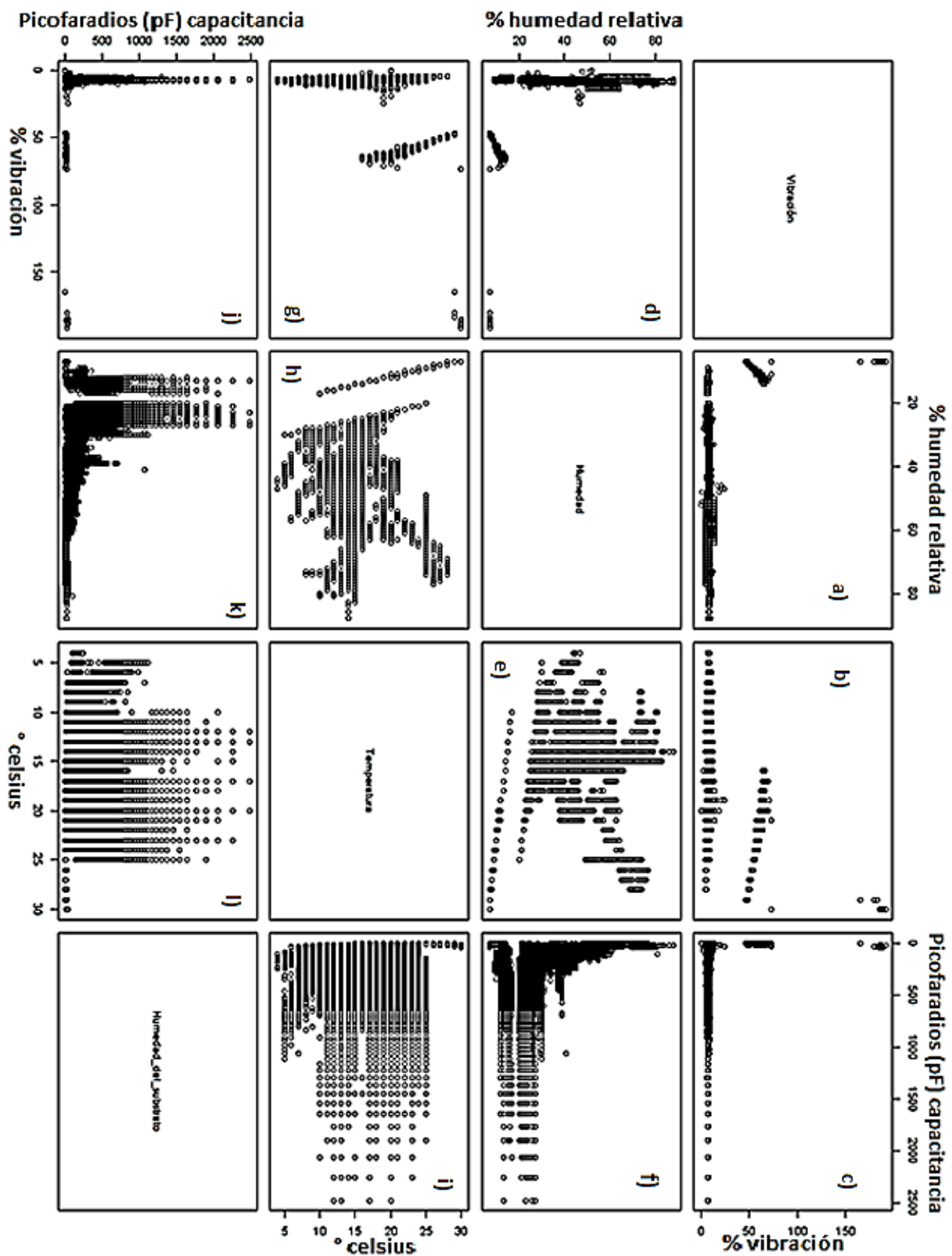


Figura 48. Matriz de dispersión con las variables en la maqueta.

Los rectángulos que cruzan en medio con una diagonal indican solamente los nombres de las variables. La gráfica es una matriz de 4 columnas por 4 renglones, la cual describe las relaciones de las variables por orden columna-renglón.

- a) Gráfico de correlación entre vibración y humedad
- b) Gráfico de correlación entre vibración y temperatura
- c) Gráfico de correlación entre vibración y humedad del substrato
- d) Gráfico de correlación entre humedad y vibración
- e) Gráfico de correlación entre humedad y temperatura
- f) Gráfico de correlación entre humedad y humedad del substrato
- g) Gráfico de correlación entre temperatura y vibración
- h) Gráfico de correlación entre temperatura y humedad
- i) Gráfico de correlación entre temperatura y humedad del substrato
- j) Gráfico de correlación entre humedad del substrato y vibración
- k) Gráfico de correlación entre humedad del substrato y humedad
- l) Gráfico de correlación entre humedad del substrato y temperatura

Las bases de datos adquiridas demostraron el desempeño de los paneles verdes en el caso de la maqueta juntamos en total: 384,046, número de observaciones, conformando una muestra cuantitativa. Un resumen de las medidas de tendencia central, para las 4 variables de la muestra “Base de datos maqueta”, ver (Tabla 13).

Tabla 13. Estadística descriptiva: medidas de tendencia central para la muestra.

Vibración		Humedad Relativa	Temperatura	Humedad del substrato	
Dato adquirido	(%)	Dato adquirido (%)	Dato adquirido	Dato adquirido	(%)
Mín.: 0.4888	0.25	Mín.: 7	Mín.: 4 °C	Mín.: 0.16pF	0.006
1er Cu.: 7.3314	3.82	1er Cu.: 24	1er Cu.: 13 °C	1er Cu: 29.84pF	1.20
Media: 8.8436	4.61	Media: 36.57	Media: 15.35 °C	Media:160.3pF	6.46
3er Cu.: 8.7977	4.59	3er Cu.: 49	3er Cu.: 17 °C	3er Cu:209.56pF	8.45
Máx.:191.5933	100	Máx.: 88	Máx.: 30 °C	Máx.:2479.82pF	100

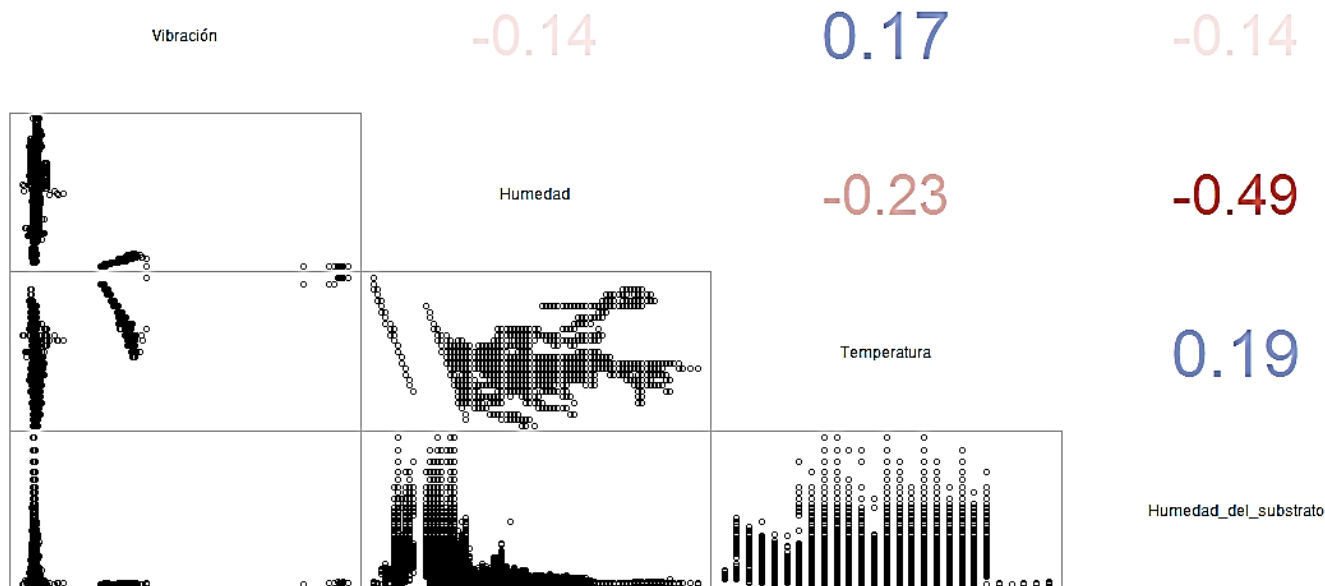


Figura 49. Matriz de dispersión entre nubes de puntos y coeficientes de correlación.

Ahora efectuamos el análisis de correlación “Pearson”, para conocer los coeficientes “R”, ver (Figura 49). La gráfica ilustrada en la Figura 49 es un correlograma; muestra los coeficientes de correlación entre las variables ordenadas en renglones y columnas, se muestran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: en la primer casilla de número **-0.14** es el coeficiente que se obtuvo por correlacionar la variable vibración y la humedad relativa, en la segunda casilla de número **0.17** es el coeficiente que resultó por correlación de la variable vibración y la temperatura, en la tercera casilla de número **-0.14** es el coeficiente de correlación resultante de la variable vibración y la humedad del substrato. Ahora seguimos en el segundo renglón; el primer coeficiente es **-0.23** y resultó de por la correlación de la variable humedad relativa y la temperatura, el segundo coeficiente de número **-0.49** es el resultado de la correlación entre variables: humedad relativa y humedad del substrato. En el tercer renglón sólo existe un coeficiente de número **0.19**, resultante de la correlación entre la temperatura y la humedad del substrato.

Primera ecuación de regresión lineal; para las variables “temperatura” y “humedad relativa”, es pertinente realizar el análisis de regresión lineal, utilizando una transformada para ajustar los valores atípicos.

La ecuación descrita en el siguiente párrafo, se le asignó como variable dependiente a la temperatura y como variable independiente a la humedad, de dicha forma el modelo de predicción tenía problemas de estacionalidad [17], por lo tanto, se le añadió una transformación mediante logaritmos de base 10, términos cuadráticos, primeras diferencias y medias móviles de orden 1 y 2.

Al terminar el análisis de las gráficas de residuos, los valores atípicos que hacían que los valores fuera de la media por 2 o 3 desviaciones estándar, hacían que los demás valores no se ajustarán a la recta de

probabilidad, por lo tanto, se le agregaron variables “dummies” o ficticias, y quitando los valores atípicos, para corregir el desajuste, dando los siguientes resultados, resumidos por la ecuación:

Ec. 1

$$\begin{aligned} \Delta(\log(Temperatura)) &= -0.0144 * \Delta(Humedad) + 0.1151(\Delta(\log(Humedad^2))) + 0.0369 * Dummy_{8316} \\ &- 0.3492 * Dummy_{45119} - 0.7283 * Dummy_{189798} + [MA(1) = -0.6299, MA(2) \\ &= 0.0054] \end{aligned}$$

Estadístico-t, para los coeficientes, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$:

$(-1120.2847)^{***}(477.3974)^{***}(188.4744)^{***}(-12.8486)^{***}(-16.4321)^{***}$

Donde:

Δ = primeras diferencias

log = logaritmo base 10

MA = Moving Average o media móvil de orden 1 y de orden 2.

La ecuación 1 nos dice que, cuando la temperatura varía negativamente 1.4 %, mientras la humedad es cero. Es decir, que cuando la humedad aumenta, la temperatura disminuye. Así que la relación entre variables es inversamente proporcional entre ellas.

Tabla (14) de los resultados del análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados.

Tabla 14. Resultados de la regresión de las variables humedad y temperatura.

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Probabilidad
$\Delta(Humedad)$	-0.0144	1.2918e-05	-1120.2847	0.0000
$\Delta(\log(Humedad^2))$	0.1151	0.0002	477.3974	0.0000
D_8316	0.0369	0.0001	188.4744	0.0000
D_45119	-0.3492	0.0271	-12.8486	8.9151e-38
D_189798	-0.7283	0.0443	-16.4321	1.1811e-60
MA (1)	-0.6299	8.2715e-05	-7576.5734	0.0000
SIGMASQ	0.0002	2.5884e-08	6322.2594	0.0000
R^2	0.3355	Media de la variable dependiente		-1.6848e-07
R^2	0.3355	Desviación estándar “”		0.0156
Error Estándar en la Regresión	0.0127	Información criterio Akaike		-5.8798
Suma de los residuos al cuadrado	62.8480	Criterio Schwarz		-5.8796
Log verosimilitud	1129069.0631	Criterio Hannan-Quinn.		-5.8798
Estadístico Durbin-Watson	2.0066			

Para justificar las 3 variables “dummies”, se presentan las siguientes gráficas con un muestreo del rango de valores en donde existe un desajuste por valores atípicos en la muestra estadística, los cuales salían de 2 a 3 desviaciones estándar fuera de la media, ver (Figura 50 a Figura 52).

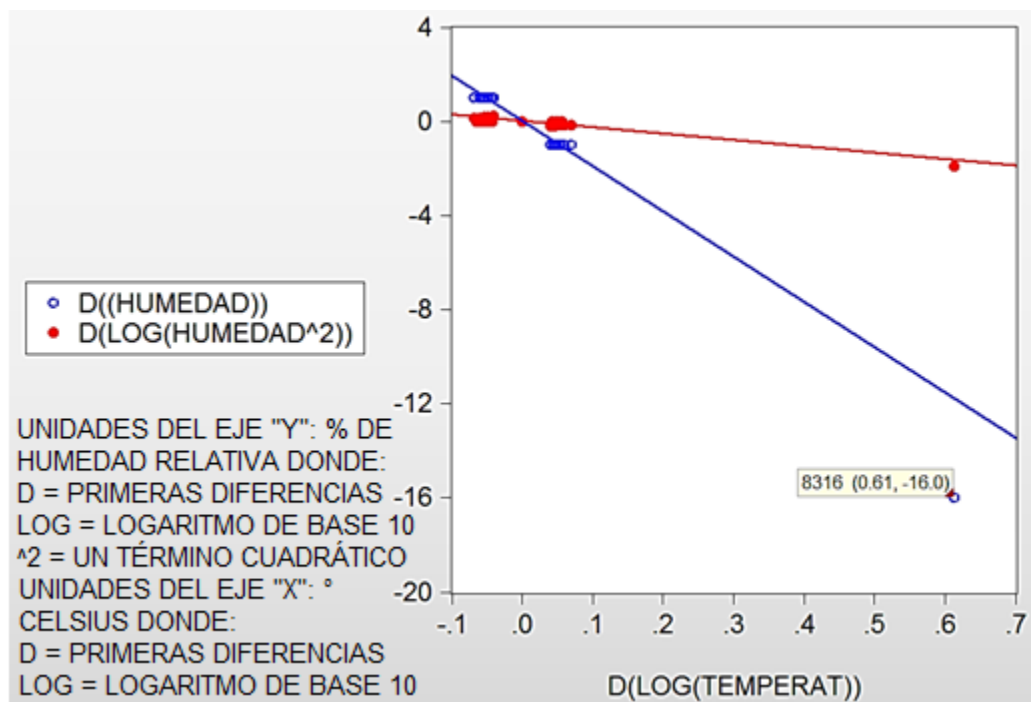


Figura 50. Gráfica de dispersión para valores atípicos en la muestra con rango [8315,9210].

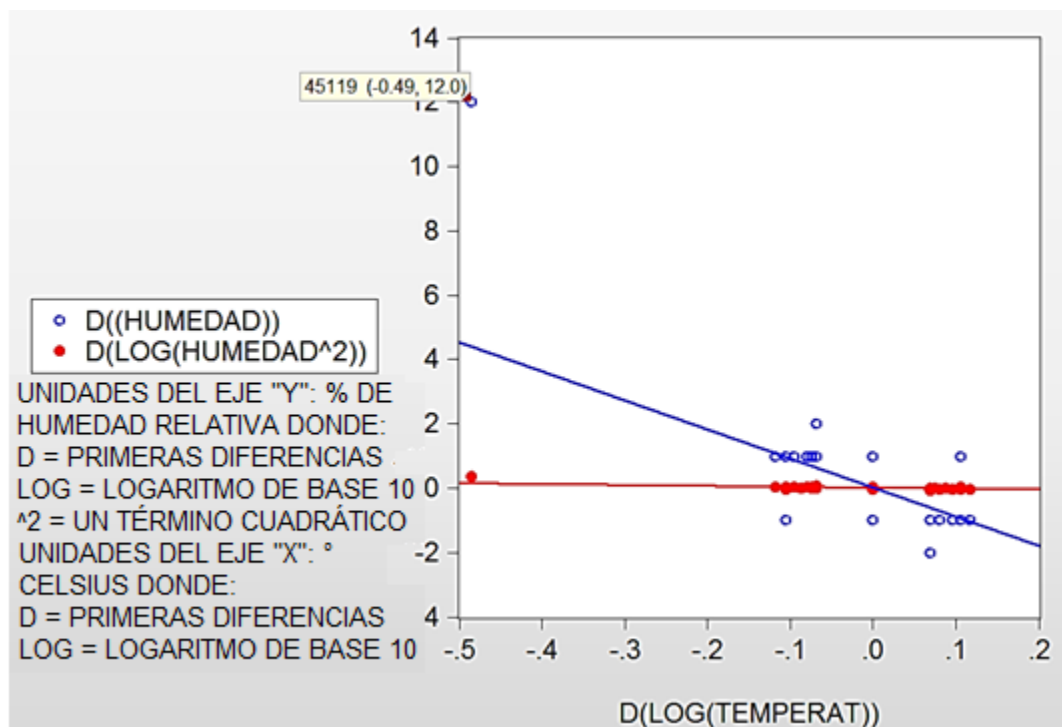


Figura 51. Gráfica con valores atípicos para el rango [45118,47000].

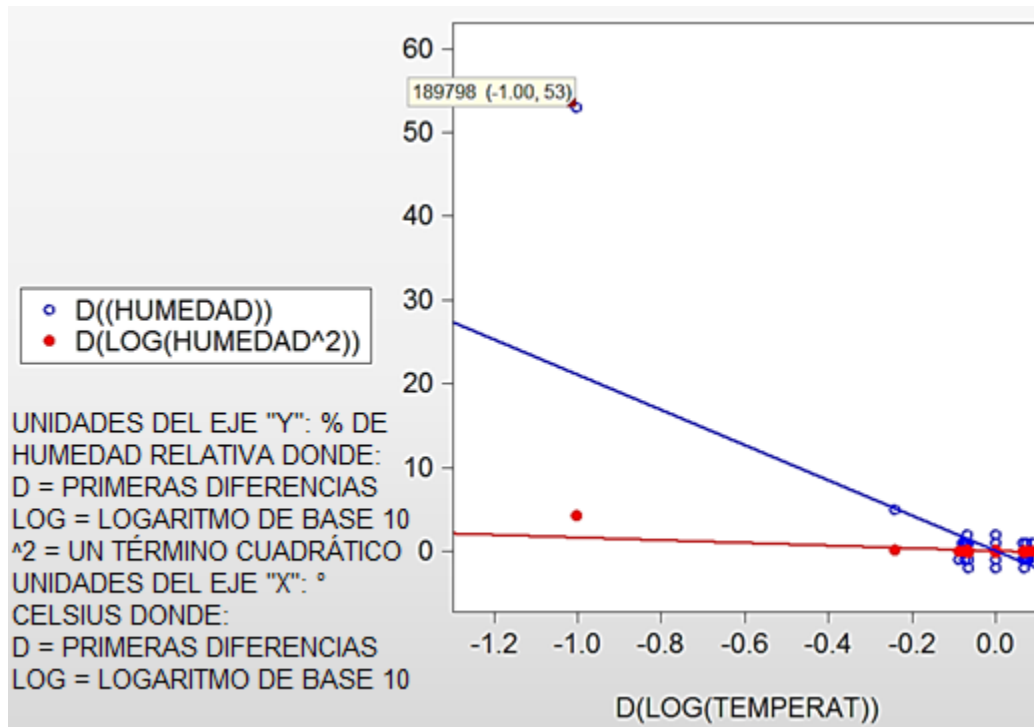


Figura 52. Gráfica de dispersión con línea de ajuste para el rango [189797,190000].

Ahora se puede graficar la ecuación de regresión con línea ajustada para el modelo de regresión puede estimar en corto plazo. Ver (Figura 53).

