

Proyecto Fin de Máster
Ingeniería Ambiental

**Módulo piloto de ensayo de un jardín vertical
para la eficiencia energética en interiores**

Autor: **Álvaro Fernández Cordero**

Tutor: **Julián Lebrato Martínez**

**Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**



Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Máster
Ingeniería Ambiental

Módulo piloto de ensayo de un jardín vertical para la eficiencia energética en interiores

Autor:

Álvaro Fernández Cordero

Tutor:

Julián Lebrato Martínez

Profesor titular

Dep. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Máster: Módulo piloto de ensayo de un jardín vertical para la eficiencia energética en interiores

Autor: Álvaro Fernández Cordero

Tutor: Julián Lebrato Martínez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mis padres

Agradecimientos

Quería mostrar mi agradecimiento a la tienda de IKEA Jerez por la posibilidad que me han dado de llevar a cabo este experimento en sus instalaciones, por facilitarme datos para la realización de este trabajo fin de master y el tiempo necesario para desarrollarlo.

También quería agradecer a mi tutor, Julián Lebrato Martínez, por darme la idea, la motivación y los planteamientos que eran necesarios para poder llevar a cabo este estudio.

Álvaro Fernández Cordero
Estudiante del M.U. en Ingeniería Ambiental
Sevilla, 2017

Resumen

El estudio se basa en la construcción de un módulo de ensayo a escala piloto de un jardín vertical enfocado a mejorar la eficiencia energética y la habitabilidad de los espacios interiores donde se ubique. Para introducir en la temática, se analizan los conceptos, tipos, funcionamiento, beneficios y demás características de estas paredes verdes.

La construcción del módulo se lleva a cabo en las oficinas de una gran superficie comercial y se toman datos de temperatura y humedad durante varios meses y se cambian las características y el estado del sistema del jardín vertical. Tras analizar los datos, se observa que existe un aumento tanto de la temperatura como de la humedad y se analizan las posibles causas de este cambio dentro del sistema.

Por último, con los datos anteriores, se crea una hoja de cálculo para intentar aproximar los resultados obtenidos a los beneficios derivados de una futura implantación de un jardín vertical en una zona de oficinas del mismo edificio.

Abstract

The study is based on the construction of a test module of a vertical green wall scale focused on improving the energy efficiency and habitability of the interior spaces where it is located. To introduce in the theme, the concepts, types, operation, benefits and other characteristics of these green walls are analyzed.

The construction of the module is carried out in the offices of a commercial area and data of temperature and humidity are shown for several months and changing the characteristics and state of the vertical garden system. After analyzing the data, it is observed that there is an increase in temperature and humidity and analyzes the possible causes of this change within the system.

Finally, with the above data, a spreadsheet is created to try to approximate the results obtained to the benefits derived from a future implementation of a vertical garden in an office area of the same building.

Índice

Agradecimientos	ixx
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
CAPÍTULO I. OBJETIVOS Y ALCANCE	
1.1. Objetivo general	1
1.2 Objetivos específico	1
1.3 Alcance del estudio	2
CAPÍTULO II. MEMORIA DESCRIPTIVA	3
2.1. Introducción e hipótesis	3
2.1.1 Planteamiento de la problemática	3
2.1.2 Justificación del tema	4
2.1.2 Desarrollo de la hipótesis	6
2.2. Jardín vertical	7
2.2.1 Concepto y antecedentes	7
2.2.2 Naturalización y situación actual	8
2.2.3 Tipos de sistemas verticales verdes	10
2.2.4 Funcionamiento de un jardín vertical	14
2.2.5 Beneficios de un sistema vertical verde	19

CAPÍTULO III. MEMORIA DE CÁLCULO	23
3.1. Material y métodos	23
3.1.1. Emplazamiento del proyecto	23
3.1.2. Estructura del módulo	26
3.1.2. Plantas	31
3.1.3 Sistema de riego	35
3.1.3 Métodos de mediciones	39
3.1.3 Diferentes estados de funcionamiento	40
3.2. Resultados y análisis	41
3.2.1. Tablas de resultados	41
3.2.2. Resumen de los datos	42
3.2.3. Análisis de datos	47
3.3. Conclusiones generales	63
3.3.1. Discusión de los datos y conclusiones	63
3.3.2. Observaciones generales	64
CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DEL SISTEMA VERTICAL VERDE EN LA EMPRESA	67
4.1. Introducción a la aplicación	67
4.2. Descripción de la posible ubicación del sistema	67
4.3. Elección del tipo de jardín vertical utilizado	68
4.4 Cálculos energéticos	68
4.4.1. Datos obtenido del módulo piloto aplicables en la aproximación	68
4.4.2. Cálculos para la nueva ubicación del sistema verde	69
Referencias	73
Anexos	77

1 OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este estudio es diseñar y construir un módulo de ensayo a escala piloto en la zona de oficinas de las instalaciones de IKEA Jerez para comprobar la posible reducción del consumo energético en climatización derivada de la instalación de jardines verticales en las zonas interiores y mejorar las condiciones de habitabilidad del espacio interno del edificio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Aparte del principal objetivo antes comentado en este estudio, podemos también encontrar otros posibles objetivos específicos como pueden ser:

- Aumento de los niveles de humedad relativa ambiental [1].
- Regulación de temperatura ambiental que beneficie la habitabilidad de las zonas afectadas [2].
- Eliminación de contaminantes químicos y olores [3] [4].
- Renovación y aumento de los niveles de O₂, disminuyendo la huella de carbono [5].
- Efectos psicológicos positivos [6].
- Mejora de la imagen sostenible corporativa de la empresa.

Muchos de estos objetivos van a ser comentados después pero además hay otros posibles benéficos derivados de la implantación de este tipo de sistemas verdes. Pueden ayudar a crear una mejor conciencia ecológica gracias a la gran opción que da este tipo de sistemas para la educación ambiental, incluso posibilitando además la opción de utilizar estos jardines como huertos para la

producción de alimentos [8] a pequeña escala que ayuden a mejorar una visión local de la sostenibilidad.

1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO

El trabajo contempla la instalación de un invernadero con dos zonas aisladas y diferenciadas en una de las cuales se encuentra un sistema de jardín vertical y todo el sistema de riego por temporizador que requieren las plantas. En ambas zonas se ha llevado a cabo mediciones de parámetros de temperatura y humedad para comprobar la influencia de este sistema en el ambiente cerrado del invernadero.

Con los resultados obtenidos se va a elaborar una aproximación al posible montaje de este sistema en una zona interna de las instalaciones de IKEA Jerez para estimar los beneficios económicos en materia de ahorro energético y los asociados también a mejorar el ambiente de trabajo de los empleados.

2 MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1 INTRODUCCIÓN E HIPÓTESIS

2.1.1 Planteamiento de la problemática

Hoy en día, uno de los mayores problemas a los que se enfrenta nuestra sociedad es al deterioro del medio ambiente y los problemas asociados que se pueden generar debido a la escasez de recursos naturales, los cambios bruscos en el clima y los problemas relacionados con la salud que puedan derivarse de ellos.

Conceptos como contaminación, deforestación, cambio climático, energías fósiles, efecto invernadero y un largo etcétera están ya instaurados en nuestro día a día y la mayoría de personas saben su significado y las consecuencias que pueden derivarse de cada una de ellos. A todos esto, se le suma la tendencia de crecimiento de manera exponencial de la población mundial que puede agravar los problemas antes mencionados, si no se toman medidas a tiempo y se conciencia al grueso de nuestra sociedad. Estos aumentos demográficos sumados al éxodo rural masivo hacia las ciudades, hacen que éstas últimas alcancen unos tamaños nunca antes vistos, con las consecuentes pérdidas de zonas rurales o verdes en pos de mayores superficies para las nuevas edificaciones de las urbes.

Esto ha provocado que hayamos perdido el gran contacto que el hombre ha tenido siempre con las zonas verdes y naturales y sus beneficios asociados frente a materiales como el hormigón, acero, etc., que hacen que sea más complicado vivir en zonas cada vez más contaminadas, Esto se debe a la dificultad para mitigar y regular los cambios climáticos locales que ocurren en las ciudades densamente pobladas como las conocidas “islas urbanas de calor” (que serán comentado más adelante) que contribuyen a la

formación del smog fotoquímico o al aumento de las concentraciones de ozono que es muy perjudicial al contacto humano.

Un aspecto crucial a tener en cuenta en esta problemática es el relacionado con el consumo energético, uno de los principales causantes de los procesos ambientales antes comentados tanto por los recursos utilizados para paliar la gran demanda existente como por los contaminantes derivados del uso de los combustibles fósiles. Todos sabemos de la necesidad de utilizar fuentes de energías renovables para mitigar todos estos efectos negativos en nuestro entorno, pero el bajo rendimiento aún de las energías verdes, hace que tome vital importancia el concepto de eficiencia energética. Actualmente existen cada vez más estudios e investigaciones en este campo puesto que conseguir unos requerimientos más bajos de energía en todos nuestros procesos, conllevan un menor uso de recursos, menor contaminación y un ahorro económico. También es de comentar que, si la necesidad energética es cada vez menor, el uso de las menos eficientes energías renovables, pudiera ser suficientes como para alcanzar la cantidad de energía necesaria y evitar también la dependencia energética actual de nuestro sistema productivo.

Un ejemplo sobre las cada vez más preocupantes causas del calentamiento global es que, el año pasado la Organización Meteorológica Mundial informó que por primera vez se había superado la cifra de 400 ppm de CO₂ desde que se tienen registros históricos [13]. En la última década los niveles se habían mantenido cercanos a esta cifra, pero nunca la habían superado de una manera regular en la que no tuviera ninguna influencia algún fenómeno puntual como ha ocurrido anteriormente en algunas zonas con una importante erupción volcánica, por ejemplo.

Si sumamos esta última referencia a lo antes comentado, nos encontramos en una época en la que debemos mantener los esfuerzos por buscar el menor impacto posible en el clima ya que podemos acercarnos a una nueva época más perjudicial y con una gran incertidumbre dentro del ya asumido cambio climático en el que estamos inmersos.

2.1.2 Justificación del tema

Hoy en día, uno de los principales objetivos para las administraciones y las grandes empresas es buscar el mínimo impacto ambiental en el desarrollo de sus actividades. Esto se debe principalmente a dos motivos primordiales.

El primero de ellos es buscar un menor uso de recursos y una menor producción de residuos y contaminantes que conlleve un ahorro económico en el desarrollo de sus actividades ordinarias tanto por el pago de tasas como por el menor gasto en consumo energético.

El segundo motivo está relacionado con la imagen que quiere transmitir a todos sus usuarios y/o clientes, ya que cada vez más se crea una concienciación ambiental en la población que demanda a las empresas y a las administraciones a que tengan un compromiso con la sociedad y el medioambiente. Si una empresa no perjudica a su entorno tiene unas mayores posibilidades de tener éxito en esta sociedad cada vez más informada y en la que actividades relacionadas con la contaminación o sobreexplotación de recursos ambientales y/o humanos pueden generar un deterioro de la imagen de esta marca.

Esta imagen sostenible no sólo repercute de manera favorable en los clientes sino también en los propios empleados de las compañías que se sientan más cómodos de trabajar en empresas comprometidas con la sostenibilidad.

Es por ello, que la utilización de jardines verticales pueda ayudar en las problemáticas antes comentadas. Puede ayudar a mejorar la eficiencia energética de unas instalaciones y conseguir beneficios asociados, tanto en empleados como en cliente, de la utilización de plantas en sus interiores. Beneficios como la mejor percepción sobre la imagen corporativa de la empresa que puedan tener los clientes hacia el compromiso ambiental en cuestión, o el incremento de la calidad del aire que conlleva una mejora de la habitabilidad de los espacios de trabajo. Las zonas con jardines verticales instalados proporcionan innumerables beneficios tanto físicos (T^a , humedad, olores, contaminantes) como psicológicos (concentración, menos estrés) que conllevan un mayor rendimiento y satisfacción en el ambiente laboral.

La ventaja principal de estos sistemas pasivos que ayuden a regular las condiciones climáticas en los edificios, son su bajo coste en comparación con los sistemas de refrigeración/climatización y su escaso mantenimiento. Es cierto que existen muchos tipos de jardines verticales que hacen que sus costes varíen mucho, pero la mayoría tienen una inversión menor a los sistemas convencionales. Los mayores costes son derivados de la instalación ya que el mantenimiento es escaso en la gran generalidad de casos.

2.1.3 Desarrollo de la hipótesis

Mediante la construcción de un módulo a escala piloto, se va a poder comprobar la influencia del uso de jardines verticales en los valores de temperatura y humedad en un espacio respecto a otro dentro del mismo invernadero en el que no se han utilizado plantas. Esto va a ser llevado a cabo en una zona de las oficinas interna de una gran superficie.

Según estudios analizados, mediante la utilización de estos sistemas verdes, se consiguió reducir la temperatura ambiental interior una media de 4°C en ambientes cálidos [7]. La regulación de las plantas hace que, a temperaturas extremas, sea más drástico este cambio mientras que en condiciones más normales de temperatura, este cambio regulativo sea más moderado.

Lo esperable al realizar este estudio es que, al estar ya en una zona climatizada, es decir con unas temperaturas consideradas bajas/medias (época invernal) y con un ambiente seco, este sistema provoque un aumento de la temperatura y de la humedad respecto del módulo sin plantas. Debido a lo antes comentado, este aumento de temperatura no será tan alto al tratarse de una zona ya climatizada. Posteriormente se realizarán cambios en el estado del sistema en épocas con mayor aumento de la temperatura externa para ver sus influencias en el sistema.

Este cambio de las condiciones ambientales va a ser utilizado para poder aproximar las ventajas en cuanto ahorro energético que pueden derivarse de una mayor eficiencia energética de la instalación de un jardín vertical en la misma zona del ensayo, pero ya a una escala mayor.

Aparte de todo ello, existen ventajas asociadas a la renovación y biofiltración del aire como es la eliminación de contaminantes, aumento de humedad relativa o los efectos asociados a factores psicológicos que puedan ayudar al bienestar de los empleados y a mejorar su rendimiento laboral.

2.2 JARDÍN VERTICAL

2.2.1 Concepto y antecedentes

Las paredes verdes se pueden definir como cualquier capa vegetal que se instala directamente sobre una superficie ya construida o a la que se le añade un sistema vegetal a posteriori, en ambos casos siempre de manera vertical. Puede ser de cualquier tamaño y forma, adaptándose a las diferentes superficies de la construcción y compuesta por cualquier tipo de elemento vegetal, desde plantas ornamentales hasta plantas para cultivos.

La utilización de plantas en las edificaciones tiene unos orígenes muy antiguos y nos podemos remontar a las primeras evidencias de sistemas de este tipo en los Jardines Colgantes de Babilonia [8] en el siglo VI a.C. en la que se utilizaban las plantas para refrescar el ambiente y crear sombras en estas zonas áridas.

A comienzos del pasado siglo XX, el ajardinamiento de fachadas fue incorporado a las propuestas surgidas del movimiento conocido como “ciudad-Jardín” [9], que pretendía dar un giro a las tendencias del desarrollo urbano hacia modelos más humanizados que permitieran no perder el contacto con la naturaleza en las ciudades. Esto poco a poco fue perdiendo importancia debido al crecimiento desmedido de las ciudades y al mantenimiento que debían conllevar.

Existen ejemplos actuales de la utilización de plantas en paredes, tanto por fines estéticos como por la capacidad para humedecer el ambiente y crear zonas de sombras. Ejemplos de las especies más utilizadas para lo comentado anteriormente pueden ser la hiedra (*Hedera helix*), la parra virgen (*Parthenocissus tricuspidata*), la vid (*Vitis vinifera*) o la glicinia (*Wisteria sinensis*) [8], que decoran muchos de nuestros parques y estructuras en los núcleos urbanos actuales. Es importante comentar la tradicional utilización en la zona sur de España (y otras zonas mediterráneas) de macetas y plantas trepadoras que decoran patios, balcones, paredes y plazas. Esto ha podido influir notoriamente en el desarrollo de este tipo de sistemas vegetales que poco a poco está creciendo más en la actualidad en nuestras ciudades y sus edificios.

El principal valedor de estos sistemas hoy en día y al cual se le considera el pionero de los jardines verticales modernos es el biólogo francés Patrick Blanc, quién en 1988 creó el primer muro verde en la ciudad de las ciencias y de la industria de París. Trabaja para el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) donde está especializado en plantas del sotobosque tropical [10]. Este investigador ha conseguido dominar el ciclo y el comportamiento de numerosas plantas para lograr unos diseños de gran belleza. No sólo consigue que estos sistemas se adapten a las condiciones donde han sido instalados y se mantengan sin problemas, sino que perdure con el tiempo los contrastes, colores y texturas que hacen de estos jardines verdaderas obras de arte.

2.2.2 Naturalización y situación actual

Hoy en día dentro del campo de la arquitectura, tiene una notable importancia la ecología y la naturalización. El objetivo es dotar a las construcciones de mecanismos y materiales que proporcionen las mínimas necesidades energéticas y se adapten a un entorno cada vez más preocupado por la sostenibilidad y por el impacto ambiental de las construcciones.

Es por ello que los jardines verticales y las cubiertas verdes son unos valores a tener en consideración, ya que proporcionan beneficios en los aspectos anteriormente comentados como la eficiencia energética y la habitabilidad de los espacios próximos a las plantas ya sea en interiores o exteriores.

En la sociedad urbanizada actual, las personas pasan el 80% de su tiempo en los espacios interiores tanto en el trabajo como en el hogar [11]. Esto conlleva una importante preocupación por la calidad ambiental de los espacios interiores debido a lo cual muchísimos estudios se han desarrollado sobre este campo y han surgido muchas normativas, estableciendo los parámetros ideales en los que desarrollarse la actividad en estos espacios. Según la normativa española, los niveles adecuados de temperatura y humedad deben mantenerse dentro de un rango de unos 20/24 °C y 30%/70% respectivamente [12].

Como consecuencia de lo comentado anteriormente, se hace indispensable que los edificios estén dotados con instalaciones de refrigeración y calefacción que aclimaten los interiores por las influencias de los cambios comunes de temperatura entre las estaciones anuales y las fluctuaciones diarias entre el día y la noche. Los jardines verticales son pues una herramienta que puede ayudar a encontrar estas

condiciones de interior ahorrando el consumo energético y proporcionando otras mejores en diferentes parámetros del aire.

La utilización de jardines verticales se ha incrementado desde principios de siglo debido a causas anteriormente comentada como la importancia que adquiere la calidad de los ambientes, la preocupación por la eficiencia energética en los edificios y por los fenómenos climáticos locales como las islas de calor que ocurren en las ciudades cada vez más contaminadas.

El aumento atribuido a las islas de calor, puede ser compensado con la utilización de vegetación tanto en la superficie como en el exterior de los edificios. La mayoría de los primeros proyectos y estudios sobre este campo, se llevaron a cabo sobre las azoteas verdes. Según un estudio desarrollado en México [14], el incorporar azoteas verdes a un edificio no tiene un cambio brusco en la temperatura promedio, pero si un efecto estabilizador local que se traducía en una mayor uniformidad de temperatura en la edificación.

Los jardines son capaces de capturar del ambiente partículas suspendidas y contaminantes suspendidos. Aparte de todo ello, las zonas verdes son capaces de disminuir el efecto de la denominada “isla de calor” a través de la evaporación y la absorción del calor, haciendo el clima cercano sea menos extremo [7].

Actualmente los jardines verticales están siendo utilizados en muchas nuevas construcciones urbanas como centros comerciales, edificios de empresas y administraciones públicas. La mayoría suelen deberse a mejorar la estética de los edificios y a darle un componente de sostenibilidad a esa construcción como se mencionó con anterioridad en la justificación del tema en este estudio, aunque cada vez son más importantes las mejoras en la eficiencia energética de estas construcciones.

Estas protecciones vegetales se están aplicando cada vez más en el campo de la rehabilitación de edificios (tanto por la mala eficiencia de edificios antiguos como por la mejora estética de estas construcciones), produciendo una reducción en las necesidades de acondicionamiento interior. Para reducir los costes es obviamente importante planificar la implantación de estos sistemas en edificios de nueva planta, desde el diseño de las estructuras hasta el cálculo de las necesidades energéticas que requieran.

En cuanto a los estudios existentes en la actualidad, existen muchos sobre el comportamiento de cubiertas verdes, pero en lo referido a fachadas vegetales y jardines verticales interiores aún queda un amplio campo por investigar, aunque en los últimos años son éstos últimos quienes más han aumentado en implementaciones. Por ejemplo, se puede ver que el potencial de ahorro para el enfriamiento es de hasta un 60% en días calurosos [24] aunque se han conseguido sin problemas en muchos estudios reducciones energéticas para refrigeración en torno a un 20-25% (8% de la energía total de un edificio) [23]. Esto hace ver que estos sistemas necesitan aún mayor grado de investigación y conocimiento para desarrollar una herramienta ideal (bajo coste, mejora calidad aire, efectos psicológicos positivos) para conseguir una eficiencia energética en nuestras edificaciones.

