

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



Óscar González Woge¹, Juan Carlos Baltazar Escalona², Héctor Herrera Hernández³ y Carlos Omar González Morán⁴

^{1,2,3,4}Universidad Autónoma del Estado de México
Centro Universitario UAEM Valle de México, Blvd. Universitario S/N, Predio San Javier
Ciudad López Mateos, Estado de México, C.P. 54500.



oscargw93@gmail.com

Recibido: Mayo 25, 2017.

Recibido en forma revisada: Junio 30, 2017.

Aceptado: Enero 08, 2017.

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 luxes, 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 y múltiple 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 confirman la eficiencia de los paneles verdes en la maqueta 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 y 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 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 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.

+ **Keywords:** *Arduino, mulches and monitoring.*

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 se recurrió 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 constatar 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.

Marco teórico

Una particularidad de la vegetación es aumentar o reducir la humedad del lugar donde se encuentra. Las azoteas que cuentan con naturación 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 ½ 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’ une 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 abiertas 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).

La Secretaría del Medio Ambiente ha venido impulsando desde el año 2007 la creación de áreas verdes inducidas mediante el sistema para la naturación de azoteas. Con este sistema se crean azoteas verdes en edificaciones de tipos diversos generando beneficios ambientales y sociales.

La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México a través de la Dirección de Reforestación Urbana, Parques y Ciclovías ha realizado o colaborado en las siguientes azoteas verdes:

1. En el 2007 se naturaron 2226.56 m² de azotea en colaboración con el Sistema de Transporte Colectivo Metro. (Cendi para trabajadores del Sistema de Transporte Metro con una superficie naturada de 1189.56 m² y la Glorieta del Metro Insurgentes del Sistema de Transporte Metro con una superficie naturada de 1037.00 m²).

2. En el año 2008 se naturaron 6752.15 m² de azotea principalmente en edificaciones públicas pertenecientes al Gobierno de la Ciudad de México. Los espacios naturados fueron:

- Hospital de Especialidades Dr. Belisario Domínguez con una superficie naturada de 971.00 m².
- Escuela Preparatoria Iztacalco “Felipe Carrillo Puerto” con una superficie naturada de 1477.85 m².
- Escuela Preparatoria Coyoacán “Ricardo Flores Magón” con una superficie naturada de 2222.80 m².
- Centro de Educación Ambiental “Yautlica” con una superficie naturada de 1500.00 m².
- El Museo de Historia Natural con una superficie naturada de 60.00 m².
- Secundaria técnica N° 14” Cinco de Mayo” con una superficie naturada de 220.50 m².

3. Durante el año 2009 se crean 3183.50 m² de naturación principalmente gracias a los resolutive de impacto ambiental que indican la naturación como una de las medidas de mitigación por los impactos ambientales negativos de construcciones diversas. Los inmuebles en que se realizaron los trabajos:

- Plaza Central con una superficie naturada de 3000.00 m².
- Superama Horacio con una superficie naturada de 300.00 m².
- Escuela Preparatoria Álvaro Obregón “General Lázaro Cárdenas del Río” con una superficie naturada de 183.50 m².

4. En el 2010 sólo se logró naturar el centro de Enseñanza Ambiental “Dr. Mario Molina” con una superficie de 140.00 m² (SEDEMA, 2011).

Metodología

Para construir el sistema de monitorización de variables físicas se dispuso del hardware libre y de su código abierto, Arduino, para completar el objetivo, de construir un sistema que comprenda las variables deseadas, además de capturarlas automáticamente, se diseñó primero el circuito en el software 123D Circuits, de Autodesk, con el cual se puede simular el funcionamiento del circuito antes de construirlo, para lo cual, se seleccionan los componentes electrónicos como en este caso, sensor DHT 11 (temperatura y humedad relativa), LDR (cantidad de luz expresada en luxes), CNY 70 (vibraciones mecánicas) y capacitor de placas paralelas (humedad del substrato), una vez dispuestos todos los sensores y después de conectarlos a la tarjeta Arduino, se procede a cargar el código abierto, que se puede descargar de la red, o se puede codificar propiamente, según se requiera, además de requerir un enlace entre el monitor de Arduino