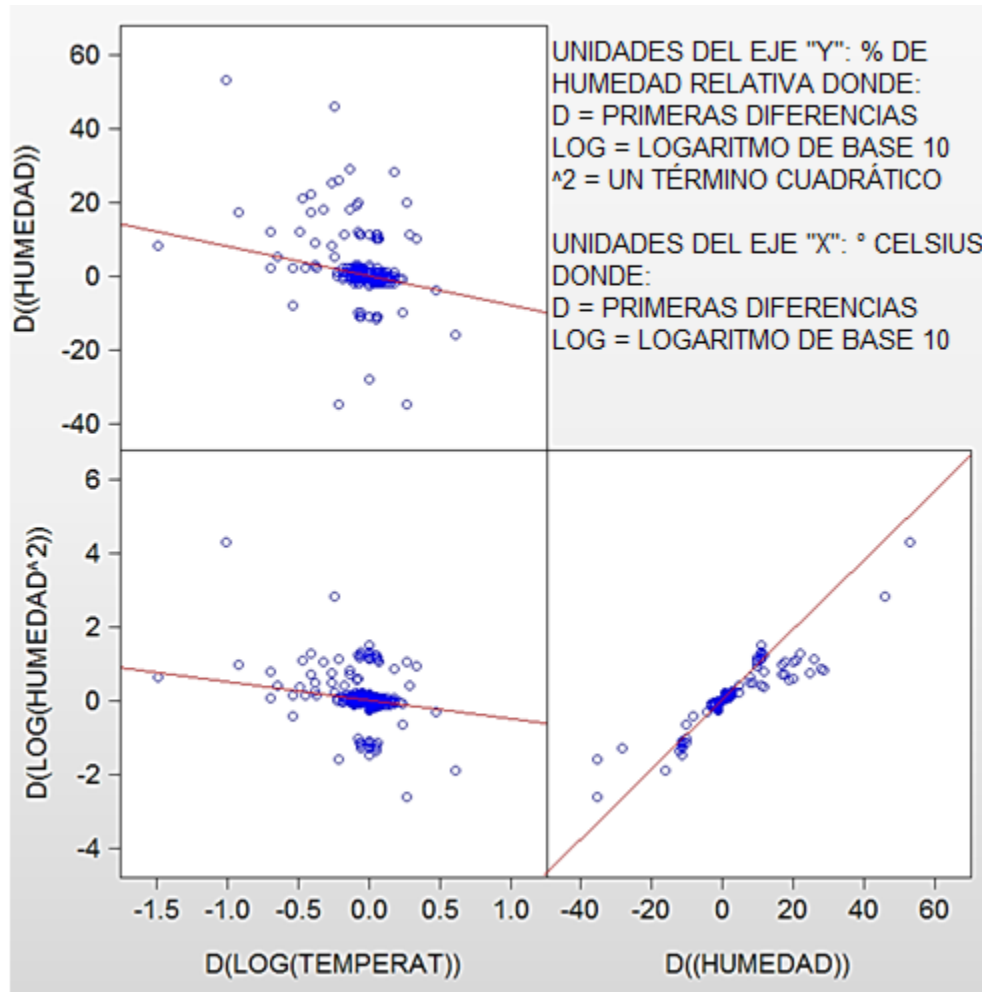


Figura 53. Gráfica de dispersión con línea de ajuste para ecuación 1.

La ecuación (1) indica que la temperatura y la humedad tienen una relación inversamente proporcional, la cual se manifiesta mediante la recta con una pendiente de inclinación negativa hacia la derecha, describiendo el comportamiento de las variables con sus coeficientes β_1 y $(\beta_2)^2$, el cual demuestra el significado estadístico de la pendiente para la ecuación.

Segunda ecuación de regresión lineal; para las variables humedad del sustrato y la humedad relativa atmosférica, a razón de su coeficiente de correlación " R " = -0.49, se realizaron los cálculos por el método de mínimos cuadrados, además de hacer el análisis de regresión lineal, se aplicó primeras diferencias para hacer una serie de tiempo no estacionaria, además de una media móvil de orden 1, para corregir los problemas de autocorrelación, una vez que se substituyeron las observaciones atípicas por las variables "dummies", se analizaron las gráficas de residuales y mostraron una distribución normal, se substituyeron

los coeficientes obtenidos por el método de mínimos cuadrados y se obtuvo la siguiente ecuación se asignó como variable dependiente; humedad, y como variable independiente: humedad del sustrato.

Ec. 2

$$\Delta(\text{Humedad}) = 8.1594 * 10^{-5} * \Delta(\text{Humedad_del_sustrato}) + 53.2261 * \text{Dummy}_{189798} + 2.5991 * \text{Dummy}_{204485} + [\text{MA}(1) = -0.6436]$$

Estadístico-t, para los coeficientes, β_1 , β_2 , β_3 .

(9.7941)***(55.379)***(186.9075)***

Donde:

Δ =primeras diferencias

log=logaritmo base 10

MA=Moving Average o media móvil de orden 1.

La ecuación 2 indica que la humedad relativa atmosférica, no se ve infringida por la humedad del sustrato por sus coeficientes de regresión, substituidos en la ecuación y mostrados en la siguiente Tabla (15), de los resultados de la regresión por el método de mínimos cuadrados.

Tabla 15. Resultados de la regresión, variable dependiente: Humedad relativa, variable independiente: Humedad del sustrato.

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Prob.
$\Delta(\text{Humedad del sustrato})$	8.1594e-05	8.3309e-06	9.7941	1.2005e-22
D_189798	53.2260	0.9611	55.3790	0.0000
D_204485	2.5991	0.01390	186.9075	0.0000
MA (1)	-0.6436	0.0001	-6300.0600	0.0000
SIGMASQ	0.36181	5.8396e-05	6195.8265	0.0000
R ²	0.3071	Media de variable dependiente		-6.7700e-05
R ² Ajustada	0.3071	Desviación Estándar ""		0.7226
Error Estándar en la Regresión	0.6015	Información criterio Akaike		1.8212
Suma de los residuos al cuadrado	138952.2851	Criterio Schwarz		1.8214
Log verosimilitud	-349720.8491	Criterio Hannan-Quinn		1.8213
Estadístico Durbin-Watson	2.012860			

Para justificar las variables “dummies”, se tuvo que agregar las gráficas de dispersión, señalando, los valores que hacían que la regresión no se ajustara, ver (Figura 54 y Figura 55).

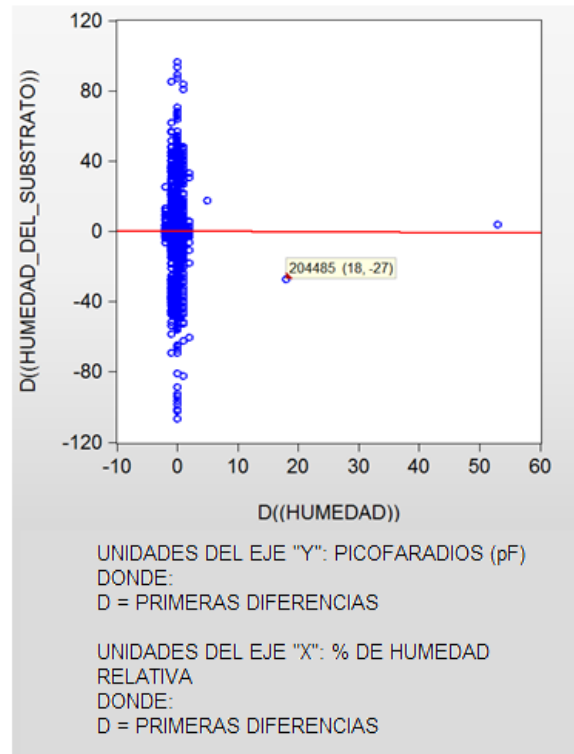


Figura 54. Gráfica de dispersión para dummy, rango [204485,204495].

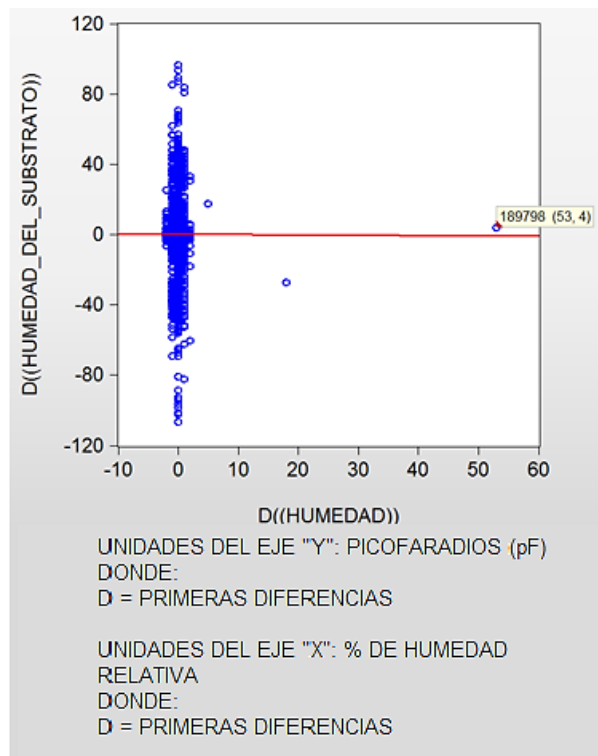


Figura 55. Gráfica de dispersión para dummy con el rango [189798,204495].

La gráfica de dispersión para estimar con la ecuación el comportamiento de la humedad del sustrato en el panel verde, observar (Figura 56).

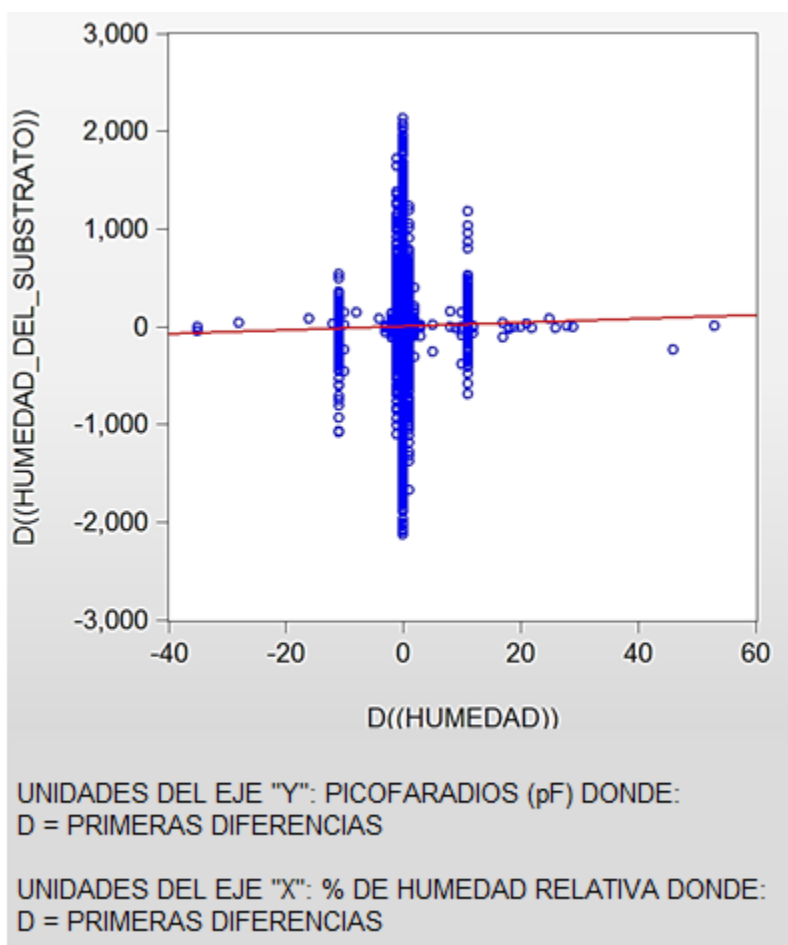


Figura 56. Gráfica de dispersión para humedales registradas a nivel atmosférico y en el subsuelo del pasto que cubría al panel verde (ecuación 2).

Al analizar la gráfica anterior ver (Figura 51) y los coeficientes de la ecuación 2, determinamos que la humedad del sustrato no se ve afectada por la humedad relativa atmosférica, dada la pendiente de la recta la cual es muy cercana a la horizontal y su ordenada al origen cruza muy cerca del valor 0 del eje “y”.

Experimento del interior de la oficina de trabajo (edificio “F” del Centro Universitario UAEM Valle de México) y sus resultados:

El análisis estadístico efectuado para las 141,734 observaciones generadas por el sistema de monitorización de variables físicas, al igual que la muestra anterior, en esta muestra, primero efectuamos el análisis de gráficas de dispersión por medio de una matriz de dispersión, ver (Figura 57), en la cual, destaca la similitud con la dispersión encontrada entre la variable “humedad” y la variable “temperatura” de la muestra analizada anteriormente, tienen forma de nubes, con una línea diagonal formada por puntos a la izquierda de donde se agrupan la mayor cantidad de observaciones. Después de analizar el gráfico de dispersión, se llevó a cabo el análisis de correlación con el método de “Pearson”. Ver (Figura 58).

Para la base de datos en el interior de la oficina del edificio “F” (oficina de trabajo) efectuamos un análisis de regresión no lineal y obtuvimos 3 modelos de ecuaciones. Dichas ecuaciones tuvieron coeficientes de correlación de más de 0.5, al correr la regresión con variable independiente a la temperatura y las variables dependientes: humedad y humedad al cuadrado, encontramos un coeficiente que mostraba que la temperatura era altamente influenciada por la humedad, mucho más que en cualquiera de las otras muestras tomadas de los experimentos del prototipo y el de los exteriores, indicando que para los cambios en magnitudes atmosféricas en este caso humedad relativa y temperatura en el interior de un edificio con techo plano sin aislante térmico (paneles verdes) los cambios en la temperatura y en la humedad son mucho más notorios y están mayormente correlacionados entre ellos que en el interior de un cuarto u oficina con un techo aislado con el sistema de paneles verdes ya sea que hablemos de techos verdes o jardines verticales, incluso en el exterior del edificio y del prototipo las magnitudes de temperatura y humedad relativa no eran tan notables como en el caso de la muestra del edificio “F” (oficina de trabajo). Las demás ecuaciones; la cuarta y la quinta se asignaron como variable independiente a la cantidad de luz y las variables dependientes la temperatura y la variable humedad para cada una de las ecuaciones, dichas ecuaciones no obtuvieron coeficientes de β_1 , estadísticamente significativos y sus pendientes y ordenadas al origen no eran realmente importantes por lo cual el único modelo de estimación con predicciones precisas para esta muestra fue la ecuación número 3.

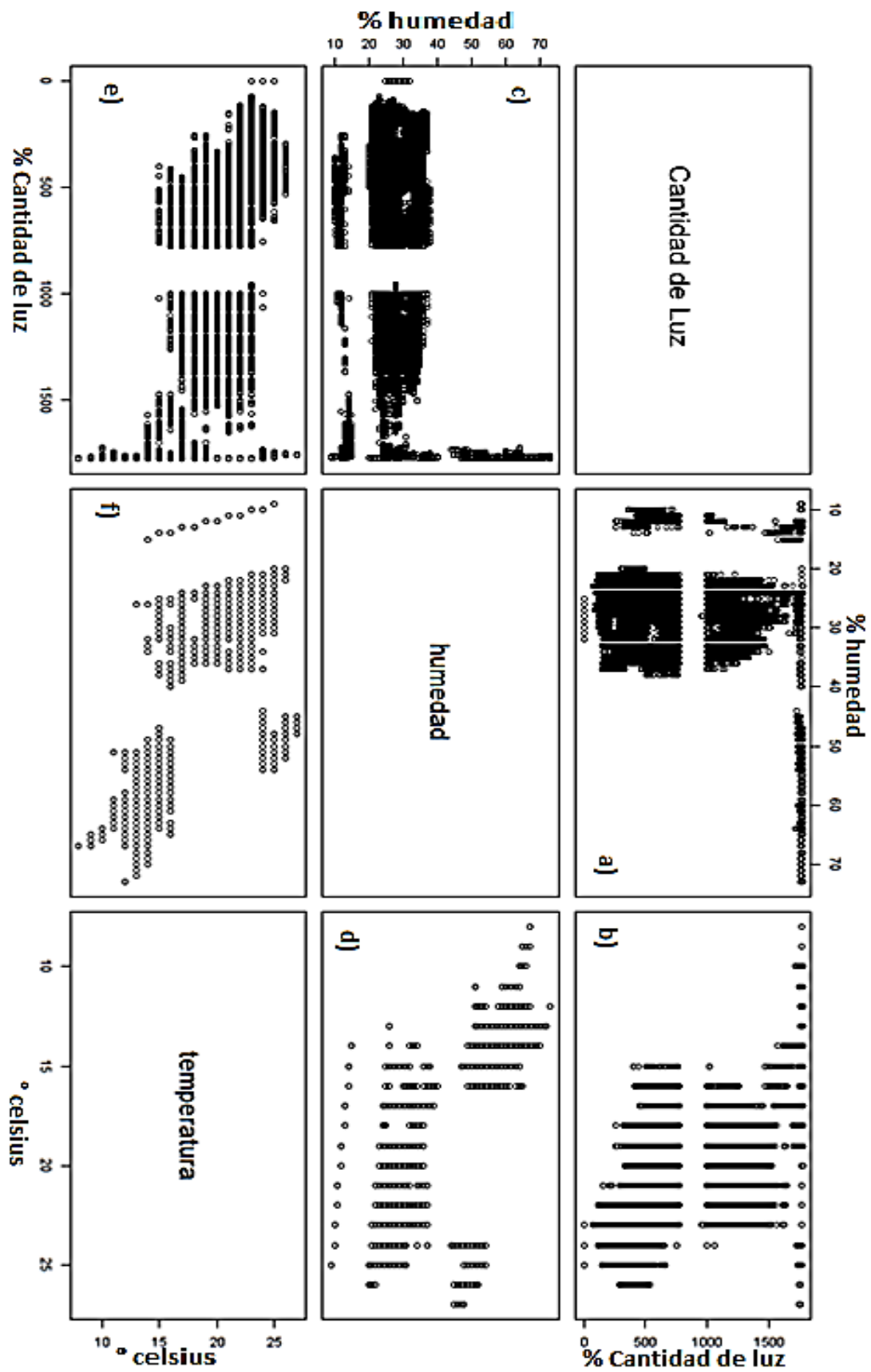


Figura 57. Gráfica de dispersión entre variables para el interior.

La matriz de dispersión de la Figura (57), muestra las gráficas de dispersión en un orden matricial, el cual está representado por 3 renglones y 3 columnas, de las cuales cada rectángulo de la matriz es una gráfica de dispersión con las variables relacionadas entre ellas.

- a) Gráfica de correlación entre cantidad de luz y humedad
- b) Gráfica de correlación entre cantidad de luz y temperatura
- c) Gráfica de correlación entre humedad y cantidad de luz
- d) Gráfica de correlación entre humedad y temperatura
- e) Gráfica de correlación entre temperatura y cantidad de luz
- f) Gráfica de correlación entre temperatura y humedad

Los resultados de las medidas de tendencia central mediante estadística descriptiva se resumen en la siguiente Tabla (16).

Tabla 16. Medidas de tendencia central para variables en el interior edificio “F”.

Cantidad de luz		% Humedad	Temperatura (°C)
Dato adquirido	(%)	Dato adquirido	Dato adquirido
Min.: 0	0	Min.: 9	Min.: 8
1er Cu.: 655	36.85	1er Cu.: 23	1er Cu.: 15
Media: 1193	67.13	Media: 34.71	Media: 18.46
3er Cu.: 1772	99.71	3er Cu.: 51	3er Cu.: 21
Máx.: 1777	100	Máx.: 73	Máx.: 27



Figura 58. Correlograma coeficientes de correlación “Pearson”.

Las variables con coeficientes de relación con mayor valor absoluto son humedad y temperatura (-0.74), y temperatura y cantidad de luz (-0.71). Sin embargo, la correlación entre cantidad de luz y humedad (0.55), no debe descartarse, ver (Figura 58).

Se efectúa el análisis de regresión lineal simple, por orden de mayor a menor, valor de coeficiente de correlación. Variable dependiente: temperatura, variable independiente: humedad. Se aplicó el modelo GARCH (Generalizado Autorregresivo Condicional Heterocedástico) para calcular los coeficientes de regresión entre las variables temperatura y humedad relativa, debido a que su alta volatilidad hacía que sus coeficientes β_1 , β_2 no tenían el mismo signo negativo que el coeficiente de correlación “Pearson”, para las variables humedad y temperatura. Su varianza no tenía la constancia al transcurrir el tiempo y, por lo tanto, se recurrió a modelar la serie de tiempo mediante el modelo GARCH [18].

Tercera ecuación para observaciones de humedad y temperatura registradas en el interior del edificio “F” (oficina de trabajo).

Ec. 3

$\Delta(Temperatura)$

$$= -1.8978 * \Delta(\log(Humedad)) + 0.0001 * \Delta(Humedad)^2 + 1.9557 * Dummy_{132732} + 3.9391 * Dummy_{79613} - 10.0166 * Dummy_{81513} - 1.9408 * Dummy_{87248} + [MA(1) = -0.7439]$$

Estadístico-Z, para coeficientes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$:

$$(-1264.09)^{***} (115.3766)^{***} (68.4684)^{***} (1038.059)^{***} (-2791.554)^{***} (-35.57716)^{***}$$

Ecuación de la varianza

$$GARCH = 0.0003 + 0.0671 * RESIDUOS(-1)^2 + 0.9284 * GARCH(-1)$$

$$(879.2257)^{***} \quad (242.9743)^{***} \quad (11259.75)^{***}$$

Donde:

Δ =primeras diferencias

log=logaritmo base 10

MA=Media Móvil de orden 1

GARCH= Generalizado Autorregresivo Condicional Heterocedástico

Tabla 17. Resultados de la regresión de las variables: humedad relativa atmosférica y temperatura del aire.

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico-z	Prob.
$\Delta(\log(Humedad))$	-1.89782	0.001501	-1264.049	0.0000
$\Delta(Humedad)^2$	0.000174	1.51E-06	115.3766	0.0000
D_132732	1.955702	0.028564	68.46840	0.0000
D_79613	3.939071	0.003795	1038.059	0.0000
D_81513	-10.01668	0.003588	-2791.554	0.0000
D_87248	-1.940835	0.054553	-35.57716	0.0000
MA (1)	-0.743944	0.002071	-359.2208	0.0000
Ecuación de la varianza				
C	0.000348	3.96E-07	879.2257	0.0000
RESID (-1)	0.067114	0.000276	242.9743	0.0000
GARCH (-1)	0.928397	8.25E-05	11259.75	0.0000
R^2	0.209601	Media de la variable dependiente		-7.76E-05
R^2 ajustada	0.209567	Desviación estándar “”		0.215777
Error Estándar en la Regresión	0.191839	Información criterio Akaike		-1.882341
Suma de los residuos al cuadrado	5215.845	Criterio Schwarz		-1.881645
Log verosimilitud	1333404.9	Criterio Hannan-Quinn		-1.882133
Estadístico Durbin-Watson	1.702067			

Para la justificación de las “dummies”, se muestran sus gráficas de dispersión, con las cuales demuestran

los valores observados que salen de 2 a 3 desviaciones estándar de la media. Ver (Figura 59 hasta Figura 62).