2.2.3 Tipos de sistemas verticales verdes

Los jardines verticales pueden diferenciarse en función de varias características tanto de estructura como de función o su integración en el sistema de climatización del edificio.

En función de su localización:

- Externos.

Estos sistemas se utilizan en las zonas exteriores de los edificios con el fin de mejorar el clima en las ciudades reduciendo las consecuencias derivadas de la contaminación como el aumento de temperaturas y contaminantes. Según se coloquen en la parte superior de los edificios o en las estructuras verticales, podemos diferenciar:

- Cubiertas verdes
- Fachadas verdes

- Internos

Se deben colocar dentro del edificio en zonas con bastante luminosidad y cercanas al ambiente de trabajo para rentabilizar sus beneficios. Suele ser habitual que se encuentren próximas a ventanas o lucernarios. El objetivo de estas estructuras es mejorar la habitabilidad interna de los edificios mediante los efectos de las plantas.

Dentro de los jardines verticales internos, podemos realizar una subdivisión en función de su integración en el sistema de climatización [1].

En función de su actuación como regulador de temperatura:

- Pasivos.

Este tipo de sistemas no tienen ninguna relación con el sistema de climatización del edificio en el que se encuentre instalado, independientemente de que logre una mayor o menor regulación de la temperatura del edificio. Es decir, se han podido tener en cuenta diversos factores en el emplazamiento del sistema verde que potencie este benéfico, pero entre ellas no ha estado influencia en el sistema de climatización.

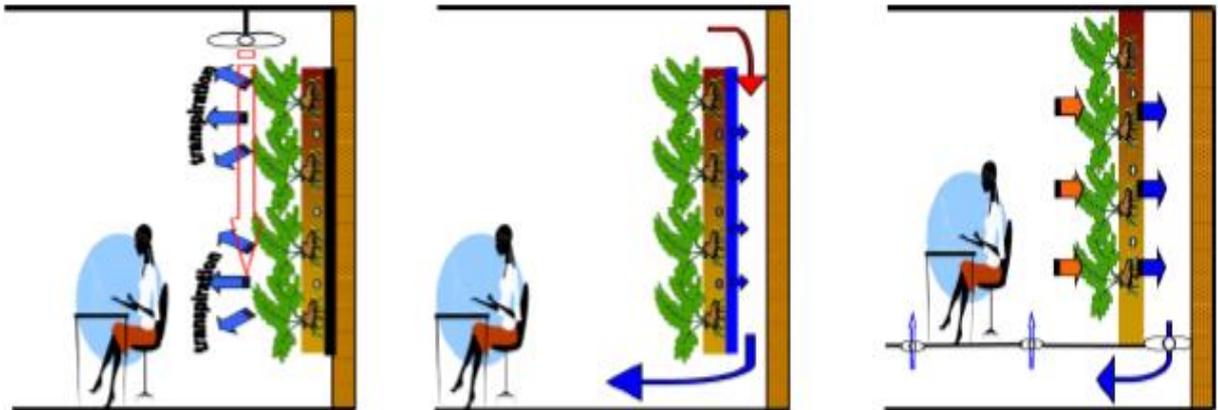
- Activos.

En la instalación de estas estructuras verdes, se ha tenido en cuenta a la hora de buscar un emplazamiento para ellas, la ubicación de los sistemas de climatización de edificio. Esto se debe a que estas paredes vivas trabajan de un modo similar a como lo realizan las unidades evaporadoras de aire, influyendo en los flujos de aire que circulan alrededor de la vegetación y gracias a la capacidad de evotranspiración que tienen estas plantas.

Otra manera de utilizar las paredes vivas de manera activa, es haciendo transcurrir por medio de ventiladores cercanos al sistema el aire interior de la habitación. De esta manera un aire ya contaminado y con mayor temperatura, logrará enfriarse al ser forzado a pasar por la vegetación del sistema que a su vez actuarían como un filtro biológico, eliminando contaminantes que quedarían retenidos por el sustrato/filtro y por las hojas de las plantas.

Estos flujos del aire pueden interactuar con el jardín de tres maneras diferentes como pueden ser:

- Por delante de las plantas, entre las hojas y una pared o cristal.
- Por detrás del sustrato, entre la tierra y la pared.
- A través del sustrato.



Fuente: Muro Orgánico Urbano Silvestre Sostenible (MOUSS). Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Quito, 2013.

Según el estudio “Muro orgánico urbano silvestre sostenible” [1], los tres tipos métodos tienen sus ventajas y desventajas a la hora de intentar regular la temperatura de la manera más óptima posible. Siendo la de mayor eficiencia la que circula el aire procedente de la refrigeración por detrás de las plantas y el sustrato ya que a diferencia de los otros dos métodos, no recibe tanta influencia del efecto invernadero al estar en zona de sombra y a que no atraviesa el sustrato lo que provoca una bajada en su eficiencia

En función de su estructura:

- Fachadas o muros verdes

Este tipo de sistemas verdes se basa en el crecimiento de las plantas (trepadoras en la mayoría de los casos) sobre una estructura fija [15].

- Tradicionales: las plantas crecen directamente sobre las paredes del edificio utilizándolas como estructuras fijas. Son las más antiguas y más utilizadas en pequeñas casas y construcciones en zonas con climas húmedos.
- Doble pared: las plantas en este caso se desarrollan sobre una estructura separada de la pared, creando el denominado efecto de doble pared o cortina. La estructura separada puede ser de tres tipos diferentes: malla, cableado y enrejados modulares.
- Plantas perímetro: alrededor de la construcción se colocan plantas (principalmente especies de arbustos) que forman, una vez que crecen, unos setos a modo de pared

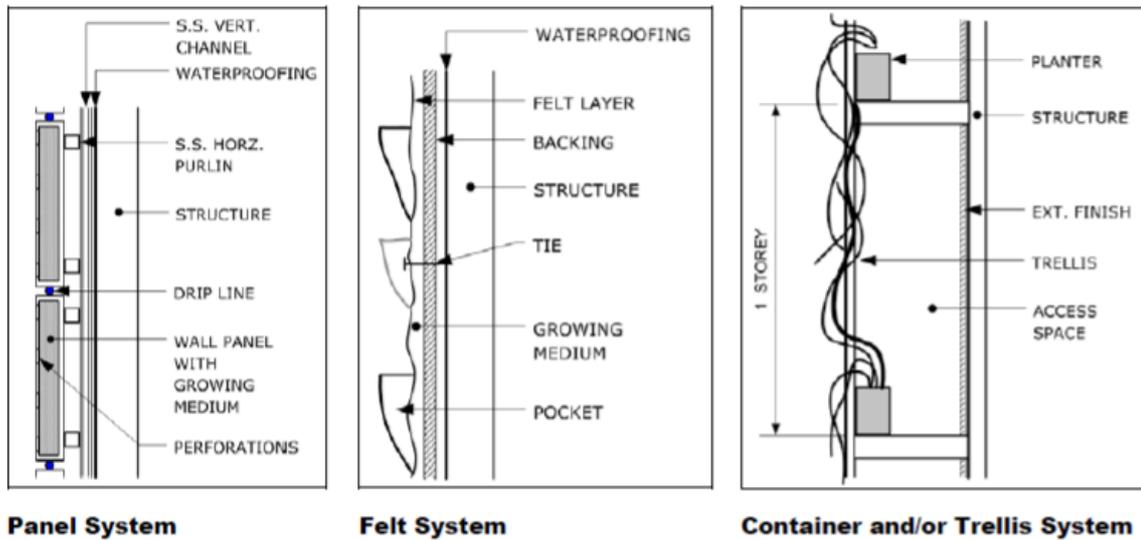
protectora similar a la del caso anterior, pero sin estructuras fijas y generalmente de menor altitud.

- Paredes vivas o jardines verticales

Se denominan paredes vivas a los paneles o estructuras en los cuales las plantas han sido pre-cultivadas con anterioridad. Estas estructuras con numerosas especies ya germinadas, sirven de soporte para la vegetación y se colocan directamente sobre la superficie vertical donde se van a ubicar los diferentes módulos que componen la pared viva total. Según el tipo de soporte donde se desarrollan las plantas, podemos diferenciar varios tipos:

- Sistema de paneles. Se componen de paneles rellenos por el interior con un sustrato común donde la vegetación se planta con anterioridad. Una vez instalada todas las vegetaciones, se conectan a la estructura final y a un sistema de riego mecánico.
- Sistema de fieltro. Se añade sobre el muro a cubrir diferentes capas aislantes y una última de fieltro no tejido (poliamida, polietileno, etc.), en las cuales se practican cortes por donde se introducirán las plantas. Este tipo de cultivo se conoce como hidroponía, en el cual la planta absorbe una solución que desciende por el fieltro que es hidrófilo y siempre se mantendrá húmedo. Por lo tanto, no existe un sustrato común y la planta crecerá con la raíz desnuda por el interior de la última capa. También se pueden emplear lana de roca o espumas de poliuretano.
- Sistema de contenedores. Se instalan macetas o recipientes independientes en el muro final por los que posteriormente crecerá la planta. Suele apoyarse con sistemas de enrejados para que las plantas se desarrollen sin problemas por la estructura vertical y un sistema de riego por goteo para cada compartimento.

En la siguiente figura, se puede apreciar un esquema con los tres tipos de paredes vivas antes mencionados.



Fuente: Susan Loh. Living walls - a way to green the built environment. BEDP Environment Design Guide. Autor M. Murray, 2008.

2.2.4 Funcionamiento de un jardín vertical

La actividad de un jardín vertical y su influencia en las condiciones climáticas donde se ubica se va a explicar desde diferentes apartados desde el funcionamiento del proceso de transpiración a la relación física entre la temperatura y la humedad.

Transpiración en el organismo de las plantas

Como es sabido, una parte del agua que se incorpora al ciclo del agua proviene de la evaporación debido a que temperaturas altas provocan que el agua en estado líquido pase a formar parte de la atmósfera en estado gaseoso. La mayor parte ocurre en las grandes masas oceánicas, pero también existe una pequeña parte que proviene de las plantas mediante el fenómeno denominado como transpiración.

Se puede definir la transpiración como el proceso por el cual las plantas pierden agua principalmente a través de sus hojas en forma de vapor. La transpiración es beneficiosa para la planta ya que ayuda al enfriamiento evaporativo de ella, mejora la absorción de nutrientes y la entrada de dióxido de carbono [19]. Las tasas de transpiración dependen del gradiente de potencial hídrico entre el suelo y la atmósfera, y las resistencias al movimiento del agua a través de la planta (determinadas por el nivel de CO₂ del

ambiente, la intensidad de luz, características fisiológicas de la planta, etc.).

Este proceso se realiza sobre todo en las hojas a través de unas aperturas regulables que se encuentran en el tejido epidérmico y a las que se denomina como estomas. Los estomas están formados por dos células especializadas que se conocen como células oclusivas.



Estomas en una hoja de hierba. Dreamstime.com

El poro que forman las células oclusivas cuando el estoma se abre, se le denomina como ostiolo.

La función principal de los estomas es la de facilitar la entrada del dióxido de carbono en la planta para realizar la fotosíntesis, a la vez que la planta consigue enfriar las hojas cuando el agua abandona el organismo al pasar a estado gaseoso.

Las plantas tienen una gran cantidad de estomas en las hojas, llegando a contarse hasta 400 estomas/mm² en algunas especies. Algunas plantas presentan estomas en ambos lados de las hojas y otras solo en la parte inferior para minimizar la pérdida de agua. Un dato interesante es que un árbol grande puede transpirar 450 litros de agua diarios [20].

Debido a la evaporación del agua procedente del sustrato donde se encuentra las plantas, y ante la dificultad de discriminar que cantidad de agua viene de la transpiración y cuál de la evaporación,

surge el concepto de evotranspiración. Por tanto, podemos definir la evotranspiración es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye tanto la evaporación de agua en forma sólida como líquida directamente del suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas [21].

El 57% de la precipitación anual a nivel global es devuelta a la atmósfera a través de la evotranspiración, alcanzando el 90-100% en zonas áridas o desérticas.

La evapotranspiración tiene pues una gran influencia en el microclima debido a la generación de oxígeno y la absorción de dióxido de carbono y debido a ello puede utilizarse como un medio natural eficaz de regulación térmica y renovación del aire. Según estudios, con 150m² de superficie plantada se puede producir el oxígeno necesario para una persona durante 24 horas [20]. Es por ello que es importante explicar la relación de las plantas con su entorno más cercano.

Relación de las plantas con el entorno

Como se ha comentado anteriormente, los mecanismos de apertura de los estomas están relacionados con diferentes factores. Ahora se va a explicar brevemente la diferente actuación de estas estructuras vegetales en función de las características del ambiente.

- Luminosidad. Para favorecer el proceso de la fotosíntesis, los estomas se abren con presencia de luz y se cierran en la oscuridad, sin embargo, los estomas pueden permanecer cerrados con presencia de luz para no perder agua, expulsar CO₂ o refrescarse si la temperatura exterior es alta.

- Presencia de agua:

En casos de falta de agua, los estomas se cierran para ayudar a conservar esa agua ya que además al no existir la presión suficiente las células oclusivas no realizan la apretura estomática mencionada.

- Concentración de CO₂:

Si la concentración interna de dióxido de carbono es baja en la planta, los estomas permanecerán abierto para seguir realizando la fotosíntesis. Si, por el contrario, se incrementa

demasiado la presencia del CO₂ en el organismo, los estomas se cierran para que comience el proceso de respiración y se libere el gas. Esto se debe a que la planta recibe la señal de que se está liberando más CO₂ del que se está usando en el proceso fotosintético.

- Temperatura:

Las altas temperaturas también sirven de señal para cerrar los estomas. Las altas temperaturas incrementan la pérdida de agua; con menos agua disponible, las células oclusivas se vuelven flácidas y el estoma se cierra. Otro efecto de las altas temperaturas es que las tasas respiratorias rebasan a las tasas fotosintéticas, causando un incremento en la concentración de CO₂ en las hojas; esto causará también el cierre de los estomas. Recordemos que algunas plantas abren sus estomas bajo altas temperaturas para que la transpiración enfríe las hojas.

Acción del sistema vegetal en su entorno cercano

- Muro verde externo.

Las envolventes verdes de los edificios funcionan como una capaz aislante térmica más que ayuda frente a las elevadas temperaturas que alcanzan las estructuras externas de los edificios durante el día y las pérdidas de calor durante la noche.

Esta variación diaria, se puede comparar con la acción de la vegetación en función de la estacionalidad anual del clima. Durante el periodo estival, la capa vegetal consigue evitar que la radiación solar llegue de manera directa al edificio con su consecuente ahorro en refrigeración. En torno a un 80% de la radiación solar puede ser mediante diferentes procesos naturales, absorbida por la vegetación [16].

Durante la época invernal, esta densidad de la vegetación sería inferior por la caída de las hojas, por lo que el edificio podría recibir permitiendo una mayor entrada de luz directa solar mejorando las condiciones térmicas interiores de la construcción.

- Jardín vertical interno.

Debido a todos los procesos naturales de las plantas antes comentados, podemos decir que los procesos de evapotranspiración ayudan a regular la temperatura y por todo ello se utiliza cada vez más la vegetación para mejorar la climatización en zonas urbanas o en el interior de los edificios mediante los conocidos jardines verticales.

En ambientes interiores en los que se utiliza sistemas de refrigeración o de calefacción interna, el aire se convierte en demasiado seco por lo que el aumento de humedad debido a las plantas es muy beneficioso. Según un estudio la transpiración de las plantas puede aumentar la humedad del aire interior entre un 3% -5% creando así un nivel de humedad que coincide con la recomendada en humanos rango de confort [22].

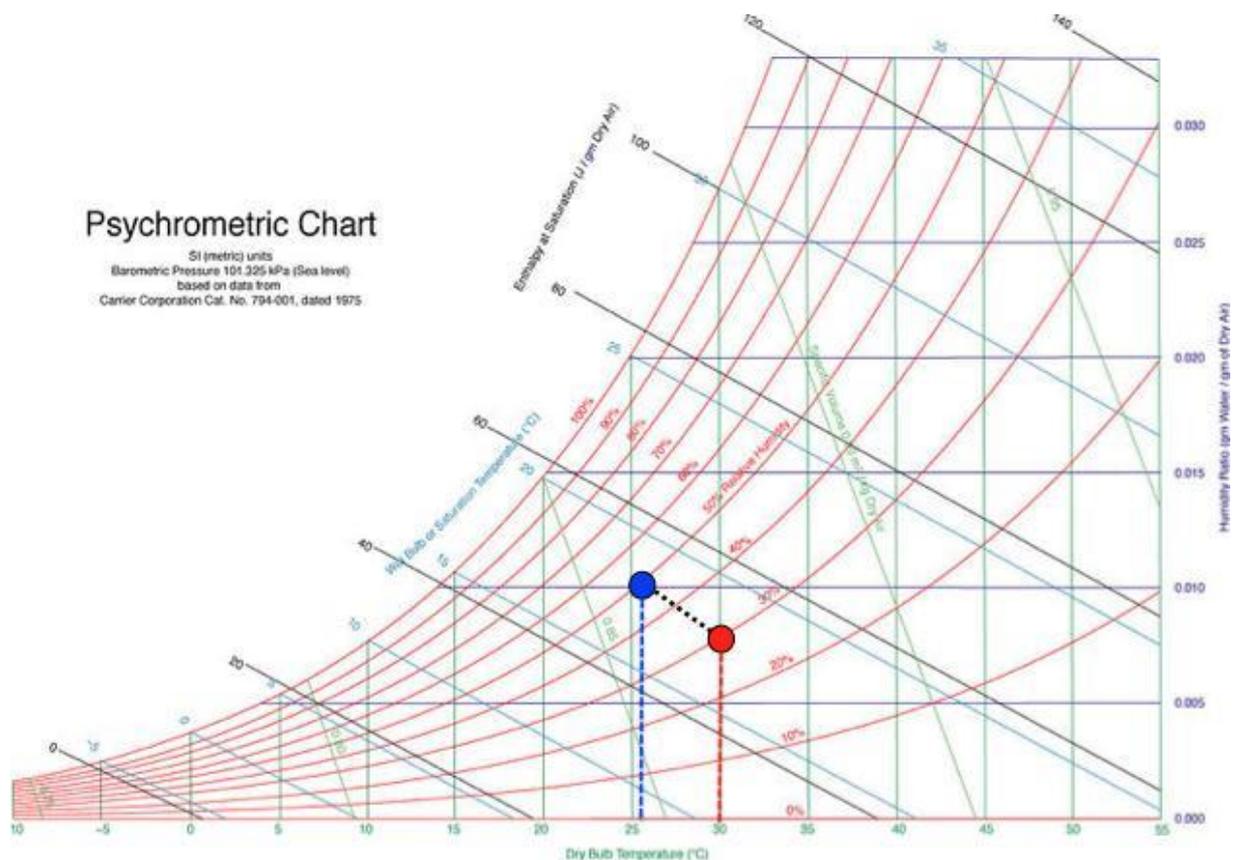
Esta influencia será mayor en edificios mal o no climatizados ya que regulará la temperatura y humedad de una manera más notable y más perceptible por las personas del interior, a si se utiliza en lugares ya climatizados en las que las variaciones serán mínimas puesto que el rango de T y H es próximo al óptimo. Es por ello que la consecuencia de utilizar estos sistemas verdes en lugares ya climatizados es ir poco a poco conociendo la influencia del sistema e ir adaptándose al menor consumo energético que requerirán los edificios.

Relación humedad y temperatura

Como se ha comentado con anterioridad, la transpiración de las plantas tiene un efecto de refrigeración en climas calurosos y secos. Esto se debe a la evaporación del agua que sale de las plantas ya que la energía necesaria para que esa agua pase a esta gaseoso hace que la temperatura disminuya mientras también sube la humedad relativa del ambiente [2].

Se puede ver y explicar este concepto con la ayuda de un diagrama psicrométrico. Se trata de un gráfico que representa la temperatura, humedad relativa (HR), cantidad de agua que contiene el aire y las líneas de entalpías. Estas últimas representan el calor total contenido en el aire que depende de la T y HR que contenga el mismo [25]. El diagrama de Carrier es el más utilizado actualmente y en él se representan la temperatura seca en el eje de abscisas y la humedad específica en el de ordenadas. Además, es importante saber que humedad relativa se expresa en tanto por ciento mediante unas líneas curvas que limitan el diagrama por el lado izquierdo cuando alcanzan su 100%. Ésta última es la denominada como curva de saturación.