y Excel, para la adquisición de datos, para éste fin, se optó por el PLX-DAQ, el cual mediante pocas líneas de código, permite enlazar el Arduino y la hoja de cálculo de Excel, para guardar los datos de los sensores en un archivo de Excel. Una vez desarrollada la simulación del prototipo, se procede a dibujar las pistas para las conexiones del PCB (Printed Circuit Board), en el mismo software, para después imprimir el diseño y lograr transferirlo a la placa fenólica y poder hacer las pistas mediante corrosión para poder crear el circuito ya con los componentes soldados en su posición definitiva. Obsérvese la Figura 1.

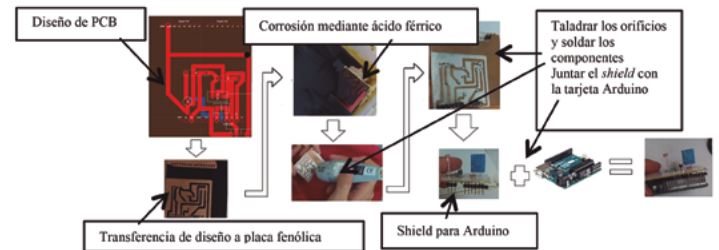


Figura 1. Resumen de los pasos para construir el sistema de monitorización de variables físicas.

Después de completar el sistema de monitorización de variables físicas, deberán de construirse 2 sistemas, uno para la maqueta y otro para el exterior, luego, se pasa a construir una maqueta de un panel verde, donde se instalará el sistema de monitoreo, la maqueta es un modelo a escala de un edificio dotado de una cubierta vegetal en su techo y/o paredes, el cual servirá para cuantificar las variables que mencionadas anteriormente, se recurre a la utilización de materiales comerciales, para construir la maqueta; polines de madera, paneles de tablaroca de yeso, triplay y tapetes asfálticos para impermeabilizar. La construcción comienza por formar la base con un triplay de madera, sobre el cual se montarán 4 pilares compuestos por polines de madera, a los cuales se les sujetarán 4 travesaños igual a los polines de madera, para formar una estructura sobre la que se le encimarán paneles de triplay y en la superficie del triplay se le empalmarán paneles de tablaroca de yeso, para conformar las paredes de la maqueta, a su vez, se le añadirán tapetes asfálticos que servirán como impermeabilizante para la maqueta. Después se agregará el tapete vegetal en el techo de la maqueta definido con un bastidor de madera, para que no se desborde el substrato en el cual estará sembrado el pasto. Una vez terminada la maqueta, y el sistema de monitorización, se puede instalar en el interior de la maqueta, para dar comienzo al experimento. Ver Figura 2.

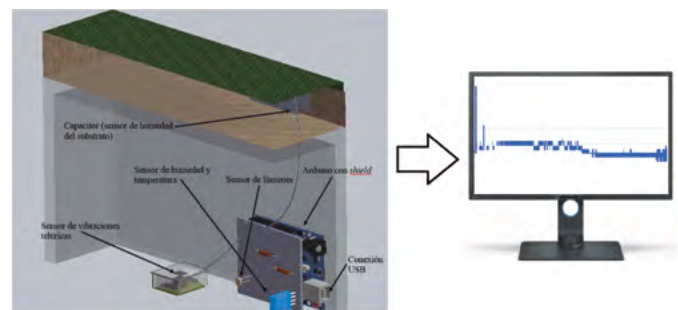


Figura 2. Maqueta de un panel verde con el sistema de monitorización de variables físicas en el interior.

Cuando se termina el experimento de monitorización, se realiza el análisis estadístico de las variables físicas mediante estadística descriptiva por medio de software estadístico como R studio, E views, Stata, SPSS, SAS y Minitab, en el cual permitió realizar el análisis de regresión lineal y posteriormente se grafican las ecuaciones y se analizan los residuos, para comprobar el ajuste del modelo, una ecuación es el modelo de regresión y con esa, se puede realizar una estimación. Ver resultados.

