



Received: 05-12-2019
Accepted: 15-12-2019

Anales de Edificación
Vol. 5, Nº3, 53-60 (2019)
ISSN: 2444-1309
Doi: 10.20868/ade.2019.4368

Prototipo de Cubierta Vegetal Autosostenible para la mejora de la Eficiencia Energética Self-Sustaining Green Roof Prototype for the Improvement of Energy Efficiency

Daniel Ferrández^a, Engerst Yedra^a, Alberto Morón^a, Carlos Morón^a & Pablo Saiz^b

^a Universidad Politécnica de Madrid (daniel.fvega@upm.es; engerstya@gmail.com; alberto.moron.barrios@alumnos.upm.es; carlos.moron@upm.es), ^bUniversidad Rey Juan Carlos (pablo.saiz@urjc.es).

Resumen- Desde comienzos del siglo XXI se ha producido una creciente interiorización por parte de los técnicos del sector de la construcción acerca de las consecuencias que el modelo energético actual tiene sobre el equilibrio medioambiental. Las cubiertas vegetales ofrecen múltiples beneficios tanto sociales, como económicos, ya que, entre otras ventajas, regulan la temperatura, purifican el aire y ayudan a promover la biodiversidad en las ciudades. Esta tipología de elementos constructivos forma parte del movimiento que se conoce por el nombre de arquitectura bioclimática. En este trabajo se propone un nuevo sistema de bajo coste basado en la tecnología Arduino, que permite la monitorización y el riego automático de una cubierta vegetal. Gracias a la utilización de este tipo de instalaciones se puede realizar un seguimiento total del ahorro energético conseguido al implantar este tipo de cubiertas en los edificios, reaprovechar el agua de lluvia para el llenado del depósito de riego y alimentar el bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica convirtiéndolo en un modelo sostenible.

Palabras clave – cubierta vegetal; eficiencia energética: monitorización; Arduino; energía solar fotovoltaica; riego automático.

Abstract- Since the beginning of the 21st century, there has been a growing internalization by the technicians of the construction sector about the consequences that the current energy model has on the environmental balance. Green Roofs offer multiple social and economic benefits, among other advantages, they regulate the temperature, purify the air and help promote biodiversity in cities. This typology of constructive elements is part of the movement that is known by the name of bioclimatic architecture. This work proposes a new low-cost system based on Arduino technology, which allows the monitoring and automatic irrigation of a green roof. Thanks to the use of this type of facility, you can track the energy savings achieved by implementing this type of roofs in the buildings, reuse the rainwater for filling the irrigation tank and feed the water pumping by solar energy photovoltaic turning it into a sustainable model.

Keywords – green roof, energy efficiency, monitoring, Arduino, photovoltaic solar energy, automatic irrigation.

D. Ferrández es profesor del Departamento de Ingeniería de Organización Industrial, Administración de Empresas y Estadística, de la Universidad Politécnica de Madrid. Calle de los Ciruelos, 28660 Boadilla del Monte, Madrid (daniel.fvega@upm.es).

E. Yedra es doctorando del Departamento de Tecnología de Edificación, de la Universidad Politécnica de Madrid. Av. Juan de Herrera, 28040 Madrid. (engerstya@gmail.com).

A. Morón es doctorando del Departamento de Tecnología de Edificación, de la Universidad Politécnica de Madrid. Av. Juan de Herrera, 28040 Madrid. (alberto.moron.barrios@alumnos.upm.es).

C. Morón es Director del Departamento de Tecnología de Edificación, de la Universidad Politécnica de Madrid. Av. Juan de Herrera, 28040 Madrid. (carlos.moron@upm.es).

P. Saiz es profesor del Departamento de Economía Financiera, Contabilidad e Idioma Moderno, de la Universidad Rey Juan Carlos. ase de los Artilleros, 38, 28032 Madrid (pablo.saiz@urjc.es).

I. INTRODUCCIÓN

EN las últimas décadas se ha producido una creciente interiorización social, económica y política de las consecuencias que el modelo energético actualmente utilizado en los países desarrollados tiene sobre el planeta. El agotamiento de los combustibles fósiles, las crecientes emisiones de CO₂ a la atmósfera y el aumento del efecto invernadero, son algunas de las consecuencias de la acción humana como consecuencia del progreso (Morón, C. et al. 2016).

De esta manera, la Agencia Internacional de la Energía ha alertado sobre las consecuencias del consumo energético actual y de la insostenibilidad del mismo, animando a todas las naciones (y en especial a Europa, China y EE. UU.) a que tomen medidas correctivas. España, se ve afectada en este sentido por las Directivas europeas, viéndose obligada para el año 2020 a reducir en un 20% las emisiones de CO₂ respecto a las que se contabilizaron en 1990, y aumentar en un 20% el peso de las energías renovables (Ministerio de Economía, 2014).