En el siguiente diagrama psicrométrico podemos ver que en unas condiciones iniciales (punto rojo) de un clima considerado caluroso y seco (30°C y 30% HR), si se evapora agua al aire a través de plantas, por ejemplo, la energía necesaria para convertir esa agua de un medio líquido a vapor (punto azul) tiene como efecto disminuir la temperatura mientras se incrementa además la humedad relativa [2]. Esto se puede observar bien en la ilustración siguiente.



Owaga, A. (2009). *Psychrometric Chart for Sea-level pressure using SI units*. GNU Free Documentation License

2.2.5 Beneficios de un sistema vertical verde

Existen numerosos beneficios asociados a la utilización de plantas en las edificaciones tanto en el interior como en el exterior de ellas. Estas ganancias pueden repercutir tanto a nivel urbano local como mejorar diversos aspectos de la edificación y de la habitabilidad interior de la construcción en cuestión.

Si diferenciamos en función de si se tratan de fachadas verdes exteriores o de jardines verticales internos, podemos ver diferentes beneficios, aunque la mayoría de ellos son muy similares.

- Fachadas verdes

o A nivel ciudad:

- Reduce el efecto de isla de calor [17]. Este efecto ya ha sido comentado con anterioridad en el estudio. La vegetación consigue que no se produzcan temperaturas tan extremas en ciudades muy contaminadas y con superficies

absorbentes de calor como hormigón asfalto, etc.

- Aumenta los espacios verdes. Es importante en poblaciones donde el crecimiento de ellas ha conllevado la pérdida de zonas verdes, conseguir espacios con vegetación que mejoren visualmente al impacto producido por las ciudades.
 - Recuperación de biodiversidad [17]. Aumentar zonas verdes en las ciudades, ayuda a que muchas especies autóctonas de plantas o animales puedan seguir desarrollándose. Las plantas pueden llevar a cabo procesos de polinización y además ser un refugio para aves u otros pequeños animales autóctonos.
 - Huertos urbanos [8]. Si se plantan especies frutihortícolas, se pueden producir alimentos o productos que pueden ayudar a los más necesitados y ayudar a las economías legales en lugar de importar productos.
 - Sumidero de CO₂ [16]. Es conocida la capacidad de las plantas de asimilar este gas perjudicial para la salud y el clima, derivado de la quema de combustibles fósiles tan común en las ciudades.
 - Eliminación de contaminantes. Determinadas plantas tienen la capacidad de eliminar diferentes compuestos químicos perjudiciales y retener además las partículas en suspensión.
- A nivel edificio:
 - Económicos
 - Menor consumo de energía [16]. La zona de sombra generada por la pared verde provoca una disminución de la temperatura en verano y protege al edificio en invierno frente a heladas y la acción del viento.
 - Protección de estructura del edificio [18]. Si la instalación de las paredes verdes se realiza de forma correcta, puede conllevar la reducción en los costes de mantenimiento y alargar la vida de la estructura. Las plantas protegen de la acción de la radiación UV del sol, evita cambios bruscos de temperatura que puedan perjudicar los materiales y disuade la utilización de la pared para realizar pintadas, pega de carteles y demás problemas que empeoren la imagen del edificio.

convencionales.

- Concienciación ambiental e imagen sostenible. La utilización interior de jardines verticales puede reportar beneficios en las empresas donde se instalen ya que les confiere una imagen de compromiso con el tema ambiental. Además, genera una concienciación a los visitantes, empleados o inquilinos del edificio acerca de la importancia de mantener y cuidar las zonas verdes.

3 MEMORIA DE CÁLCULO

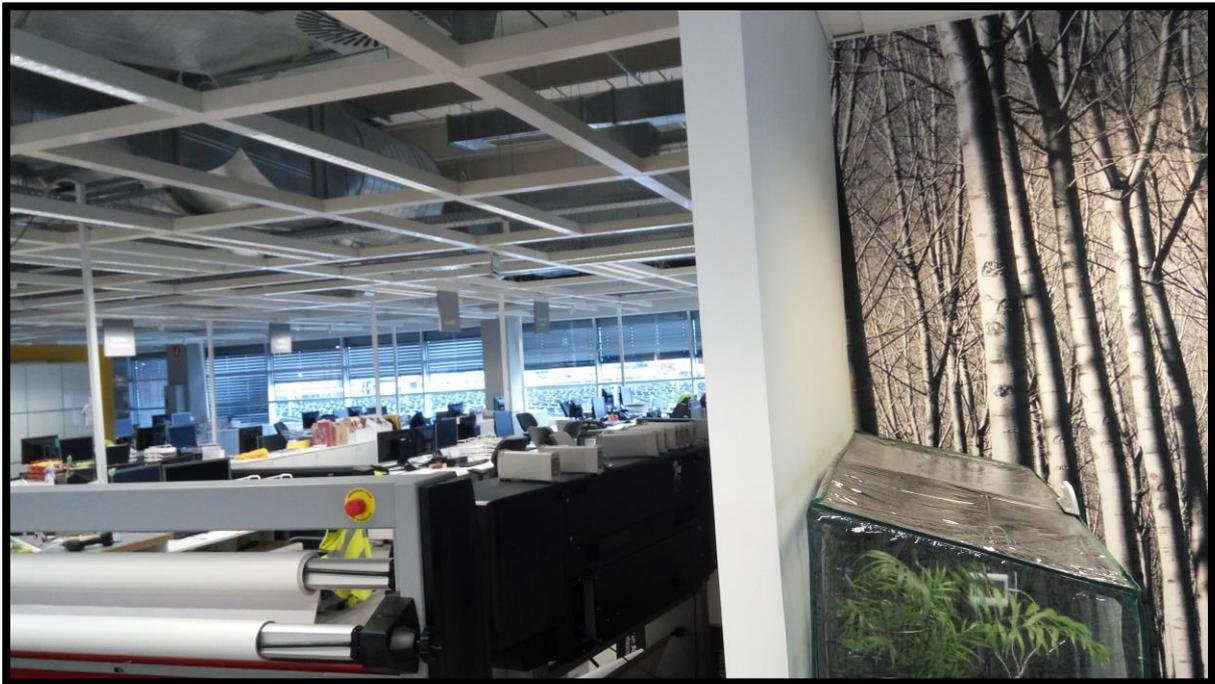
3.1 MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se va a explicar los diferentes materiales y herramientas que se han utilizado para la instalación del módulo a escala piloto en el que se ha introducido un jardín vertical con sistema de riego e instrumentos para la medición de temperaturas y humedad. También el método para llevar a cabo las mediciones y la selección de plantas.

3.1.1 Emplazamiento del proyecto

Uno de las aplicaciones más comunes de un sistema de paredes verdes, es la de su utilización en zonas internas de oficinas. Esto se debe a que estas zonas suelen tener mucha presencia de personas y un ambiente además bastante seco y con contaminantes por todo el tema de materiales y equipos informáticos que se suelen utilizar. Por ello, para la implantación de este módulo se utilizó la zona de oficinas de la superficie comercial de IKEA Jerez.

Se buscó una zona dentro de las oficinas que no estuviera demasiado a la vista por la multitud de personas tanto internas como externas que pasan por ahí y que podrían interferir en el estudio. Se localizó una zona de espera en uno de los pasillos anexos y que rodean a las oficinas cercana al servicio médico y a salas de reuniones. El área de oficinas no está delimitada y queda abierta por lo que el emplazamiento (que estaba tan solo a unos 2/3 metros de los ordenadores de un departamento) tiene las mismas condiciones que las oficinas.



En la imagen panorámica anterior, se puede ver el emplazamiento final del módulo piloto de ensayo. A la izquierda estaría el pasillo que da a la zona de oficinas y salas de reuniones, y a la derecha el servicio médico y la puerta de emergencia que marca el final del pasillo. En la segunda imagen de arriba, aparece en concreto la pequeña sala abierta que es la zona donde se ubica el módulo, la puerta del servicio médico y una puerta de emergencias cercana que proporciona bastante luz natural durante el día.



A tener en cuenta también que fuese una zona bastante bien iluminada y con toma de corriente para el sistema de riego. El emplazamiento estaba cercano a una puerta de emergencia (localizada al final del pasillo) por la que entraba bastante luz y tenía iluminación LED cercana durante los horarios de oficinas que se desarrollaban de 8:00 a 22:00. Se quiso también que los rayos de sol no incidieran de manera directa en el sistema, por lo que esa zona de descanso era perfecta ya que sólo entraba luz directa al pasillo y en las últimas horas del día. Además de ello contaba con una toma de corriente justo en la pared donde se iba a ubicar este experimento.

En la siguiente imagen se puede ver como la acción de los rayos de sol (marcada en rojo) no inciden en el módulo del invernadero gracias a la pared que se ubique enfrente del sistema. Esto sólo ocurre a últimas horas del día.



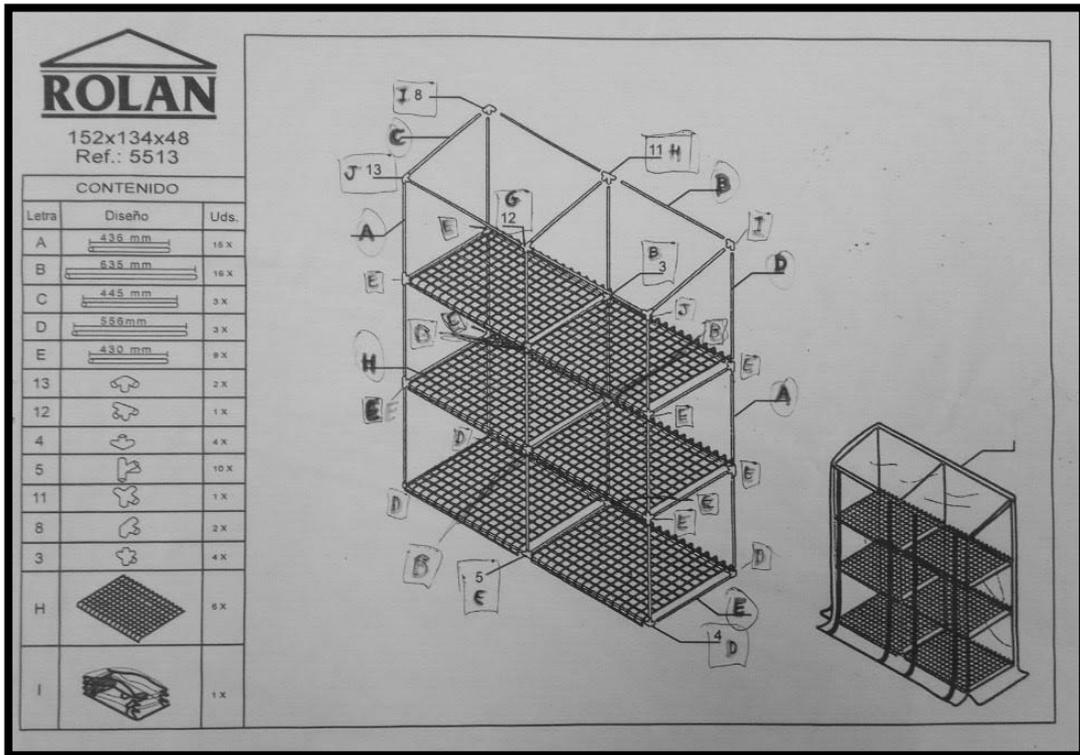
3.1.2 Estructura del módulo

Para llevar a cabo el estudio, se necesitaba que el módulo tuviera dos partes bien diferenciadas para comparar entre ellas, la influencia de la presencia de las plantas. Se utilizó un invernadero que fuera lo bastante amplio como para poder instalar el sistema vegetal en tan sólo la mitad de la estructura y que pudiera aislarse una zona de la otra sin problemas.



Fuente: www.bricor.es

La estructura del invernadero era de la marca *Rolan* y estaba compuesto por un armazón de acero y una cubierta de PVC con sistema de cremallera para su apertura. Tenía unas medidas de 152x134x48 cm. por lo que, al hacer la división para crear las dos zonas de estudio, cada una de ellas eran de 152x67x48.



Para llevar a cabo una buena separación de ambas zonas, se necesitaba un material que fuera aislante térmicamente y que no reaccionara ante la humedad del sistema, por lo tanto, se optó por unas espumas de polietileno con bastante grosor y con poros cerrados. Este material se podría cortar fácilmente y adaptar a las medidas determinadas que se necesitaban en esta estructura.





Una vez montada la primera parte de la estructura, se recortaron los corchos aislantes para adaptarlos a la separación que se quería crear y se colocaron las espumas de polietileno ya cortadas, en los tres espacios que había que taponar.



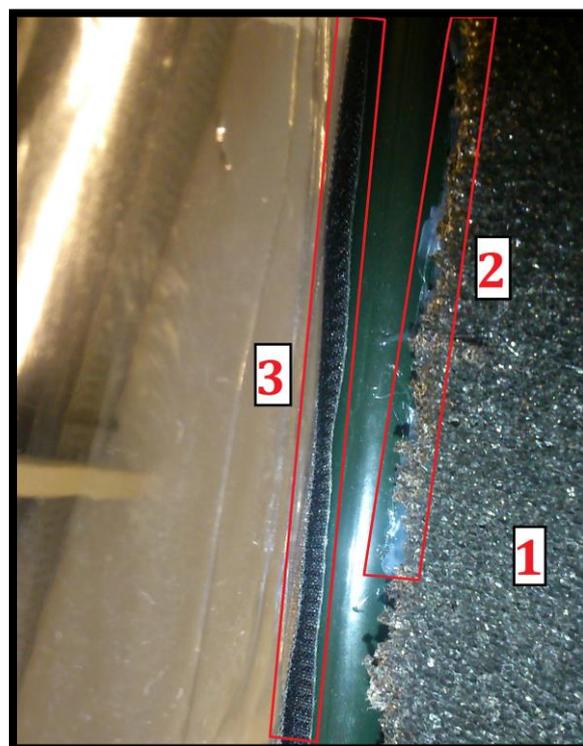
Para que no existiese ninguna influencia térmica ni ningún tipo de paso de agua entre un módulo y otro, se utilizó silicona para sellar la estructura de acero tanto al aislante al suelo.



Más tarde, se procedió a montar la segunda parte del armazón y anclarla a la primera parte. Una vez completada la estructura, se cerró el invernadero con la cubierta de PVC. Del mismo modo, para que quedara bien sellada la estructura metálica a la cubierta plástica, se utilizó una cinta de velcro que era adhesiva por ambos lados.



De esta manera, gracias a la utilización de la espuma de polietileno, la silicona y la cinta de velcro, se conseguía aislar los dos módulos para que sólo existiera la influencia de la vegetación en el compartimento donde se fueran a ubicar.



Por último, para poder crear el jardín vertical con sistema de contenedores, era necesario formar una pared de soporte dónde colocar los soportes para las macetas. Se utilizaron tres de las seis baldas que traía el invernadero para colocarlas de manera perpendicular al suelo a modo de pared de rejilla. Se sujetaron estas baldas a la estructura mediante unas bridas de plástico, con los que también se colgaron los portamaceteros metálicos a esta rejilla.



3.1.3 Plantas

Para la selección de las plantas se utilizaron varias fuentes que identificaban a las mejores plantas de interior que aumentan la calidad del aire. Esto se debe a la capacidad para filtrar el aire eliminando contaminantes y para humidificar el ambiente. La mayoría de referencias destacan que ambas cualidades están relacionadas y coinciden en las especies más adecuadas para su uso como biofiltros y humidificadores naturales.

Muchos estudios y sitios web se basan en la lista de plantas compilada por la NASA dentro del estudio llamado “Clean Air Study”. En él, se mencionan las plantas que mejor purificaban el ambiente para utilizarlas en las estaciones espaciales [26].

La elección pues se hizo a partir de las coincidencias de las plantas que aparecen como referencia en el estudio anterior y en diferentes páginas web de empresas como Bayern [27] o de floricultores [28].

Las plantas que fueron elegidas para realizar el estudio fueron:

- Palma areca o bambú (*Dypsis lutescens*)



mtreasure/Getty Images

- Helecho (*Nephrolepis exaltata* 'Bostoniensis')



Tom Dobbie/Getty Images

- Cintas (*Chlorophytum comosum*)



Bozhena Melnyk/shutterstock.com

- Espatifilo (*Spathiphyllum*)



Alistair Forrester Shankie/Getty Images

- Potus (*Scindapsus aureus*)



Panuwat.T/shutterstock.com

- Palmera de salón (*Chamaedorea elegans*)



gardenplant.es

Finalmente se utilizaron 8 plantas que se repartieron de la siguiente forma: 1 Cinta, 1 potus, 2 espatifilos, 1 areca, 1 palmera de salón y 2 helechos. La disposición final de estas especies para formar el jardín vertical,

fue la siguiente.



3.1.4 Sistema de riego

Para que las plantas tuvieran un suministro de agua teniendo un bajo mantenimiento, se utilizó un sistema de riego automático por goteo compuesto de tres partes principales: el temporizador digital, la bomba de agua y la línea de riego.

- Temporizador digital: se utilizó un temporizador de la marca *Garza* en el cual se programó los diferentes intervalos de riego que se iban a utilizar en el jardín vertical. En principio se regaban en días alternos, por la mañana (9:00) y durante 35 segundos.



- Bomba de agua: la bomba de agua utilizada proveía al sistema de riego, el agua necesaria para las plantas del interior del invernadero. Se trataba de un aparato de la marca *Janeca* y el modelo era HM-4103. Las características técnicas eran las siguientes:
 - o Potencia: 25 w
 - o Altura máxima: 1,5 m.
 - o Diámetro del tubo de salida 1,5 cm
 - o Caudal máximo: 1200 litros/hora



La bomba se sumergió dentro del agua de riego que se contenía un bidón de 25 litros que se mantuvo cerrado para evitar la caída de contaminantes al agua y pérdidas por evaporación. Sólo se le realizaron en el tapón dos agujeros diferentes para la entrada y salida de agua del bidón y una pequeña abertura para el cable de corriente de la bomba de agua. Para que no hubiera problemas de potencia se realizaron varios ensayos para probar la cantidad de agua que recibía cada macetero, por lo que se decidió colocar el bidón de agua con la bomba en altura como se puede ver en la siguiente imagen.



- Línea de riego. Para comenzar la línea de riego, se adaptó un tubo flexible de PVC al diámetro de la boca de la bomba de agua que salía del bidón a través del agujero antes mencionado. El tubo transparente tenía que unirse a la línea de suministro de riego por lo que se utilizaron dos adaptadores

que modificaban el diámetro inicial para conseguir que el agua pudiera pasar de una sección de 1,5 cm. que tenía la salida de la bomba de agua a un diámetro de la manguera principal de 4/6,5 mm.



El sistema de riego se repartió por la pared de rejilla donde se ubicaban los portamaceteros y se utilizaron ocho de los diez puntos de riego que tenía los 12m de la línea principal de riego. A los puntos de riego se les acoplaron los clavos de goteo para cada planta.



Por último, el agua que seguía circulando por la línea principal tras la última salida de riego, se conducía de nuevo al bidón de agua para que se recirculara (ya que no había sufrido contaminación alguna y así no existía un excedente de agua bombeada que causara problemas al experimento) y para que la reserva de agua para el riego requiriera menos mantenimiento.

3.1.5 Método de mediciones

- Instrumentos.

Los parámetros que se midieron en el experimento fueron los de temperatura y humedad. Para comparar la influencia de las plantas, se introdujeron en ambos módulos un termómetro/higrómetro digital de la marca *Oh! Haus&Co* modelo OH513 con dos mediciones diferentes de temperatura (sonda y aparato). Éstos, se colocaron anclados en los aislantes a media altura del invernadero y con la sonda en la parte central del espacio interior de ambas zonas.



Fuente: <http://greutor.com/>

Además de la comparativa entre los dos módulos se colocó otro termómetro/higrómetro encima del invernadero para ver como oscilaban los rangos de temperatura y humedad en la zona exterior de oficinas.



Fuente: <http://www.jardinynatur.es/>

- Frecuencias.

Las mediciones se realizaban dos veces diariamente y esas dos veces variaban alternadamente cada semana en función del horario en el que se visitaba las oficinas. Una semana se realizaba a las 9:00 h. y 18:00 h. y la segunda a las 13:00 h. y 22:30 h., y así sucesivamente durante los meses que duró el experimento.