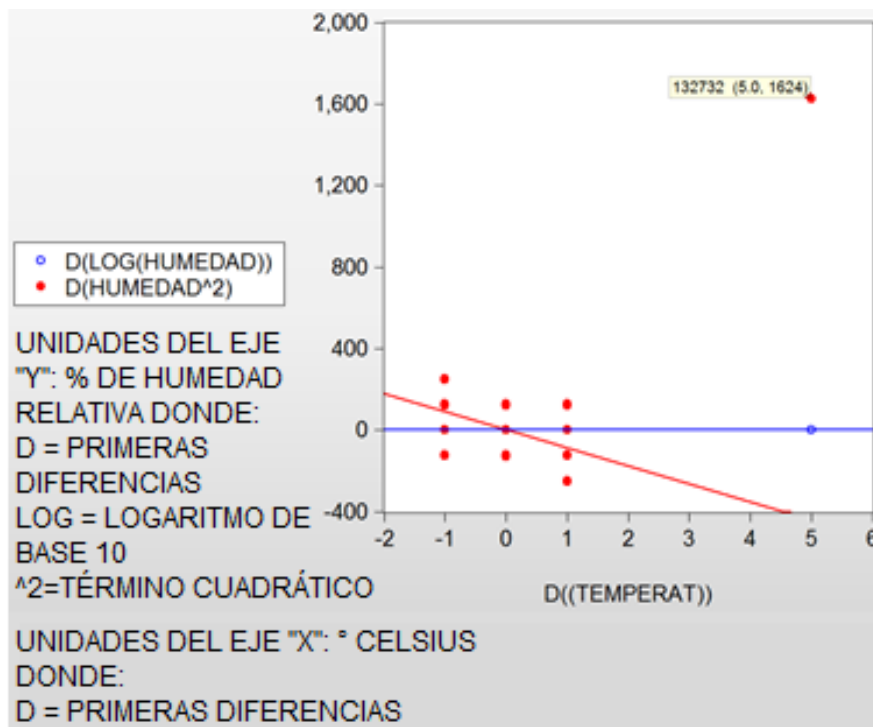


Figura 59. Dummy para observación #132732, se muestra solo el rango de [132731,136402].

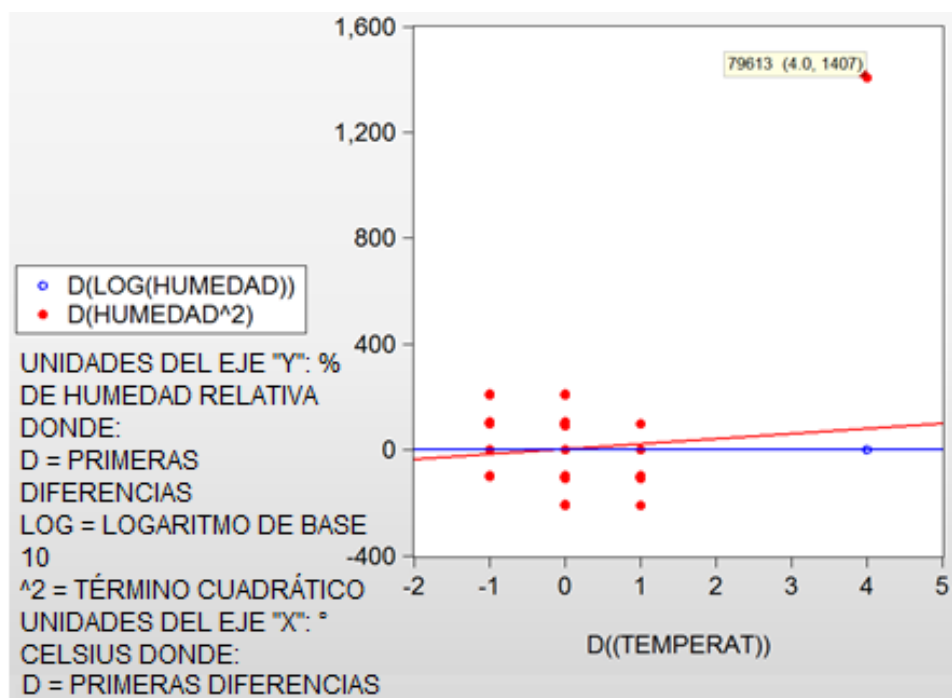


Figura 60. Variable ficticia para la observación #79613, gráfica de dispersión con rango de observaciones [79612,83051].

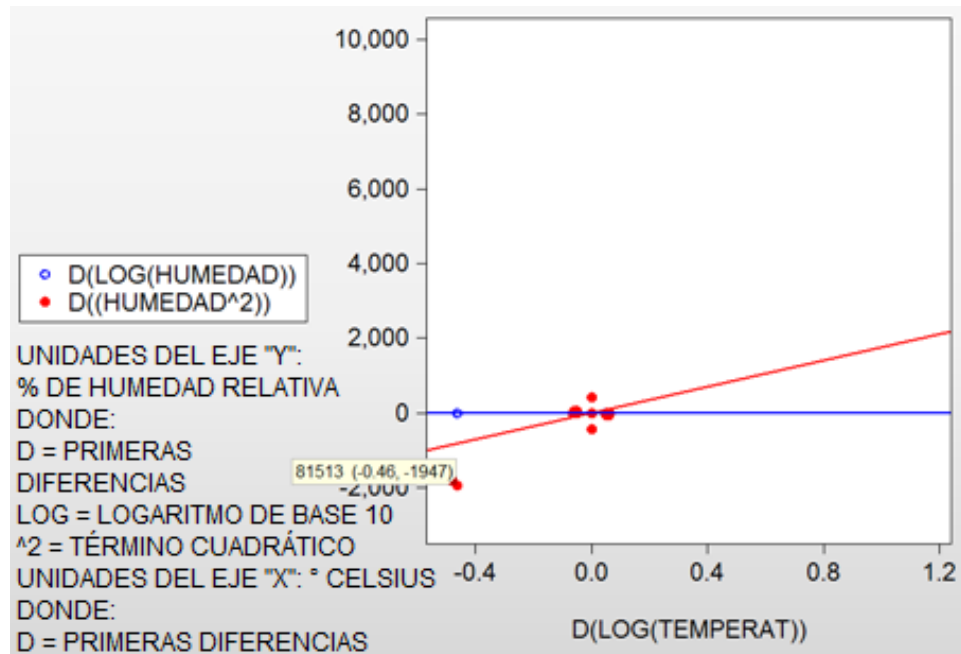


Figura 61. Señalamiento de la observación #81513 atípica para el rango [81512,84200].

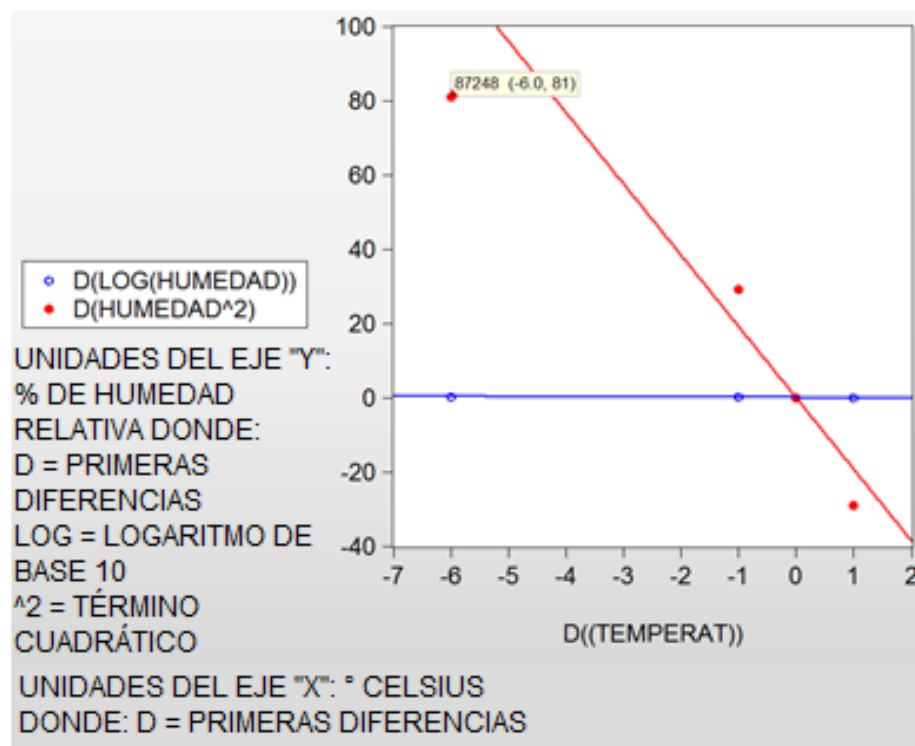


Figura 62. Dummy para el valor observado #87248, mostrando el rango [87247,88600].

A continuación, se muestra una gráfica con la dispersión para mostrar el ajuste entre los datos y la línea de regresión, ver (Figura 63).

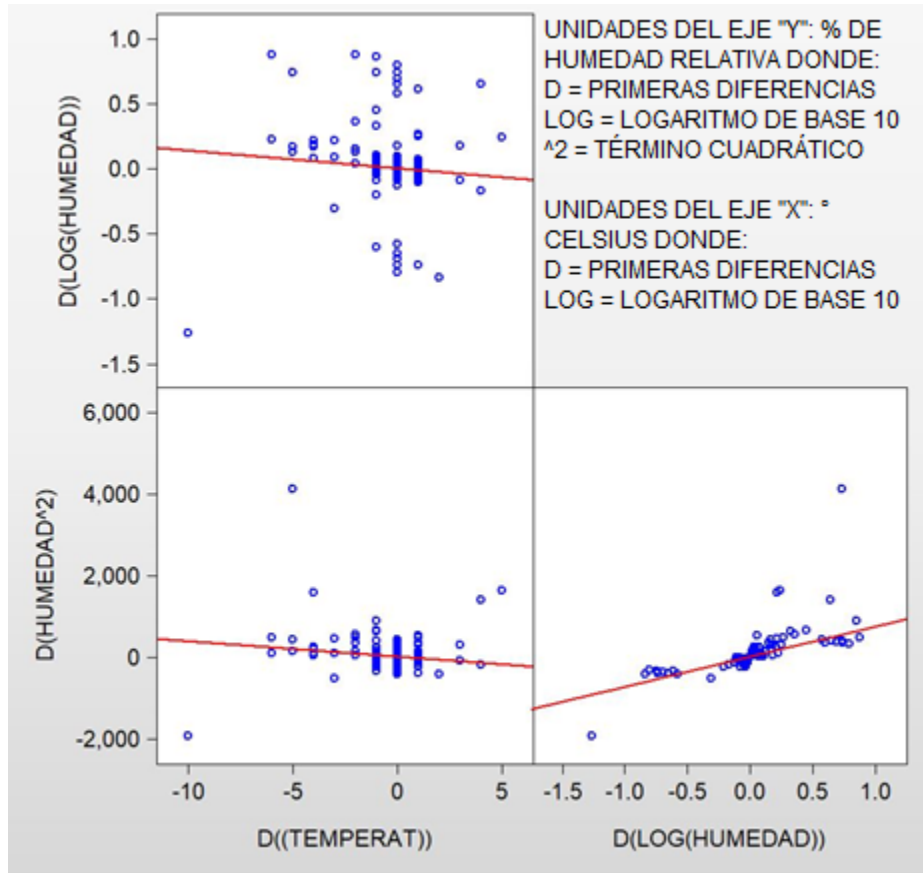


Figura 63. Observaciones en la regresión entre temperatura y humedad.

En base a los resultados y resúmenes estadísticos, se puede decir, con una confiabilidad bastante alta que las estimaciones de la temperatura en el edificio F son verdaderamente precisas, si nos basamos en el modelo, explicado por la ecuación (3).

Cuarta ecuación de regresión lineal para variables temperatura y cantidad de luz en el interior del edificio, por medio del método de mínimos cuadrados.

Ec. 4

$$\begin{aligned} \Delta(\text{Cantidad de luz}) &= -0.8876 * \Delta(\text{Temperatura}) - 14.1756 * \text{Dummy}_{89879} + 1213.1283 \\ &* \text{Dummy}_{89928} + 126.6896 * \text{Dummy}_{90348} + 14.0362 * \text{Dummy}_{91867} + [MA(1)] \\ &= -0.0999 \end{aligned}$$

Estadístico-t, para coeficientes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$:

$$(-3.6439)**(-60.4476)*** (11.3021)*** (732.7058)*** (63.5492)***$$

Donde:

Δ =primeras diferencias

log=logaritmo base 10

MA=Moving Average o media móvil de orden 1.

Tabla 18. Resultados de la regresión, variable dependiente: Cantidad de luz, y variable independiente: Temperatura.

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Prob.
$\Delta(Temperatura)$	-0.8887	0.2439	-3.6439	0.0002
D_89879	-14.1756	0.2345	-60.4476	0.0000
D_89928	1213.1283	107.3359	11.3021	1.3812e-29
D_90348	126.6896	0.1729	732.7058	0.0000
D_91867	14.0362	0.2208	63.5492	0.0000
MA (1)	-0.0999	0.0002	-490.1268	0.0000
SIGMASQ	333.5386	0.0571	5833.8049	0.0000
R^2	0.0899	Media de la variable dependiente		-3.6706e-05
R^2 Ajustada	0.0898	Desviación estándar “”		19.1448
Error estándar de la regresión	18.2642	Información criterio Akaike		8.6478
Suma de los residuales al cuadrado	18173521.39	Criterio Schwarz		8.6490
Log verosimilitud	-235591.8728	Criterio Hannan-Quinn		8.6482
Estadístico Durbin-Watson	1.9838			

Las variables “dummies” se justifican mediante las siguientes gráficas de dispersión, donde se muestran las observaciones atípicas para la regresión. Ver Figuras (64 - 67).

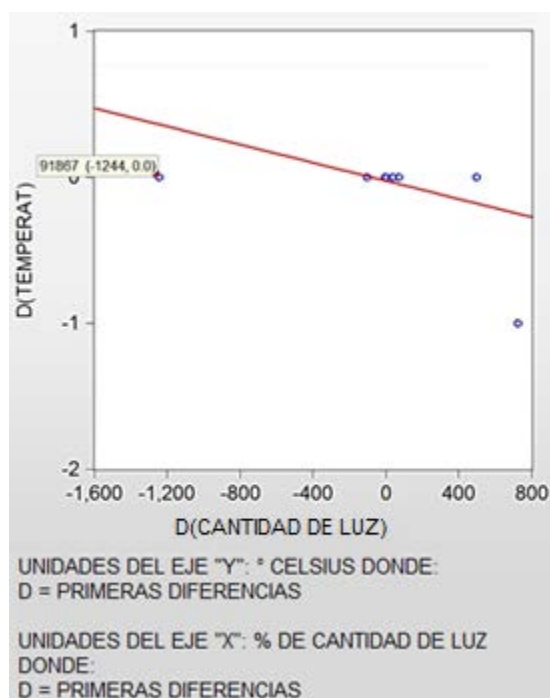


Figura 64. Observación atípica #91867, con gráfica de dispersión y línea de ajuste.

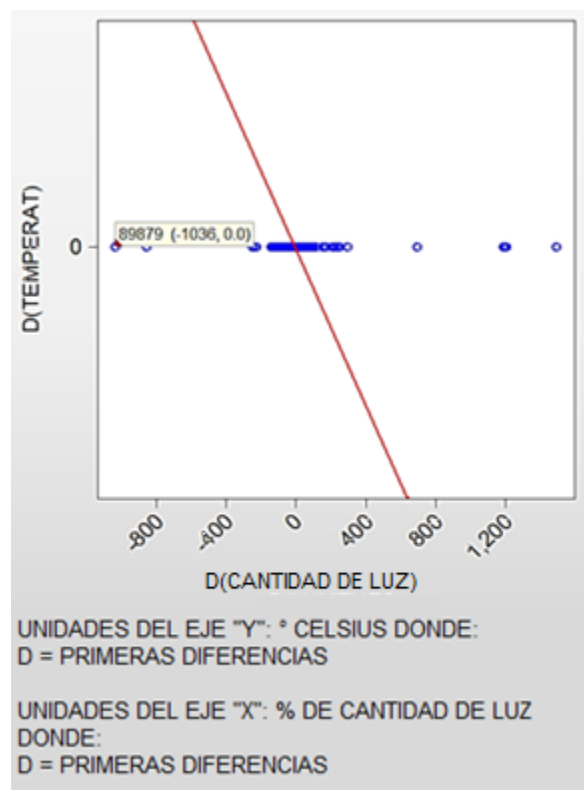


Figura 65. Dispersión para la observación atípica #89879, para mostrar el desajuste en la regresión.

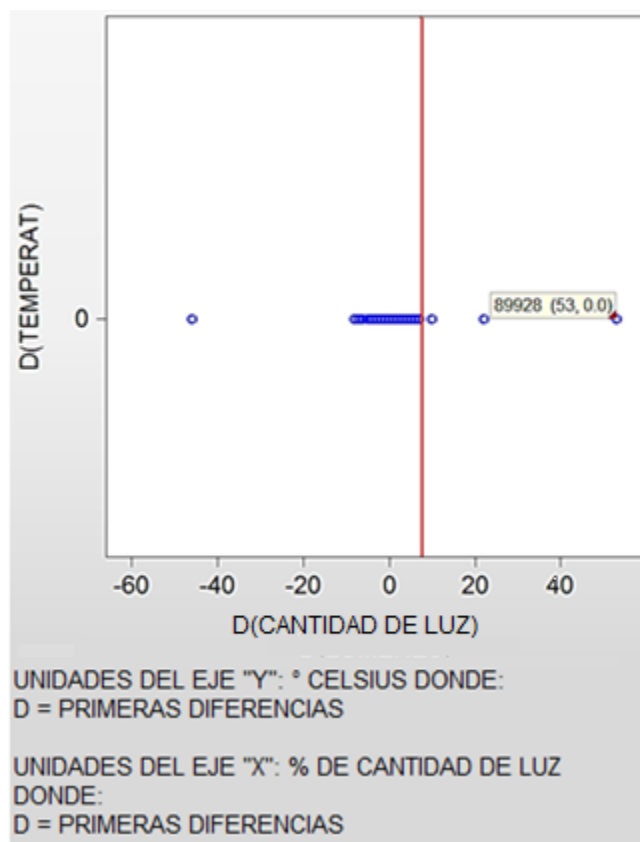


Figura 66. Observación atípica #89928, para mostrar el desajuste de la regresión.

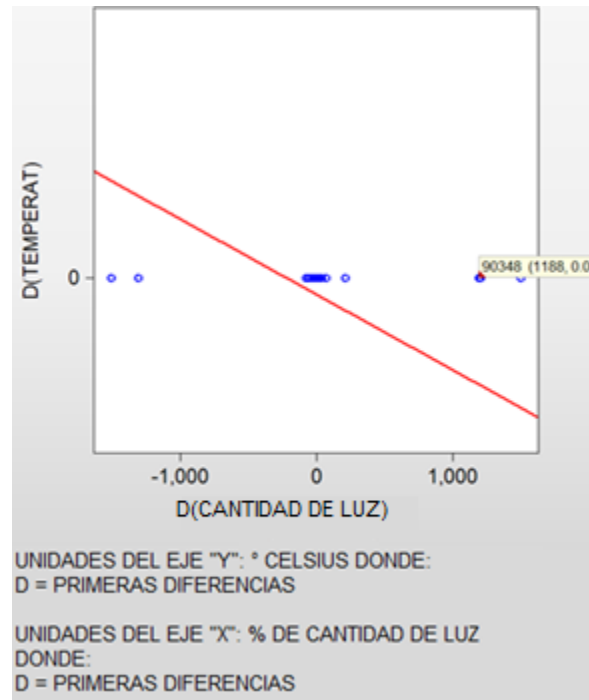


Figura 67. Observación atípica #90348, para sustituirla por la variable “dummy”.

Para la segunda ecuación de regresión se muestra la gráfica de dispersión con las transformaciones en la variable dependiente y en la variable independiente, ver (Figura 68).

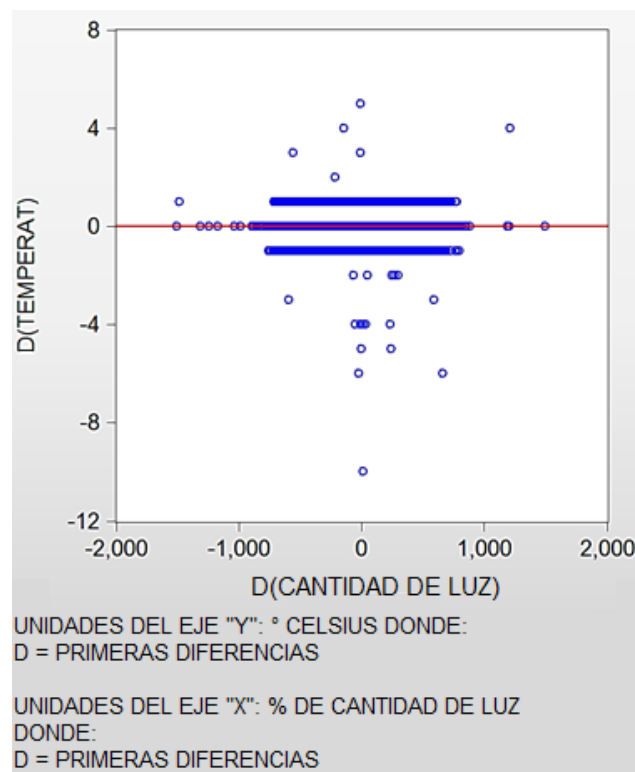


Figura 68. Gráfica de dispersión con las observaciones para la temperatura y cantidad de luz.