La electricidad se presenta como la forma más útil y empelada de energía, y se encuentra presente en todos los ámbitos de la sociedad gracias a sus múltiples aplicaciones. En este sentido, cabe destacar el empleo de la energía solar fotovoltaica por su facilidad de instalación y su ratio elevada de generación/precio.



Fig. 1. Prototipo de Instalación Solar Fotovoltaica. Ejemplo de instalación aislada.

En este sentido, una aplicación inmediata y poco explotada del riego fotovoltaico es para el mantenimiento de las denominadas cubiertas verdes o ajardinadas (Scherba, et al., 2011). Esta tipología de cubiertas planas surge en las ciudades más desarrolladas como alternativa a las cubiertas planas tradicionales, con el objetivo de introducir espacios de vegetación en zonas urbanas con fines estéticos, lúdicos y sobre todo medioambientales (Sánchez, M. 2010).

A nivel funcional presentan unos requisitos de mantenimiento similares a cualquier plantación ajardinada en el suelo, incorporando como salvedad en su ejecución una lámina de protección impermeable y una capa aislante (Figura 2). Estas

cubiertas están contempladas por el Código Técnico de la Edificación donde se indica que deben tener una pendiente de entre 1-5 % (CTE-HS. 2019).



Fig. 2. Ejemplo de cubierta vegetal sobre un techo de oficinas (Fuente: <https://www.shutterstock.com> consultado 10/10/2020)

Esta tipología de cubiertas ajardinadas es especialmente útil en climas mediterráneos para reducir las temperaturas ambientales en épocas veraniegas. Este fenómeno es debido al sombreado que realizan las plantas y la mayor transpiración del cerramiento (Tabares & Srebric, 2012). Además, se produce un aumento de la inercia térmica respecto a cubiertas tradicionales que disminuye las pérdidas de calor en invierno. De tal forma, que se pueden alcanzar ahorros cercanos al 25%/anual en edificios de viviendas y alrededor del 7%/anual en edificios industriales (Oberndorfer, et al., 2007).

Así pues, para épocas de verano se resalta la idoneidad de disponer de plantas con buen follaje extensivo en horizontal que favorezca el sombreado, limitando la incidencia de la radiación solar sobre la superficie de la cubierta (Lazzarin, R.M. et al, 2005). Además, es conveniente utilizar sustratos ligeros que reduzcan el peso del cerramiento, así como favorecer el proceso de evapotranspiración que permita disipar mayor cantidad de calor. La disipación de calor a través de la cubierta se ve favorecida cuando el sustrato está húmedo, lo cual a su vez es contraproducente para climas mediterráneos como el que nos atañe cuando se trata de estaciones de invierno, donde el ahorro energético se puede ver perjudicado (Getter, K. et al., 2011). Por otro lado, en verano la radiación que alcanza la capa de sustrato es retenida por el mismo, y durante la noche con el descenso de las temperaturas, esta inercia térmica invierte el proceso cediendo el calor acumulado al interior de la vivienda.

Son varios los autores que se han dedicado a monitorizar diferentes tipologías de cubiertas vegetales en base al clima. En general, se caracterizan por la colocación de termopares en las diferentes capas de la cubierta que permitan medir la transmisión de calor a su través, así como, la medición de otros parámetros alternativos como humedad, velocidad de viento, radiación, etc (Fioretti, R. et al., 2010). Estos datos recopilados son empleados posteriormente para realizar simulaciones mediante motores de cálculo como EnergyPlus que permitan