Se terminó la instalación el 4/11/2015 y durante un periodo de prueba de 5 días para comprobar el correcto funcionamiento de todas las partes, se comenzaron a tomar datos el 09/11/2015. Estas mediciones se llevaron a cabo durante 5 meses hasta el 06/04/2016.

3.1.6 Diferentes estados de funcionamiento

El primer estado del invernadero en el que se realizó la toma de datos durante los primeros cinco meses como se ha comentado en el apartado anterior, se le va a identificar como "C1" (Cerrado nº1). Después de terminar con la toma de datos de primeros meses, se hicieron dos modificaciones en el experimento para ver como variaba la temperatura y la humedad con estos cambios.

Durante los siguientes tres meses, se abrió una parte de la cubierta de PVC en ambos módulos para ver la influencia que existía en tomar datos en un lugar cerrado completamente y otro con mayor influencia externa. A este estado del invernadero se le va a identificar como "A" (abierto).

Para finalizar, durante el último un mes se retiraron del módulo con la pared vegetal la mitad de las plantas del experimento, para ver si existía modificación alguna al tener menos superficie vegetal que en la primera parte del experimento.

3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.2.1 Tablas de resultados

Todos los datos obtenidos de temperatura y humedad a lo largo del estudio, se iban introduciendo en una hoja de cálculo para posteriormente analizar los resultados anotados. Para consultar cada uno de los datos hay que ir a los anexos que se encuentran al final de este trabajo. A continuación, se explicarán qué datos contienen los diferentes anexos del estudio:

Anexo 1. Datos del invernadero en el estado C1

En este anexo se encuentran los datos correspondientes a los días comprendidos entre el 9/11/2015 y el 06/04/2016. El estado 1 del invernadero tiene las siguientes características:

- Número de plantas: 8
- Cubierta de PVC: Cerrada

Anexo 2. Datos del invernadero en el estado A.

En este anexo se encuentran los datos correspondientes a los días comprendidos entre el 9/11/2015 y el 06/04/2016. El estado 1 del invernadero tiene las siguientes características:

- Número de plantas: 8
- Cubierta de PVC: Semiabierto

Anexo 3. Datos del invernadero en el estado C2.

En este anexo se encuentran los datos correspondientes a los días comprendidos entre el 9/11/2015 y el 06/04/2016. El estado 1 del invernadero tiene las siguientes características:

- Número de plantas: 4
- Cubierta de PVC: Cerrado

3.2.2 Resumen de los datos

Para llevar a cabo el resumen de los datos, se mostrarán unas tablas diferenciadas por el estado del invernadero (C1, A y C2) y se comparará la diferencia de temperatura y humedad entre las tres zonas (P, SP y E) del experimento.

- **Datos del estado C1 del experimento:**

o **Temperatura**

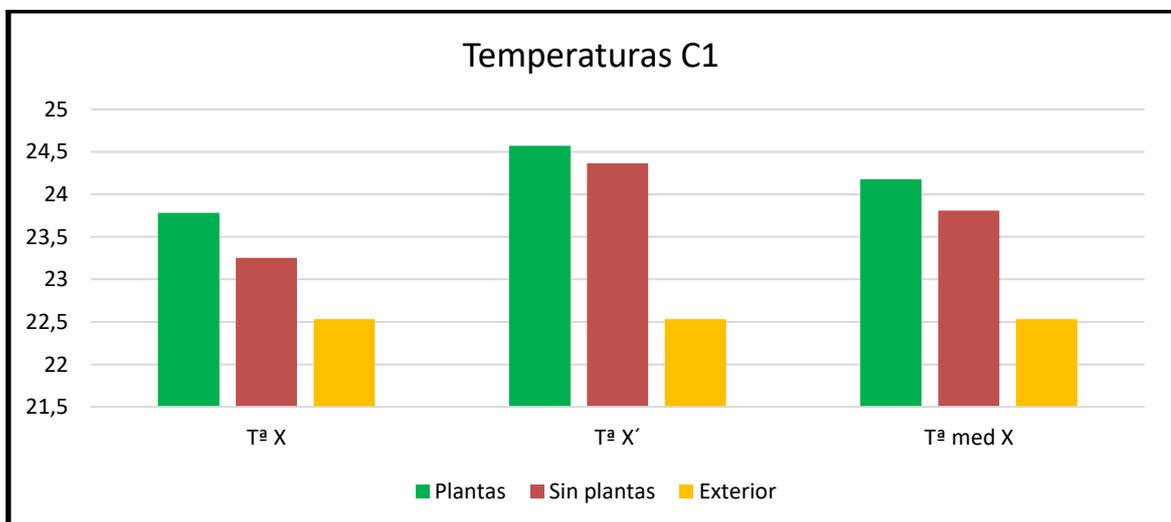
Tabla resumen de la media total de las temperaturas del estado.

Temperaturas C1			
	Tª X	Tª X'	Tª med X
Plantas	23,7833333	24,5698718	24,1766026
Sin plantas	23,2516556	24,3649007	23,8082781
Exterior	22,5326797	22,5326797	22,5326797

Si expresamos las diferencias entre los módulos y el exterior en porcentaje obtenemos la siguiente tabla:

	Tª X	Tª X'	Tª med X	
P vs SP	0,532	0,205	0,368	Grados
	2,287%	0,841%	1,547%	Porcentaje
SP vs E	0,719	1,832	1,276	Grados
	3,191%	8,131%	5,661%	Porcentaje
P vs E	1,251	2,037	1,644	Grados
	5,550%	9,041%	7,296%	Porcentaje

Representando en una gráfica de barras los datos anteriores:



- **Humedad**

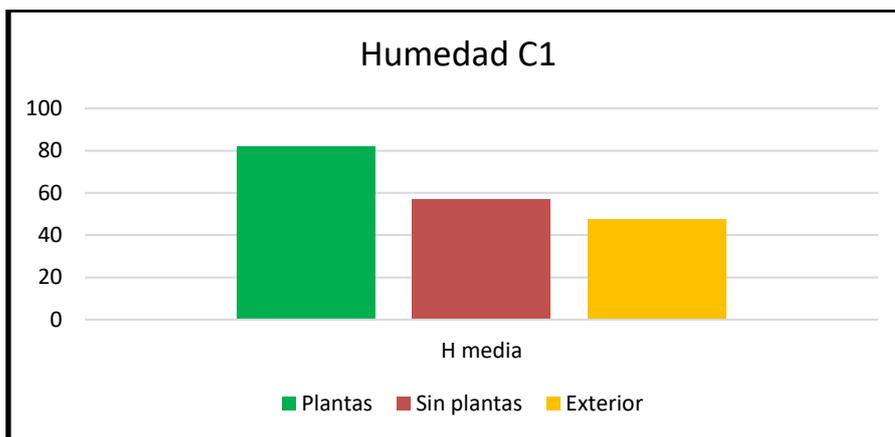
Tabla resumen de las humedades medias en el estado:

Humedad C1	
	H media
Plantas	82,0320513
Sin plantas	56,9205298
Exterior	47,5620915

Si expresamos las diferencias entre los módulos y el exterior en porcentaje obtenemos la siguiente tabla:

	Humedad	Diferencia
P vs SP	25,11152148	<i>Puntos de diferencia</i>
	44,12%	<i>Incremento porcentual</i>
SP vs E	9,358438298	<i>Puntos de diferencia</i>
	19,68%	<i>Incremento porcentual</i>
P vs E	34,46995978	<i>Puntos de diferencia</i>
	72,47%	<i>Incremento porcentual</i>

Representando en una gráfica de barras los datos anteriores:



- **Datos del estado A del experimento:**

- **Temperatura**

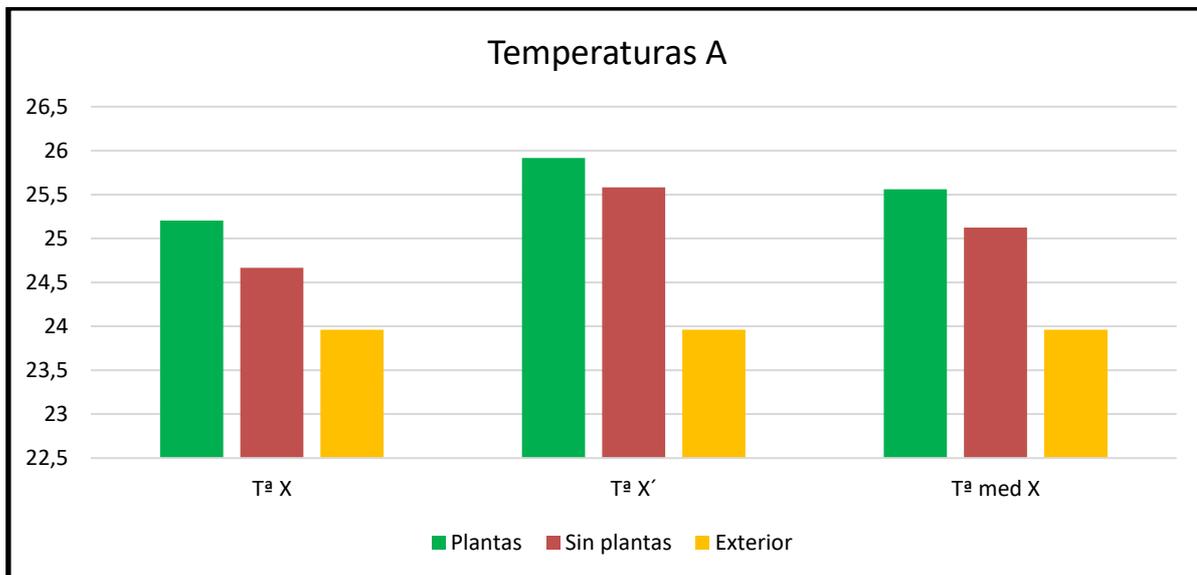
Tabla resumen de la media total de las temperaturas del estado.

TEMPERATURA EN "A"			
	Tª X	Tª X'	Tª med X
Plantas	25,20379747	25,91772152	25,56075949
Sin plantas	24,66794872	25,58333333	25,12564103
Exterior	23,96103896	23,96103896	23,96103896

Si expresamos las diferencias entre los módulos y el exterior en porcentaje obtenemos la siguiente tabla:

	Tª X	Tª X'	Tª med X	
P vs SP	0,536	0,334	0,435	Grados
	2,172%	1,307%	1,732%	Porcentaje
SP vs E	0,707	1,622	1,165	Grados
	2,950%	6,771%	4,860%	Porcentaje
P vs E	1,243	1,957	1,600	Grados
	5,187%	8,166%	6,676%	Porcentaje

Representando en una gráfica de barras los datos anteriores:



○ Humedad

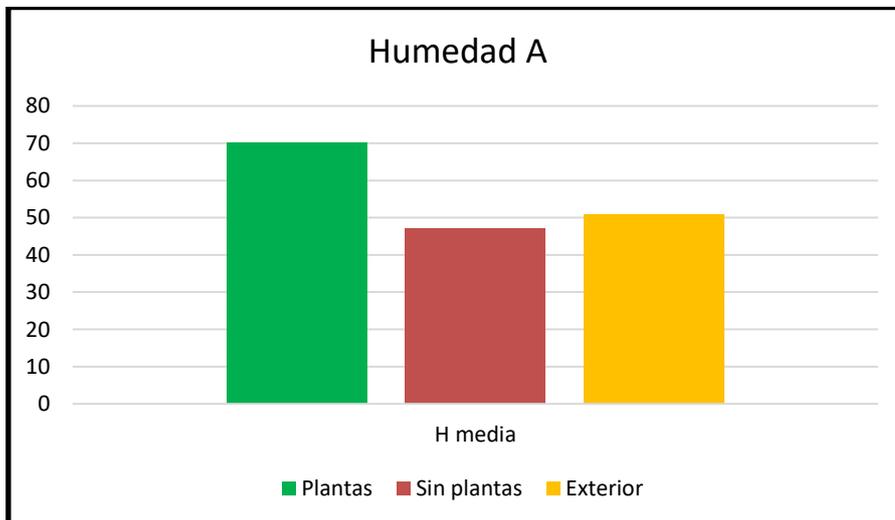
Tabla resumen de las humedades medias en el estado:

Humedad C1	
	H media
Plantas	70,1265823
Sin plantas	47,0641026
Exterior	50,7922078

Si expresamos las diferencias entre los módulos y el exterior en porcentaje obtenemos la siguiente tabla:

	Humedad	Diferencia
P vs SP	23,06247971	Puntos de diferencia
	49,00%	Incremento porcentual
SP vs E	-3,728105228	Puntos de diferencia
	-7,34%	Incremento porcentual
P vs E	19,33437449	Puntos de diferencia
	38,07%	Incremento porcentual

Representando en una gráfica de barras los datos anteriores:



- **Datos del estado C2 del experimento:**

- **Temperatura**

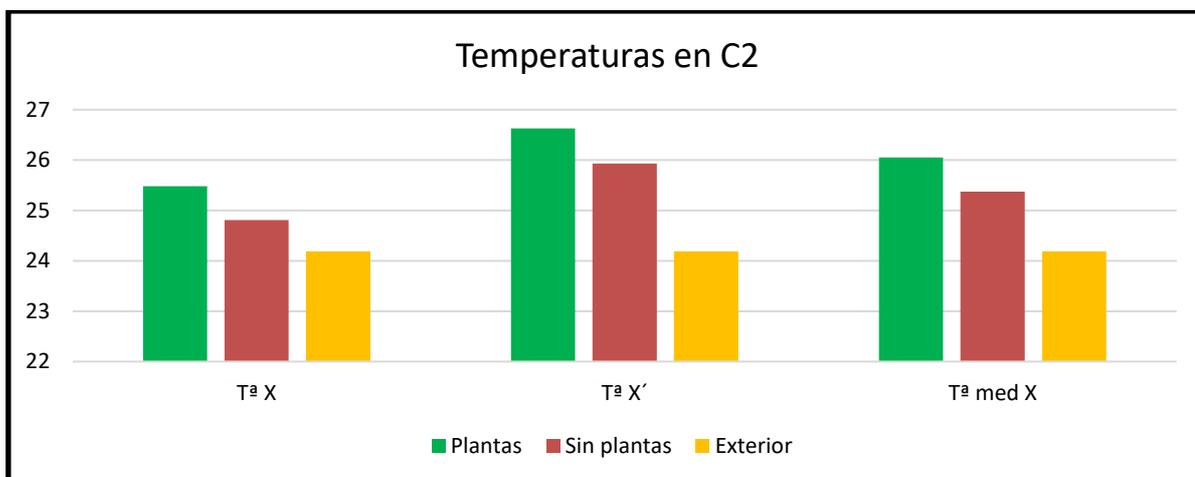
Tabla resumen de la media total de las temperaturas del estado.

TEMPERATURA EN "C2"			
	Tª X	Tª X'	Tª med X
Plantas	25,4787879	26,6272727	26,0530303
Sin plantas	24,8090909	25,9333333	25,3712121
Exterior	24,1911765	24,1911765	24,1911765

Si expresamos las diferencias entre los módulos y el exterior en porcentaje obtenemos la siguiente tabla:

	t1	t2	tm	
P vs SP	0,670	0,694	0,682	Grados
	2,699%	2,676%	2,687%	Porcentaje
SP vs E	0,618	1,742	1,180	Grados
	2,554%	7,202%	4,878%	Porcentaje
P vs E	1,288	2,436	1,862	Grados
	5,323%	10,070%	7,696%	Porcentaje

Representando en una gráfica de barras los datos anteriores:



○ Humedad

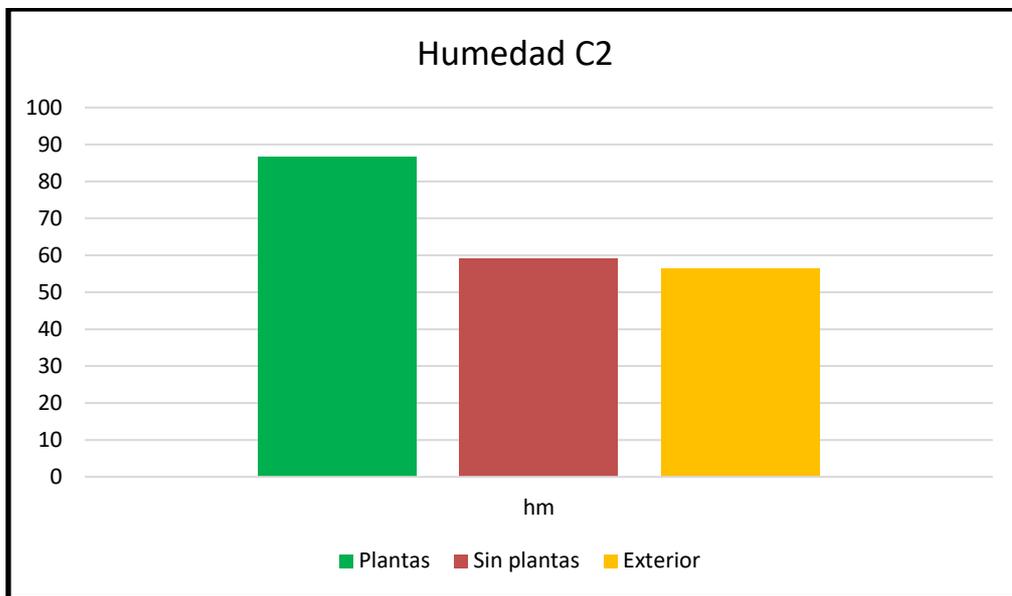
Tabla resumen de las humedades medias en el estado:

Humedad C2	
	H media
Plantas	86,6969697
Sin plantas	58,9411765
Exterior	56,4545455

Si expresamos las diferencias entre los módulos y el exterior en porcentaje obtenemos la siguiente tabla:

	Humedad	Diferencia
P vs SP	27,75579323	<i>Puntos de diferencia</i>
	47,09%	<i>Incremento porcentual</i>
SP vs E	2,486631016	<i>Puntos de diferencia</i>
	4,40%	<i>Incremento porcentual</i>
P vs E	30,24242424	<i>Puntos de diferencia</i>
	53,57%	<i>Incremento porcentual</i>

Representando en una gráfica de barras los datos anteriores:



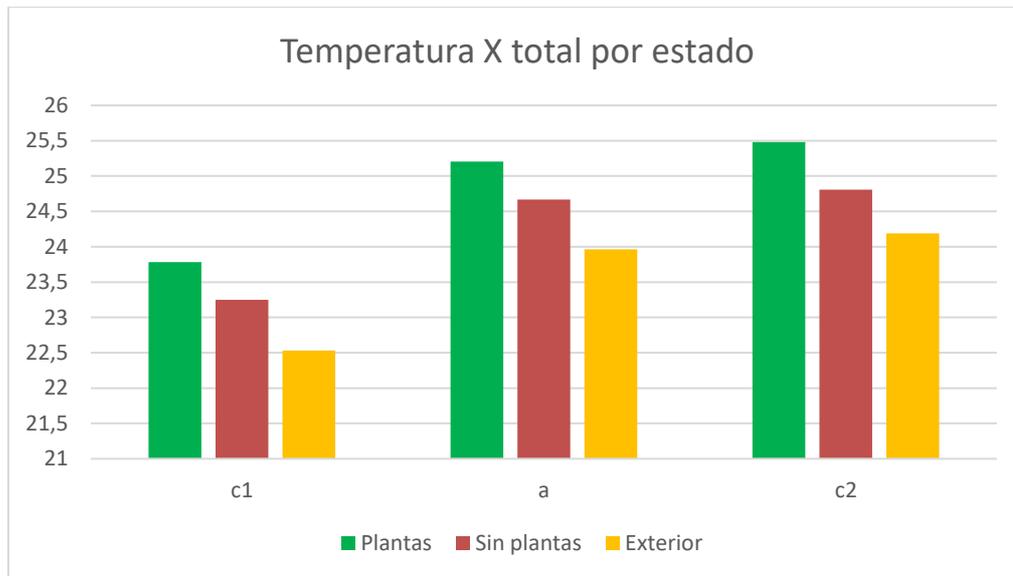
3.2.3 Análisis de los datos

- **Comparativa entre los estados.**

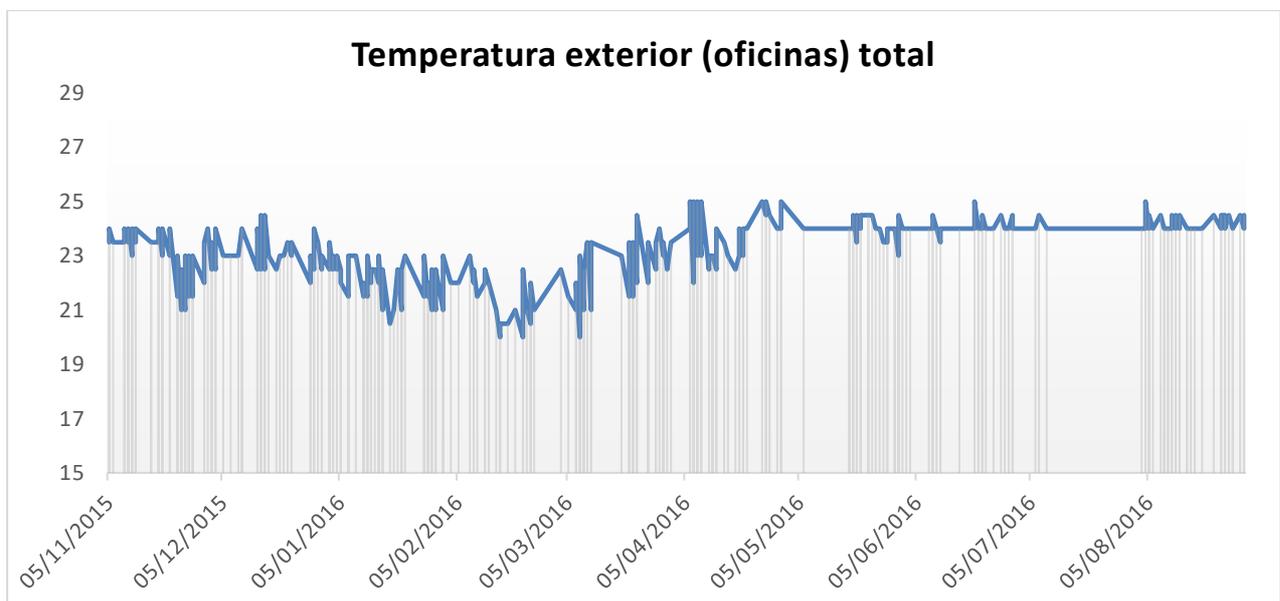
o **Temperatura**

Si analizamos los datos de temperatura medido directamente por el aparato (sin tener en cuenta la sonda de temperatura adicional) y diferenciando los tres estados diferentes del invernadero, obtenemos la siguiente tabla y gráfica:

	Tª x Total		
	c1	a	c2
Plantas	23,7833333	25,2037975	25,4787879
Sin plantas	23,2516556	24,6679487	24,8090909
Exterior	22,5326797	23,961039	24,1911765



Podemos observar como la temperatura va ascendiendo en las tres zonas de medición, en función avanza cronológicamente el experimento. Esto se puede deber a que el estado C1 transcurre desde el otoño a la primavera, mientras que los estados A y C2, se desarrollan desde principios de abril a finales de agosto que son unos meses con una mayor temperatura ambiental. Esto se puede apreciar en la representación de la temperatura exterior del siguiente gráfico.



