



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANÁLISIS TEÓRICO- EXPERIMENTAL DE LA RESILIENCIA DE CUBIERTAS VERDES FRENTE A VARIOS EFECTOS DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Trabajo realizado por:

ASIER LEMOS GALÍNDEZ

Dirigido:

IGNACIO LOMBILLO VOZMEDIANO

VALERIO C. ANDRÉS-VALERI

Titulación:

**Máster Universitario en Ingeniería
de Caminos, Canales y Puertos**

Santander, SEPTIEMBRE de 2018

TRABAJO FINAL DE MASTER

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LA RESILIENCIA DE CUBIERTAS VERDES FRENTE A VARIOS EFECTOS DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

AUTOR: ASIER LEMOS GALÍNDEZ

DIRECTORES: IGNACIO LOMBILLO VOZMEDIANO Y VALERIO C. ANDRÉS-VALERI

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE DE 2018

PALABRAS CLAVE: CUBIERTAS VERDES, RESILIENCIA, SOSTENIBILIDAD, CAMBIO CLIMÁTICO

El presente estudio tiene como finalidad validar una metodología experimental de comparación de la resiliencia de distintas cubiertas verdes. Para ello, tras revisar el estado del arte y las ventajas teóricas que aportan este tipo de cubiertas, entre las que destacan la capacidad para una correcta gestión del ciclo urbano del agua, la reducción del efecto isla calor o una regulación de la temperatura, se proponen unos materiales para conformar las distintas secciones con el fin de evaluar el comportamiento de las mismas frente a diversos efectos derivados del cambio climático. Estos efectos se aúnan en un clima ficticio reproducido con las previsiones de temperaturas y precipitaciones desarrolladas por expertos de AEMET para ciudades representativas de los climas atlántico, mediterráneo y continental predominantes en España. Para caracterizar dichos climas se ha tomado, respectivamente, a Santander, Valencia y Madrid como ciudades de referencia.

Para poder realizar la comparación entre las diferentes cubiertas, se han seleccionado como indicadores la capacidad de retención de agua, capacidad de laminación, regulación de la temperatura ambiental y regulación de la temperatura de la cubierta. Con el fin de poder realizar los ensayos experimentales que permitan valorar el comportamiento de las cubiertas, se han diseñado y construido diferentes secciones completas de cubiertas verdes con un elemento diferenciador: la capa drenante. Así, se han empleado tres materiales distintos: caucho proveniente de neumáticos usados (NFU) y dos granulometrías diferentes de Arlita (denominadas en el estudio Arlita L y Arlita M). Para un apropiado registro de las temperaturas y la humedad en distintos niveles de las secciones, se ha diseñado y fabricado un datalogger al cual se han conectado un buen número de sensores. Para la gestión del registro de los datos se ha programado “ad hoc” un código en Arduino. La infraestructura la completan unas bombillas para reproducir la luz solar en ciclos de 12 horas (día – noche) y un

precipitador de agua conectado a un caudalímetro que permite simular diferentes intensidades de lluvia.

A continuación, se definen los escenarios diseñados en base a los efectos derivados del cambio climático:

- Escenario de sequía: ante las previsiones del aumento de los periodos de sequía, el objetivo de este ensayo consiste en analizar el comportamiento de las secciones frente a un periodo en el que no se realizan aportes de agua externos.
- Escenario de precipitaciones: otra de las consecuencias más importantes del cambio climático es el aumento de periodos húmedos y de precipitaciones extremas. Para conocer cómo afecta este aspecto a las secciones, se simulan diferentes intensidades de precipitaciones en diferentes tandas para analizar también, la resiliencia de las mismas.
- Escenario de estrés térmico: en el último escenario se combinan los dos anteriores, aumentando las condiciones extremas a las que se pueden ver sometidas las cubiertas vegetadas.

El análisis de los resultados y la correspondiente discusión se realiza en base a los datos registrados por el datalogger, las mediciones manuales de las simulaciones de las precipitaciones y a las imágenes tomadas de las secciones a lo largo de las diferentes secciones, mediante cámaras convencionales y termográficas. Las principales conclusiones que se extraen de dicho análisis son las siguientes:

- Se pueden caracterizar los materiales que componen las secciones en base a los resultados obtenidos.
- Los periodos de sequía pueden provocar que la capacidad para la mitigación del efecto isla de calor por parte de las cubiertas vegetadas sea menor.
- El caucho proveniente de NFU confiere a la sección un aislamiento de hasta 7°C, mientras que el producido por la Arlita no supera los 4°C. No obstante, el comportamiento de este material resulta muy interesante pues en los periodos nocturnos, la temperatura en la parte inferior de la sección, es más alta que en su parte central.
- El material que más agua es capaz de retener es la Arlita de menor tamaño (Arlita M), almacenando hasta el 20% de la precipitación simulada, además de ser capaz de retrasar hasta en 3 minutos el comienzo del drenaje desde el comienzo de la precipitación (efecto de laminación).
- Se puede conceder cierta capacidad resiliente a las cubiertas verdes ensayadas ya que, al aumentar el periodo entre ensayos consecutivos, se ha comprobado que las secciones recuperan cierta capacidad para gestionar el agua pluvial.