La ecuación (4) indica que los cambios en la variable dependiente: lúmenes, no tienen efecto sobre la variable independiente: temperatura ni viceversa, esto es, debido a que la línea de predicción del comportamiento es recta y horizontal sin algún ángulo de inclinación o pendiente.

Tercera ecuación de regresión lineal para el edificio “F”, variable dependiente cantidad de luz y variable independiente humedad relativa:

Ec. 5

$$\begin{aligned}\Delta(\text{Cantidad de luz}) &= 140.9273 * \Delta(\log(\text{Humedad})) - 10.4568 * \text{Dummy}_{89879} + 94.4652 \\ &* \text{Dummy}_{90348} + 4.2977 * \text{Dummy}_{90485} + 25.6793 * \text{Dummy}_{91867} + [MA(1)] \\ &= -1.3119, MA(2) = 0.4379\end{aligned}$$

Estadístico-t, para coeficientes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$:

(28.4098)***(-16.7162)***(94.185)***(8.2657)***(21.2859)***

Donde:

Δ =primeras diferencias

log=logaritmo base 10

MA=Moving Average o media móvil de orden 1 y de orden 2.

Tabla 19. Resultados de la regresión, variable dependiente: Cantidad de luz, y variable independiente: Humedad.

Variable	Coficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Prob.
$\Delta(\log(\text{Humedad}))$	140.9273	4.9605	28.4098	4.8150e-177
D_89879	-10.4568	0.6255	-16.71620	1.1472e-62
D_90348	94.4652	1.0029	94.1850	0.0000
D_90485	4.2377	0.5126	8.2657	1.3998e-16
D_91867	25.6793	1.2063	21.2859	2.2005e-100
MA (1)	-1.3119	0.0010	-1255.6653	0.0000
MA (2)	0.4379	0.0011	380.4902	0.0000
SIGMASQ	16272.8043	36.3603	447.54288	0.0000
R ²	0.6832	Media de la variable dependiente		0.0100
R ² Ajustada	0.6832	Desviación Estándar “”		226.6680
Error Estándar en la regresión	127.5685	Información criterio Akaike		12.5352
Suma de los residuales al cuadrado	2306393382.6835	Criterio Schwarz		12.5358
Log verosimilitud	-888321.7272	Criterio Hannan-Quinn		12.5354
Estadístico Durbin-Watson	2.0987			

Las variables “dummies” se justifican mediante las siguientes dispersiones donde se señalan las observaciones que jalar a los demás valores fuera de la línea de regresión, ver Figuras (69 - 72).

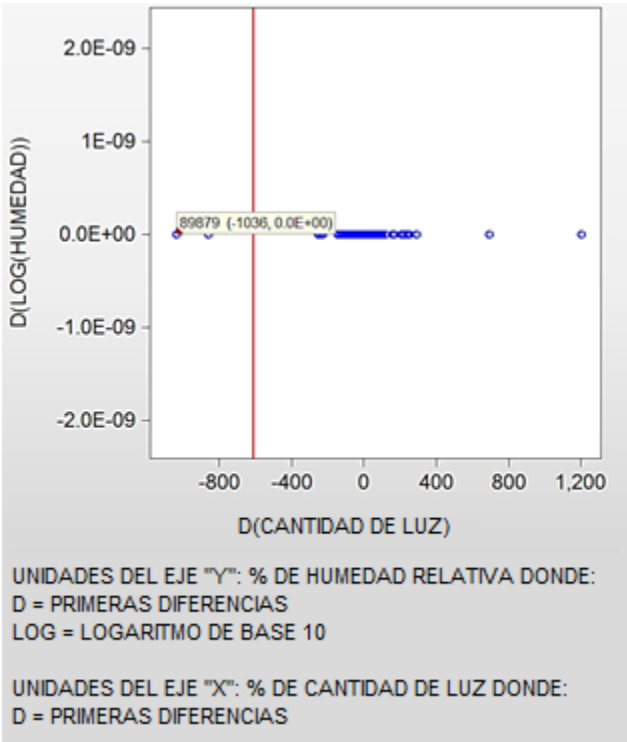


Figura 69. Dispersión para variable “dummy”, señalando el valor atípico #89879, rango [89870,90000].

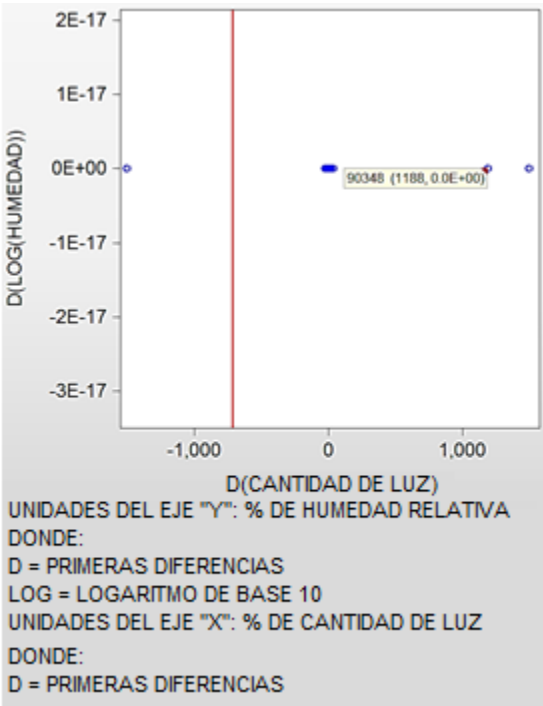


Figura 70. Variable “dummy” para regresión en la gráfica de dispersión para valor #90348, rango [90297,90350].

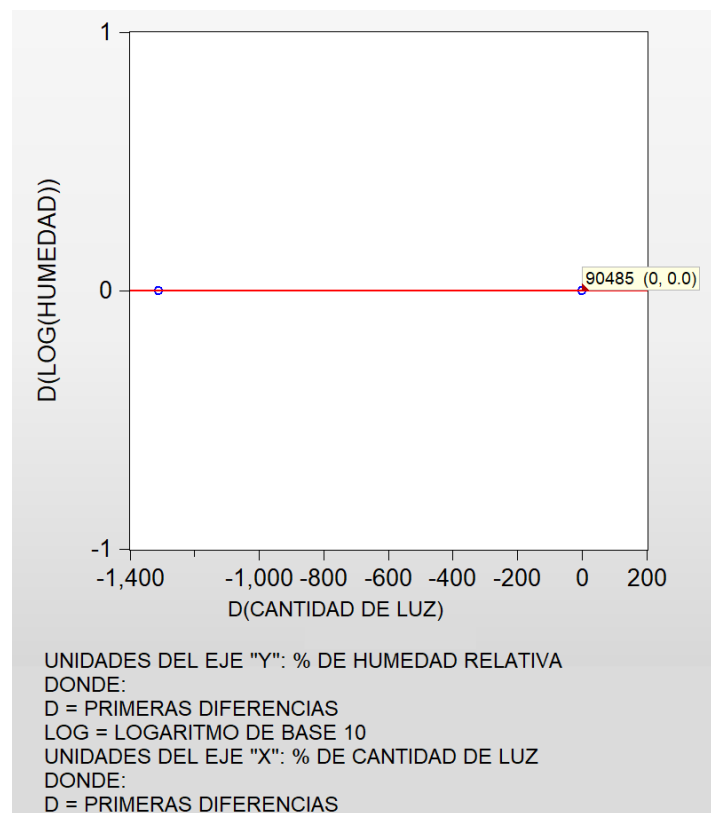


Figura 71. Variable “dummy” para observación atípica #90485, rango [90300.90487].

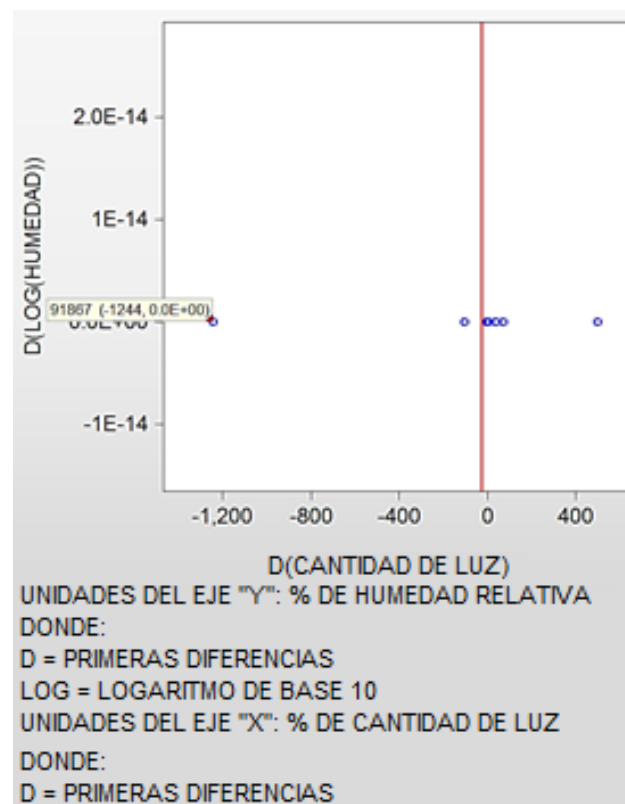


Figura 72. Variable “dummy” para regresión y sustitución de valor observado #91867, rango [91850,91870].

A continuación, se muestra la gráfica de dispersión con línea de ajuste para la ecuación número 5, ver (Figura 73).

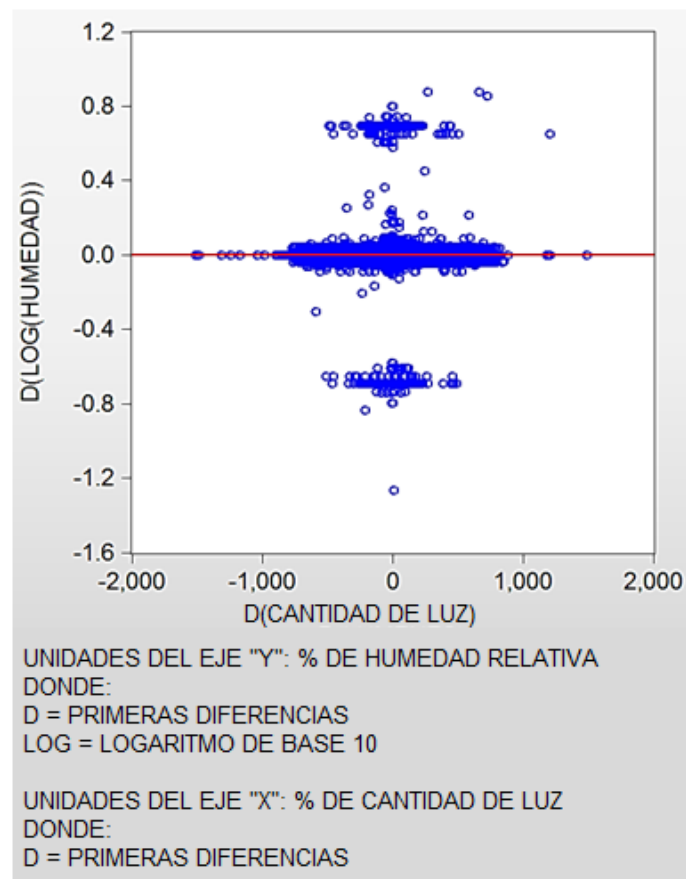


Figura 73. Gráfica de dispersión para las variables humedad y cantidad de luz.

Ecuación (5), nos dice que la predicción de la cantidad de luz no depende de la humedad en ninguna proporción, debido a que la pendiente es horizontal y la ordenada al origen cruza en el cero por el eje "y".

Experimento exterior y sus resultados:

Para visualizar las correlaciones entre variables, se efectuó el mismo procedimiento para las muestras y para las variables anteriores, ver (Figura 74), matriz con gráficos de dispersión. Los datos capturados durante el experimento nos otorgaron un parámetro de los promedios de las variables y comparamos los resultados de los tres experimentos por medio de un análisis de regresión no lineal y estudio de series de tiempo, al término de la regresión logramos conseguir que la muestra del experimento 1 (prototipo) tuviera el coeficiente de regresión más bajo de todas la muestras, es decir, los experimentos 2 (oficina) y experimento 3 (exterior), al ver que la variabilidades eran altamente controladas dentro de las condiciones generadas artificialmente con el tapete vegetal en el techo del prototipo, llegamos a concluir que en realidad las condiciones atmosféricas dentro del edificio dotado de un tapete vegetal en la pared y/o techo, pueden ayudar a reducir considerablemente la variabilidad en las condiciones atmosféricas de la temperatura y la humedad relativa.

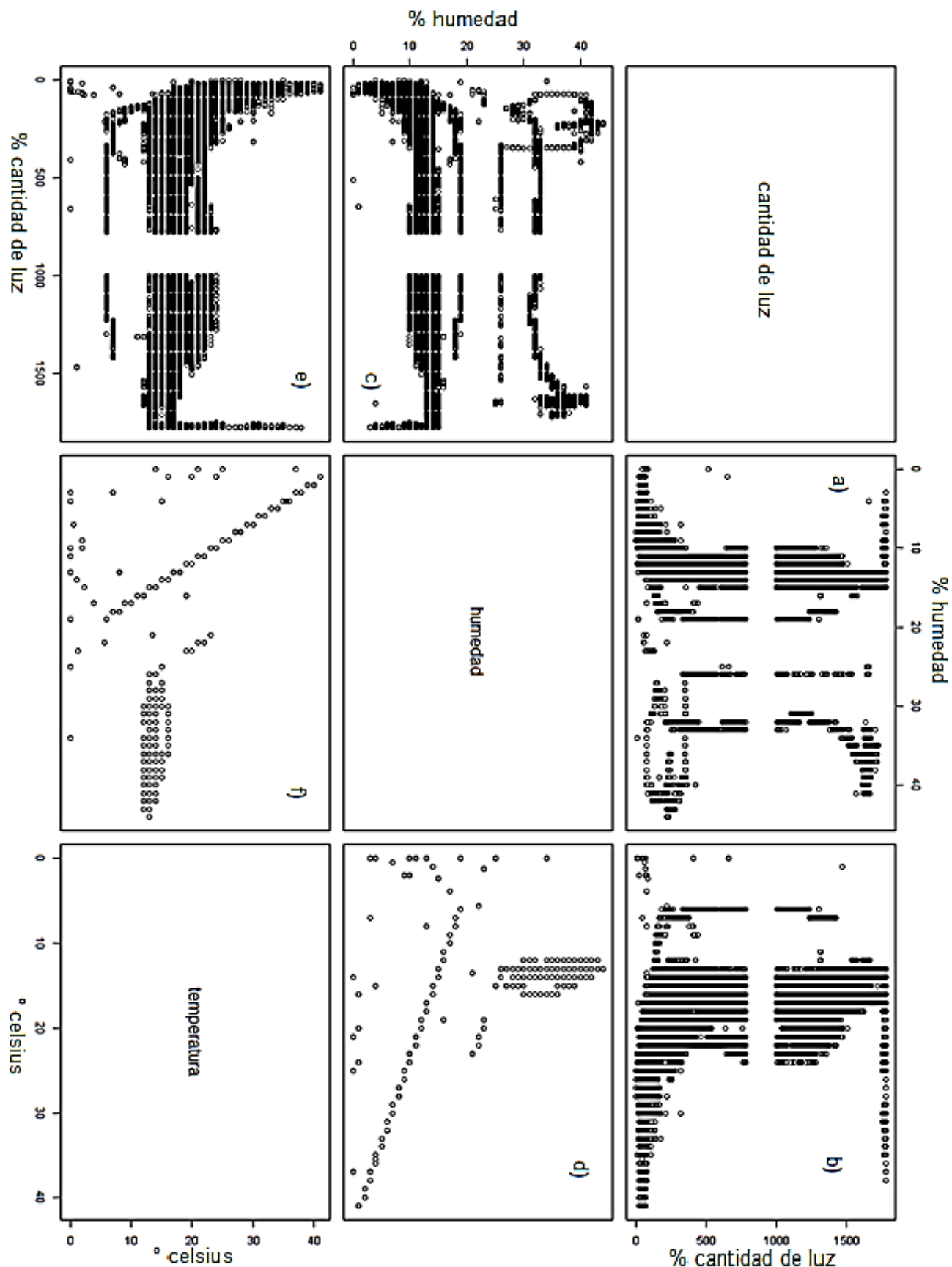


Figura 74. Matriz que muestra la relación entre variables físicas mediante un diagrama de dispersión.

El gráfico anterior, ver (Figura 74), muestra una matriz de dispersión con las magnitudes monitoreadas durante el experimento de los exteriores. Otorgando las siguientes gráficas de dispersión ordenadas a modo de renglón-columna.

- Gráfico de dispersión entre cantidad de luz y humedad
- Gráfico de dispersión entre cantidad de luz y temperatura
- Gráfico de dispersión entre humedad y cantidad de luz
- Gráfico de dispersión entre humedad y temperatura
- Gráfico de dispersión entre temperatura y cantidad de luz
- Gráfico de dispersión entre temperatura y humedad

Para terminar el análisis estadístico, se elaboró la siguiente tabla con las medidas de tendencia central, que resultaron, después de ejecutar para todas las observaciones en total 340262, el cálculo estadístico de las variables físicas, se efectuaron por medio de R Studio, ver (Tabla 20).

Tabla 20. Medidas de tendencia central para el experimento en exteriores.

Cantidad de luz		Humedad	Temperatura
Dato adquirido	(%)	Dato adquirido	Dato adquirido
Mín. : 0.0	0 %	Mín. : 0.00 %	Mín. : 0.00
1er Cu.: 54.0	3.04 %	1er Cu.: 9.00 %	1er Cu.:17.00
Media : 374.6	21.08 %	Media :11.82 %	Media :21.34
3er Cu.: 275.0	15.48 %	3er Cu.:13.00 %	3er Cu.:25.0
Máx. :1777.0	100 %	Máx. :44.00 %	Máx. :41.00

Para ilustrar los coeficientes de correlación “Pearson” entre las variables, de la muestra tomada en el exterior, se efectuó el siguiente análisis de correlación, ver (Figura 75) con sus correspondientes gráficas de correlación, llamadas correlogramas. Mediante el escrutinio y proceso analítico, pudimos inferir, que la correlación más fuerte, es entre, la temperatura y la humedad, dado que su coeficiente de correlación, $r = -0.72$, su valor absoluto, es mayor que cualquier de los otros dos coeficientes. Para poder comprender la relación entre gráficas de dispersión y correlogramas, se muestra el siguiente gráfico híbrido, entre un correlograma y un diagrama de dispersión. En el cual se muestra la gráfica de dispersión con nubes de puntos en el extremo izquierdo de la matriz y en el extremo derecho de la matriz el coeficiente de correlación obtenido, por ejemplo: para la variable humedad en el renglón de en medio y la columna central de la matriz, su coeficiente de correlación con las demás variables quedo demostrado por el coeficiente con el número 0.34 indica una correlación positiva entre cantidad de luz y humedad. Para el

coeficiente con el número **-0.42** indica una correlación negativa entre temperatura y cantidad de luz. Para el coeficiente de correlación con el número **-0.72** indica una correlación negativa entre la humedad y la temperatura.

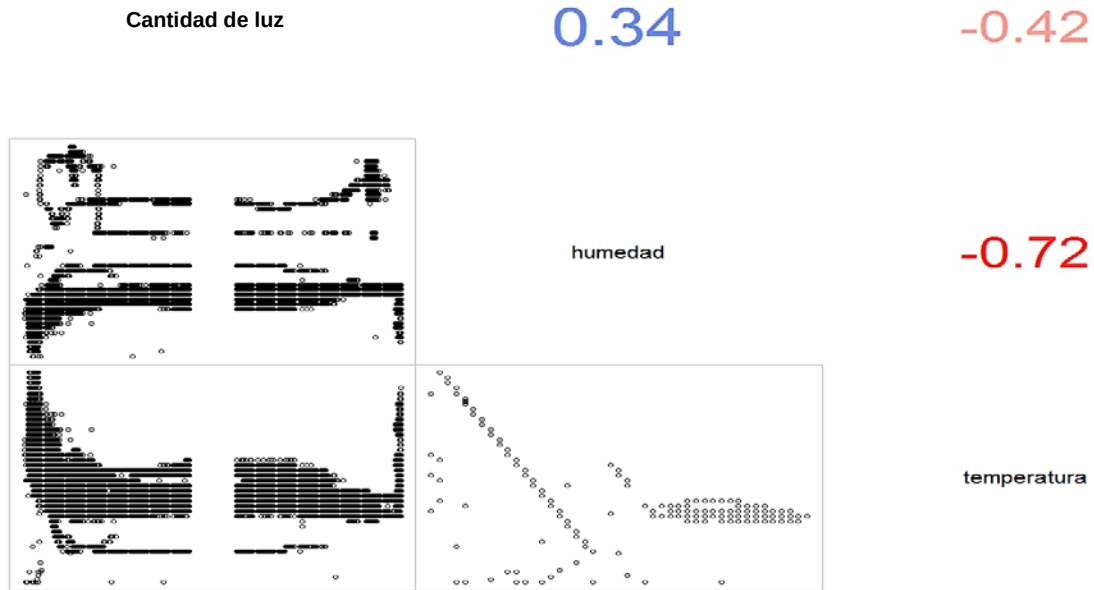


Figura 75. Matriz de dispersión de puntos y coeficientes de correlación.

Sexta ecuación de regresión lineal, para variables observadas en el exterior, se aplicaron primeras diferencias, medias móviles de orden 1 y variables “dummies” para las observaciones que desajustaban la regresión.