Resultados

El presente análisis estadístico cuantitativo se basa en conceptos de estadística descriptiva, debido a que las observaciones fueron adquiridas por sistemas de monitorización, además de resumirlas en conjuntos descriptos como poblaciones y muestras, y posteriormente, poder presentar estos resultados. El análisis se centra 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 e interior de la oficina de trabajo en luxes y porcentajes de vibración mecánica y telúrica. Para generar una población estadística se juntaron 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 866042 observaciones divididas en 3 muestras:

- Muestra maqueta 384046 observaciones de 4 variables.
- Muestra edificio F 141734 observaciones de 3 variables.
- Muestra exterior 340262 observaciones de 3 variables.

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, ya que no se contaba con ventanas en la maqueta, ni alguna fuente de iluminación artificial. 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, y fueron descartadas la humedad del subsuelo y la vibración telúrica, dado que no aplicaban a las condiciones de los experimentos efectuados en el exterior y en el interior del edificio "F". Ver Tabla 1.

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

Tabla 1. Arreglo de las variables por experimento.

Resultados de la maqueta. Las medidas de tendencia central de cada una de las variables físicas, promedios, medianas, cuartiles, amplitudes máximas y mínimas, las encontramos en la siguiente Tabla 2.

Vibración		Humedad Relativa		Temperatura		Humedad del substrato	
Dato adquirido	(%)	Dato adquirido	(%)	Dato adquirido	(°C)	Dato adquirido	(pF)
Mín.: 0.4888	0.25%	Mín.: 7 %		Mín.: 4°C		Mín.: 0.16pF	0.006%
1er Qu.: 7.3314	3.82%	1er Qu.: 24 %		1er Qu.: 13°C		1er Qu.: 29.84pF	1.20%
Media: 8.8436	4.61%	Media: 36.57 %		Media: 15.35°C		Media: 160.30pF	6.46%
3er Qu.: 8.7977	4.59%	3er Qu.: 49 %		3er Qu.: 17°C		3er Qu.: 209.56pF	8.45%
Máx.:191.5933	100%	Máx.: 88 %		Máx.: 30 °C		Máx.: 2479.82pF	100%

Tabla 2. Medidas de tendencia central para observaciones en maqueta.

Observar la relación entre variables registradas en la maqueta por medio de una matriz.

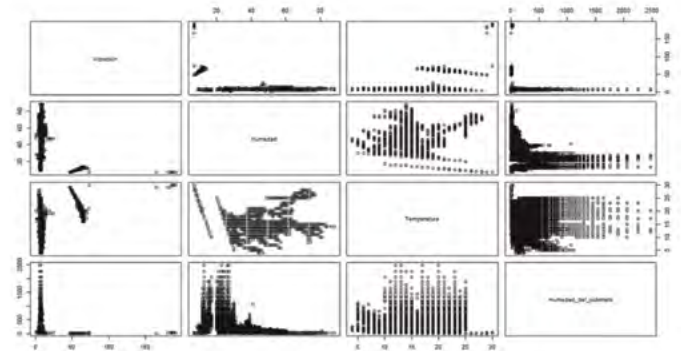


Figura 3. Matriz para gráficas de dispersión de las variables observadas en maqueta.

Humedad relativa y temperatura, se asignó como variable de respuesta a la temperatura y como variable explicativa a la humedad relativa, debido a que sus coeficientes de regresión eran estadísticamente altos y en la gráfica de dispersión demostró la correlación entre ambas variables. Lo cual resultó en el siguiente modelo de regresión lineal, ver ecuación (1):

Ecuación (1)

$$\Delta(\log(\text{Temperatura})) = -0.0144 \cdot \Delta(\text{Humedad}) + 0.1151 \cdot \Delta(\log(\text{Humedad}^2)) + 0.0369 \cdot D_{-8316} - 0.3492 \cdot D_{-45119} - 0.7283 \cdot D_{-189798} + [MA(1) = -0.6299]$$

Estadístico-t, para los coeficientes, β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 y una Media Móvil de primer orden:

$$(-1120.2847) *** (477.3974) *** (188.4744) *** (-12.8486) *** (-16.4321) *** (-7576.5734) ***$$

Donde:

Δ =primeras diferencias.

log=logaritmo base 10.