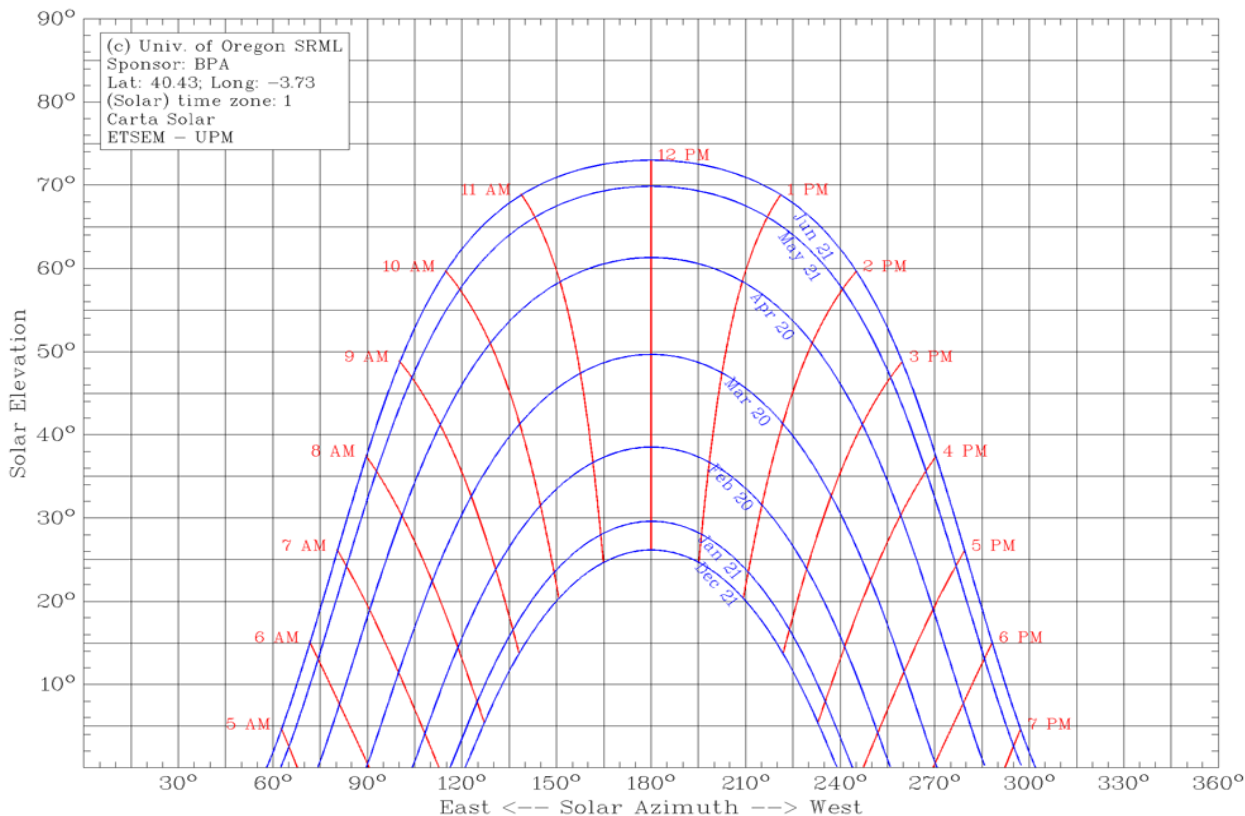


Fig. 3. Carta Solar de la zona (ETSEM-UPM). Realizado con la aplicación: <http://solar.dat.uoregon.edu/SunChartProgram.html> el 11/01/2020.

comprender mejor el funcionamiento de estas cubiertas (Sailor, D.J., 2008).

El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema automático de riego que permita favorecer el mantenimiento de este tipo de cubiertas, y que permita su monitorización mediante Arduino siendo alimentado con energía 100% renovable.

II. METODOLOGÍA

En este aparato se describe el proceso experimental llevado a cabo para el diseño y desarrollo de la instalación autosostenible para riego de cubiertas vegetales.

A. Diseño de la instalación aislada

Para el caso de la instalación empleada en esta investigación, se consideró un consumo constante a lo largo de todo el año. Si bien es cierto que en épocas de verano las demandas hídricas son superiores a las épocas de invierno, al no disponer de equipos de seguimiento solar se optó por ubicar el panel fotovoltaico con una inclinación (β_{opt}), que consiguiera la máxima producción de energía por parte del generador.

$$\beta_{opt} = \varphi - 10^\circ \tag{1}$$

donde φ es la latitud de la zona en grados, que para el caso de Madrid se estima 40° .

En la Figura 3 se muestra el conjunto de trayectorias que puede seguir el Sol en los meses de junio a diciembre. En dicha carta solar se representan los valores de azimut en el eje de abscisas y la elevación en el eje de ordenadas.

Por otra parte, para el cálculo del bombeo de agua para riego de la cubierta se empleó una adaptación del método abreviado propuesto por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía -IDAE- (Méndez y Cuervo, 2008).

Según este sistema, la energía eléctrica requerida por la bomba de agua (E_B) se calcula como:

$$E_B = \frac{E_H}{\eta_B} = \frac{2,275 Q_d \cdot H_{TE}}{\eta_B} \text{ (Wh/día)} \tag{2}$$

donde E_H es la energía hidráulica en Wh/día, Q_d es el volumen de agua diario requerido en $m^3/día$, H_{TE} es la altura de bombeo equivalente en m y η_B es el rendimiento de la bomba.