Como se puede comprobar, la temperatura es inferior durante los cinco meses del estado C1 y empieza a ascender a finales a principios de marzo, es decir, en el último mes de este estado. Siendo en febrero además cuando se registran las temperaturas más bajas como se puede apreciar. Durante la primera mitad de los tres meses que dura el estado A, la temperatura mantiene una tendencia ascendente y durante el último estado, la temperatura se mantiene constante a esa alta temperatura.

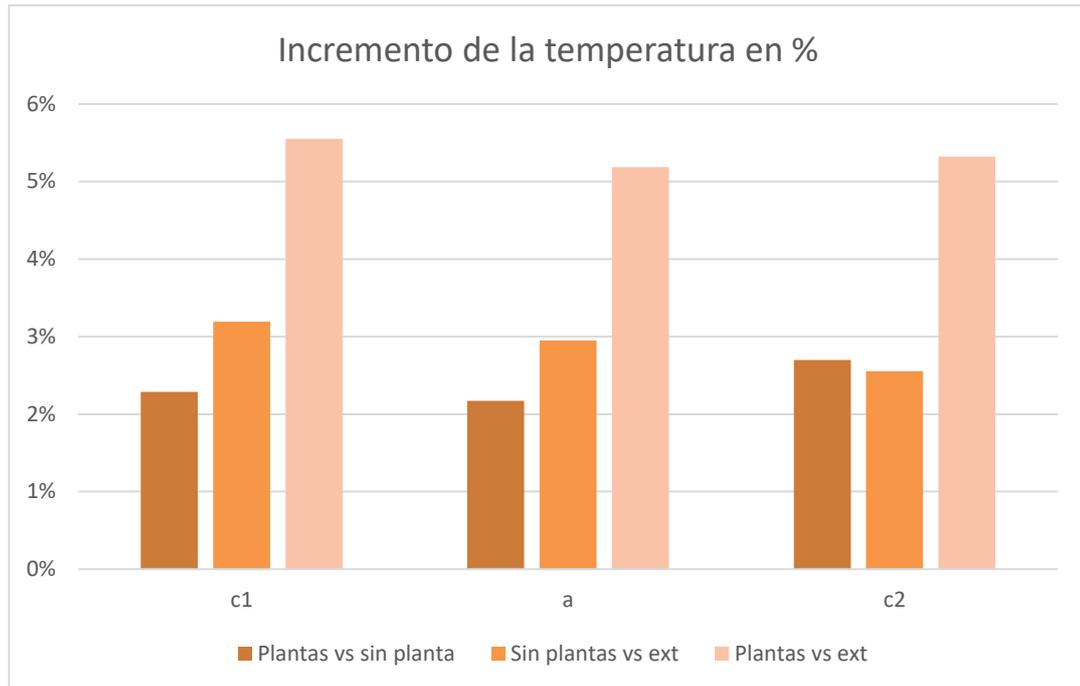
Es fácil apreciar que la temperatura es mayor siempre en el módulo con plantas que en el de sin plantas, y éste a su vez que comparado con la temperatura exterior.

Ya que se puede deducir por la gráfica “Temperatura total X por estado” que la temperatura exterior influye de manera importante, para poder calcular en qué estado es mayor el incremento, tenemos que utilizar los datos por porcentajes.

		Incremento de Temperaturas medias		
		c1	a	c2
P vs SP		0,532	0,536	0,670
		2,287%	2,172%	2,699%
SP vs E		0,719	0,707	0,618
		3,191%	2,950%	2,554%
P vs E		1,251	1,243	1,288
		5,550%	5,187%	5,323%

Se puede apreciar en la siguiente gráfica, como la mayor diferencia se encuentran entre el módulo con plantas y el exterior. Era importante medir la temperatura exterior ya que en la gráfica se puede ver que la diferencia entre el módulo sin plantas y el exterior, incrementa la temperatura en torno a un 3% pese a estar ambos sin plantas. Si nos fijamos en la comparativa que más tiene que ver con el objetivo de este estudio, es decir, entre los dos módulos, se puede ver como la temperatura del módulo con la pared vegetal está con una temperatura media que oscila durante todo el experimento entre un 2,2% y un 2,7%.

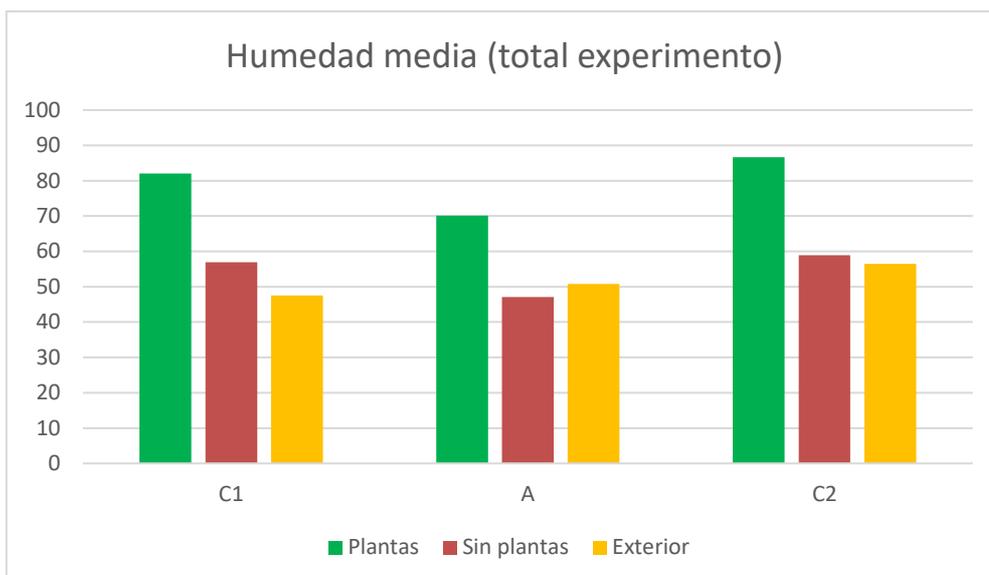
En la siguiente gráfica se puede apreciar como el incremento entre los dos módulos es más o menos constante, aunque en el último estado con menos plantas, se consigue un mayor incremento de temperatura respecto al módulo sin plantas (aunque tan solo de 0,5% más) que en el estado C1 respecto al SP del mismo estado.



○ **Humedad**

Ahora se analizará la posible variación del parámetro de humedad entre los diferentes estados del experimento. Para empezar, se muestra la siguiente tabla comparativa.

Humedad media (total experimento)			
H media	C1	A	C2
Plantas	82,03205128	70,1265823	86,6969697
Sin plantas	56,9205298	47,0641026	58,9411765
Exterior	47,5620915	50,7922078	56,4545455



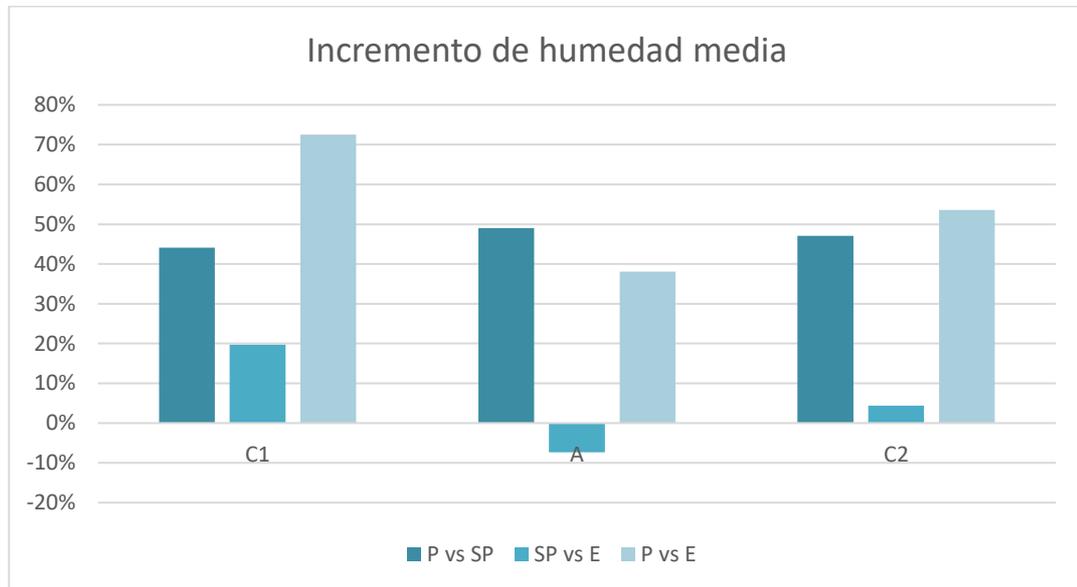
Se puede apreciar que la mayor humedad media corresponde al módulo con plantas con un máximo de 86% y un mínimo de 70%. Las otras dos medidas de este parámetro son bastante inferiores, siendo en dos de los tres estados mayor en el módulo sin plantas que en el exterior, aunque no existen tanta diferencia como con el módulo del jardín vertical. También que en el estado A, los datos son inferiores a los dos estados con los módulos cerrados y que en el exterior la humedad es más baja que en el módulo cerrado sin plantas excepto cuando está parcialmente abierto en el estado A.

Si utilizamos los datos anteriores para expresarlos en función del incremento porcentual de la humedad, podemos crear la siguiente tabla:

	Incremento de humedad media		
	C1	A	C2
P vs SP	25,11152148	23,0624797	27,7557932
	44,12%	49,00%	47,09%
E vs SP	9,358438298	-3,7281052	2,48663102
	19,68%	-7,34%	4,40%
P vs E	34,46995978	19,3343745	30,2424242
	72,47%	38,07%	53,57%

Se observa en la gráfica de abajo que en la comparativa P vs SP, como el incremento de humedad de humedad es muy similar en los 3 estados ya que sólo varía un 5% el gran incremento de humedad que se daba en los 3 casos respecto al módulo sin plantas (entorno al 47% más).

También se observa que pese a que en el estado A, la humedad en el módulo con plantas era bastante más baja que en los estados C1 y C2 (-12% y -16% respectivamente), el incremento en este tiempo respecto al módulo sin plantas es mayor (aunque muy similar) a cuando se encuentran cerrados.



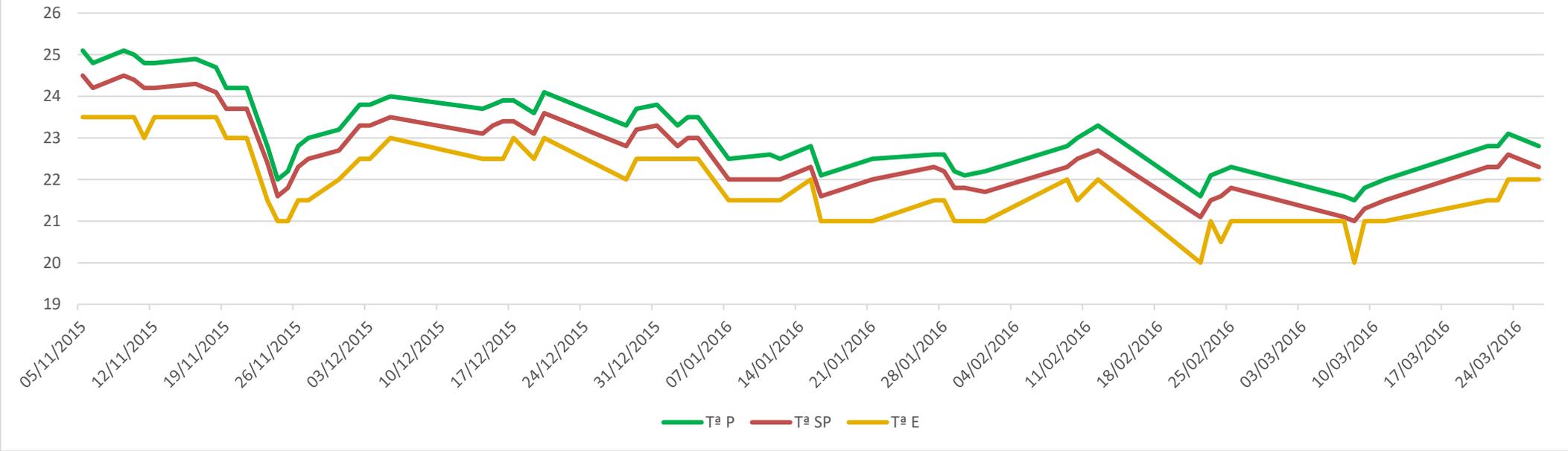
- **Comparativa entre los datos del estado C1**

Es destacable analizar los datos del experimento obtenidos en los tres estados, pero debido a que el estado C1 ha tenido el tiempo de muestra bastante mayor al resto, las plantas y los materiales estaban en perfectas condiciones al comienzo y siendo además el estado planteado inicialmente para realizar el estudio, se va a analizar con más detalle los datos obtenidos en él.

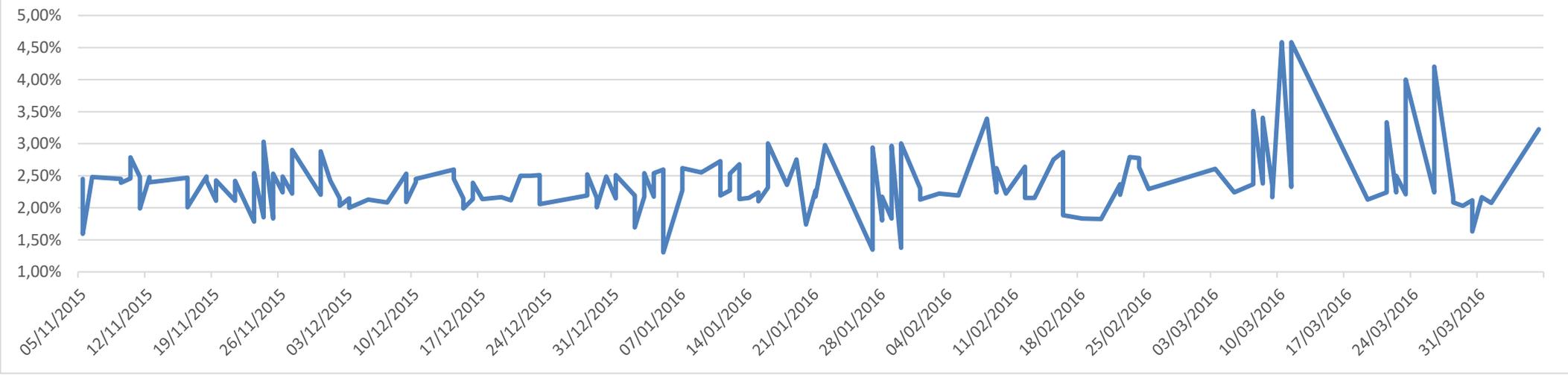
En la siguiente página, se puede apreciar en la gráfica de la siguiente página “Temperatura en C1 (P, SP y E)” la evolución de las temperaturas en las tres zonas donde se midieron en este primer estado. Se aprecia que las variaciones siguen el mismo patrón en las tres partes y que existe menos diferencia de magnitud entre los módulos cerrados.