D=Variable dummy.

MA=Moving Average o media móvil de orden 1.

La ecuación nos dice que, la temperatura varía negativamente 1.4 %, mientras la humedad es incrementada en 1 por ciento. Es decir, que cuando la humedad aumenta, la temperatura disminuye. Por su valor de $\beta_1 = -0.0144$, el cual indica que su pendiente es ligera, por lo tanto, sus cambios en la temperatura, no son tan notables debido a que la variación total es explicada por las variables independientes, las cuales cuentan con coeficientes bajos.

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico-t	Probabilidad
$\Delta(\text{Humedad})$	-0.0144	1.2918e-05	-1120.2847	0.0000
$\Delta(\log(\text{Humedad}^2))$	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	Medida 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			

Tabla 3. Resultados de la regresión mediante el método de mínimos cuadrados.

Para las variables “dummies”, se justifican mediante las siguientes gráficas de dispersión, ver Figura 4, con la línea de ajuste, la cual indica que los valores atípicos “jalan” a las demás observaciones fuera de la línea recta, haciendo que la ecuación, no sea totalmente confiable. Por lo tanto, se sustituyen por variables ficticias o falsas, que no afectan el ajuste al ser reemplazados por valores de 1, los cuales no afectan las sumas de los mínimos cuadrados.

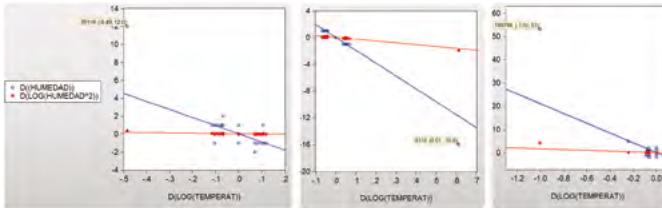


Figura 4. Gráficas de dispersión para la línea de ajuste con observaciones atípicas, dummy #45119, dummy #8316, dummy #189798.

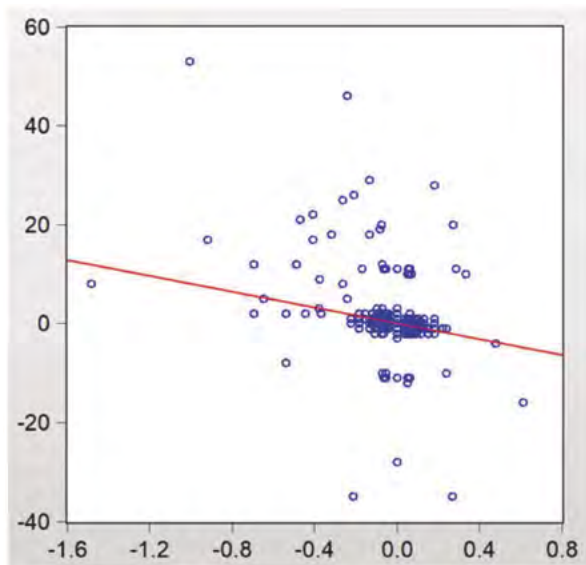


Figura 5. Matriz de dispersión para variables en la maqueta.

Resultados para el interior del edificio “F”. Para la muestra en la oficina de trabajo, compuesta de 141734 observaciones, se obtuvieron las siguientes medidas de tendencia central, ver Tabla 4. Cabe mencionar que, la muestra fue una prueba para detectar errores en el código de Arduino, y para corregir las conexiones en el circuito integrado antes de construirlo

se simuló en un Protoboard, el cual se utilizó para comparar los valores que existen en un edificio y contrastarlo con los valores observados en la maqueta.