Ec. 6

$$\begin{aligned} \Delta(Temperatura) &= -0.2595 * \Delta(Humedad) + 1.3447 * Dummy_{96325} + 0.7644 * Dummy_{96249} \\ &+ 1.3883 * Dummy_{96081} + 1.9636 * Dummy_{96141} + [MA(1) = -0.0614] \end{aligned}$$

Estadístico-t, para coeficientes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$:

$(-2308.335)*** (515.9337)*** (215.6713)*** (541.0939)*** (428.6994)***$

Donde:

Δ =primeras diferencias

MA=media móvil de orden 1.

Tabla 21. Resultados de la regresión mediante el método de mínimos cuadrados.

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Prob.
$\Delta(\text{Humedad})$	-0.2595	0.0001	-2308.3350	0.0000
D_96325	1.3447	0.0026	515.9337	0.0000
D_96249	0.7644	0.0035	215.6713	0.0000
D_96081	1.3683	0.0025	541.0939	0.0000
D_96141	1.1852	0.0027	428.6994	0.0000
MA (1)	-0.6149	0.0001	-5495.4047	0.0000
SIGMASQ	0.0867	9.0379e-06	9597.6610	0.0000
R^2	0.3294	Media variable dependiente		4.8435e-05
R^2 Ajustada	0.3294	Desviación Estándar ""		0.3596
Error Estándar de la regresión	0.2945	Información criterio Akaike		0.3932
Suma de los residuos al cuadrado	19699.8449	Criterio Schwarz		0.3935
Log verosimilitud	-44642.3128	Criterio Hannan-Quinn		0.3932
Estadístico Durbin-Watson	2.0341			

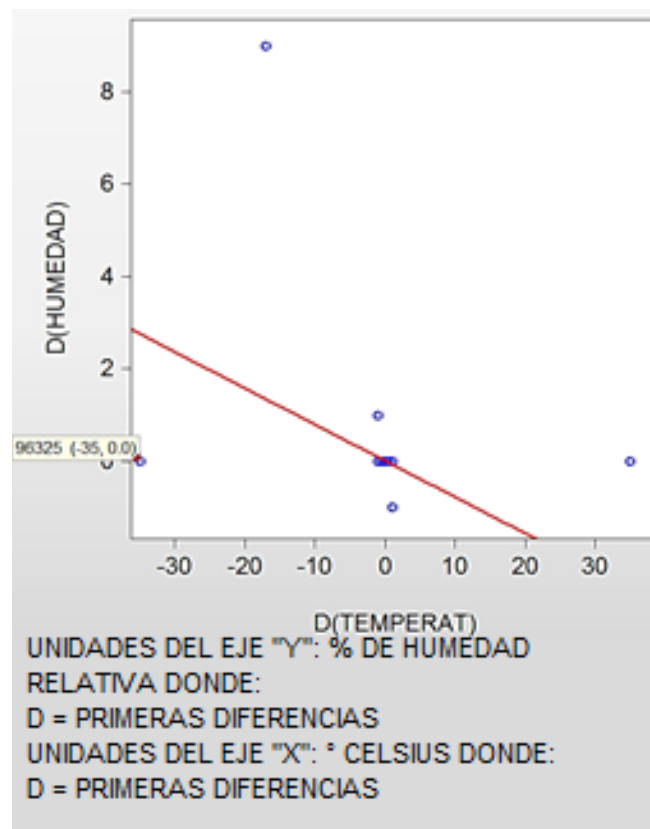


Figura 76. Dispersión con rango de [96324,100000].

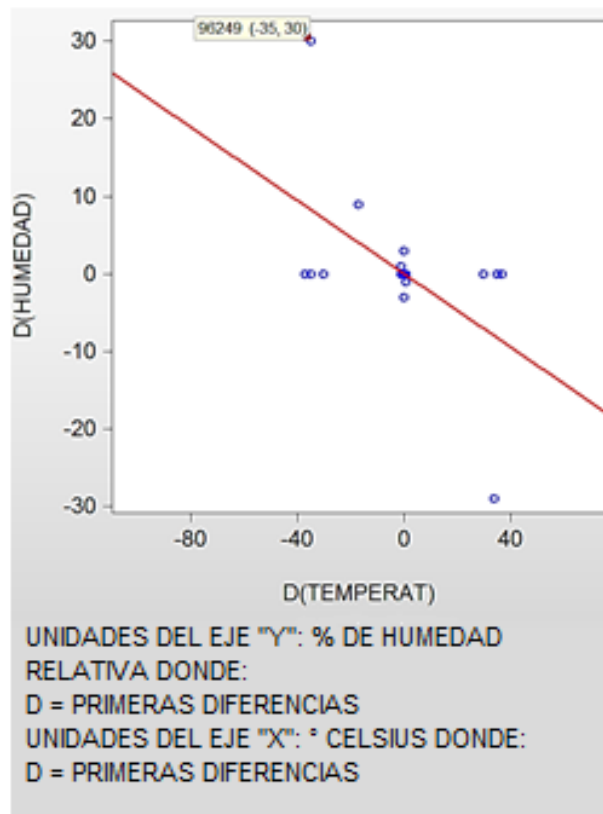


Figura 77. Diagrama de dispersión con el rango [96248,100000].

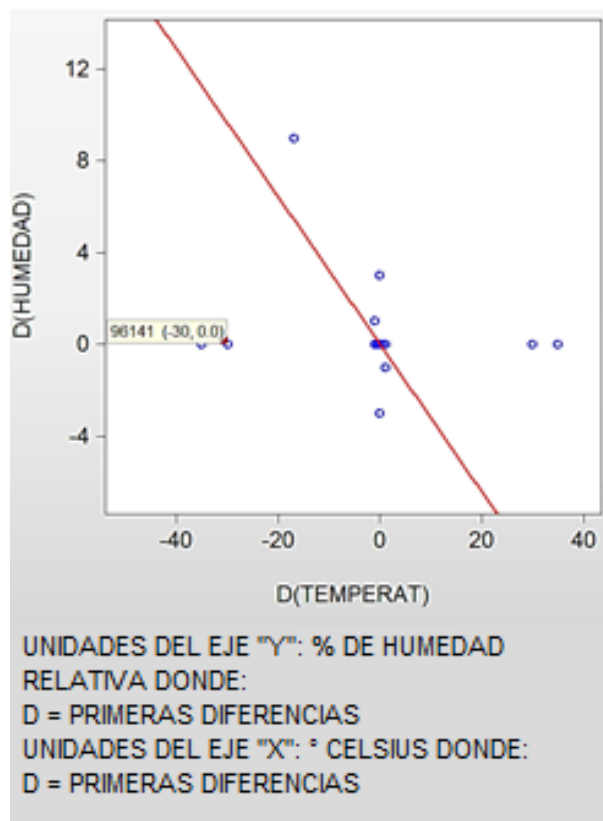


Figura 78. Diagrama de dispersión para dummy #96141, rango de observaciones [96140,100000].

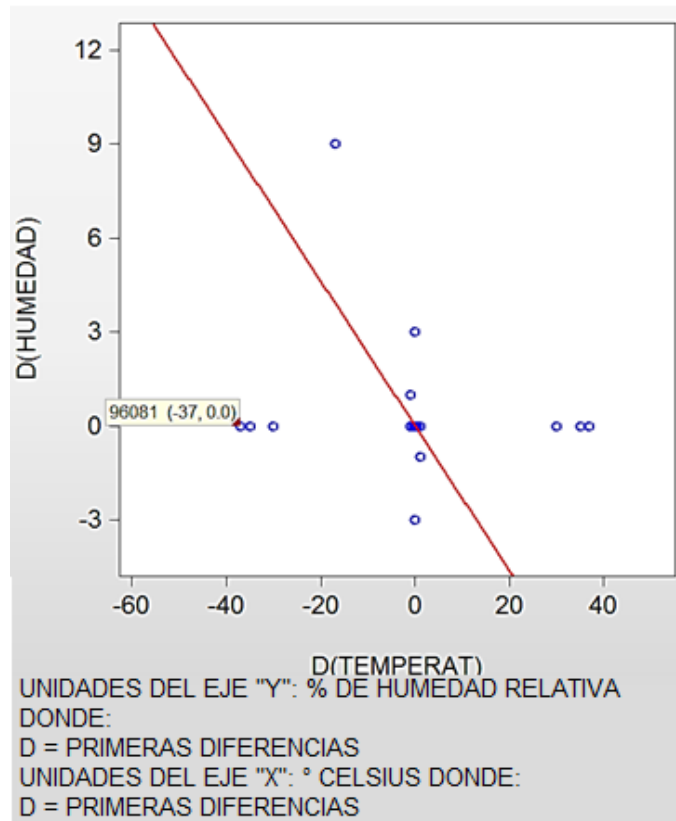


Figura 79. Dummy para observación #96081, dentro del rango de valores [96081,100000].

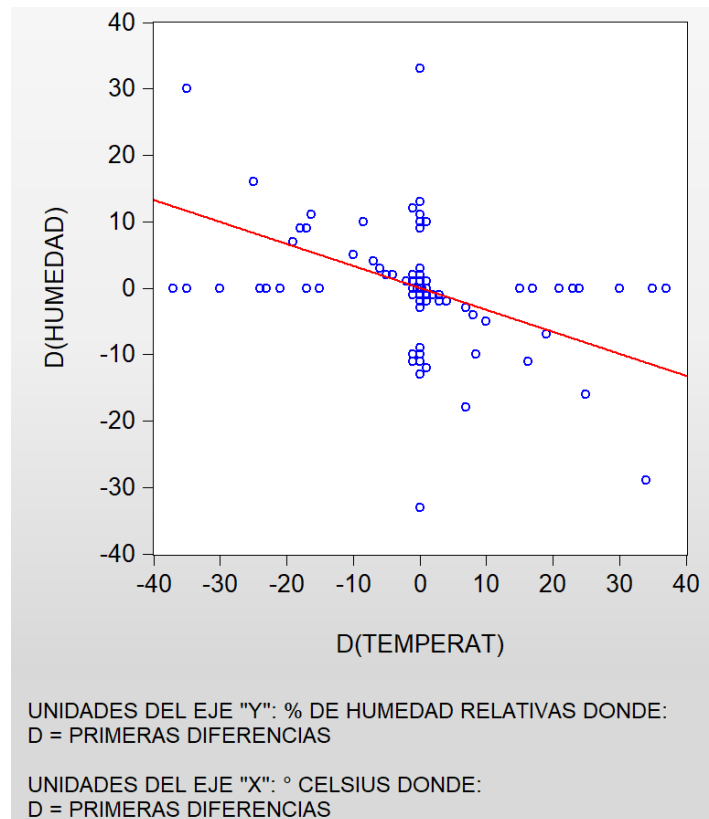


Figura 80. Dispersión de datos registrados con variables transformadas, para el sistema de monitorización en los exteriores.

La ecuación (6), indica que la temperatura si tiene dependencia en los cambios de la humedad, mientras la temperatura aumenta, la humedad disminuye.

Segunda ecuación de regresión lineal con los términos dependiente e independiente en primeras diferencias, se agregaron 3 medias móviles, además de 1 “dummy” para un valor observado atípico.

$$\begin{aligned} \Delta(\text{Cantidad de luz}) &= -3.8676 * \Delta(\text{Temperatura}) + 140.8202 * \text{Dummy}_{102109} + [\text{MA}(1) \\ &= -0.3707, \text{MA}(2) = -0.3231, \text{MA}(3) = 0.1608] \end{aligned} \quad \text{Ec. 7}$$

Estadístico-t, para coeficientes β_1, β_2 :
 (-129.6598)***(79.4485)***

Donde:

Δ =primeras diferencias

MA=media móvil de orden 1, 2 y 3.

Para justificar la variable “dummy”, en la ecuación, se logró reducir el rango de observaciones hasta la observación #102109, que se despegaba mucho de la línea de regresión y la señalamos para mostrar sus valores que eran atípicos, pero con la “dummy” se ajusta mejor a la línea de ajuste.

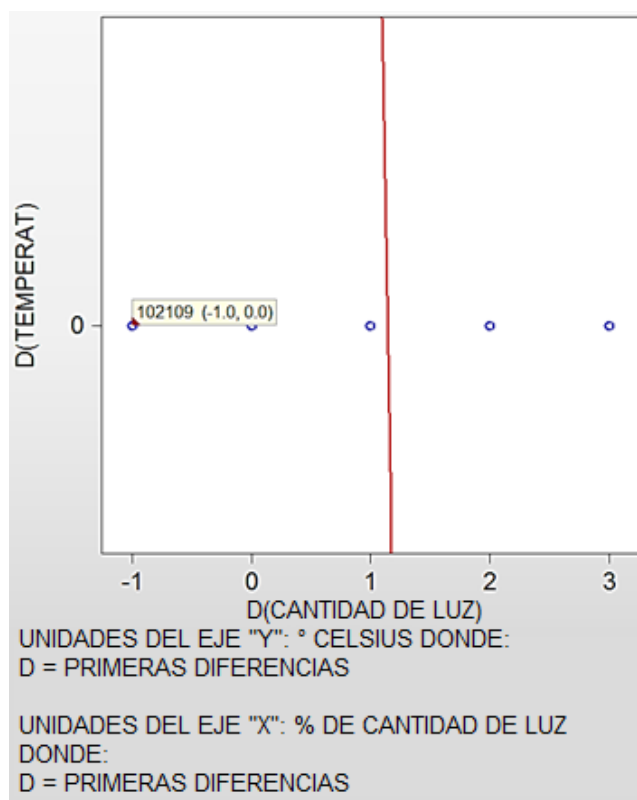


Figura 81. Acercamiento de los valores observados en la muestra que se encuentran en más de dos desviaciones estándar fuera de la media y desajustan la regresión, rango [102107,102130].

Tabla 22. Resultados de la regresión mediante el método de mínimos cuadrados, variable dependiente: lúmenes, variable independiente: temperatura.

Variable	Coficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Prob.
$\Delta(\text{Temperatura})$	-3.8676	0.0298	-129.6598	0.0000
D_102109	140.8201	1.7724	79.4485	0.0000
MA (1)	-0.3707	0.0001	-1941.1341	0.0000
MA (2)	-0.3231	0.0002	-1461.9131	0.0000
MA (3)	0.1608	0.0003	503.1709	0.0000
SIGMASQ	869.4475	0.1561	5568.2510	0.0000
R^2	0.2087	Media de la variable dependiente		0.0067
R^2 Ajustada	0.2087	Desviación estándar ""		33.1480
Error Estándar en la regresión	29.4867	Información criterio Akaike		9.6058
Suma de los residuales al cuadrado	197455884.1923	Criterio Schwarz		9.6061
Log verosimilitud	-1090762.1740	Criterio Hannan-Quinn		9.6059
Estadístico Durbin-Watson	2.0143			

Se muestra la gráfica con las variables lúmenes y temperatura en su totalidad de observaciones, es decir, en el rango [1,340262]. Para demostrar el ajuste que hubo en la mayor parte de las observaciones, los puntos que no se ajustan a la línea de regresión fueron por observaciones atípicas.

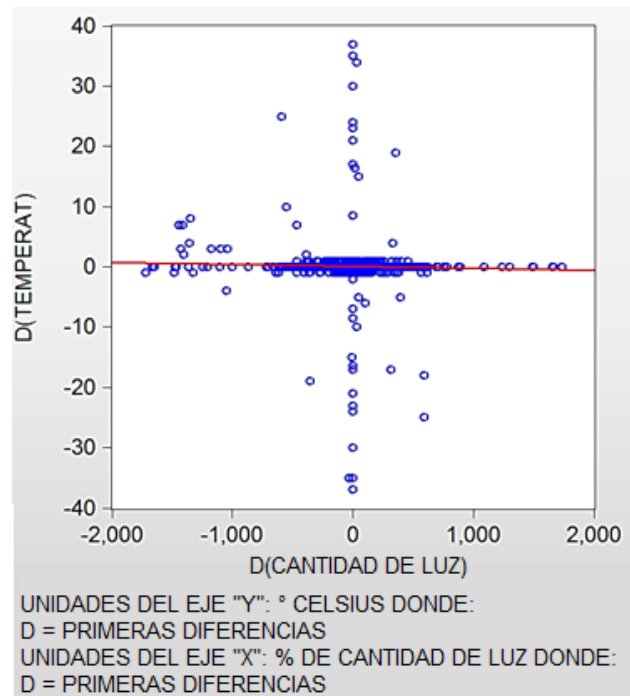


Figura 82. Dispersión para observaciones de cantidad de luz y temperatura en el exterior, ecuación 2.

Al ver el diagrama de dispersión para las variables regresoras de la ecuación (7) o (Figura 82), es evidente que la temperatura no se ve afectada por las cantidades de luz que existen en el exterior. Muestran una linealidad a lo largo del eje de las abscisas y el eje de las ordenadas, por lo tanto, el modelo nos indica que las estimaciones de cantidad de luz no variarán en cuanto a los cambios de temperatura.

Tercera ecuación de regresión para variables humedad y cantidad de lúmenes, para la muestra tomada por el sistema de monitoreo en los exteriores.

Ec. 8

$$\Delta(\text{Cantidad de luz}) = 2.1749 * \Delta(\text{Humedad}) + [AR(1) = -0.3565, AR(2) = -0.3539, AR(3) = -0.0508]$$

Estadístico-t, para coeficiente β_1 :
(86.9075)***

Donde:

Δ =Primeras diferencias

AR=vector autorregresivo de orden 1, 2 y 3.

Tabla 23. Resultados del análisis de regresión.

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Prob.
$\Delta(\text{Humedad})$	2.3209	0.0267	86.9075	0.0000
MA (1)	-0.3589	0.0001	-2367.7930	0.0000
MA (2)	-0.2929	0.0001	-1533.2771	0.0000
MA (3)	0.1448	0.0002	515.4776	0.0000
SIGMASQ	804.9822	0.1186	6784.2590	0.0000
R^2	0.1878	Media de la variable dependiente		0.0040
R^2 Ajustada	0.1878	Desviación estándar “”		31.4831
Error estándar en la regresión	28.3724	Info criterio Akaike		9.5288
Suma al cuadrado de los residuales	218966450.438565	Criterio Schwarz		9.5290
Log verosimilitud	-1295981.4921	Criterio Hannan-Quinn		9.5288
Estadístico Durbin-Watson	2.0117			

A continuación, se muestra la gráfica para las variables descritas por la ecuación número 8, ver (Figura 83).

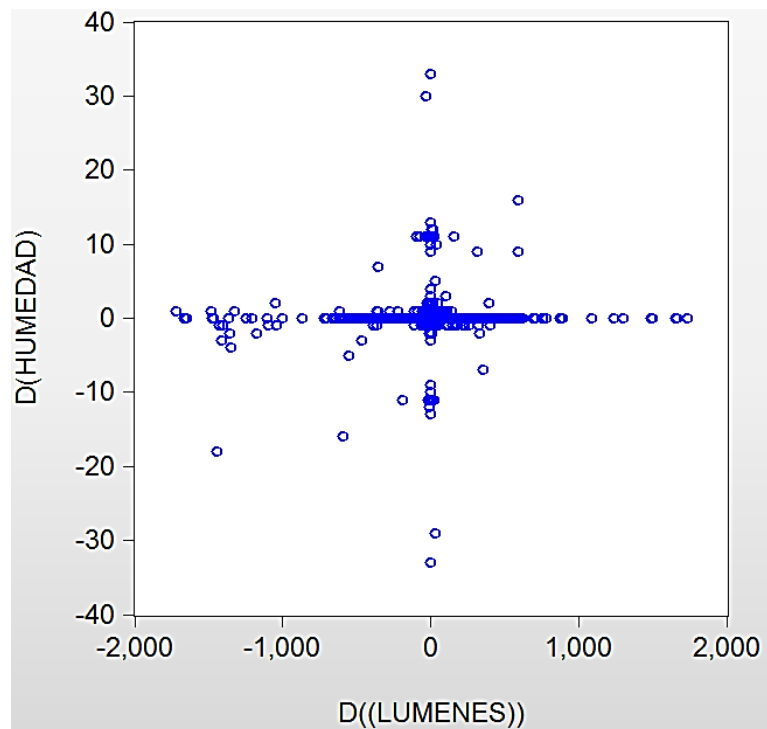


Figura 83. Dispersión con los resultados de la regresión, rango (1,340262).

Al igual que las ecuaciones de los demás modelos, en esta ecuación (8), la humedad no afecta en ninguna medida a la cantidad de luz en el exterior.

Se ilustra a continuación en la siguiente Figura (84), una gráfica de la cantidad de luz y sus magnitudes en función del tiempo, las cuales demuestran el comportamiento de las cantidades de luz durante los experimentos de monitoreo.