La altura de bombeo se caracteriza por ser un parámetro estimado que depende de las características del depósito, las variaciones en el nivel del agua y las pérdidas de carga producidas en las conducciones:

$$H_{TE} = H_D + H_{ST} + \left(\frac{H_{DT} - H_{ST}}{Q_T} \right) \cdot Q_{AP} + H_r \text{ (m)} \tag{3}$$

donde H_D es la altura entre la parte superior del depósito de agua y el suelo en m, H_{ST} y H_{DT} son las distancias verticales

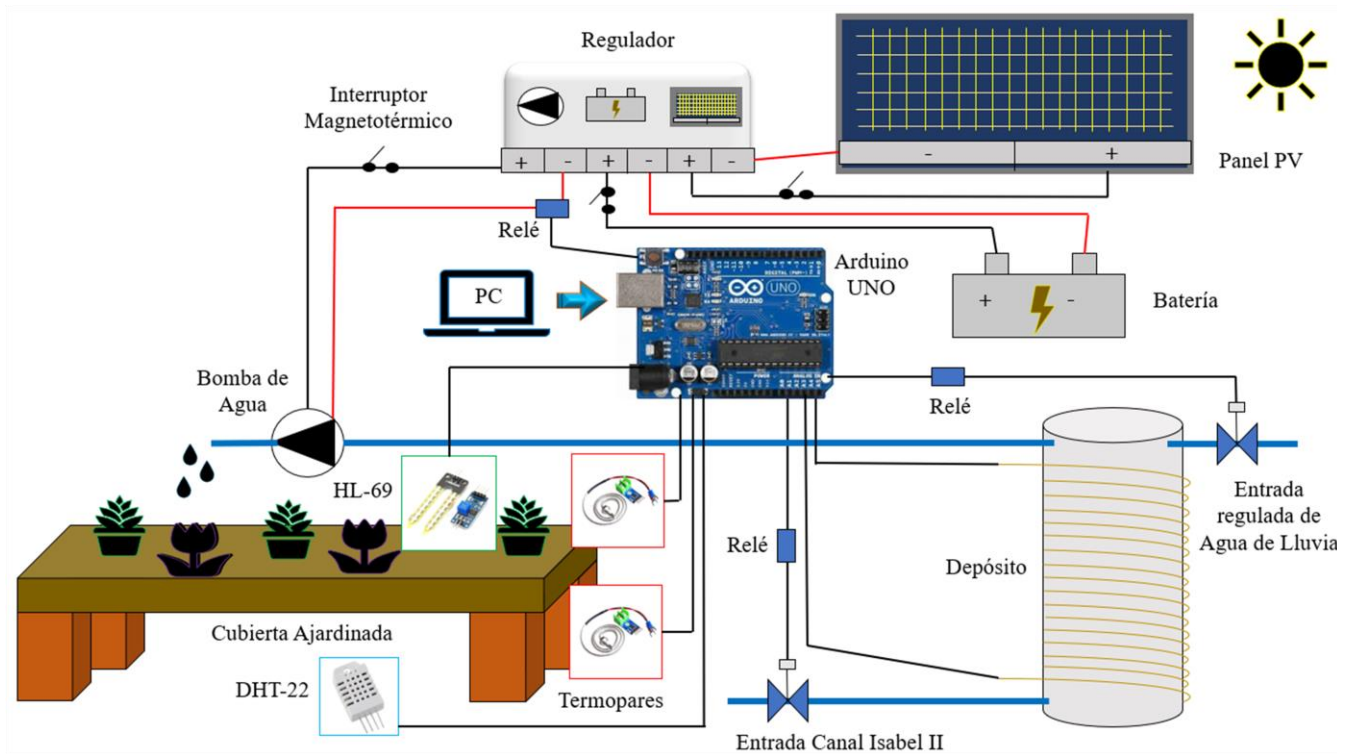


Fig. 4. Esquema de la instalación diseñada para riego automático y monitorización de cubiertas ajardinadas.

entre el nivel del suelo y el nivel del agua antes y después de las pruebas de bombeo respectivamente en m, Q_T es el caudal de agua en m^3/h extraído en la prueba de bombeo, Q_{AP} es el caudal medio diario de agua requerido en m^3/h y H_r engloba las pérdidas de carga producidas por el rozamiento en la tubería.