Fijándonos en la diferencia entre el módulo con plantas y el sin plantas, vemos en la gráfica “Porcentaje de aumento de T entre P y SP (C1)” que el aumento de la temperatura se mantiene la mayoría del estado entre el 1,5 % y el 3%. Siendo el incremento porcentual medio entre estas dos partes del invernadero de un 2,287%

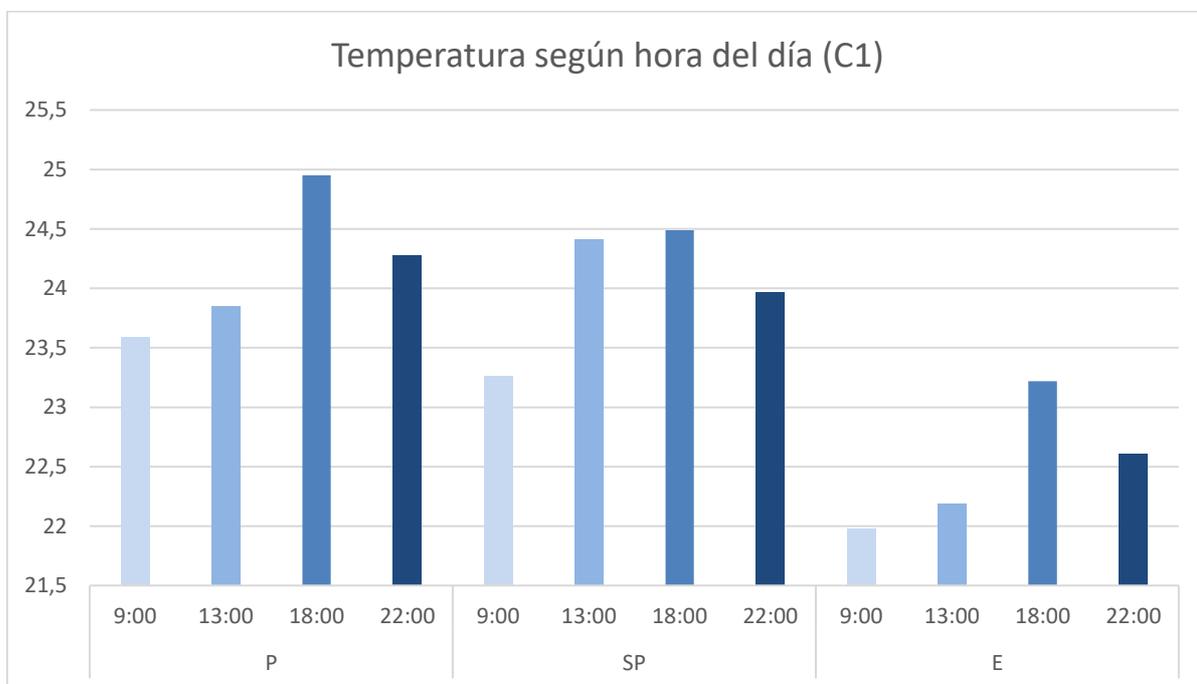
Temperatura en C1 (P, SP y E)



Porcentaje de aumento de T entre P y SP (C1)

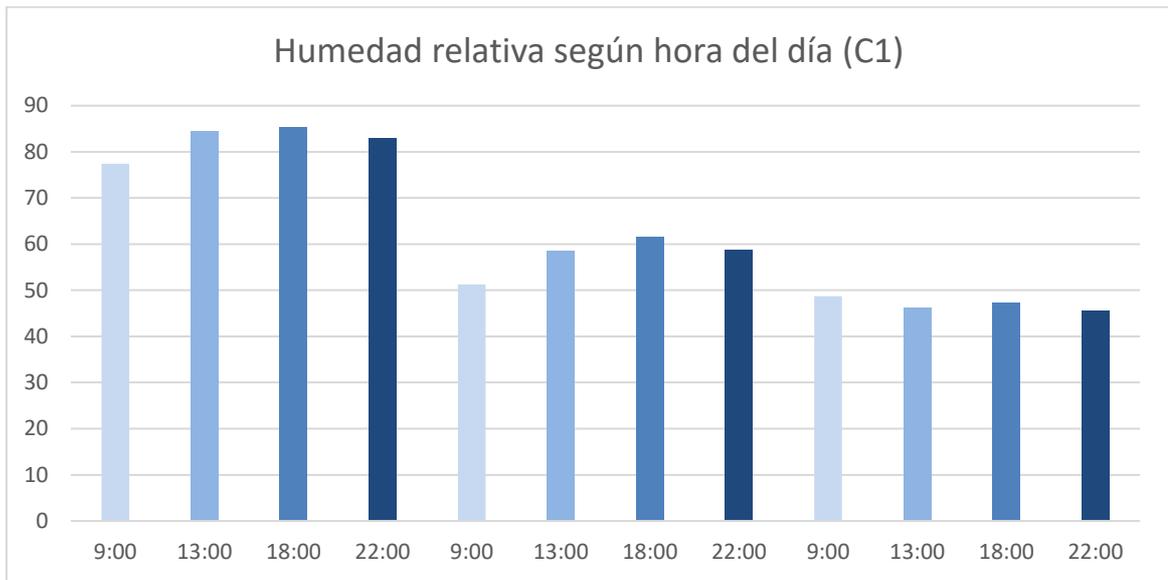


Para terminar de analizar los datos, vamos a compararlas respecto a la hora del día en el que fueron registrados. Gracias a ellos, hemos obtenido la gráfica ***“Temperatura según hora del día (C1)”***



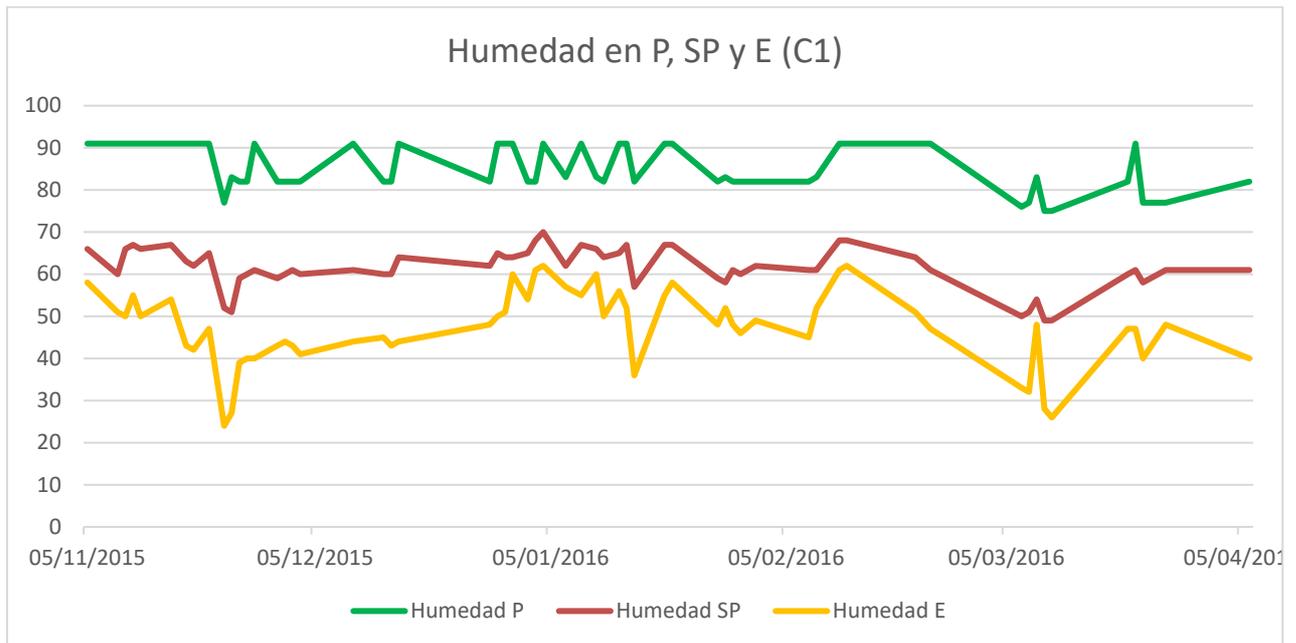
Se puede apreciar que la hora del día en la que se midió una humedad mayor en las tres zonas es a las 18:00 h. y la menor de todas ellas fue en la primera medición a las 9:00 h. de la mañana. Y como observábamos en los datos en su conjunto, existe una mayor similitud entre los datos de ambos módulos que en las dos zonas sin plantas.

Para introducir en tema del análisis de la humedad relativa en el sistema, utilizaremos la misma gráfica anterior, pero con los datos de la humedad en función de la hora del día. Con ellos obtenemos la siguiente representación ***“Humedad relativa según hora del día (C1)”***

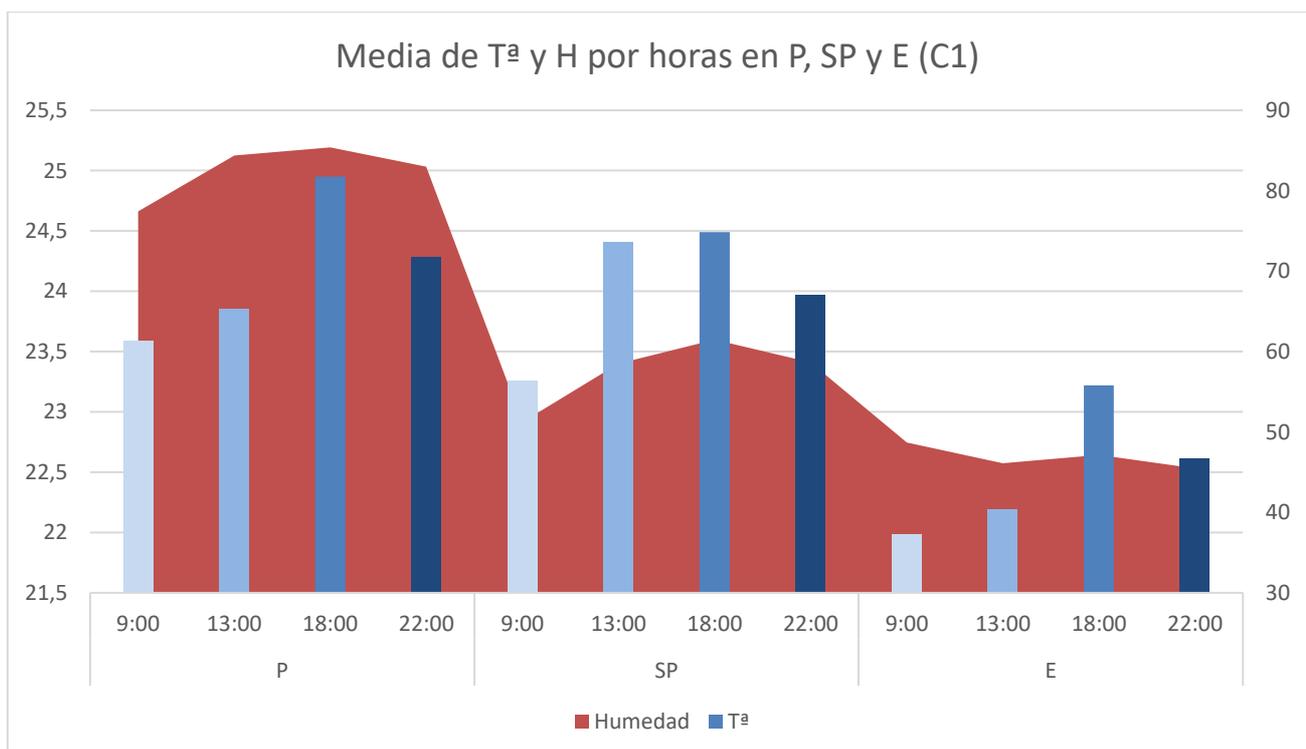


Se observa que al igual que en el caso de la temperatura, las más altas ocurren a las 18:00 h. del día y que las más bajas ocurren a las 9:00 h. Lo que sí que se observa es que aquí si existe más similitud entre las dos zonas sin plantas, y que la zona con plantas destaca, mientras que en la temperatura las dos zonas con datos similares eran los dos módulos cerrados. Es de destacar que no existe una diferencia tan grande como en las temperaturas, en cuanto a la hora del día en el que se registra la medición.

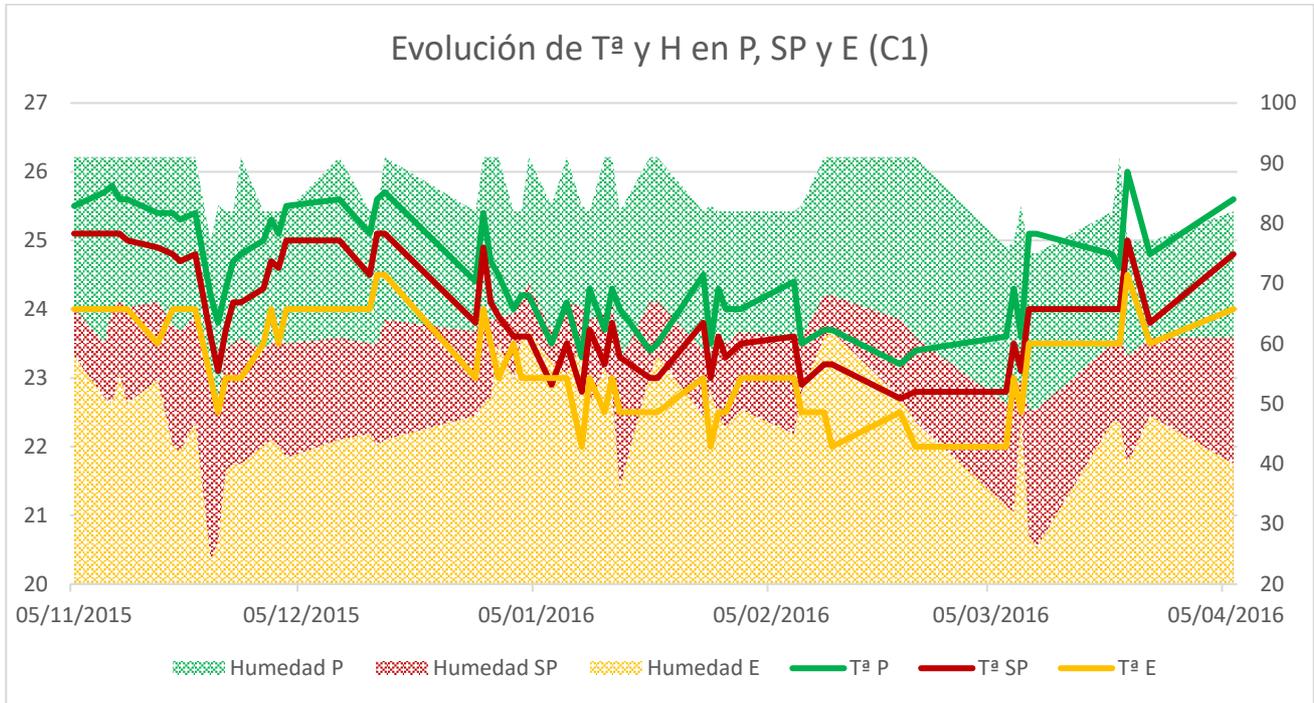
Viendo la evolución en el gráfico **“Humedad en P, SP y E (C1)”** de las tres humedades a lo largo del estado C1, se puede observar lo comentado anteriormente, que hay una mayor similitud entre las dos zonas sin plantas que entre la zona del jardín vertical, que tiene unos datos bastante superiores.



Si representamos ambas magnitudes en un mismo gráfico **“Media de Tª y H por horas en P, SP y E (C1)”** podemos observar la anteriormente comentado. Es decir, como el módulo con plantas y el exterior, siguen una dinámica muy similar pese a sus diferentes mediciones, y cómo en el módulo sin plantas tiene una temperatura más similar al otro módulo del invernadero, per una humedad más próxima al exterior del sistema.

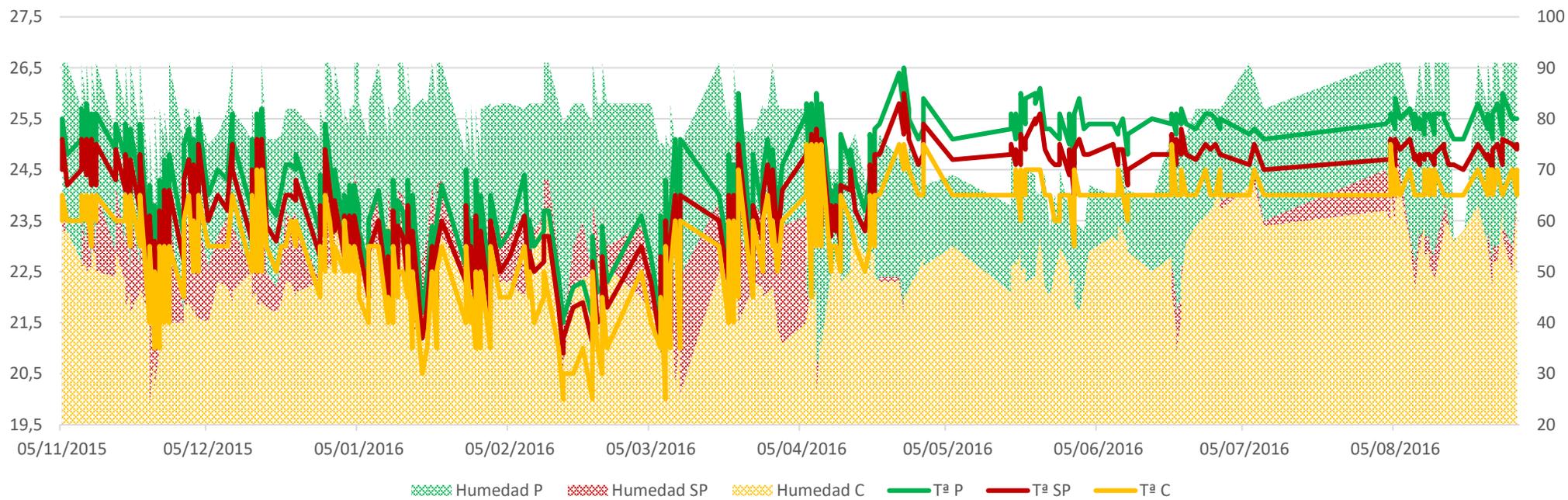


Por último, podemos hacer un resumen de la evolución de las temperaturas y las humedades registradas en las tres zonas durante todo el periodo que duró el estado C1 del invernadero.



En la siguiente página se puede ver una gráfica en la que aparecen las temperaturas y humedades de las tres zonas (P, SP y E) y todos los estados diferentes que existieron en el sistema experimental. (C1, A y C2).

Evolución de Tª y H en zonas P, SP y E (total experimento C1, a y C2)



3.3 CONCLUSIONES GENERALES

Dentro de las conclusiones generales se va a diferenciar dos apartados diferentes. El primero intentará explicar las posibles causas de los resultados obtenidos y destacará los datos más reseñables. El segundo apartado hablará sobre las posibles mejoras y correcciones que podrían llevarse a cabo en un posible siguiente ensayo.

3.3.1 Discusión de los datos y conclusiones

- El sistema esta enormemente influenciado por la temperatura exterior del invernadero, es decir, por la temperatura ambiente existente en el interior del edificio. La mayor parte del estudio se desarrolla en invierno, por lo que las temperaturas medias Enel estado C1, son más bajas que las desarrolladas en los dos estados siguientes.
- La presencia de la pared vegetal aumenta la temperatura del módulo de forma considerable respecto al módulo sin plantas (2,2% a 2,7% en todos los estados) pero a esto también ayuda la presencia de la cubierta de PVC. Esto se puede ver ya que la temperatura aumenta siempre (entorno a un 3%) en el módulo sin plantas respecto al exterior.
- Influye mucho más el tipo de zona de la medición (Plantas, Sin planta y Exterior) que el estado del invernadero (cerrado o abierto).
- La presencia de la cubierta en el módulo SP, tiene más influencia en la temperatura posiblemente por la ausencia de vientos que trasladen el aire, que por el posible efecto invernadero de la estructura. Ya que pese a estar abierto no hay mucha variación respecto a C2.
- La humedad está más influenciada por la apertura del módulo que por el número de plantas presentes, aunque la presencia de plantas es el principal influenciador en el aumento de la humedad relativa.
- En el módulo cerrado, el aumento de temperatura de plantas está entre el 1,5% y el 3% para las temperaturas medias/bajas registradas en invierno (media del 2,287%).

- Como la temperatura exterior se va incrementando conforme avanza el día, asciende desde las 9:00 a las 18:00 y desciende desde las 22:00 a las 9:00 del día siguiente, confirmando de nuevo la gran influencia de la temperatura exterior.
- Según análisis de horas, **tiene más influencia en la temperatura la presencia de una cubierta que evite el movimiento de aire** que la propia presencia de plantas, **mientras que en la humedad** la cubierta no tiene tanta influencia (más baja en el abierto pero similares) como **si la tiene la presencia de plantas** que incrementan siempre un módulo respecto al otro de un 44 a un 49% (vegetación aumentan siempre en torno a 25 puntos más de humedad relativa total independientemente del estado del invernadero).

Esto se observa bien en el gráfico anterior “Media de T^a y H por horas en P, SP y E (C1)” dentro del título *Análisis de datos* en el apartado de la *Comparativa de los datos del estado C1*.

3.3.2 Observaciones generales

En este apartado se comentarán los posibles inputs recabados del funcionamiento del sistema que podrían haber mejorado el funcionamiento del sistema y que puedan servir para futuras mejorar en una segunda prueba piloto.

- Al tratarse la zona del experimento de un lugar ya climatizado, las posibles mejoras en la regulación del ambiente son menores pues ya se trabajan en unos rangos de temperaturas óptimos.
- Estaría bien poder realizar el sistema en una sala de varios metros cuadrados para evitar así la influencia de la cubierta de PVC del invernadero en la temperatura. Además de ello, se reduciría la necesidad del sistema climático en esa zona y se podría ver el ahorro en energía para poder extrapolar de una manera más fiable en el ahorro energético del edificio.
- Existe un aumento de la temperatura y humedad con menos plantas (que aparte de ser principalmente de por el ascenso de la temperatura ambiental) quizás sea debido a un exceso de riego en comparación con la proporción del módulo cuando tenía más plantas. Lo ideal sería probar el volumen de agua que llega a cada planta para adaptar correctamente el temporizador al número de plantas.

- Otra idea sería poder tapar la superficie del sustrato para ver qué porcentaje realmente de la evotranspiración se debe exclusivamente a la transpiración de las hojas.

- Se ha tomado en cuenta principalmente los datos del estado C1 por ser bastante más extensos en el tiempo que el resto, por lo tanto, las comparativas entre estados quizás sean menos fiables que cuando se analiza solamente el estado C1. Sería bueno realizar mediciones en un mismo intervalo de tiempo y de época anual para que no existiera variaciones en la influencia externas entre ellas.

- En el caso de que se llevara a cabo otro ensayo a escala piloto, sería bueno utilizar un material más aislante que el utilizando y que no tiene una influencia tan significativa se podría dejar semiabierto como en el estado A, para comprobar el efecto de apertura de puertas, etc.

- Los cálculos posteriores se van a llevar a cabo teniendo en cuenta el rango de temperaturas en el cual se tomaron los datos, por lo que trabajar en otro rango de temperaturas hará que se puedan obtenerse hojas de cálculo más fiables y adaptables a diferentes temperaturas.