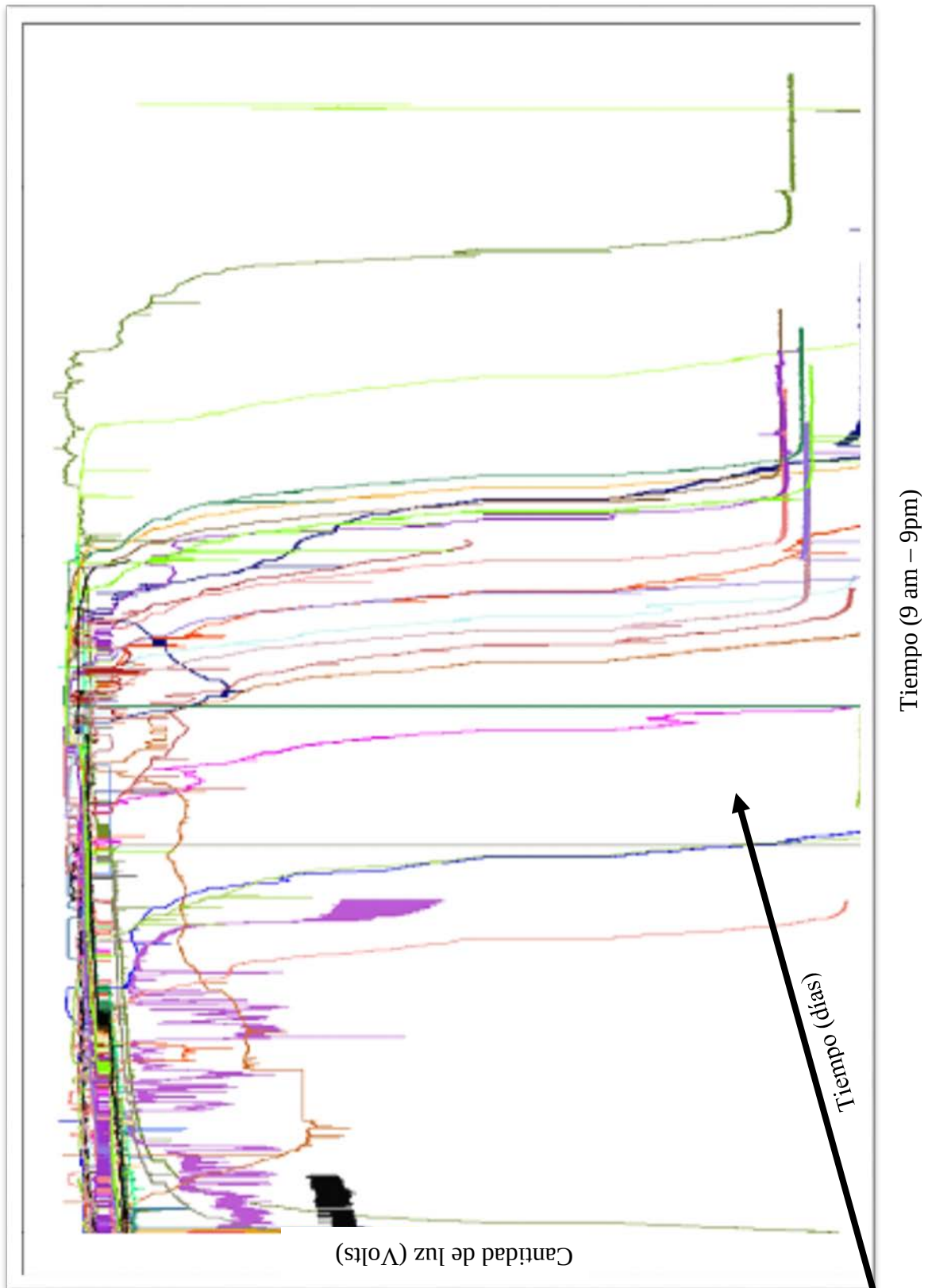


Figura 84. Luxes en función del tiempo.

APLICACIÓN COMERCIAL DEL PROYECTO.

El proyecto de sistemas de paredes y techos cubiertos con vegetación es aplicable como una opción para eficientar cualquier edificio que pueda soportar la infraestructura y las diferentes capas que componen el sistema de ingeniería denominado “paneles verdes”. Existen edificios nuevos que fueron diseñados para incluir en sus paredes y/o techos las cubiertas vegetales, con gran aceptación. En el caso particular de la Ciudad de México existen numerosos ejemplos de instalación de los paneles verdes, a continuación, se muestra un ejemplo:

- Proyecto Vía Verde:

El Periférico, de Molinos a Barranca del Muerto, estrenará en dos semanas jardines verticales que estarán combinados con elementos de publicidad.

Actualmente el proyecto Vía Verde ya cubrió 50 columnas, en el tramo mencionado, con dos mil 340 plantas cada una para cambiar el paisaje urbano de esta avenida.

En suma, se han colocado 105 mil 300 plantas conocidas como “siempre verdes”, es decir, que no cumplen ciclos, que significan un área verde nueva de dos mil 925 metros cuadrados. Además, los paneles son abatibles por lo que permiten dar mantenimiento a la estructura de concreto o revisarla en caso de sismos. Los paneles verdes que completarán las cubiertas verticales de las columnas del segundo piso del periférico sur fueron diseñados, contruidos e instalados por un grupo de contratistas de diferentes áreas; ingenieros estructurales para diseñar los paneles que cargarán las capas del jardín vertical, arquitectos para diseñar la cubierta y su integración a la columna del segundo piso del periférico, especialistas en jardinería para el diseño de las capas que detendrán las plantas de caer por el efecto de la gravedad, además de la selección, siembra y mantenimiento de las mismas, así como técnicos hidráulicos que diseñarán e instalarán el sistema de riego que mantendrá las plantas en condiciones óptimas, y los trabajadores que se encargarán de construir e instalar toda la infraestructura, al término, se generaron muchas aplicaciones que se derivan de un proyecto como éste dando como resultado la aplicación de tecnología y recursos que generan beneficios a la comunidad. Por lo tanto el proyecto promete mucho y se posiciona como una aportación no solo ornamental sino funcional que puede resolver algunos de los problemas derivados de la gran contaminación que hay en la Ciudad de México. Ver figuras (85 y 86).



Figura 85. Estructura de los paneles y paneles verdes.

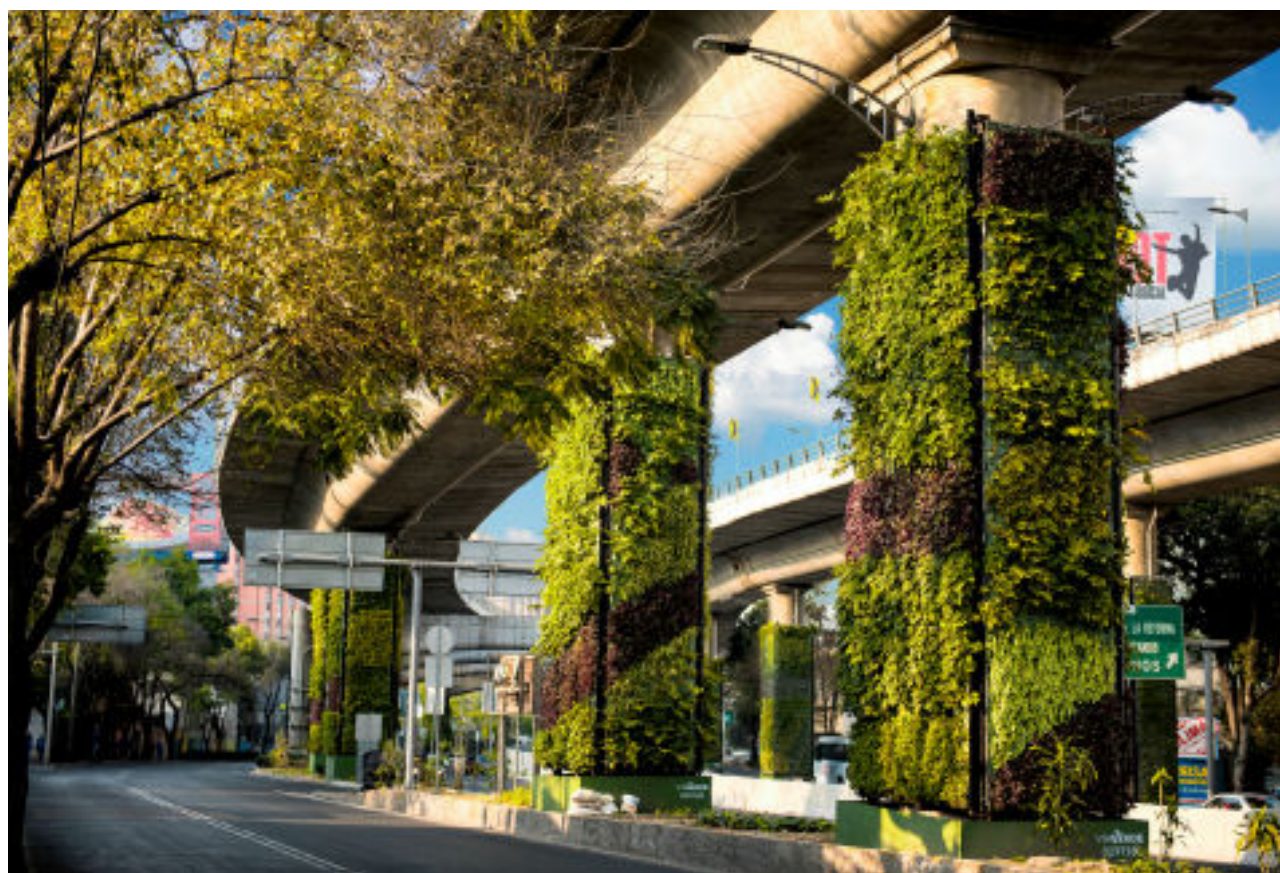


Figura 86. Paneles verdes sobre las columnas del segundo piso del periférico.

CONCLUSIONES.

La finalidad del sistema de monitoreo de variables físicas fue demostrar las condiciones físicas de los techos y paredes verdes, hecho que se hizo mediante la adquisición, análisis de regresión lineal y comparativa entre medidas de tendencia central y criterios estadísticos. Se puede decir con certeza que la temperatura se reduce hasta en 6 °C, con un techo cubierto de pasto o plantas, pero al incrementar las cubiertas vegetales a las paredes de la maqueta, el efecto reductor de la temperatura se aumenta hasta en 8 °C, en comparación de los edificios comunes. Además, se observó un incremento de la humedad relativa de hasta en un máximo de 88 %, para las condiciones atmosféricas de los paneles verdes, que se construyeron como prototipo de un edificio a escala, al cual le añadimos, cubiertas verdes o vegetales, para generar condiciones ideales de temperatura y humedad relativa en el interior del prototipo y que fueron registradas las variables físicas por el sistema de monitorización “Thumvilux” que se construyó para ese fin.

La comparación de las condiciones físicas (humedad relativa y temperatura atmosféricas) entre muestras estadísticas de los diferentes experimentos en donde se registraron el valor de las variables físicas, analizadas mediante el método de mínimos cuadrados [19]: Indica que el coeficiente β_1 del prototipo y el mismo coeficiente β_1 del edificio “F”, fueron -0.0144 y -1.8978 respectivamente, lo cual explica, que la temperatura (variable dependiente) registrada en el experimento del prototipo y del edificio “F”, demuestran que la humedad (variable independiente) infringe mucho más en ella, que en los edificios comunes. El caso de los exteriores el coeficiente $\beta_1 = -0.2595$, que resultó por la regresión lineal entre la temperatura (variable dependiente) y humedad relativa (variable independiente), pero de las variables registradas por el sistema de monitoreo en los exteriores de las instalaciones y del prototipo demostraron, mediante 2 comparativas de 3 muestras estadísticas, que las condiciones atmosféricas generadas por los paneles verdes son mejoradas en cuanto a la menor variabilidad de temperatura y humedad relativa.

Al analizar la cantidad de variación total de las muestras en el prototipo y el edificio, encontramos que los coeficientes de determinación para el prototipo, $R^2 = 0.3355$, es decir, que el 33 % de la variación de la temperatura se explica mediante las variables humedad y humedad² y que es mayor a la del edificio, así, $R^2 = 0.2096$, que es lo mismo a que el 20 % de la temperatura y es explicada por las variables humedad y humedad², debido a que su variación en “Y” (variable dependiente) o temperatura se explica por las variables independientes, dando como resultado que la variación registrada en el prototipo fue mejor explicada por las variables independientes que en la muestra tomada en el edificio. El mismo coeficiente

$R^2=0.3294$, demuestra que incluso en los exteriores la temperatura es mejor explicada por las variables independientes en la muestra (prototipo) y que en las otras muestras como indican sus coeficientes de determinación o R^2 .

Por otro lado, la humedad en el substrato de la cubierta vegetal instalada en el techo del prototipo se pudo comparar con otras variables como la humedad relativa atmosférica, y la temperatura ambiental, lo cual generó una ecuación que indica que su impacto en las demás variables era demasiado pequeña o inexistente, debido a su coeficiente $\beta_1=8.1594 \times 10^{-5}$ se toma en consideración que $\beta_1 \approx 0$. Al analizar su gráfica de dispersión se pudo trazar la línea de regresión para mostrar la estimación del modelo de regresión, mediante el cual se pudo comprender la relación entre humedad relativa ambiental y la humedad del substrato, su comportamiento fue lineal, la cual se inclina con pendiente negativa en el cuadrante izquierdo del área de gráficos, en un ángulo muy poco pronunciado. Esto refuerza el resultado de la regresión; coeficiente β_1 obtenido mediante el método de mínimos cuadrados, sirviendo de comprobación para la línea mostrada en el gráfico de dispersión.

Quedan las demás regresiones entre las variables de lúmenes, temperatura y humedad relativa, para las muestras en los exteriores y en el edificio “F” (oficina de trabajo), ahí se generaron condiciones donde era posible registrar con el sensor de intensidad de luz y con el higrómetro, se encontró que su correlación fue alta de ($r=0.55$, $r=-0.74$, $r=0.34$, y $r=0.42$), pero en el análisis de regresión, se obtuvieron líneas horizontales con una inclinación nula o inexistente, por lo que demostraron que las condiciones atmosféricas en los edificios y en los exteriores no repercuten en ninguna forma a la cantidad de luz que existe en ese espacio, por lo tanto, aunque sus coeficientes de regresión eran altos, la gráfica con su línea de ajuste demuestra el comportamiento de la luz y las condiciones de humedad y temperatura de una habitación y que no son relacionables entre sí.

Al igual, la variable de vibración mecánica y/o telúrica, demostró que no hay relación alguna entre las demás variables debido a su comportamiento en la gráfica de dispersión y su correlograma, los cuales miden el grado de relación que existe entre la variable en cuestión y las otras variables, por lo tanto, no se hizo el análisis de regresión y solo se analizó mediante las medidas de tendencia central y se escaló con un porcentaje mínimo, máximo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Meza Aguilar, Ma. del Carmen y Moncada Maya, José Omar (2010), Las áreas verdes de la Ciudad de México, un reto actual. *Scripta Nova*, 331 (56), ISSN # 1138-9788, México.
2. Mayor of London (2001). *Connecting with London's nature – the Mayor's Draft Biodiversity Strategy*, Greater London Authority, ISBN # 1 85261 385 8, Londres, Reino Unido.
3. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013), *Estrategia Nacional de Cambio Climático*, SEMARNAT, México.
4. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2008), *Proyecto de Norma: PROY-NADF-013-RNAT-2007*, SEDEMA, México.
5. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (2008), *Proyecto de Norma: NOM-025-STPS-2008*, STPS, México.
6. Barahona Sánchez, Tonatiuh (2011), *Evaluación de la tecnología de techos verdes como agentes ahorradores de energía en México*, Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Ingeniería, Tesis de licenciatura Inédita, México.
7. Minke, Gernot. (2000), *Techos Verdes, planificación, ejecución y consejos prácticos*, Editorial EcoHabitar, ISBN # 9788-4988-87747, México.
8. CONALEP y GIZ: Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (circa, 2009), MD 6: Fachadas y azoteas verdes, CONALEP, México.
9. Zambrano Zambrano, Romey Octavio (2014), *Centro de excelencia de ciencias básicas, bioconocimientos y tecnología aplicadas a la industria implementando criterios ecoeficientes, ubicado en el parque tecnológico de la Universidad de Guayaquil para el año 2014*, Universidad de Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Tesis de licenciatura Inédita, Guayaquil, Ecuador.
10. Paz Santiago, Leobardo (2013), Automatización para la gestión eficiente de energía en el sector doméstico, *Revista Electrónica sobre Tecnología, Educación y Sociedad*, 4, 14-28, ISSN # 2448-6493, México.
11. Potočnik, Janez (2016). *Ciudades verdes: Abiertas a la vida*, Secretaría de la Capital Verde Europea, ISBN # 978-92-79-38105-8, Bruselas, Bélgica.

12. Gill, S.E., J.F. Handley, A.R. Ennos and S. Pauleit (2007), Adapting Cities for climate Change: The Role of the Green Infrastructure, *Built Environment*, 33, 115-118, ISSN # 02637960, Liverpool, Reino Unido.
13. García, N., & Antonio, J. (2013). *El hormigón como soporte biológico natural y su aplicación en fachadas. En Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes*. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I. Tesis Inédita, Sevilla, España.
14. Torres Amaya, P., Cano Fajardo, K., Ramos Sandoval, O. (2015). *Identificación de temperatura y humedad en un prototipo deshidratador de pulpa de Annona Muricata*. Ciencia y Poder Aéreo, 10(1), 209-126. ISSN #1909-7050, Colombia.
15. González-Morán, Carlos Omar, Zamora Pérez, Gabriel y Suaste-Gómez, Ernesto (2013). System for Controlling the Moisture of the Soil Using Humidity Sensors from a Polyvinylidene fluoride Fiber Mats. *Advanced Science Letters*, 19, 858–861. ISSN # 1936-6612, México.
16. Levine, David; Krehbiel, Timothy y Berenson, Mark (2006). *Estadística para administración*, Pearson ISBN # 970-26-082-3, México.
17. Gujarati, Damodar y Porter, Dawn (2009). *Econometría*, Mc Graw Hill, ISBN # 978-607-15-0294-0, México.
18. Bollerslev, Tim, (1986), Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity, *Journal of Econometrics*, 31, 3, p. 307-327. ISSN # 0304-4076, Detroit, MI.
19. Montgomery, Douglas, Peck, Elizabeth y Vining, Geoffrey (2006). *Introducción al análisis de Regresión Lineal*. CECSA. ISBN # 970-24-0327-8, México.

ANEXOS

1. Código de Arduino

```
#include <dht.h>

dht DHT;

const int OUT_PIN = A2;
const int IN_PIN = A0;
const float IN_STRAY_CAP_TO_GND = 24.48;
const float IN_CAP_TO_GND = IN_STRAY_CAP_TO_GND;
const float R_PULLUP = 34.8;
const int MAX_ADC_VALUE = 1023;
float potpin = 1;
int ROW = 0;
int LABEL = 1;
int x = 0;
int row = 0;
int val= 0;
int val1= 0;
int val5= A4;
int dht_dpin = A3;
float capacitance = (float)val * IN_CAP_TO_GND / (float)(MAX_ADC_VALUE - val);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,val,lumenes,vibracion,humedad,temperatura,humedad del substrato");
}

void loop()
{
  delay(2000);
  int sensorValue = analogRead (A4);
  float Vibracion = sensorValue * (5.0 / 1023.0)*100;

  val = analogRead(potpin);
  val1 = analogRead(potpin);
  val5 = analogRead(Vibracion);

  DHT.read11(dht_dpin);
  {
    pinMode(IN_PIN, INPUT);
    digitalWrite(OUT_PIN, HIGH);
    int val = analogRead(IN_PIN);
    digitalWrite(OUT_PIN, LOW);
    pinMode(IN_PIN, OUTPUT);
    float capacitance = (float)val * IN_CAP_TO_GND / (float)(MAX_ADC_VALUE - val);
```

```

    ROW++;

    Serial.print("DATA,TIME,");
    Serial.print(val);
    Serial.print(",");
    Serial.print(val1,8);
    Serial.print(",");
    Serial.print(Vibracion,8);
    Serial.print(",");
    Serial.print(DHT.humidity,8);
    Serial.print(",");
    Serial.print(DHT.temperature,8);
    Serial.print(",");
    Serial.print(capacitance,8);
    Serial.print(",");
    Serial.println(ROW);

    Serial.println(ROW);

    while (millis() % 1000 != 0);
        if (ROW > 65000)
        {
            ROW = 0;
            Serial.println("ROW,SET,2");
        }
    }
    ROW++;

    if (ROW > 65536)
    {
        ROW = 0;
        Serial.println("ROW,SET,2");
    }
}

```

2. Bitácora de actividades

Día 15 de agosto de 2016, se logró generar una hoja de cálculo de Excel con 6 variables, además, tuvo un avance gracias al hallazgo de un código de Arduino que permite conectar el sensor DHT11 a un pin análogo y así generar una hoja de cálculo de Excel mediante el PLX DAQ. El error de conectar el pin del sensor DHT a una entrada digital no permitía exportar los datos a Excel, además se cambió el código de forma que imprimiera solo los datos numéricos sin alfanuméricos o textos, ese código con datos alfanuméricos causaba que el PLX DAQ no reconociera la entrada como dato y no imprimía más que los títulos de las columnas. Queda pendiente el depurar el código para que queden las columnas ordenadas y clasificadas con su nombre. Se asignó un espacio para trabajar en la universidad diariamente.

Día 16 de agosto de 2016, se pudo mejorar el código de Arduino para que las columnas contaran con un título correspondiente a la variable que encabezan, además de generar sus gráficas de cada una de las variables y definimos la frecuencia con que se capturaran los datos, así como la cantidad de datos que conformara la población de nuestro espacio muestral. Se logró definir la adquisición de 75 datos cada 18.75 minutos.

Día 17 de agosto de 2016, el construir un sensor de vibraciones con un CNY 70 y 2 resistencias de 100 k y 100 Ohm en un circuito impreso para poder colgarlo con un resorte y que el diodo emisor incida sobre un espejo para que el colector registre el movimiento, se completó. Aún está en construcción el sensor ya que la soldadura es muy fina y requiere de mucha precisión.

Día 18 de agosto de 2016, se pudo lograr recibir las correcciones por parte de los revisores, también construimos el *shield* de Arduino que llevara los componentes soldados ya sin necesidad del *protoboard* y además se imprimió el diseño del PCB para grabarlo en un circuito impreso de baquelita y cobre. El sistema ya está tomando muestras cada vez más precisas, además de que el código tiene los sensores funcionando de manera óptima, queda pendiente asignar los lapsos en que tomara muestras el sistema “THUMVILUX” y además el tamaño de la muestra que queremos analizar con los modelos matemáticos como: moda, media, mediana, varianza, desviación estándar, etc.