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

Tabla 4. Resumen de las medidas de tendencia central observadas en el interior del edificio “F”.

La Figura 6 que se muestra, es una matriz con las gráficas de dispersión, obsérvese, que la correlación entre humedad y temperatura es la más importante.

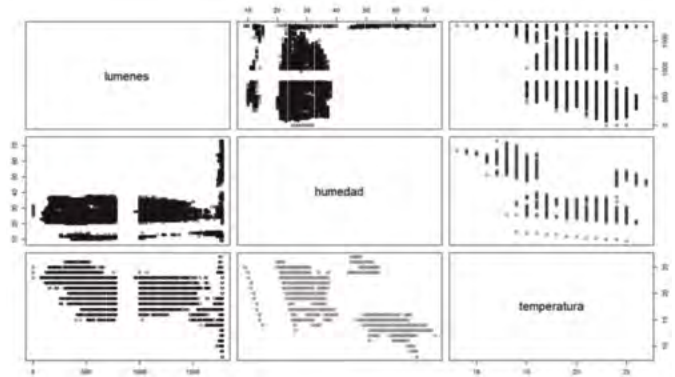


Figura 6. Matriz con gráficas de dispersión para las variables observadas en el interior del edificio.

Los datos presentados anteriormente, se pueden validar con sus coeficientes de correlación calculados con el método “Pearson”. Ver Figura 7.



Figura 7. Correlograma con coeficientes de correlación por método “Pearson”, para variables observadas en el experimento edificio “F”.

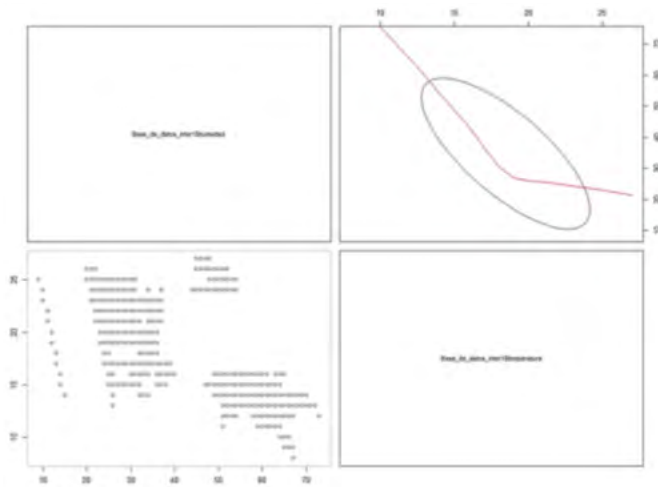


Figura 8. Dispersión de los datos con cada panel uno muestra la concentración del 68% en la elipse bivariada y una curva suavizada de loess, y el otro panel muestra la dispersión de los datos.

Dado el coeficiente de correlación o $R = -0.74$, y dada la alta volatilidad de los datos generados por el sistema de monitoreo, se utilizó un modelo GARCH (Bollerslev, 1986), se asignaron las variables independientes para humedad relativa del viento, y dependiente: temperatura atmosférica. Ver Ecuación (2):

Ecuación (2)

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

Estadístico-z, para coeficientes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ y una Media Móvil de primer orden:

$$(-1264.09) *** (115.3766) *** (68.4684) *** (1038.059) *** (-2791.554) *** (-35.57716) *** (-359.2208) ***$$

Ecuación de la varianza.

Ecuación (3)

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

Estadístico-z, para coeficientes constante, Residuos, GARCH:

$$(879.2257) *** (242.9743) *** (11259.75) ***$$

Donde:

Δ = primeras diferencias.

log = logaritmo base 10.

D = Variable dummy.

MA = Media Móvil de orden 1.

GARCH = Generalizado Autorregresivo Condicional Heterocedástico.