4 APLICACIÓN DEL SISTEMA VERTICAL VERDE EN LA EMPRESA

4.1 Introducción a la aplicación

La idea principal de este trabajo es poder llevar a cabo a medio plazo, la construcción de un jardín vertical en la zona interna de la tienda de IKEA Jerez. Para ello, se van a utilizar algunos de los datos obtenidos en este experimento para poder aproximar de manera general los beneficios posibles en materia de energía y habitabilidad a la zona donde se implemente. En el desarrollo de este estudio, existe la idea de llevar a cabo una prueba piloto en una de las zonas internas de la tienda. Se va a trabajar con una hoja de cálculo que está creada a partir de las condiciones encontradas en el estudio (temperaturas medias/bajas) de aproximadamente 22°C. Lo esperable es que en rango con temperaturas más bajas el incremento fuera mayor o en temperaturas más altas se produjera una baja de temperatura, por lo que como se comenta se debería realizar otros ensayos a mayor escala para poder obtener hojas de cálculo para más situaciones iniciales a la instalación de un jardín vertical.

Lo ideal sería poder llevar a cabo un ensayo como el comentado y más tarde realizar los mismos cálculos que aparecen en este estudio más adelante, es pues una posible herramienta para extrapolar los datos de un futuro jardín vertical piloto en sala a otras salas o zonas del edificio.

4.2 Descripción de la posible ubicación del sistema

El posible emplazamiento del jardín vertical podría ser cualquier sala de la zona de oficinas interna para poder controlar cómo evoluciona y ver si es aplicable al resto de tienda. Para los cálculos de este estudio, se va a utilizar como ejemplo la zona del comedor para empleados, conocida como cantina. En él se va a

llevar a cabo una reconstrucción el próximo año y existe la posibilidad de construir un jardín vertical para mejorar la habitabilidad de la zona, reforzar la imagen y el compromiso con la sostenibilidad y mejorar la eficiencia energética de la sala.

La superficie de la cantina puede estar en torno a unos 80 m² y una altura de 2,5 metros, por lo que el volumen de la sala puede ser aproximadamente de unos 200 m³. Una de las paredes de la cantina está compuesta por ventanales que ocupan todo el ancho de la misma que crea una gran luminosidad en el comedor y que sería beneficioso para los requerimientos del sistema verde. De todos modos, existen unos fotosensores que en función de la luminosidad que haya en la sala, activan la iluminación LED durante todo el horario de oficinas.

La ubicación pues del sistema es en una pared contigua a la pared con ventanas con una longitud aproximada de 10 m y una altura de 2,5 m. (es decir, una superficie de 25 m²). La pared además esta provista de toma de corriente por lo que cumpliría con las necesidades energéticas relacionadas con el riego automatizado por goteo.

4.3 Elección del tipo de jardín vertical utilizado

La idea es que el tipo de muro verde a instalar sea de un jardín vertical interno, pasivo y con sistema de contenedores. La cantidad de plantas y el tamaño final dependerá de los cálculos y las aproximaciones realizadas tanto en este estudio como otras futuras con mayor profundidad de confirmarse la instalación de este sistema vertical verde.

4.4 Cálculos energéticos

4.4.1 Datos obtenidos del módulo piloto aplicables a la aproximación

Entre los datos finales obtenidos en el estudio que sirvan para desarrollar los cálculos se pueden utilizar.

- Medidas del módulo con plantas:

El módulo completo tenía unas medidas de 152cm x 134cm x 48cm. Al dividir en dos el

invernadero, las medidas del módulo donde se ubican las plantas son de 152cm x 67cm x 48 cm.

Esto da un volumen del módulo (Vm): $Vm=1,52m \times 0,67m \times 0,48m= 0,489 m^3 \approx 0,5 m^3$

- Datos de la estructura del jardín vertical

La pared del módulo utilizada tenía unas dimensiones de 152cm x 67cm.

Superficie del módulo sería (Sm): $Sm=1,52m \times 0,67m = 1,018 m^2 \approx 1 m^2$

Compuesta por 8 plantas en C1 (C2:4 plantas y apenas variaba) media: **6 plantas**

- Influencia de las plantas en el sistema

Si observamos las diferencias entre los dos módulos del invernadero durante el estado C1, podemos obtener:

Estado C1. Temperatura media:

MÓDULO	Temperatura (°C)	Incremento (grados)	Incremento (%)
Plantas	23,7833333	+ 0,532	+ 2,287
Sin plantas	23,2516556		

Estado C1. Humedad media:

MÓDULO	Humedad relativa (%)	Incremento	Incremento (%)
Plantas	82,0320513	+ 25,11152148	+ 44,12
Sin plantas	56,9205298		

4.4.2 Cálculos para la nueva ubicación de un sistema verde

Con los datos obtenidos en el apartado anterior podemos realizar una aproximación a las necesidades que un jardín vertical puede requerir en función del volumen de la sala y de la temperatura ambiental en la que se encuentre. Para ellos se puede realizar un matriz de cálculo con la cual podremos adaptar las características de la localización del futuro jardín vertical.

Se va a realizar un ejemplo de cálculo para una sala que se ha mencionado anteriormente de unos 200 m³ de volumen. Hay que tener en cuenta que esta matriz debe ser más fiable para un rango de temperaturas próximo a los 22,5 que se tenían durante la prueba piloto en las oficinas en el estado C1 del invernadero.

- Datos obtenidos:

Para un módulo de $0,5 \text{ m}^3$ y con una superficie verde de 1 m^2 con 6 plantas a una temperatura media/baja ($22,5 \text{ }^\circ\text{C}$) obtenemos un incremento de a temperatura de un 2,3% y de la humedad de un 44,12%.

Si queremos instalar un jardín vertical en la sala de cantina antes comentada,

¿Qué superficie verde necesitaríamos y cuántas plantas tendría esa pared?

Para ello se va a intentar utilizar la siguiente hoja de cálculo:

RANGO TEMPERATURAS PARA CÁLCULO	ORIGEN DE LOS DATOS	VOLUMEN (m ³)	GRADOS (%)	N.º PLANTAS	SUPERFICIE VERDE (m ²)
22,5 °C	Problema planteado	200	0,5 %	x	x
	Base datos obtenida	0,5	2,3 %	6	1
	Operación	200/0,5= 400 veces	0,5 / 2,3 = 0,217 veces	6x400x0,217=521,74	521,74/6=86,96
	Resultado	200	0,5%	522 plantas	87 m2

- Con la pared verde instalada con los datos que aparecen en la fila de resultado del cuadro anterior podemos decir que:
Siendo la temperatura externa de 22,5 °C y elevándose un 0,5%, obtendríamos una temperatura final de 22,61 °C.
Es decir, **ahorraríamos al sistema incrementar 0,61 °C en una sala con 200 m³ con un jardín vertical de estas condiciones**
- Datos de consumo energético y ahorro económico
Si para aumentar 1°C un 1m³ se necesita 1kw y éste vale 0,075 € ¿Cuánto nos ahorraríamos?
Para aumentar 1°C los 200m³, harían falta (1x200=200) 200kw, pero como es tan solo 0,61 °C sería: 200 kW x 0,61 °C = 183kw
Por lo tanto, el ahorro energético para climatizar esos 0,61 °C en los 200m³ de la sala es de **183kw**.
Si el precio era de 0,075 €/kW, haría una suma final de: 183 kW x 0,075 = **13, 725 €/h**

REFERENCIAS

- [1] MICHAEL MAKS DAVIS, FRANCISCO RAMIREZ, Muro Orgánico Urbano Silvestre Sostenible (MOUSS). Evolution Engineering, Design and Energy Systems, Cambridge, Reino Unido & La Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013.
- [2] Van der Linden, A.C. (2008). Confort termal y la transpiración de plantas, 2008.
- [3] ALAN B. DARLINGTON, JAMES F. DAT ANDA MICHAEL A. DIXON. The Biofiltration of Indoor Air: Air Flux and Temperature Influences the Removal of Toluene, Ethylbenzene, and Xylene. Ontario Canada, 2001.
- [4] GABRIELA SOREANU, MICHAEL DIXON, ALAN DARLINGTON. Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants. Chemical Engineering Journal 229 (585–594). 2013.
- [4] DARLINGTON, A., MUNZ, G. & DIXON, M. The Removal of Carbon Monoxide by Botanical Systems. <http://www.nature.com> (2004).
- [5] Plants Clean Air and Water for Indoor Environments. https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2007/ps_3.html. Technology transfer program, NASA.
- [6] J. MCSWEENEY, D. RAINHAM, S. A. JOHNSON, S. B. SHERRY and J. SINGLETON. Indoor nature exposure (INE): a health-promotion framework.
- [7] RAFAEL FERNÁNDEZ-CAÑAMERO, LUIS PÉREZ URRESTARAZU, ANTONIO FRANCO SALAS. Assessment of the cooling potential of an indoor living wall using different substrates in a warm climate. Indoor Built Environment, 2011
- [8] VERÓNICA MARTÍNEZ, MA. SOCORRO OROZCO. Diseño de un muro verde para el establecimiento de hortalizas orgánicas. XII Encuentro: Participación de la mujer en la ciencia. FES Zaragoza, UNAM
- [9] RAFAEL FERNÁNDEZ CAÑERO. LUIS PÉREZ URRESTARAZU. ANTONIO FRANCO SALAS. Naturación urbana y jardinería vertical: de las fachadas verdes a los muros vegetales.
- [10] A. SAVINIO. “Patrick Blanc: Jardines Verticales”. Recuperado de <http://www.aryse.org/patrick-blanc-jardines-verticales/>. 2012

[11] HODGSON MJ, OLESON B. Fountain M: Environmental acceptability in an environmental field study: in Proceedings, Healthy Buildings/ IAQ 1997, Washington, EEUU.

[12] Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

[13] ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). Globally Averaged CO₂ Levels Reach 400 parts per million in 2015. WMO greenhouse gas bulletin. Press Release Number: 13. 24 de octubre de 2016.

[14] V. FREYRE-FONSECA Y F.J. VALDÉS PARADA. Análisis de la transferencia de calor en zonas verdes. Conference paper, mayo 2010.

[15] GABRIEL PÉREZ, LÍDIA RINCÓN, ANNA VILA, JOSEP M. GONZÁLEZ, LUISA F. CABEZA. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. Applied Energy ,Volume 88, Issue 12, Diciembre 2011, páginas 4854–4859. www.elsevier.com/locate/apenergy.

[16] MARIANA CHANAMPA, JAVIER ALONSO OJEMBARRENA, PILAR VIDAL RIVAS, RAQUEL GUERRA ARAGONÉS, FRANCESCA OLIVIERI, F. JAVIER NEILA GONZÁLEZ, CESAR BEDOYA FRUTOS. Sistemas vegetales que mejoran la calidad de las ciudades. Ciudad y Arquitectura. 3er Grupo. Simposio La Serena. nº 67 – noviembre / diciembre 2009

[17] SUSAN LOH. Living walls - a way to green the built environment. Environment Design Guide. Australian Institute of Architects, TEC 26, Agosto 2008

[18] I. SUSOROVA. Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. Cyclone Energy Group, Chicago, IL, EEUU.

[19] Sitio Web:

<https://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1123617035&topicorder=3&maxto=8&mino=1>

[20] Ken Yeang. EL RASCACIELOS ECOLÓGICO. Editorial Gustavo Gili S. A. p. 239. Barcelona (2001).

[21] Sitio Web:

<http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Memoria/Evapotranspiracion/evapotranspiracion.asp>

[22] VIRGINIA I. LOHR, LENORE H. BUMMER. Assessing and Influencing Attitudes toward Water-conserving Landscapes. HortTechnology (1992).

[23] BRAD BASS; BAS BASKARAN. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. Insitute for research in construction & Adaptation & Impacts Research Group. National Research Council Canada. 2001

[24] PARKER J.H.: The use of shrubs in energy conservation in plantings. Landscape Journal. 1987

[25] Sitio Web: http://frioycolor.info/Comunes/Completo_Curso_FrioCalor.pdf

[26] WOLVERTON, B. C.; DOUGLAS, WILLARD L.; BOUNDS, KEIT. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. John C. Stennis Space Center. NASA. EEUU. Septiembre 1989.

[27] Sitio Web: <https://es.bayeradvanced.com/articulos/5-beneficios-de-las-plantas-de-interior>

[28] Sitio Web: <http://www.revistabuenasalud.com/plantas-de-interior-cuales-elegir-para-limpiar-naturalmente-el-aire-del-hogar/>

[29] Sitio Web: [www.unioviado.es/bos/Asignaturas/Fvca/seminarios/Relacion%20del%20agua%20con%20las%20plantas\(2\).doc](http://www.unioviado.es/bos/Asignaturas/Fvca/seminarios/Relacion%20del%20agua%20con%20las%20plantas(2).doc)

ANEXOS

Anexo 1: Datos del invernadero en el estado “C1” (cerrado 1)	79
Anexo 2: Datos del invernadero en el estado “A” (abierto parcialmente)	86
Anexo 3: Datos del invernadero en el estado “C2” (cerrado 2)	90

ANEXO 1.

Datos del invernadero en el estado “C1” (cerrado 1)

Legenda:

N.º día: aparece el número del día del experimento y el color indica la hora aproximada de la toma de datos.

9:00	13:00	18:00	22:30
------	-------	-------	-------

P: módulo con plantas; SP: módulo sin plantas; E: zona exterior al invernadero

Tª X: temperatura del módulo X (medida por aparato); Tª X': temperatura módulo X' (medida por sonda); Tª X media: temperatura media de X y X'

FECHA		CON PLANTAS				SIN PLANTAS				EXTERNO	
N.º día	Fecha	Tª P	Tª P'	Tª P media	Humedad P	Tª SP	Tª SP'	Tª SP media	Humedad SP	Tª E	Humedad E
5	05/11/2015	25,1	25,8	25,45	82	24,5	25,6	25,05	60	23,5	64
7	05/11/2015	25,5	26,5	26	91	25,1	26,2	25,65	66	24	58
9	06/11/2015	24,8	25,5	25,15	91	24,2	25,4	24,8	55	23,5	58
21	09/11/2015	25,1	25,8	25,45	82	24,5	25,6	25,05	49	23,5	52
23	09/11/2015	25,7	26,5	26,1	91	25,1	26,1	25,6	60	24	51
25	10/11/2015	25	25,8	25,4	82	24,4	25,6	25	55	23,5	52
27	10/11/2015	25,8	26,6	26,2	91	25,1	26,2	25,65	66	24	50
29	11/11/2015	24,8	25,6	25,2	77	24,2	25,5	24,85	51	23	51
31	11/11/2015	25,6	26,4	26	91	25,1	26,1	25,6	67	24	55
33	12/11/2015	24,8	25,6	25,2	82	24,2	25,1	24,65	53	23,5	53

35	12/11/2015	25,6	26,3	25,95	91	25	26	25,5	66	24	50
49	16/11/2015	24,9	25,6	25,25	77	24,3	25,5	24,9	54	23,5	49
51	16/11/2015	25,4	26,1	25,75	91	24,9	25,8	25,35	67	23,5	54
57	18/11/2015	24,7	25,5	25,1	82	24,1	25,3	24,7	55	23,5	48
59	18/11/2015	25,4	26	25,7	91	24,8	25,7	25,25	63	24	43
61	19/11/2015	24,2	25,1	24,65	77	23,7	25	24,35	50	23	46
63	19/11/2015	25,3	25,8	25,55	91	24,7	25,6	25,15	62	24	42
69	21/11/2015	24,2	25,1	24,65	77	23,7	25	24,35	51	23	46
71	21/11/2015	25,4	26	25,7	91	24,8	25,8	25,3	65	24	47
77	23/11/2015	22,8	23,5	23,15	66	22,4	23,5	22,95	45	21,5	41
79	23/11/2015	24,2	24,9	24,55	77	23,6	24,8	24,2	52	23	24
81	24/11/2015	22	22,7	22,35	61	21,6	22,5	22,05	39	21	34
83	24/11/2015	23,8	24,5	24,15	83	23,1	24,3	23,7	51	22,5	27
85	25/11/2015	22,2	23	22,6	61	21,8	23	22,4	38	21	35
87	25/11/2015	24,3	25	24,65	82	23,7	24,8	24,25	59	23	39
89	26/11/2015	22,8	23,5	23,15	76	22,3	23,5	22,9	44	21,5	41
91	26/11/2015	24,7	25,3	25	82	24,1	25,2	24,65	60	23	40
93	27/11/2015	23	23,6	23,3	73	22,5	23,6	23,05	46	21,5	42
95	27/11/2015	24,8	25,4	25,1	91	24,1	25,2	24,65	61	23	40
105	30/11/2015	23,2	24	23,6	76	22,7	23,9	23,3	42	22	40
107	30/11/2015	25	25,5	25,25	82	24,3	25,4	24,85	59	23,5	43
111	01/12/2015	25,3	26	25,65	82	24,7	25,8	25,25	60	24	44
113	02/12/2015	23,8	24,6	24,2	76	23,3	24,5	23,9	50	22,5	42
115	02/12/2015	25,1	25,8	25,45	82	24,6	25,6	25,1	61	23,5	43
117	03/12/2015	23,8	24,6	24,2	76	23,3	24,4	23,85	51	22,5	40
119	03/12/2015	25,5	26,3	25,9	82	25	26	25,5	60	24	41
125	05/12/2015	24	24,8	24,4	75	23,5	24,7	24,1	51	23	40

136	07/12/2015	24,5	25,3	24,9	77	24	25,1	24,55	57	23	48
142	09/12/2015	24,3	25,1	24,7	82	23,7	25	24,35	61	23	47
144	09/12/2015	24,4	25,2	24,8	82	23,9	25,1	24,5	58	23	47
147	10/12/2015	25,6	26,5	26,05	91	25	26,1	25,55	61	24	44
148	10/12/2015	25,1	25,8	25,45	82	24,5	25,6	25,05	59	24	46
161	14/12/2015	23,7	24,5	24,1	76	23,1	24,3	23,7	50	22,5	50
163	14/12/2015	25,1	25,8	25,45	82	24,5	25,6	25,05	60	24	45
165	15/12/2015	23,8	24,6	24,2	76	23,3	24,5	23,9	49	22,5	46
167	15/12/2015	25,6	26,4	26	82	25,1	26,1	25,6	60	24,5	43
169	16/12/2015	23,9	24,7	24,3	76	23,4	24,6	24	49	22,5	44
171	16/12/2015	25,7	26,5	26,1	91	25,1	26,2	25,65	64	24,5	44
173	17/12/2015	23,9	24,8	24,35	76	23,4	24,6	24	50	23	43
181	19/12/2015	23,6	24,5	24,05	76	23,1	24,3	23,7	47	22,5	42
185	20/12/2015	24,1	25	24,55	77	23,6	24,8	24,2	52	23	44
190	21/12/2015	24,6	25,4	25	82	24	25,2	24,6	62	23	48
194	22/12/2015	24,6	25,5	25,05	82	24	25,2	24,6	60	23,5	48
198	23/12/2015	24,5	25,3	24,9	82	23,9	25,1	24,5	62	23	45
200	23/12/2015	24,8	25,5	25,15	82	24,3	25,5	24,9	60	23,5	46
217	28/12/2015	23,3	24,1	23,7	76	22,8	24	23,4	48	22	48
219	28/12/2015	24,4	25,2	24,8	82	23,8	25	24,4	62	23	48
221	29/12/2015	23,7	24,6	24,15	78	23,2	24,4	23,8	56	22,5	56
223	29/12/2015	25,4	26,1	25,75	91	24,9	25,8	25,35	65	24	50
227	30/12/2015	24,7	25,5	25,1	91	24,1	25,2	24,65	64	23,5	51
229	31/12/2015	23,8	24,7	24,25	83	23,3	24,5	23,9	58	22,5	53
231	31/12/2015	24,5	25,3	24,9	91	23,9	25,1	24,5	64	23	60
237	02/01/2016	23,3	24,1	23,7	78	22,8	23,9	23,35	58	22,5	59
239	02/01/2016	24	25,1	24,55	82	23,6	24,9	24,25	65	23,5	54