Día 19 de agosto de 2016, al lograr las correcciones pertinentes que nos señalaron los revisores, además asignamos a el Doctor Héctor Herrera Hernández como co asesor de tesis quien es experto en materiales inteligentes, se imprimieron los protocolos ya correctos y mañana serán entregados a titulación para que sean revisados por segunda vez. También queda por definir el lapso en que serán tomadas las muestras por el sistema que será un lapso de 2 segundos entre muestra y 24

horas y durante 2 meses, los cálculos dicen que en una hora de estar muestreando con ese ritmo obtendremos una hoja de cálculo con 5965 celdas de información en datos alfanuméricos que en términos informáticos pesan 129 kilobytes. Queda pendiente terminar el PCB, el sensor de vibraciones y depurar el código de programación de Arduino para terminar todos los pendientes del proyecto de titulación.

Día 21 de agosto del 2016, hoy se pudo construir el circuito impreso con el sensor CNY 70 que fue conectado con 2 resistencias de 1 k ohm y 100 ohm y 3 cables: uno de 5V de alimentación, tierra y señal analógica, cargamos el código que hizo que el sensor captara luz o sombras, queda pendiente, realizar el recinto donde quedara suspendido por medio de un resorte y reflejará el diodo emisor a un espejo que será colocado en la base. Al igual se le montará una tuerca que de un peso extra al circuito para que tenga sensibilidad.

Además, de codificar el sensor de humedad del sustrato y faltó programar el sistema de adquisición de datos para tener las siguientes variables: vibración, humedad relativa, temperatura, lúmenes y humedad del sustrato conformando así el sistema de monitoreo “THUMVILUX”. Al igual se calculó la moda, mediana, varianza y desviación estándar con los 75 datos que se obtuvieron de cada una de las variables. Queda pendiente realizar el cálculo de la frecuencia que capturara el sistema para que la población de nuestra muestra tenga una cantidad manejable de datos.

Día 22 de agosto de 2016, depuramos el código del programa para adquisición de datos y quedo con 5 sensores conectados y capturando datos. Quedaron pendientes unos detalles, pero ser logro integrar capacitancia a las demás variables. Posteriormente crearemos el PCB del circuito para hacer el *shield* de Arduino y armar el sistema. Ahora se tiene que construir una maqueta a escala de los paneles verdes para hacer nuestras pruebas y posteriormente colocar los en el espacio designado para nuestra investigación. Para poder dibujar el PCB necesitaremos hacer la simulación en 123d *circuits*.

Día 28 de agosto de 2016, el recinto del sensor CNY70 se deberá de conseguir la placa para la base y pedimos a el Ing. Genaro que nos prestara el acrílico mañana lo proporcionará. Además, de realizar el PCB del circuito impreso para ir comprando la baquelita y dibujar el diagrama de las conexiones entre los circuitos y los sensores, y las resistencias. Pero antes de poder imprimir el PCB, debemos de construir el recinto del sensor de vibración.

Día 13 de septiembre del 2016, hoy se realizaron las siguientes actividades: construir el *shield* de Arduino con el PCB y los componentes del sistema de adquisición de datos creando una placa fenólica con un circuito impreso y soldamos el sensor DHT 11 y el foto resistor junto con sus resistores y unos espadines que le dan firmeza y además fungen como pines para conectar el

Arduino. Quedo pendiente colocar los otros dos sensores CNY70 y capacitancia para completar el sistema “THUMVILUX”.

Día 4 de octubre del 2016, nos dieron los oficios de la tesis de nuestro protocolo para que entreguemos los avances cada dos meses y el registro de tema.

Día 7 de octubre del 2016, se construyó el sensor de vibración, una vez que tengamos la sensibilidad deseada en el sensor se procederá a construir la maqueta para simular las condiciones de un panel verde y poder monitorear las variables que ya podemos obtener con los dispositivos que tenemos.

Día 21 de octubre del 2016, construcción del segundo *shield* para Arduino para mejorar la precisión de las mediciones. Y para tener una segunda estación de monitoreo de variables físicas.

Terminar la construcción del *shield* para Arduino y quedó con los 4 sensores y la maqueta ya lista para monitorear estamos en espera de la autorización para poder instalar la maqueta en un jardín de la universidad para que podamos dejar la maqueta en el exterior y dejarla monitoreando por lapsos.

Día 24 de octubre del 2016, elaboración de la presentación del área para instalar la maqueta y los sensores del sistema “THUMVILUX”, es necesario instalarla lo antes posible para que comencemos a monitorear y poder adquirir la mayor cantidad de datos de esta fecha hasta que concluya el proyecto.

Día 3 de noviembre del 2016, instalación de la malla ciclónica para la maqueta y resguardarla, se instaló con 4 postes y concreto en cada poste para que no se muevan y queden seguros.

Día 14 de noviembre de 2016, instalación de la maqueta en el espacio exterior al edificio F, cuenta con la malla ciclónica y la base para el soporte de la misma, como paso siguiente es conseguir el cable para Arduino que tenga la longitud necesaria para alcanzar la distancia entre la maqueta y la oficina del doctor Carlos Omar, para lo cual se colocara en un tubo *conduit*.

Día 17 de noviembre del 2016, hoy se realizó la compra del cable para el Arduino y así lograr conectar el sistema de monitoreo de variables físicas con el mismo cable y sin extensiones.

Día 18 de noviembre del 2016, comienzo el monitoreo real de las variables con excepción de la humedad del substrato y los lúmenes. Es necesario instalar el capacitor en el substrato del panel y modificar el sensor de luminosidad, para monitorear las cinco variables.

Día 28 de noviembre del 2016, construcción de la maqueta para simular las condiciones de un panel verde prototipo # 3, esta vez fue construido con una base de triplay y sobre de la base se formó una estructura de madera, constituida por 4 pilares y 4 travesaños y con tablaroca cubriendo las paredes y el techo se conforma de un triplay que cubre el área superior y sobre el triplay se fijó

un pedazo de tablaroca, posteriormente, se puso encima de la tablaroca el tapete de impermeabilizante asfáltico y se pegó con un soplete de gas LP, para que quedara como una cubierta sobre la tablaroca y no entrara la humedad en la tablaroca. Después de terminar la impermeabilización de las paredes y techo de la maqueta, procedemos a poner el tapete vegetal de pasto sobre el techo de la maqueta para que nos cree un ambiente aislado de la intemperie, pero que interactúe con el interior de la maqueta actuando como una capa aislante del frío y del calor, dependiendo del clima. Además, instalamos las placas de aluminio con un recubrimiento de plástico para que no se oxiden, y se tuvieron que cubrir con la tierra de nuestro tapete vegetal y las distanciamos entre sí aproximadamente 25 cm y el área de cada placa es de 8 cm X 5 cm, dándonos un área de 40 cm², para calcular la constante dieléctrica del capacitor. El cual se conectó al Arduino con dos cables. Ahora colocamos los sensores en el interior de la maqueta para comenzar con el monitoreo real de las variables físicas en un panel verde simulado con los materiales descritos; tablaroca, madera, triplay de conglomerado, tapete asfáltico impermeabilizante y tapete vegetal de pasto y musgos.

Día 30 de noviembre de 2106, terminación del segundo *shield* de Arduino con los componentes electrónicos para monitorear las variables descritas anteriormente, e instalación de una máquina virtual en la laptop para poder adquirir datos en dos sistemas de monitoreo dispuestos en dos lugares diferentes, uno dentro de la maqueta y otro en el exterior de la misma. Realizar una comparativa de los datos en cuanto se diferencia las variables de temperatura, humedad relativa, vibración telúrica, humedad del substrato y cantidad de lúmenes. Ahora disponemos de dos sistemas de monitoreo de variables físicas en paneles verdes, uno interior y otro exterior, con los cuales haremos una validación de nuestras hipótesis, y comparar las diferencias entre un interno y un externo.

3. Publicaciones y Ponencias

1.- Publicación de un artículo para el III Congreso Ciudades Inteligentes en Madrid, España, aceptado para ser publicado en el portal: www.esmartcity.es, en edición.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS TECHOS VERDES CON UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS

Oscar González Woge, Tesisista en Ingeniería Industrial, Centro Universitario UAEM Valle de México
Carlos Omar González Morán, Profesor Investigador Centro Universitario UAEM Valle de México
Héctor Herrera Hernández, Profesor Investigador Centro Universitario UAEM Valle de México

Resumen: En la actualidad las ciudades con gran densidad de población, tienden a afectar el clima del ecosistema, en parte, esto se debe al efecto "isla de calor urbana", que es un domo invisible que se forma en las ciudades, porque las superficies o cubiertas de los edificios absorben la luz y el calor del sol durante el día y la liberan durante la noche. Para generar una solución eficiente a este problema, es importante mencionar como una propuesta viable la de los techos y paredes verdes, ellos permiten reducir la temperatura en sus alrededores ya que forman una capa aislante térmica, capturan partículas de contaminación, pueden aumentar la vida útil de los materiales que cubren los edificios. El presente trabajo se basa en cuantificar mediante sistemas electrónicos hechos con hardware libre como Arduino una monitorización las variables que afectan el confort dentro de una habitación, nos basamos en el código open source para generar bases de datos con un sistema automático de adquisición de datos con la finalidad de almacenar información precisa y analizarla mediante estadística y así demostrar las mejoras que se obtienen al instalar los techos y paredes verdes en una cubierta. Después de llevar a cabo el análisis encontramos que había una diferencia sustancial de temperatura que hacía que los sistemas de techos verdes disminuyeran en hasta 12 °C la temperatura en las horas más calientes del día, y aumentando la humedad del aire hasta en un 88%, generando un ambiente de confort en los edificios en donde se instalan.

Palabras clave: techos verdes, paredes verdes, Arduino.

INTRODUCCIÓN/ANTECEDENTES

Actualmente las ciudades con gran densidad de población, muestran características que las hacen ser lugares donde ya no es posible contar con las comodidades que proveen los hogares, en parte esto es debido al efecto isla de Calor Urbana, que es, un domo invisible que se forma en las zonas más densamente pobladas, porque la exposición de las superficies o cubiertas de los edificios absorben la luz y calor del sol, durante el día y la liberan durante la noche, generando cambios en el microclima de la ciudad. Por otra parte, un problema de estas características puede ser solucionado con una cubierta vegetal, conocidos como techos y paredes verdes, que tienen la virtud de ser aislantes térmicos, y por lo tanto, no absorber el calor del sol, sino que lo disipa con el mismo tapete vegetal que está en contacto con los rayos solares. Mientras la superficie de materiales como el concreto tienen temperaturas muy altas a ciertas horas del día, la temperatura de una superficie cubierta con pasto o plantas es mucho más baja. Por otro lado, la expansión y contracción del material o superficie que cubre las casas tiende a desgastarse con rapidez, mientras que los techos y paredes verdes reducen el desgaste por enfriamiento y calentamiento de los materiales, actuando como una capa protectora del calor y frío durante las horas más calientes del día y viceversa, durante las horas más frías de la noche.

Para la implementación del proyecto recurrimos a sistemas de ingeniería aplicada a la conservación del confort térmico y el aislamiento de las variaciones del clima externo, nuestro objetivo fue analizar los datos que detectaban los sensores en intervalos regulares, para crear una inmensa base de datos, que contenga las variaciones y que nos permita contestar las hipótesis que tenemos como parámetro del aumento o disminución de temperatura que existe entre un edificio común y uno dotado de los paneles verdes, ya sea en el techo y/o en las paredes, además de las otras variables como humedad relativa, luces, vibración telúrica y humedad del sustrato estos datos se colectaron en un periodo de Agosto a Diciembre. Lo cual nos permitió demostrar que los sistemas de techos verdes son realmente eficientes,

si se habla de confort térmico y aislamiento de factores externos que aumentan y/o potencializan las características deseadas de una casa o edificio.

Metodología

Descripción del sistema de monitorización

Se diseñó un sistema de monitorización de variables físicas como: temperatura del aire, humedad relativa del ambiente, vibración telúrica, intensidad de luz en cantidad de luxes y humedad del sustrato, que tienen como cualidad principal la descripción de las características deseadas en el confort de una habitación. Todos los sensores y detectores son componentes electrónicos, que pueden ser conectados mediante cables o pines, y utilizan voltajes de 5 Volts y corrientes no mayores 100 mA.



Figura 1. Pasos del procedimiento de construcción del sistema de monitorización de variables físicas y adquisición de datos.

Para completar el diseño del circuito tomamos como parte fundamental del sistema, los sensores para acoplarlo en la tarjeta Arduino, ya que su código abierto permite desarrollar múltiples aplicaciones como es el caso de este sistema de monitorización. Para dicho sistema el circuito impreso que integra diferentes sensores que detectan las variables deseadas, para crear este circuito impreso prescindiendo del software Eagle y 123d circuits de Autodesk, en el cual permite simular su funcionamiento antes de construirlo. Por otro lado, las variables se capturan en Office Excel 2010 automáticamente gracias a un software denominado FLX-DAQ, que se describirá posteriormente.

Para crear una comparativa entre las condiciones del clima y de las condiciones de la maqueta (monitoreo externo e interno respectivamente), se crearon dos sistemas de monitorización, el externo solo mide temperatura, humedad y luxes y el interno que mide temperatura, humedad relativa, luxes, vibración telúrica y cantidad de humedad en el sustrato, este se instaló en el interior de la maqueta. Durante las pruebas para detectar y corregir errores en los circuitos y los códigos de programación en la tarjeta Arduino, se hizo una primera prueba que consistió en monitorizar las variables descritas anteriormente, pero en el interior del edificio de nuestro espacio a evaluar y que analizamos para verificar la eficiencia de los techos y paredes verdes. Una vez que se completó el análisis se vio una gran viabilidad para implementar el experimento.

Sensores para el sistema de monitorización.

Para el sistema de monitorización de la maqueta, se cuenta con 4 componentes electrónicos que son: sensor DHT 11 (temperatura y humedad relativa), sensor LDR (cantidad de luxes), sensor CNY 70 (detector de proximidad), sensor capacitivo de placas paralelas (humedad del sustrato), todos ellos fueron disueltos de tal forma que registran las variables físicas y se registran en una hoja de cálculo de

2.- Publicación en la revista Perfiles HT Humanismo que transforma, Año 4, No. 39, mayo 2017, es una publicación mensual editada, publicada y distribuida por la Universidad Autónoma del Estado de México, publicado: <https://www.dropbox.com/s/l0p9obnqwl2ru7w/ht39.pdf?dl=0>.

III Colombia

Son eficientes los paneles verdes?

Oscar González Waga
 Tesis de Ingeniería Industrial en el Centro Universitario
 Valle de México
 Carlos Omar González Morán, Víctor Herrera Hernández,
 Juan Carlos Baltazar Escalona
 Profesores-investigadores en el Centro Universitario
 Valle de México

Estudios actuales han demostrado que los hogares modernos, en gran medida, el microclima de la ciudad a causa de un fenómeno denominado Isla de calor urbana, como invisible que se forma en las zonas densamente pobladas; el problema es que las superficies de concreto absorben el calor del sol durante el día y lo liberan en la noche. Una solución a esto es cubrir de pasto o plantas los techos de los edificios, ¿pero son realmente eficientes?

Las azoteas y paredes verdes cuentan con propiedades que funcionan como aislantes de ruido (insonorizan), aumentan el confort térmico de un edificio y reducen el desperdicio de energía destinada a

El sistema de monitoreo también servirá para la interpretación y predicción del comportamiento climático

calentar o enfriar un inmueble. Esta opción puede evitar el almacenamiento de energía calorífica mediante una superficie que la disipa entre sus cubiertas vegetales «paneles o techos», con lo que crea unas capas aislantes entre el concreto y el sol denominados paneles verdes. Estos garantizan impermeabilización y durabilidad a buen costo que representan una alternativa real en la arquitectura contemporánea.

En el Centro Universitario Valle de México construimos un sistema de monitoreo para verificar el comportamiento de los paneles verdes en un edificio u hogar. Este método adquiere automáticamente datos numéricos de varias variables físicas: temperatura, humedad relativa, humedad del subsuelo y vibraciones sísmicas, a través de sensores para formar bases de datos en Excel y exportarlos a programas estadísticos como Rstudio, EViews, Opto, Minitab, Stata, a fin de analizarlos y obtener gráficos que ayuden a la interpretación y predicción del comportamiento climático.

El estudio de estos factores consiste en aplicar modelos matemáticos y estadísticos como cálculo de media, varianza, cuartiles, amplitudes de rango, distribución de frecuencias, regresión lineal, modelos autoregresivos integrados de medias móviles «ARIMA» y promedios móviles. Tras el análisis se concluyó que los techos y paredes verdes disminuyen la sensación de calor dentro de las habitaciones y aumentan la humedad relativa del aire, creando un espacio confortable debido a la reducción de 9 °C en el día y a la regulación de la temperatura durante la noche. Empíricamente, los techos verdes tienen un desempeño menor que el que conseguimos en nuestros sistemas de monitoreo, dado que la temperatura se redujo 1.6 °C como amplitud máxima, 9 media y mínima de 6.

Es importante que al instalar el sistema de paneles verdes se evite que la humedad de los substratos se infiltre en las cubiertas, por ello la impermeabilización es crucial. En nuestro diseño, la humedad relativa aumenta 15 por ciento máximo, a diferencia de un edificio común.

Por lo anterior, podemos concluir que el uso de paneles verdes contribuye de manera significativa al cambio del microclima de cualquier ciudad.

3.- Ponencia en el Congreso Multidisciplinario de Investigación Humanismo Sustentable, de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Diseño, construcción y estudio de la eficiencia de los paneles verdes mediante un sistema de monitorización de variables físicas

Oscar González Woge ¹, Juan Carlos Baltazar Escalona ¹, Héctor Herrera Hernández ¹ y Carlos Oscar González Morán ⁴

^{1,2,3,4} Universidad Autónoma del Estado de México, Laboratorio de desarrollo de materiales y procesos inteligentes, Centro Universitario UAEMD Valle de México, Blvd. Universitario s/n, Predio de San Javier, Atzacapa de Zaragoza, C.P. 54500, Edo. De Méx., México
e-mail: oscar90@gmail.com

RESUMEN

Para el presente artículo, se realizó una tarea, de diseñar, construir y estudiar, el comportamiento de las variables: temperatura, humedad relativa, humedad del sustrato, cantidad de luces y vibraciones mecánicas y telúricas, por medio de un sistema de monitoreo automático que realizaba capturas de dichas variables desde sensores acoplados a una tarjeta Arduino y mandaba los datos a un ordenador vía alámbrica, con un intervalo de tiempo definido por código abierto, creando inmensas bases de datos para que sus cifras fueran estudiadas, mediante medidas de tendencia central y estudio de series de tiempo, aplicando modelos de regresión lineal simple con ecuaciones logarítmicas, cuadráticas, etc. Al graficar las observaciones por medio de software estadístico como R studio de código abierto, se demostró la relación que existía entre variables y sus frecuencias, densidades e histogramas, los cuales ayudaron a la interpretación de los datos. Al terminar el análisis de regresión lineal, se obtuvieron resultados que confirmaron la eficiencia de los paneles verdes en la muestra que se construyó, dando resultados que reforzaban la hipótesis de nuestro experimento, demostrando que las cubiertas vegetales instaladas en edificios reducen hasta en 13 °C la temperatura atmosférica y la humedad relativa del viento se potencializa hasta en 15 % más que en un edificio común.

Palabras clave: paneles verdes, Arduino, código abierto.

ABSTRACT

For this article, was a task, to design, construct and study, the behavior of the variables, temperature, relative humidity, soil humidity, quantity of Luz and mechanic and telluric vibrations, through a system for automatic monitoring that carried out captures of these variables from sensors connected to an Arduino board and send the data to a computer wired by a USB cable, with an interval of time defined by open source code, creating huge databases so that their graphics were studied, using central tendency measures and study of time series analysis applying models of simple linear regression with logarithmic, quadratic equations, etc. To graph the observations by means of a statistical software, named: R studio of Open Source, it was demonstrated the relationship between variables and their frequencies, densities and histograms, which helped with the interpretation of the data. At the end of the linear regression analysis there were results that confirm the efficiency of green panels in the layout that was built, giving results reinforcing the hypothesis of our experiment, demonstrating that mulches or green panels installed in buildings reduced up to 13 °C air temperature and relative humidity is potentialized up to 15%, more than in a common building.

Keywords: Arduino, green panels, monitoring.

1. INTRODUCCIÓN

Nos pusimos como objetivo elaborar un sistema de monitorización de variables físicas (temperatura atmosférica, humedad relativa atmosférica, humedad del sustrato, cantidad de luces y vibraciones mecánicas y telúricas), además el siguiente objetivo del trabajo de investigación, fue desarrollar un análisis estadístico para las bases de datos generadas a partir del proceso de monitorización de variables físicas. El estudio de las variables físicas consiste en aplicar modelos matemáticos y estadísticos como medidas de tendencia central, valores percentiles, estadísticos de dispersión y de distribución, análisis de regresión lineal, modelos autorregresivos de medias móviles "ARIMA" y promedios móviles, además de pruebas t, F y Z. Con el análisis podemos comprobar ciertas hipótesis que dieron veracidad a la idea de que los paneles verdes ayudan a reducir

González Woge, Oscar A1, Baltazar Escalona, Juan Carlos A2, Herrera Hernández, Héctor A3, González Morán, Carlos Oscar A4, Diseño, construcción y estudio de la eficiencia de los paneles verdes mediante un sistema de monitorización de variables físicas, pp. 1-36, 2017.

la variabilidad de las condiciones atmosféricas (humedad relativa y temperatura), donde son instalados.