La ecuación indica que las cantidades de temperatura en el interior del edificio son altamente dependientes de la humedad relativa, dados sus coeficientes $\beta_1 = -1.89782$, indica que la pendiente tiene una inclinación notable y un mínimo de variación en la humedad relativa, hace que la temperatura varíe de forma inversamente proporcional, en un 1.89 %, lo cual demuestra que el coeficiente "Pearson" de correlación o $R = -0.74$, indica una correlación negativa casi perfecta. Es decir, que por cada por ciento de humedad que disminuye se ve reflejada en la temperatura en más de 1.89 %. Ver Figura 9.

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico-z	Prob.
$\Delta(\log(\text{Humedad}))$	-1.89782	0.001501	-1264.049	0.0000
$\Delta(\text{Humedad})^2$	0.000174	1.5E-0.6	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			

Tabla 5. Resultados del modelo GARCH.

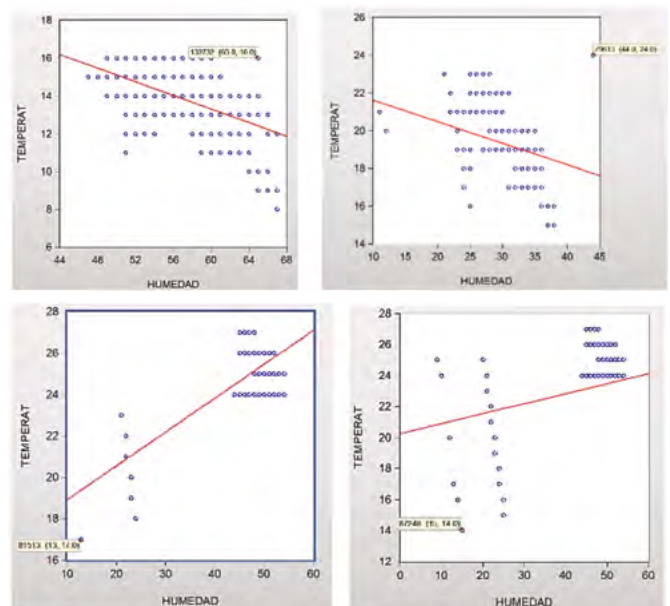


Figura 9. Gráficas de dispersión que demuestran los valores atípicos, substituidos con "dummies", #132732, #79613, #81513 y #87248..

Posteriormente, se graficó la ecuación en E views, dando la siguiente matriz de dispersión. Ver figura 10.

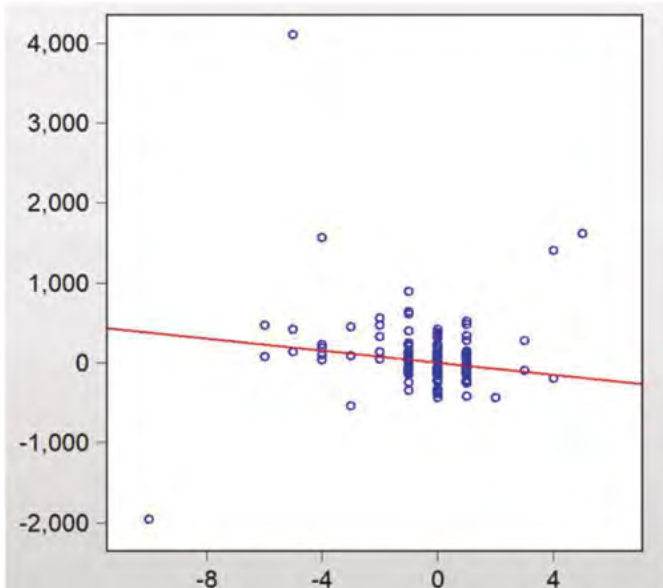


Figura 10. Matriz de dispersión con las variables en relación de columna - renglón.