Estas pérdidas de carga son difíciles de cuantificar en algunos casos, y se suelen estimar como inferiores al 10% de la energía hidráulica útil, es decir:

$$H_r < 10\% \text{ de } H_{TE} \text{ (m)} \quad (4)$$

Una cubierta vegetal como la propuesta en este trabajo consta de los siguientes componentes ordenados en sentido descendente (Figura 5):

- 1) Vegetación superficial, que para el caso tratado se constituyó mediante gramíneas, tréboles y césped acordes con las condiciones climáticas del lugar y su crecimiento moderado.
- 2) Una capa de sustrato que aporta los nutrientes necesarios y el agua para el crecimiento de la vegetación. El espesor de esta capa fue de 15 cm, con la consecuente ganancia en aislamiento térmico.
- 3) Capa geotextil de poliéster resistente a la humedad.
- 4) Capa drenante de polietileno rígido de 12 mm de altura capaz de conducir el agua sobrante del riego o de la lluvia hacia los sumideros y bajantes de pluviales.
- 5) Pintura bituminosa impermeabilizante resistente a la

perforación de las raíces de la vegetación.

- 6) Cajón de madera sobre basas de ladrillo a modo de soporte estructural.

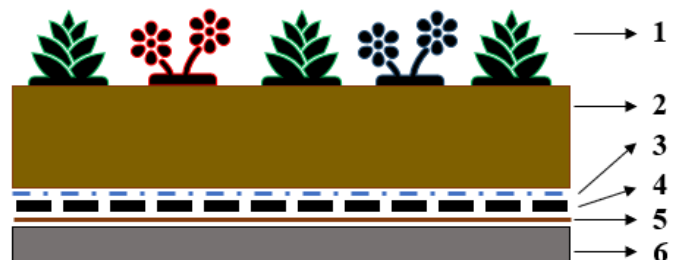


Fig. 5. Solución constructiva de la cubierta ajardinada intensiva.

Por otro lado, el cálculo de la transmitancia térmica a través de cubiertas en contacto con el exterior viene recogido en los documentos de apoyo del Código Técnico como método simplificado (DA DB HE-1, 2019).

La transmitancia térmica U viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (5)$$

donde R_T es la resistencia térmica total medida en m^2K/W , y que se obtiene como suma de las resistencias térmicas individuales de los distintos elementos constructivos de la cubierta, es decir:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n \text{ (m}^2\text{K/W)} \quad (6)$$

donde a su vez, cada resistencia individual se calcula como el cociente entre el espesor de la capa material y su conductividad térmica, es decir:

$$R = \frac{e}{\lambda} (m^2K/W) \tag{7}$$

donde e representa el espesor de la capa material en m , y λ es la conductividad térmica que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE EN 10456:2012.

Estas ecuaciones, junto con las condiciones climáticas de la zona, fueron empleadas para la simulación del comportamiento térmico de la cubierta vegetal con ayuda del software STAR CCM+. Las condiciones de contorno para el modelo fueron fijadas teniendo en cuenta estudios previos (Morón et al., 2017).

B. Diseño del equipo electrónico

Para la recogida de datos y monitorización de la cubierta se empleó el equipo de medida presentado en la Figura 6. Se utilizó para ello la plataforma electrónica de Arduino, por su versatilidad, código abierto de programación y gran cantidad de sensores compatibles para la captura de información.

De entre todas las opciones posibles, se escogió *Arduino UNO Rev3* por ser el dispositivo cuyas prestaciones se acercaban más al alcance de este trabajo. En la Tabla 1 se recogen sus características más importantes.

Tabla 1. Características principales de Arduino UNO

Procesador	Operación/Voltaje	CPU Velo
ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz

Análoga E/S	Digital ES/PWM	USB
6/0	14/6	Regular

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/products.compare>, 2020.

Una de las principales diferencias que tiene el *Arduino Uno Rev3* con respecto a las otras plataformas es que no utiliza FTDI (Future Technology Devices International) USB a Serial, utilizando en su lugar el Atmega16U2 programado como convertidor un USB a Serial.

Para la determinación del contenido en humedad del terreno se empleó un sensor resistivo tipo *Moisture Sensor YL-69*. Este sensor se encarga de enviar la señal que activa la bomba para el riego automático de la cubierta ajardinada, estando situado en interior la capa de sustrato. La respuesta en voltaje del sensor varía entre los 3,3 y 5 V, aumentando la tensión conforme se seca el terreno. Se trata de un dispositivo eficaz y económico, con un precio inferior a 5 €.

Por otro lado, Para las medidas de temperatura y humedad relativa se utilizó el sensor tipo *DHT-22* de Arduino capaz de recoger datos través del serial monitor (Arduino Software). Su rango de humedad es 0 - 100% y el rango de temperatura es -40 - 125°C. Además, Para la obtención del salto térmico entre la cara inferior y superior de la cubierta ajardinada, se emplearon dos termopares *MAX6675* con un rango de medidas que abarca desde los 0 hasta los 1024°C.