Los paneles verdes (living roof and walls, green roof and walls) son muros o techos vivos, es una pared o azotea, ya sea solitaria o integrada a un edificio o recinto, que está completa o parcialmente cubierta de vegetación, el término techos verdes no se refiere a techos con pasto sintético de color verde, ni tampoco a techos con jardines en macetas; cubiertas verdes, paneles verdes, tapetes vegetales, techos y paredes apiladas y jardines verticales y en azoteas, son algunos de los nombres que recibe el sistema de ingeniería descrito en el presente trabajo de investigación. Al disminuir la cantidad de áreas verdes se ha reducido la cantidad de rayos solares por la vegetación disminuyendo en un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de la energía calórica absorbida durante el día por las construcciones y superficies impermeables, un problema como este puede ser resuelto mediante la instalación de paneles verdes en las superficies de los edificios de la urbe y en sus suburbios. Por otra parte, las superficies de materiales como el concreto tienen temperaturas muy altas a ciertas horas del día, la temperatura de una superficie cubierta con pasto o plantas es mucho más baja. Se ha demostrado que los hogares y edificios actuales, modifican en gran medida el microclima de la ciudad, en parte, debido al fenómeno denominado, "Efecto Isla de Calor Urbana", en la actualidad las ciudades con gran densidad de población son aquejadas gravemente por este fenómeno, que es un domo invisible que se forma en las áreas metropolitanas conformando una concentración del calor en las zonas más densamente pobladas, lo cual, tiene consecuencias irreversibles para el medio ambiente. Por otro lado, la expansión y construcción del material que cubre las casas tiende a degradarse con rapidez, mientras que los techos y paredes verdes reducen el desgaste por enfriamiento y calentamiento de los materiales, actuando como una capa protectora del calor y el frío durante las horas, más calientes del día o la más frías de la noche. Además, las cubiertas verdes pueden servir como una capa ignífuga, funcionando como un retardante del fuego en caso de un incendio.

Para la implementación del proyecto recurrimos sistemas electrónicos de ingeniería aplicada a la conservación del confort térmico y el aislamiento de las variaciones del clima externo, con ello analizamos los datos que detectaban los sensores de variables físicas en intervalos regulares de tiempo, para crear una inmensa base de datos (cerca de 900,000 datos), los cuales nos permitieron contrastar las hipótesis sobre el aumento o disminución de temperatura y humedad relativa que existe entre un edificio común y uno dotado de los paneles verdes, ya sea en el techo y/o en las paredes, además de las otras variables como humedad del sustrato, cantidad de luz, vibraciones mecánicas y telúricas. Estos datos se registraron en un periodo de agosto a diciembre. Lo cual nos permitió observar mediante análisis de las series de tiempo con modelos de regresión lineal y series de tiempo, los cambios para el confort térmico y el aislamiento de los factores externos que aumentan y potencializan las características deseadas de una casa o edificio.

2. DESARROLLO Y METODOLOGÍA

Se diseñó un sistema de monitorización de variables físicas como: temperatura del aire, humedad relativa del ambiente, vibración mecánica y telúrica, intensidad de luz y humedad del sustrato, que tiene como finalidad la obtención de las muestras estadísticas para elaborar un análisis de regresión lineal mediante el método de mínimos cuadrados que será fundamental para poder describir las condiciones de confort de una habitación. Los sensores son componentes electrónicos que utilizan voltajes no mayores a 5 volts y consumen no más de 100 mA. Para completar el diseño del sistema de monitoreo que se montó en el prototipo (panel verde), los sensores se les organizó en una placa de circuito impreso que sirvió como un montaje denominado Shield que fue acoplada en una tarjeta de hardware libre denominada Arduino. Para la creación de dicho circuito impreso (PCB) prescindiendo del software Fritzing. Por otro lado, las variables se capturan mediante un cable USB hacia un ordenador utilizando el software Excel 2010 en conjunto con la aplicación denominada PLX-DAQ. Este programa tiene la cualidad de adquirir la información en tiempo real, donde podemos configurar el modo de adquisición como: encabezado, cantidad de decimales, intervalo de muestreo, fecha y tamaño de la muestra. Para crear una comparativa entre las condiciones del clima y de las condiciones del panel verde (monitoreo interno y externo respectivamente), se crearon dos sistemas de monitoreo, el externo solo mide temperatura del viento, humedad relativa atmosférica y cantidad de luces, y el interno (prototipo) mide temperatura ambiental, humedad relativa del aire, cantidad de luces, vibraciones mecánicas y telúricas y humedad del sustrato, este se instaló en el interior del panel verde (prototipo). Durante las pruebas para detectar y corregir errores en los circuitos y en los códigos de programación en la tarjeta Arduino, se hizo una primera monitorización que contribuyó en medir las variables descritas anteriormente, pero en el interior del edificio del espacio a evaluar.

Autor Responsable:

Fecha de envío:

Fecha de aceptación:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS PANELES VERDES, MEDIANTE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS

Oscar González Woge¹, Juan Carlos Baltazar Escalona², Héctor Herrera Hernandez² y
Carlos Omar González-Morán³

^{1,2,3,4} Universidad Autónoma del Estado de México
Centro Universitario UAEM Valle de México, Blvd. Universitario S/N, Predio San Jacinto
Ciudad López Mateos, Estado de México, México, 54500.
oscarw93@gmail.com

Resumen: Para el presente artículo, se realizó una tarea, de diseñar, construir y estudiar, el comportamiento de las variables: temperatura, humedad relativa, humedad del sustrato, cantidad de luz y vibraciones mecánicas y telúricas, por medio de un sistema de monitoreo automático que realizaba capturas de dichas variables desde sensores acoplados a una tarjeta Arduino y mandaba los datos a un ordenador vía inalámbrica, con un intervalo de tiempo definido por código abierto, creando inmensas bases de datos para que sus cifras fueran estudiadas, mediante medidas de tendencia central y estudio de series de tiempo, aplicando modelos de regresión lineal simple y múltiple con ecuaciones logarítmicas, cuadráticas, etc. Al graficar las observaciones por medio de software estadístico como R, estudio de código abierto, se demostró la relación que existía entre variables y sus frecuencias, densidades e histogramas, los cuales ayudaron a la interpretación de los datos. Al terminar el análisis de regresión lineal, se obtuvieron resultados que confirman la eficiencia de los paneles verdes en la manera que se construyó, dando resultados que reforzaban la hipótesis del experimento, demostrando que las cubiertas vegetales instaladas en edificios reducen hasta en 8 °C la temperatura atmosférica y la humedad relativa del viento se potencializa hasta en 15 % más que en un edificio común.

Palabras clave: Arduino, paneles verdes, monitorización.

Abstract: For this article, was a task, to design, construct and study, the behavior of the variables, temperature, relative humidity, soil humidity, quantity of Lux and mechanic and telluric vibrations, through a system for automatic monitoring that carried out capture of these variables from sensors connected to an Arduino board and send the data to a computer wired by a USB cable, with an interval of time defined by open source code, creating huge databases so that their graphics were studied, using central tendency measures and study of time series analysis applying models of simple and multiple linear regression with logarithmic, quadratic equations, etc. To graph the observations by means of a statistical software, named, R, studio of open source, it was demonstrated the relationship between variables and their frequencies, densities and histograms, which helped with the interpretation of the data. At the end of the linear regression analysis there were results that confirm the efficiency of green panels in the layout that was built, giving results reinforcing the hypothesis of our experiment, demonstrating that mulches or green panels installed in buildings reduced up to 8 °C air temperature and relative humidity is potentialized up to 15%, more than in a common building.

Key words: Arduino, mulches, monitoring.

1. Introducción

Actualmente las ciudades con gran densidad de población, muestran características que las hacen ser lugares donde ya no es posible contar con las comodidades que proveen los hogares, en parte todo esto es debido al efecto Isla de Calor Urbana, que es, un domo invisible que se forma en las zonas más densamente pobladas, porque la exposición de las superficies o cubiertas de los edificios absorben la luz y calor del sol, durante el día y la liberan durante la noche, generando cambios en el microclima de la ciudad. Por otra parte, un problema de estas características puede ser solucionado con una cubierta vegetal, conocidos como techos y paredes verdes, que tienen la virtud de ser aislantes térmicos, y, por lo tanto, no absorber el calor del sol, sino que lo disipa con el mismo tapete vegetal que está en contacto con los rayos solares. Mientras la superficie de materiales como el concreto tienen temperaturas muy

altas a ciertas horas del día, la temperatura de una superficie cubierta con pasto o plantas es mucho más baja. Por otro lado, la expansión y contracción del material o superficie que cubre las casas tiende a desgastarse con rapidez, mientras que los techos y paredes verdes reducen el desgaste por enfriamiento y calentamiento de los materiales, actuando como una capa protectora del calor y frío durante las horas más calientes del día y viceversa, durante las horas más frías de la noche.

Para la implementación del proyecto recurrimos a sistemas de ingeniería aplicada a la conservación del confort térmico y el aislamiento de las variaciones del clima externo, el objetivo fue analizar los datos que detectaban los sensores en intervalos regulares de tiempo, para crear una inmensa base de datos, que contenga las variaciones y que permita contestar las hipótesis que se conocen como parámetro del aumento o disminución de temperatura que existe entre un edificio común y uno dotado de los paneles verdes, ya sea en el techo y/o en las paredes, además de las otras variables como humedad relativa, cantidad de luz expresada en luxes, vibración telúrica y humedad del sustrato estos datos se registraron en un periodo de Agosto a Diciembre. Lo cual permitió demostrar que los sistemas de techos verdes son realmente eficientes, si se habla de confort térmico y aislamiento de factores externos que aumentan y/o potencializan las características deseadas de una casa o edificio.

2. Marco Teórico

Una particularidad de la vegetación es aumentar o reducir la humedad del lugar donde se encuentra. Las azoteas que cuentan con naturaleza tienen la ventaja de la regulación de la humedad, es decir en época de sequía cuando el aire es seco, la vegetación evapora agua que, contenida en las raíces, de esta manera aumenta relativamente la humedad del aire. Caso contrario cuando el ambiente es húmedo se presenta el proceso de la formación de rocío, condensando la niebla para que de esta se formen las gotas de agua y se infiltren hacia la capa de sustrato. En estudios realizados en Kassel, Alemania por Robinette en 1972 se observó que durante la época de sequía, la vegetación evapora aproximadamente 1, 500,000 litros de agua por cada hectárea, y cuando existe demasiada humedad en el aire la vegetación de un metro cuadrado puede transformar hasta 1/2 litro de agua de rocío (Tobar., (2017)).

Un caso de éxito son los "árboles urbanos" de la empresa "Green city solutions". Se trata de estructuras de cuatro metros de alto que, según sus creadores, purifican el aire de las partículas perjudiciales para la salud, como el óxido de nitrógeno y el ozono, tal y como lo harían 275 árboles. Desde el inicio de la empresa se han implementado en varias ciudades europeas con actuales instalaciones en Noruega, Francia, Alemania, Bélgica, Macedonia y Hong Kong. Este 'árbol urbano' usa Internet de las Cosas (IoT) y el poder natural purificador del aire que tienen las plantas. Y lo hace mediante el uso de un tipo de musgo que forma un jardín vertical o pared verde conectado a un sistema con tecnología de IoT. Aseguran que el 'árbol urbano' es capaz de evitar la emisión de más de 200 toneladas de CO2 al año y, al mismo tiempo, se encarga de generar aire limpio ocupando hasta un 99% menos de espacio y terreno que los 275 árboles a los que equivale su función purificadora. Entre las ventajas que le atribuyen sus creadores se halla su casi total autosuficiencia. Para lograrlo, el 'árbol' lleva integrado un sistema de recolección de lluvia y un tanque de almacenamiento de agua, al que se suma un método que conecta la irrigación automática con el sistema de monitoreo del 'CityTree'. La estructura tiene conexión wifi e incorpora un sistema de algoritmos que analiza los flujos de partículas. Además, genera datos de calidad del aire y del clima de la urbe, que pueden ser incorporados a las bases de datos abiertos de la ciudad, para su análisis a la hora de tomar decisiones relativas a cuestiones climáticas. Por otra parte, cuenta con una pantalla para mostrar información visual sobre calidad del aire o sobre el clima, entre otros contenidos, alimentada mediante energía limpia generada por la incorporación de un panel fotovoltaico (Honus., (2016)).

5.- Publicación de un artículo para la revista Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, Área de electrónica en la Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, Journal CIM, Vol. 5 Num. 1 (edición especial) Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, agosto de 2017, ISSN: 2007-8102, publicado: <https://www.dropbox.com/s/rke2y06pnillr4/Revista%20CIM%202017especial.pdf?dl=0>.

La eficiencia de los paneles verdes mediante un sistema de monitorización electrónico Open Source de variables físicas

Oscar González Wöge^{1*}, Héctor Herrera Hernández², Juan Carlos Baltazar Escalona¹, José de Jesús Agustín Flores Cuautle², Carlos Omar González Morán³

¹Laboratorio de desarrollo de materiales y procesos inteligentes, Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Valle de México, Blvd. Universitario s/n, Predio San Javier Atizapán de Zaragoza, C.P. 54500, Edo. de Méx., MÉXICO.

²CONACYT, Maestría en Ingeniería en Electrónica, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México

*ocarpw93@gmail.com

Área de participación: La electrónica en la investigación.

Resumen:

El objetivo fue elaborar un sistema de monitorización de variables físicas en un modelo a escala o prototipo de un panel verde, a este prototipo se le instalaron sensores que registraban los cambios dentro y fuera del panel verde. Para la adquisición y almacenamiento de los datos provenientes las de variables físicas se construyó un sistema construido electrónicamente con dispositivos de hardware libre y código abierto Open Source. Los datos recolectados fueron adquiridos durante 42 días y así se efectuó un análisis estadístico, tomando sus medidas de tendencia central, y su regresión mediante ecuaciones lineales. Los resultados del análisis de regresión favorecen la implementación de paneles verdes en edificios, observando una clara disminución de la temperatura de hasta en 13 °C, además de aportar beneficios ambientales como la reducción del bióxido de carbono y la disminución del microclima urbano por área verde determinada.

Palabras clave: techos verdes, paredes verdes, Arduino.

Abstract:

Our challenge was to create a system for monitoring physical variables in a scale model, in which we installed electronic sensors that recorded the changes inside and outside of the prototype of a green panel. To get the system ready for data acquisition and saving, we build a system constructed electronically with Open Source code and a free hardware dispositive named Arduino. All data recorded were acquired for 42 days and after that time, the statistical analysis give the central tendency measures and linear equations for the least squares method. The statistical analysis was made by the regression analysis of linear equations. At the end of the regression, the results were in favor for the implementation of green panels in buildings; also, they can bring several benefits to the environment. Our conclusion was that the experiment generated atmospheric conditions that reduced in 13 °C and reduces carbon dioxide and the diminution of the urban weather for a determined green area.

Keywords: green roofs, green walls, Arduino.

Introducción

Actualmente las ciudades con gran densidad de población, muestran características que las hacen ser lugares donde ya no es posible contar con las comodidades que proveen los hogares, en parte todo esto es debido al efecto Isla de Calor Urbana, que es, un domo invisible que se forma en las zonas más densamente pobladas, porque la exposición de las superficies o cubiertas de los edificios absorben la luz y calor del sol, durante el día y la liberan durante la noche, generando cambios en el microclima de la ciudad. Por otra parte, un problema de estas características puede ser solucionado con una cubierta vegetal, conocidos como techos y paredes verdes, que tienen la virtud de ser asistentes térmicos, y, por lo tanto, no absorber el calor del sol, sino que lo disipa con el mismo tapete vegetal que está en contacto con los rayos solares. Por otro lado, la superficie de materiales como el concreto mantienen temperaturas muy altas a ciertas horas del día, así en comparación la temperatura de una superficie cubierta con pasto o plantas es mucho más baja. La expansión y contracción del material o superficie que cubre las casas tiende a desgastarse con rapidez, mientras que los techos y paredes verdes reducen el desgaste por enfriamiento y calentamiento de los materiales, actuando como una capa protectora del calor y frío durante las horas más calientes del día y viceversa, durante las horas más frías de la noche.

Para la implementación del prototipo recurrimos a sistemas electrónicos de ingeniería aplicada a la conservación del confort térmico y el aislamiento de las variaciones del clima externo, con ello analizamos los datos que detectaban los sensores de variables físicas en intervalos regulares de tiempo, para crear una inmensa base de datos (alrededor de 900,000 datos), las cuales nos permitieron contestar las hipótesis sobre el aumento o disminución de temperatura y humedad relativa que existe entre un edificio común y uno dotado de los paneles verdes, ya sea en el techo y/o en las paredes, además de las otras variables como humedad relativa, luces, vibración telúrica y humedad del sustrato. Estos datos se colectaron durante el periodo de agosto a diciembre. Lo cual nos permitió observar mediante modelos de regresión lineal y series de tiempo [Pérez, César., (2006)] los cambios para el confort térmico y aislamiento de factores externos que aumentan y/o potencializan las características deseadas de una casa o edificio.

Metodología

Descripción del sistema de monitorización

Se diseñó un sistema de monitorización de variables físicas como: temperatura del aire, humedad relativa del ambiente, vibración telúrica, intensidad de luz en cantidad de luxes y humedad del sustrato, que tienen como cualidad la obtención de las muestras estadísticas para elaborar un análisis de regresión lineal mediante el método de mínimos cuadrados que será fundamental para poder describir de las características deseadas en el confort de una habitación. Los sensores son componentes electrónicos que utilizan voltajes no mayores a 5 volts y consumen no más de 100 mA.

Para completar el diseño del sistema de monitoreo que se montó en el prototipo (panel verde), los sensores se les organizo en una placa de circuito impreso que sirvió como un montaje denominado Shield que fue acoplada en una tarjeta de hardware libre nombrada Arduino. Para la creación de dicho circuito impreso prescindimos del software *Fritzing*. Por otro lado, las variables se capturan mediante un cable USB hacia una computadora personal utilizando el software Excel 2010 en conjunto con la aplicación denominada PLX-DAQ. Este programa tiene la cualidad de adquirir la información en tiempo real, donde podemos configurar el modo de adquisición como: encabezado, cantidad de decimales, intervalo de muestreo, fecha y tamaño

4. Glosario

Definición de Huertos urbanos. - Un huerto urbano es un espacio, ya sea en mesas de cultivo o en macetas, en el que se cultiva de forma sostenible hortalizas y plantas aromáticas que luego disfrutarlos en la cocina. Durante su crecimiento ponemos en marcha técnicas agro-ecológicas para que la producción de los alimentos sea natural y al mismo tiempo bien planificada para ahorrar dinero, tiempo y trabajo.

Definición de Telúrico. - El vocablo latino tellus llegó a nuestro idioma como telúrico. Se trata de un adjetivo que se usa para calificar a aquello vinculado al planeta Tierra o al telurismo (concepto que se relaciona a la influencia que ejerce el suelo de una región sobre las personas que habitan en él). Movimiento telúrico, por lo tanto, hace referencia a un terremoto, seísmo o sismo.

Definición de Isla de Calor Urbana. - La isla de calor es una situación urbana, de acumulación de calor por la inmensa mole de hormigón, y demás materiales absorbentes de calor; y atmosférica que se da en situaciones de estabilidad y lo liberan en la noche, creando cambios en el microclima de la ciudad.

Definición de Plusvalía. - Se define como el aumento del valor de un objeto o cosa por motivos extrínsecos a ellos.

Definición de Estrategia Nacional de Cambio Climático. - Es una medida para mitigar los efectos de la industrialización y la contaminación, por la acción de las actividades humanas sobre el medio ambiente. En México prevalecen condiciones de alta vulnerabilidad ante el cambio climático. La información sobre los impactos climáticos históricos y las tendencias socioecológicas y socioeconómicas, aunada a los fenómenos actuales de industrialización y urbanización, así como el uso indiscriminado y el consecuente deterioro de los recursos naturales, entre otros, representan un problema ambiental, social y económico que se agudizará por los efectos del cambio climático. Es una medida para mitigar los efectos mencionados en la definición anterior, por la acción de las actividades humanas sobre el medio ambiente.

Definición de Sistemas de naturación. - Son los sistemas de diseño, instalación, construcción y mantenimiento de las paredes y muros verdes en los edificios nuevos y existentes. Haciendo uso de las disciplinas como ingeniería, arquitectura, ecología y botánica, para integrar a los edificios y los jardines.

Definición de Capa Ignífuga. - Las cubiertas o capas ignífugas tienen la función de retardar las consecuencias del fuego. Al realizar este tipo de protección conseguimos dilatar el tiempo para permitir tanto la evacuación de las personas, como el acceso de los cuerpos especializados en extinción de incendios por un determinado plazo de tiempo.

Definición de Arquitectura vernácula. - El término vernáculo se deriva del latín vernaculus, que significa "doméstico, nativo, indígena", desde «verna», que significa "esclavo nativo" o "esclavo nacido en casa". Edificio folclórico creciendo en respuesta a las necesidades reales, ajustado al entorno por personas que conocían mejor que nadie lo que encaja y con un sentimiento patrio.

Definición de Arquitectura bioclimática. - La arquitectura bioclimática consiste en el diseño de edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos) para disminuir los impactos ambientales, intentando reducir los consumos de energía.

Definición de Pretil. - Muro protector de poca altura a los lados de un puente o en el borde de una terraza, balcón, etc., construido para preservar de caídas.

Definición de diseño. - El diseño se define como el proceso previo de configuración mental, "prefiguración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas.

Definición de construcción. - Es el hecho de hacer una obra material, que se compone de muchos elementos.

Definición de sistema físico. - Un sistema físico es aquel cuyos componentes y variables son entidades y magnitudes físicas y las relaciones son de transferencia de materia y energía.