241	03/01/2016	23,5	24,3	23,9	78	23	24,1	23,55	58	22,5	57
243	03/01/2016	24,2	25,1	24,65	82	23,6	24,9	24,25	68	23	61
245	04/01/2016	23,5	24,4	23,95	83	23	24,1	23,55	63	22,5	64
247	04/01/2016	24,2	25	24,6	91	23,6	24,8	24,2	70	23	62
250	05/01/2016	23,7	24,5	24,1	91	23,1	24,2	23,65	64	22,5	54
252	05/01/2016	23,3	24,1	23,7	83	23	24	23,5	58	22	50
257	07/01/2016	22,5	23,3	22,9	76	22	23,2	22,6	53	21,5	54
259	07/01/2016	23,5	24,2	23,85	83	22,9	24	23,45	62	23	57
267	09/01/2016	24,1	24,5	24,3	91	23,5	24,6	24,05	67	23	55
273	11/01/2016	22,6	23,3	22,95	76	22	23,2	22,6	56	21,5	59
275	11/01/2016	23,3	24,1	23,7	83	22,8	23,9	23,35	66	22	60
277	12/01/2016	22,5	23,3	22,9	78	22	23,2	22,6	58	21,5	59
279	12/01/2016	24,3	25,1	24,7	82	23,7	24,8	24,25	64	23	50
282	13/01/2016	23	23,8	23,4	83	22,4	23,5	22,95	59	22	49
284	13/01/2016	23,9	24,7	24,3	91	23,4	24,5	23,95	66	22,5	50
287	14/01/2016	23,7	24,6	24,15	91	23,2	24,3	23,75	65	22,5	56
289	15/01/2016	22,8	23,6	23,2	83	22,3	23,5	22,9	58	22	52
291	15/01/2016	24,3	25,1	24,7	91	23,8	24,8	24,3	67	23	52
293	16/01/2016	22,1	22,8	22,45	76	21,6	22,8	22,2	50	21	50
295	16/01/2016	24	24,7	24,35	82	23,3	24,5	23,9	57	22,5	36
302	18/01/2016	21,7	22,6	22,15	84	21,2	22,3	21,75	52	20,5	45
306	19/01/2016	22,4	23,2	22,8	83	21,8	22,9	22,35	57	21	48
311	20/01/2016	23,4	24,2	23,8	91	23	24	23,5	67	22,5	55
313	21/01/2016	22,5	23,3	22,9	83	22	23,1	22,55	59	21	55
315	21/01/2016	23,5	24,3	23,9	91	23	24,1	23,55	67	22,5	58
318	22/01/2016	24,2	25,1	24,65	91	23,5	24,5	24	68	23	57
337	27/01/2016	22,6	23,5	23,05	73	22,3	23,4	22,85	49	21,5	49

339	27/01/2016	24,5	25,2	24,85	82	23,8	25	24,4	59	23	48
341	28/01/2016	22,6	23,5	23,05	73	22,2	23,3	22,75	49	21,5	49
343	28/01/2016	23,5	24,3	23,9	83	23	24	23,5	58	22	52
345	29/01/2016	22,2	23	22,6	70	21,8	22,9	22,35	49	21	50
347	29/01/2016	24,3	25	24,65	82	23,6	24,8	24,2	61	22,5	48
349	30/01/2016	22,1	22,9	22,5	73	21,8	22,8	22,3	49	21	48
351	30/01/2016	24	24,8	24,4	82	23,3	24,5	23,9	60	22,5	46
357	01/02/2016	22,2	23	22,6	83	21,7	22,8	22,25	53	21	49
359	01/02/2016	24	24,7	24,35	82	23,5	24,5	24	62	23	49
366	03/02/2016	23	23,9	23,45	83	22,5	23,6	23,05	58	22	48
376	05/02/2016	23,3	24,1	23,7	83	22,8	23,8	23,3	58	22	48
387	08/02/2016	24,4	25,2	24,8	82	23,6	24,8	24,2	61	23	45
389	09/02/2016	22,8	23,6	23,2	83	22,3	23,4	22,85	54	22	50
391	09/02/2016	23,5	24,3	23,9	83	22,9	24	23,45	61	22,5	52
393	10/02/2016	23	23,8	23,4	83	22,5	23,6	23,05	58	21,5	56
401	12/02/2016	23,3	24,1	23,7	83	22,7	23,9	23,3	61	22	60
403	12/02/2016	23,7	24,6	24,15	91	23,2	24,2	23,7	68	22,5	61
407	13/02/2016	23,7	24,6	24,15	91	23,2	24,2	23,7	68	22	62
414	15/02/2016	22,4	23,1	22,75	83	21,8	22,9	22,35	53	21	45
418	16/02/2016	21,5	22,1	21,8	79	20,9	22	21,45	38	20	26
420	16/02/2016	21,6	22,3	21,95	79	21,2	22,3	21,75	39	20,5	32
428	18/02/2016	22,2	23	22,6	83	21,8	22,8	22,3	55	20,5	46
436	20/02/2016	22,3	23,1	22,7	83	21,9	22,9	22,4	60	21	49
441	22/02/2016	21,6	22,4	22	79	21,1	22,3	21,7	48	20	49
443	22/02/2016	23,2	24,1	23,65	91	22,7	23,7	23,2	64	22,5	51
445	23/02/2016	22,1	22,9	22,5	83	21,5	22,6	22,05	57	21	53
449	24/02/2016	22,2	23	22,6	83	21,6	22,8	22,2	50	20,5	47

451	24/02/2016	23,4	24,3	23,85	91	22,8	23,8	23,3	61	22	47
453	25/02/2016	22,3	23,2	22,75	83	21,8	22,8	22,3	55	21	51
482	03/03/2016	23,6	24,5	24,05	83	23	24	23,5	59	22,5	45
490	05/03/2016	22,8	23,6	23,2	83	22,3	23,3	22,8	54	21,5	42
497	07/03/2016	21,6	22,4	22	74	21,1	22,3	21,7	42	21	44
499	07/03/2016	23,6	24,5	24,05	76	22,8	24	23,4	50	22	33
501	08/03/2016	21,5	22,3	21,9	74	21	22,1	21,55	42	20	42
503	08/03/2016	24,3	25	24,65	77	23,5	24,5	24	51	23	32
505	09/03/2016	21,8	22,5	22,15	74	21,3	22,5	21,9	41	21	39
507	09/03/2016	23,6	24,5	24,05	83	23,1	24	23,55	54	22,5	48
511	10/03/2016	25,1	25,6	25,35	75	24	25,1	24,55	49	23,5	28
513	11/03/2016	22	22,7	22,35	76	21,5	22,6	22,05	39	21	37
515	11/03/2016	25,1	25,6	25,35	75	24	25,1	24,55	49	23,5	26
546	19/03/2016	24	25	24,5	91	23,5	24,6	24,05	64	23	50
553	21/03/2016	22,8	23,6	23,2	78	22,3	23,5	22,9	58	21,5	50
555	21/03/2016	24,8	25,5	25,15	82	24	25,1	24,55	60	23,5	47
557	22/03/2016	22,8	23,6	23,2	78	22,3	23,4	22,85	52	21,5	48
559	22/03/2016	24,6	25,4	25	91	24	25,1	24,55	61	23,5	47
561	23/03/2016	23,1	23,9	23,5	78	22,6	23,8	23,2	53	22	48
563	23/03/2016	26	26,8	26,4	77	25	25,9	25,45	58	24,5	40
573	26/03/2016	22,8	23,6	23,2	78	22,3	23,5	22,9	51	22	47
575	26/03/2016	24,8	25,5	25,15	77	23,8	25	24,4	61	23,5	48
582	28/03/2016	23,6	24,7	24,15	83	23,1	24,3	23,7	63	22,5	47
584	28/03/2016	24,5	25,3	24,9	82	24	25,1	24,55	63	23,5	45
588	29/03/2016	25,1	25,8	25,45	82	24,6	25,6	25,1	64	24	46
590	30/03/2016	24,1	25,1	24,6	91	23,6	24,7	24,15	64	23	47
592	30/03/2016	24,9	25,7	25,3	91	24,5	25,5	25	65	23,5	48

594	31/03/2016	23,6	24,6	24,1	83	23,1	24,2	23,65	55	22,5	39
600	01/04/2016	24,6	25,4	25	82	24,1	25,3	24,7	59	23,5	36
619	06/04/2016	25,6	26,4	26	82	24,8	26	25,4	61	24	40
		23,7833	24,5698	24,1766	82,0320	23,2516	24,3649	23,8082	56,9205	22,5326	47,5620

ANEXO 2.

Datos del invernadero en el estado “A” (abierto parcialmente).

Legenda:

N.º día: aparece el número del día del experimento y el color indica la hora aproximada de la toma de datos.

9:00	13:00	18:00	22:30
------	-------	-------	-------

P: módulo con plantas; SP: módulo sin plantas; E: zona exterior al invernadero

Tª X: temperatura del módulo X (medida por aparato); Tª X': temperatura módulo X' (medida por sonda); Tª X media: temperatura media de X y X'

FECHAS		MÓDULO CON PLANTAS				MÓDULO SIN PLANTAS				EXTERIOR	
N.º día	Fecha	Tª P	Tª P'	Tª P media	Humedad P	Tª SP	Tª SP'	Tª SP media	Humedad SP	Tª E	Humedad E
620	06/04/2016	25,8	26,1	25,95	49	24,9	26	25,45	47	25	41
621	07/04/2016	23,3	24	23,65	71	23	24,1	23,55	41	22	47
623	07/04/2016	25,8	26,6	26,2	48	25,2	26,3	25,75	37	25	43
625	08/04/2016	24,1	24,8	24,45	69	23,6	24,8	24,2	42	23	47
627	08/04/2016	26	26,6	26,3	67	25,3	26,5	25,9	32	25	26
629	09/04/2016	23,9	24,6	24,25	63	23,4	23,7	23,55	33	23	39
631	09/04/2016	25,8	26,6	26,2	69	25,1	25,1	25,1	34	25	35
638	11/04/2016	23,7	24,4	24,05	70	23,2	23,7	23,45	46	22,5	50
640	11/04/2016	24,1	24,9	24,5	69	23,8	24,1	23,95	46	23	49
642	12/04/2016	23,8	24,5	24,15	70	23,3	23,8	23,55	49	23	54

644	12/04/2016	24,2	25	24,6	70	23,8	24	23,9	48	23	52
645	13/04/2016	23,5	24,1	23,8	70	23	23,5	23,25	46	22,5	53
647	13/04/2016	25,2	25,8	25,5	77	24,2	24,3	24,25	44	24	48
654	15/04/2016	24,6	25,3	24,95	72	24,1	24,7	24,4	47	23,5	50
656	15/04/2016	24,9	25,5	25,2	75	24,5	24,8	24,65	51	23,5	54
658	16/04/2016	24,3	25,1	24,7	77	23,7	24,2	23,95	52	23	58
665	18/04/2016	23,7	24,4	24,05	68	23,3	23,8	23,55	45	22,5	53
669	19/04/2016	24,4	25,1	24,75	66	23,9	24,6	24,25	43	23	50
671	19/04/2016	25,2	26	25,6	75	24,6	25,2	24,9	48	24	53
673	20/04/2016	24,2	25	24,6	66	23,7	24,1	23,9	47	23	54
675	20/04/2016	25,3	25,9	25,6	70	24,8	25,1	24,95	46	24	49
679	21/04/2016	25,4	26	25,7	77	24,8	25,1	24,95	49	24	48
696	25/04/2016	26,4	27,1	26,75	72	25,8	26,1	25,95	49	25	48
698	26/04/2016	25,7	26,5	26,1	75	25,2	26,3	25,75	43	24,5	42
700	26/04/2016	26,5	27,2	26,85	69	26	27,3	26,65	45	25	45
702	27/04/2016	25,7	26,4	26,05	72	25,2	26,2	25,7	42	24,5	46
704	27/04/2016	25,5	26,2	25,85	75	25,1	26,2	25,65	45	24,5	47
710	29/04/2016	25,1	25,7	25,4	70	24,6	25,6	25,1	43	24	50
714	30/04/2016	25,3	26	25,65	75	24,8	25,8	25,3	49	24	53
716	30/04/2016	25,9	26,6	26,25	67	25,4	26,5	25,95	48	25	51
739	06/05/2016	25,1	25,8	25,45	69	24,7	25,8	25,25	49	24	55
785	18/05/2016	25,3	25,9	25,6	63	24,8	25,8	25,3	39	24	46
787	18/05/2016	25,6	26,4	26	75	25	26	25,5	45	24	51
789	19/05/2016	25,1	25,7	25,4	64	24,6	25,6	25,1	45	24	52
791	19/05/2016	25,6	26,3	25,95	72	24,9	25,9	25,4	45	24,5	51
793	20/05/2016	25,1	25,8	25,45	64	24,6	25,7	25,15	46	23,5	54
795	20/05/2016	26	26,7	26,35	72	25,2	26,3	25,75	45	24,5	50

797	21/05/2016	25,4	26,1	25,75	63	24,9	26	25,45	44	24	51
799	21/05/2016	25,9	26,7	26,3	70	25,1	26,2	25,65	43	24,5	48
806	23/05/2016	26	26,8	26,4	69	25,5	26,6	26,05	43	24,5	49
808	23/05/2016	25,8	26,6	26,2	66	25,4	26,6	26	43	24,5	50
812	24/05/2016	26,1	26,5	26,3	65	25,6	26,5	26,05	50	24,5	57
814	25/05/2016	25,3	26,1	25,7	69	24,9	25,9	25,4	42	24	47
818	26/05/2016	25,3	25,9	25,6	58	24,7	25,8	25,25	35	24	45
822	27/05/2016	25,2	25,8	25,5	65	24,6	25,7	25,15	41	23,5	50
826	28/05/2016	25,1	25,6	25,35	62	24,6	25,6	25,1	46	23,5	54
827	28/05/2016	25,6	26,4	26	70	25	26,1	25,55	48	24	55
833	30/05/2016	25	25,6	25,3	62	24,4	25,5	24,95	42	24	51
835	30/05/2016	25,6	26,3	25,95	60	24,9	25,9	25,4	40	24	47
837	31/05/2016	24,6	25,3	24,95	54	24	25,2	24,6	40	23	49
839	31/05/2016	25,6	26,5	26,05	60	24,9	26	25,45	37	24,5	44
843	01/06/2016	25,9	26,9	26,4	59	25,1	26,1	25,6	35	24	42
845	02/06/2016	25,3	25,9	25,6	58	24,8	25,8	25,3	39	24	47
851	03/06/2016	25,4	26,1	25,75	67	24,8	25,8	25,3	46	24	54
872	08/06/2016	25,4	26,1	25,75	65	25	26,1	25,55	50	24	57
874	09/06/2016	25,2	25,8	25,5	67	24,6	25,6	25,1	49	24	56
876	09/06/2016	25,3	26,1	25,7	69	24,9	26	25,45	53	24,5	59
880	10/06/2016	25,5	26	25,75	72	24,9	25,8	25,35	51	24	58
881	11/06/2016	24,8	25,3	25,05	64	24,2	25,3	24,75	47	23,5	55
883	11/06/2016	25,2	26	25,6	66	24,5	25,6	25,05	46	24	54
903	16/06/2016	25,5	26,1	25,8	64	24,8	25,8	25,3	42	24	50
918	20/06/2016	25,4	26	25,7	77	24,8	25,9	25,35	52	24	53
920	20/06/2016	25,6	26,5	26,05	77	25,2	26,5	25,85	52	25	46
922	21/06/2016	25,2	25,8	25,5	75	24,6	25,6	25,1	45	24	39

924	21/06/2016	25,6	26,3	25,95	75	25,1	26,3	25,7	42	24	34
926	22/06/2016	25,4	26	25,7	75	24,8	25,8	25,3	45	24	41
928	22/06/2016	25,7	26,5	26,1	77	25,3	26,5	25,9	51	24,5	48
931	23/06/2016	25,4	26,1	25,75	77	24,8	25,8	25,3	52	24	56
938	25/06/2016	25,3	26,1	25,7	82	24,7	25,8	25,25	58	24	59
947	27/06/2016	25,6	26,5	26,05	82	25	26	25,5	60	24,5	61
951	28/06/2016	25,6	26,5	26,05	82	24,9	25,9	25,4	62	24	62
953	29/06/2016	25,5	26,1	25,8	82	25	25,8	25,4	63	24	64
957	30/06/2016	25,3	26,2	25,75	82	24,8	26	25,4	66	24,5	70
959	30/06/2016	25,5	26,5	26	82	24,8	25,9	25,35	64	24	62
982	06/07/2016	25,2	26,2	25,7	91	24,6	25,7	25,15	66	24	67
988	07/07/2016	25,3	26,4	25,85	88	25	26,1	25,55	69	24,5	67
994	09/07/2016	25,1	26,1	25,6	82	24,5	25,6	25,05	60	24	59
1002	11/07/2016	25,5	26,2	25,85	82	25	26,2	25,6	61		
		25,2037	25,917 7	25,5607	70,1265	24,6679	25,5833	25,1256	47,0641	23,96103	50,7922

ANEXO 3.

Datos del invernadero en el estado “C2” (cerrado 2)

Legenda:

N.º día: aparece el número del día del experimento y el color indica la hora aproximada de la toma de datos.

9:00	13:00	18:00	22:30
------	-------	-------	-------

P: módulo con plantas; SP: módulo sin plantas; E: zona exterior al invernadero

Tª X: temperatura del módulo X (medida por aparato); Tª X': temperatura módulo X' (medida por sonda); Tª X media: temperatura media de X y X'

FECHAS		MÓDULO CON PLANTAS				MÓDULO SIN PLANTAS				EXTERIOR	
N.º día	Fecha	Tª P	Tª P'	Tª P media	Humedad P	Tª SP	Tª SP'	Tª SP media	Humedad SP	Tª E	Humedad E
1094	03/08/2016	25,4	26,4	25,9	91	24,7	25,8	25,25	70	24	62
1098	04/08/2016	25,5	26,5	26	91	24,7	25,8	25,25	67	24	60
1100	04/08/2016	25,6	26,7	26,15	91	25,1	26,2	25,65	72	25	66
1102	05/08/2016	25,3	26,5	25,9	91	24,6	25,7	25,15	65	24	59
1104	05/08/2016	25,9	27,1	26,5	91	25,1	26,3	25,7	77	24,5	64
1106	06/08/2016	25,5	26,8	26,15	91	24,9	26	25,45	70	24	66
1113	08/08/2016	25,7	26,6	26,15	82	25,1	26,1	25,6	57	24,5	56
1117	09/08/2016	25,3	26,1	25,7	82	24,7	25,7	25,2	52	24	47
1119	09/08/2016	25,6	26,9	26,25	82	24,8	25,9	25,35	51	24	46
1122	10/08/2016	25,3	26,6	25,95	91	24,6	25,8	25,2	58	24	56

1123	10/08/2016	25,5	26,8	26,15	91	24,8	25,9	25,35	57	24	54
1125	11/08/2016	25,2	26,3	25,75	82	24,7	25,8	25,25	58	24	60
1127	11/08/2016	25,6	26,9	26,25	91	24,8	25,9	25,35	57	24,5	53
1129	12/08/2016	25,5	26,7	26,1	91	24,8	25,9	25,35	57	24	54
1131	12/08/2016	25,6	27	26,3	91	24,8	26	25,4	55	24,5	51
1133	13/08/2016	25,2	26,2	25,7	82	24,6	25,7	25,15	53	24	49
1135	13/08/2016	25,6	27	26,3	91	24,8	26	25,4	54	24,5	48
1142	15/08/2016	25,6	26,6	26,1	91	25	26	25,5	62	24	58
1144	15/08/2016	25,5	26,7	26,1	91	24,9	26	25,45	64	24	60
1146	16/08/2016	25,3	26,5	25,9	91	24,6	25,7	25,15	60	24	59
1150	17/08/2016	25,1	25,8	25,45	57	24,6	25,8	25,2	50	24	56
1158	19/08/2016	25,1	25,8	25,45	55	24,5	25,7	25,1	50	24	58
1171	22/08/2016	25,8	27,1	26,45	91	25	26,2	25,6	63	24,5	63
1177	24/08/2016	25,3	26,3	25,8	82	24,7	25,8	25,25	55	24	55
1179	24/08/2016	25,6	27	26,3	91	24,8	26	25,4	58	24,5	55
1181	25/08/2016	25,1	26,2	25,65	82	24,5	25,6	25,05	52	24,5	47
1183	25/08/2016	25,6	27	26,3	91	24,9	26	25,45	55	24	52
1187	26/08/2016	25,8	27,1	26,45	91	25	26,1	25,55	55	24,5	52
1189	27/08/2016	25,2	26,2	25,7	82	24,6	25,7	25,15	57	24	62
1191	27/08/2016	26	27,3	26,65	91	25,1	26,3	25,7	59	24	57
1200	29/08/2016	25,5	26,5	26	91	25	26,2	25,6	55	24,5	50
1202	30/08/2016	25,5	26,6	26,05	91	24,9	26	25,45	64	24	64
1204	30/08/2016	25,5	26,9	26,2	91	25	26,2	25,6	65	24,5	64
		25,4787	26,627 2	26,0530	86,6969	24,8090	25,9333	25,3712	58,9411	24,1911	56,4545