Finalmente, y con el objetivo de automatizar el sistema de riego en la cubierta se recurrió al empleo de electroválvulas. Estas llaves se controlaban con un módulo de Relés encargados de abrirlas y cerrarlas. Dos de las llaves se encuentran a las

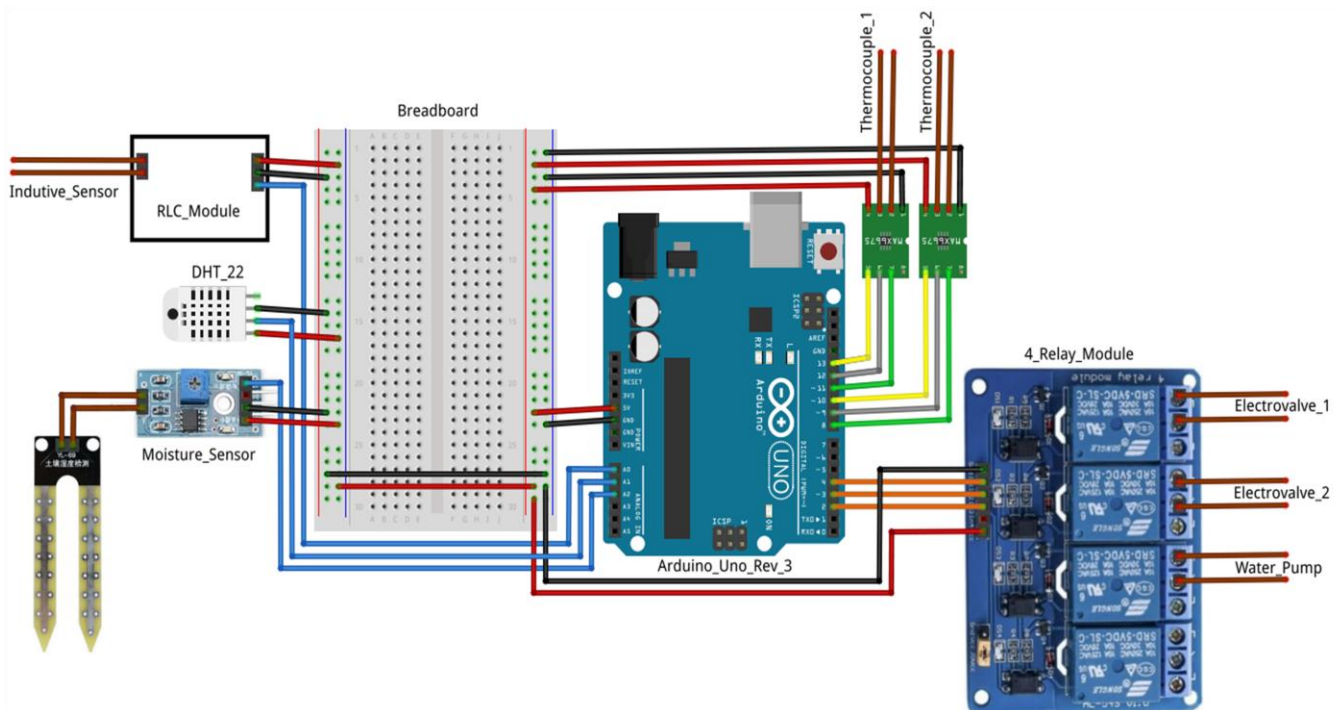
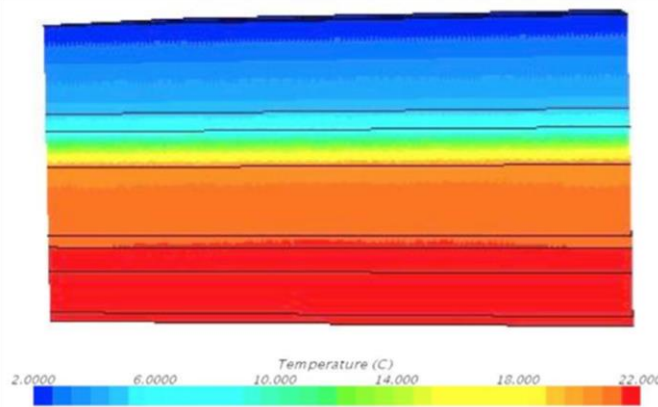


Fig. 6. Diseño del equipo de medida electrónico basado en Arduino. (Fuente: Autores; elaborado en Fritzing)



(a)



(b)

Fig. 7. Cubierta ajardinada. (a) Simulación del comportamiento térmico mediante STAR CCM+; (b) Estado actual del prototipo de cubierta.

entradas del depósito, de tal forma que la llave 1 regula la entrada del caudal procedente del agua de lluvia, y la llave 2 regula la entrada del agua de red que sirve como apoyo. Por su parte, el llenado del depósito se controla con ayuda de un sensor inductivo varía su respuesta conforme aumenta el contenido en agua dentro del mismo, según la Ley de Ampere:

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{L} (T) \quad (8)$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética que varía según el contenido de agua en el depósito, N es el número de espiras del solenoide, I la intensidad que circula a través del bobinado primario y L la longitud del solenoide.