Conclusión

El presente trabajo demostró la eficiencia de los paneles verdes mediante el sistema de monitorización que se utilizó para estudiar las variables en cuestión, se analizó por medio del estudio de series de tiempo, a principio del análisis las series eran estacionales, hasta que fueron transformadas por medio de primeras diferencias, logaritmos, términos cuadráticos y medias móviles, hasta que dejaron de ser estacionarias, siendo sus residuales analizados y mostraron normalidad en sus gráficas. Mediante técnicas de regresión o el método de mínimos cuadrados y modelos GARCH, se pudo representar el comportamiento de la temperatura (variable dependiente) y la humedad relativa atmosférica (variable independiente), mediante la ecuación que obtuvo el coeficiente $\beta_1 = -1.44$, el cual no fue tan alto como el experimento en los interiores del edificio, $\beta_1 = -1.89$, el cual es mucho mayor al coeficiente de la maqueta, debido a la mínima variabilidad de las condiciones atmosféricas generadas por los paneles verdes, es decir, que redujeron la variación en cuanto a temperatura y humedad del aire, lo cual es deseable para el confort térmico en una habitación.

En cuanto al coeficiente de determinación de la maqueta que fue de $R_2 = 0.33$. Es posible revisar que estas diferencias nos marcan, así como el coeficiente de determinación del edificio $R_2 = 0.21$, nos permiten concluir que el modelo de regresión está ajustado, además de ser un modelo que tiene una alta confiabilidad en sus predicciones, si en cuanto al grado de variación que tendrán los resultados que se obtengan mediante la estimación(es) con el(los) modelo(s). Además de lo anterior se puede decir que los paneles verdes aportan diversos beneficios al medio ambiente, como puede ser la reducción del CO_2 y monóxido de carbono en las áreas con concentración de edificios verdes, y además regulan la temperatura de las superficies que recubren los techos y paredes de las casas de las zonas urbanizadas, lo cual tiene el efecto de reducir o contrarrestar el fenómeno denominado "Urban Heat Island".

Al analizar la cantidad de variación total de las muestras en la maqueta y el edificio, se encontró que los coeficientes de determinación para la maqueta, $R^2=0.3355$, es decir, que el 34 % de la variación de la temperatura se explica mediante las variables humedad y humedad², dicho coeficiente R^2 , es mayor que el del edificio, el cual se registró con un coeficiente de determinación $R^2=0.2096$, que es lo mismo a que el 21 % de la temperatura es explicada por las variables humedad y humedad², es decir, que su variación en la temperatura se explica por las variables independientes.



Bibliografía

+ Montgomery, Douglas; Peck, Elizabeth y Vining, Geoffrey, (2006). *Introducción al análisis de Regresión Lineal*. México: CEC-SA. ISBN # 970-24-0327-8.

+ Krajewski, Lee, Ritzman y Larry, Malhotra (2008). *Administración de Operaciones*, México: Pearson. ISBN # 970-26-1217-9.

+ Niebel, Benjamin y Freivalds, Andris (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*, México: Mc Graw Hill, ISBN # 978-970-10-6962-2.

+ Gujarati, Damodar y Porter, Dawn, (2009). *Econometría*, México: Mc Graw Hill, ISBN # 978-607-15-0294-0.

+ 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.

+ Bollerslev, Tim, (1986), *Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity*, *Journal of Econometrics*, 31, 3, 307-327. ISSN # 0304-4076.

+ Tobar Mejía, Manuel Humberto, (2017). *Estudio de factibilidad e implementación de prototipos de techo verde*. (Tesis inédita). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

+ Dénes Honus y Peter Sängler (2016). *'Árboles urbanos' inteligentes para reducir la contaminación del aire*. Madrid, España: www.esmartcity.es "Todo sobre ciudades inteligentes", Recuperado de: <https://www.esmartcity.es/2016/10/06/arboles-urbanos-inteligentes-para-reducir-la-contaminacion-del-aire>.

+ Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (2011). *Azoteas verdes*. Ciudad de México, México: www.sedema.cdmx.gob.mx "Secretaría de Medio Ambiente", Recuperado de: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/azoteas-verdes>.