Respecto a la bomba de agua sumergible empleada del tipo *Ecosolar ECO2420* con una tensión nominal de 24 V y potencia máxima de 250 W, estaba alimentada mediante el módulo fotovoltaico y con el soporte de apoyo de la batería. Se trata de una bomba de continua que se activa cuando el sensor resistivo *YL-69* determina que debe llevarse a cabo el riego. acable que en épocas de verano donde más agua se demanda por parte de la cubierta, es también cuando mayor cantidad de energía reciben los paneles fotovoltaicos.

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA

En la Figura 7, se muestran los resultados correspondientes a la simulación térmica realizada sobre la cubierta vegetal diseñada. Para los correspondientes valores de temperatura exterior de simulación se consideraron las condiciones extremas recogidas con ayuda del equipo de medida, la temperatura interior de 22°C se consideró en base a un criterio óptimo de Confort (Díaz, J. 2018). El mallado empleado para la simulación fue de tipo poliédrico con un tamaño base de 10 cm y un tamaño mínimo de 2,5 cm en las zonas de contacto que necesitaban mayor refinamiento.

En cualquier caso, se puede apreciar como este tipo de cubiertas suponen una reducción del flujo de calor a través de su superficie, que trae como consecuencia un ahorro energético

frente a las cubiertas tradicionales. El hecho de que se incorpore una capa de vegetación hacia el exterior mejora el sombreado en verano refrescando la superficie y protege la superficie de los materiales constructivos. Además, el riego y los procesos de evaporación/transpiración diarios contribuyen a disminuir el efecto isla existente en las grandes ciudades.

No obstante, los resultados obtenidos deben ser entendidos como una aproximación a la realidad a través de un modelo estacionario que solo se cumple en periodos de duración determinada. La complejidad de trabajar con la capa de sustrato para la vegetación requeriría de un análisis fluidodinámico como proponen algunos autores (Baik, J. et al., 2012).



Fig. 8. Equipo de monitorización para la recogida de datos.

Por otro lado, el equipo de bombeo implementado ha resultado ser eficiente en cuanto al ahorro de agua y totalmente autosostenible. La vegetación sembrada creció sin problemas y a un ritmo acorde con el esperado. Así pues, se pueden resaltar los siguientes beneficios derivados del empleo de esta tipología de cubiertas en la edificación:

- Para climas mediterráneos la tipología de cubiertas ajardinadas mejora el aislamiento térmico y favorece el ahorro energético. Más aún si cabe, si se emplean sistemas automáticos de riego sostenible como el presentado.
- La instalación fotovoltaica diseñada con un panel solar generador de 120 W de potencia pico y tensión de 12 V, es suficiente para abastecer el equipo de riego automático,



Fig. 9. Instalación fotovoltaica y depósito para riego de la cubierta ajardinada automatizada.

con el correspondiente ahorro de energía y aprovechamiento de las aguas pluviales.

- El prototipo de cubierta vegetal propuesta proporciona capacidad suficiente para el control de las escorrentías de agua provocadas por fuertes lluvias y tormentas. Esto es debido a la capa de vegetación superficial y al aprovechamiento del agua y su acumulación en la capa del sustrato.
- La capa vegetal reduce los niveles de contaminación locales y es capaz de reducir el efecto de gases contaminantes como el CO₂, estando así en concordancia con los objetivos del horizonte 2020 y ayudando a la generación de oxígeno como parte del proceso de su actividad fisiológica.
- La implantación de esta tipología de cubiertas no solo tiene un efecto positivo en la biodiversidad de las ciudades, sino que también reporta beneficios positivos sobre la salud de las personas. Además de generar edificios estéticamente agradables.

Desde un punto de vista económico, la realización de cubiertas vegetales es inicialmente más costosa que para el caso de cubiertas planas tradicionales. No obstante, a medio y largo plazo los beneficios de esta tipología de cubiertas las hace más competitivas, ya no solo por el ahorro energético, sino también por la mayor protección que éstas aportan a láminas y aislantes protegiéndolos frente a la luz ultravioleta.

IV. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha podido comprobar la eficiencia de las cubiertas ajardinadas dentro de zonas urbanas

en la Comunidad de Madrid. Las oscilaciones térmicas en la cubierta verde son muy reducidas durante el día, así como, con las medidas tomadas en verano se evidenciaba una temperatura superficial exterior de 15°C y una temperatura superficial interior de 24°C. Esto evidencia su buen funcionamiento ya que el calor se transmite desde el interior de la vivienda hacia el exterior refrescando la estancia, estando en concordancia con otros estudios (Wong, N. et al., 2003).

La simulación realizada representa de manera fidedigna el comportamiento de la cubierta. El espesor del sustrato (15 cm), el rápido crecimiento y densidad de la vegetación, y la humedad del terreno favorecida por el equipo de riego, aumentaron la capacidad de refrigeración del cerramiento en épocas de verano mejorando la transpiración.

Por otro lado, el equipo de Arduino implementado se presenta como una solución óptima y de bajo coste para la monitorización de esta tipología de cubiertas. El sistema de riego automático favorece el ahorro energético empleando energía solar fotovoltaica generada para consumo propio, además de disminuir el consumo de agua y aprovechar las precipitaciones para llenado del depósito.

En épocas de invierno, los beneficios de esta tipología de cubierta son cuestionables. Si bien es cierto que desde el punto de vista económico son menos rentables que las cubiertas planas transitables, el posible ahorro energético viene condicionado por el espesor de la capa de sustrato.

Se propone para futuras investigaciones realizar un seguimiento anual del cerramiento, y comparar la monitorización de Arduino con modelizaciones realizadas en Simulink.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el material facilitado para la construcción del prototipo de cubierta por parte de la empresa SINGULARGREEN (<https://www.singulargreen.com/>). Sin sus consejos y ayuda la realización de este trabajo no hubiera sido posible. En especial queremos agradecer el soporte técnico prestado por el profesional D. Jordi Serramia Ruiz.

REFERENCIAS

- Baik, J., Kwak, K., Park, S., Ryu, Y. (2012). Effects of building roof greening on air quality in street canyons. *Atmospheric Environment*, 61, 48-55.
- Diaz, J. (2018). Desarrollo de un prototipo mecatrónico de seguidor solar parabólico para la edificación. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L.G., Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45(8), 1890-1904.
- Getter, K.L., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Wichman, I. (2011). Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate. *Energy and Buildings*, 43(12), 3548-3557.
- Lazzarin, R.M., Castelloti, F., Busatto, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37 (12), 1260-1267.
- Méndez. J.M., Cuervo, R. (2008). *Energía Solar Fotovoltaica - 3ª Edición-*. Editorial Fundación CONFEMETAL, ISBN: 978-84-96743-45-8.
- Ministerio de Economía. (2014). *Guía rápida Horizonte 2020*. Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), Guía elaborada por la División de Programas de la Unión Europea del CDTI en colaboración con el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y la Oficina Europea (FECYT-MINECO)
- Ministerio de Fomento. (2019). *Código Técnico de Edificación. Documento Básico -Salubridad-*. 20 diciembre 2019.
- Morón, C.; Diaz, J.P., Ferrández, D., Ramos, M.P. (2016). Mechatronic Prototype of Parabolic Solar Tracker. *Sensors* 2016, 16(6), 882.
- Morón, C. Saiz, P. Ferrández, D. Felices, R. (2018). Comparative Analysis of Infrared Thermography and CFD Modelling for Assessing the Thermal Performance of Buildings. *Energies (Q2)*, 11(3), 638.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Koehler, M., Liu, K.K.Y. and Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bioscience* 57 (10), 823-833.
- Sailor. D.J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40(8), 1466-1478.
- Sanchez Paradela, M.L. (2010). *Técnicas de construcción convencionales y avanzadas. Fachadas y Cubiertas*. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. E.T.S. Arquitectura. ISBN: 978-84-936485-6-5.
- Scherva, A.; Sailor, D.J., Rosenstiel, T., Wamser, C. (2011). Modeling impacts of roof reflectivity integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. *Building and Environment*, 46(12), 2542-2551.
- Taberes, P.C., Srebric, J. (2012). A heat transfer model for assessment of plant-based roofing systems in summer conditions. *Building and Environment*, 49, 310-323.
- Vega, G. (2018). *Optimización energética y ambiental de sistemas fotovoltaicos para su integración en la edificación*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Wong, N.H., Chen, Y., Leng, C., Sia, A. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38 (2), 261-270.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.