ABSTRACT

TITLE: THEORETICAL-EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE RESILIENCE OF GREEN ROOFS AGAINST VARIOUS EFFECTS DERIVED FROM CLIMATE CHANGE

AUTHOR: ASIER LEMOS GALÍNDEZ

DIRECTED BY: IGNACIO LOMBILLO VOZMEDIANO & VALERIO C. ANDRÉS-VALERI

CALL: SEPTEMBER 2018

KEYWORDS: GREEN ROOFS, RESILIENCE, SUSTAINABILITY, CLIMATE CHANGE

The purpose of this study is to validate an experimental methodology for the comparison of the resilience of different green roofs. To this end, after reviewing the state of the art and the theoretical advantages provided by this type of roof (e.g. capacity for correct management of the urban water cycle, reduction of the heat island effect and regulation of the temperature) some materials are proposed to shape the different sections in order to evaluate their behaviour when facing different effects derived from climate change. These effects are combined in a fictitious climate reproduced according to temperature and rainfall forecasts developed by AEMET experts for representative cities of the Atlantic, Mediterranean and Continental climates predominant in Spain. For the characterisation of those climates, Santander, Madrid and Valencia, respectively have been chosen

In order to be able to compare the different roofs, environmental and economic-functional indicators are chosen: water retention capacity, lamination capacity, regulation of the environmental temperature and regulation of the roof temperature. With the objective of carrying out experimental tests to assess the performance of the roofs, different complete sections of green roofs have been designed and constructed with a differentiating element: the drainage layer. Three different materials have been used: rubber from used tyres (*NFU*) and two different LECA sizes (named on this document as *Arlita L* and *Arlita M*). For an appropriate recording of temperatures and humidity in the different levels of the sections, a datalogger has been designed and built to which numerous sensors are connected. For the management of the data recordings, an “ad hoc” code has been programmed using Arduino. The infrastructure is completed by light bulbs that reproduce sunlight in cycles of 12 hours (day – night) and a water precipitator connected to a flowmeter that allows different precipitation intensities to be imitated.

The next lines define the scenarios designed on the basis of the effects derived from climate change:

- Drought scenario: in view of the forecasted increase of drought periods, the aim of this trial is to analyse the behaviour of the sections in opposition to a period in which no external water supplies are made.
- Precipitation scenario: another of the most important consequences of climate change is the increase in wet periods and extreme precipitations. In order to know how this aspect affects the sections, different rainfall intensities are simulated in different times so as to analyse their resilience too.
- Thermal stress scenario: in the last scenario the two previous ones are combined, increasing the extreme conditions to the vegetated roofs can experience.

The analysis of the results and the corresponding discussion are made based on the data recorded by the datalogger, the manual measurements of the rainfall simulations and the images taken of the sections along the different sections, by means of conventional and thermographic cameras. The main conclusions drawn from this analysis are as follows:

- The materials that compose the sections can be characterised based on the results obtained.
- Drought periods may cause a decreasing ability of the vegetated roof to mitigate the heat island effect.
- Rubber crumbs give the section an insulation of up to 7°C, while that produced by LECA does not exceed 4°C. However, the performance of this material is very interesting because during the night periods, the temperature in the lower part of the section is higher than in its central part.
- The material with highest ability to retain water is the smallest LECA (*Arlita M*), storing up to 20% of the simulated precipitation and being able to delay up to 3 minutes the beginning of drainage after precipitation starts (lamination effect).
- It can be said tested green roofs are resilient because, by increasing the period between consecutive tests, the sections have shown they regain capacity to manage rainwater.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	17
1.1.	ANTECEDENTES	17
1.2.	CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	17
1.3.	OBJETIVOS.....	19
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	19
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.4.	METODOLOGÍA DEL TFM.....	20
1.5.	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	21
2.	ESTADO DEL ARTE	22
2.1.	CUBIERTAS CONVENCIONALES.....	22
2.1.1.	ELEMENTOS.....	22
2.1.2.	TIPOLOGÍA.....	23
2.2.	CUBIERTAS VERDES	27
2.2.1.	CAPA DE VEGETACIÓN.....	30
2.2.2.	SUSTRATO.....	35
2.2.3.	FILTRO.....	36
2.2.4.	CAPA DRENANTE	37
2.2.5.	OTROS ELEMENTOS.....	41
2.3.	VENTAJAS DE LAS CUBIERTAS VERDES.....	44
2.3.1.	GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA	45
2.3.2.	CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA.....	47
2.3.3.	REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA	49
2.3.4.	REDUCCIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR	50

2.3.5.	MEJORA EN LA CALIDAD DEL AIRE	51
2.3.6.	DURABILIDAD DE LA CUBIERTA.....	52
2.3.7.	REDUCCIÓN CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	54
2.3.8.	BIODIVERSIDAD Y ESPACIOS DE RECREO	55
3.	METODOLOGÍA.....	58
3.1.	INDICADORES	58
3.2.	PREPARACIÓN DE CARA A LOS ENSAYOS	60
3.2.1.	DATOS METEOROLÓGICOS.....	60
3.2.2.	DISEÑO Y MONTAJE DEL DATALOGGER	63
3.2.3.	SELECCIÓN DE MATERIALES	64
3.2.4.	DISEÑO Y MONTAJE DE LAS SECCIONES.....	66
3.3.	DEFINICIÓN Y PLAN DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS EN LABORATORIO.....	74
3.3.1.	ESCENARIO 1. SEQUÍA	74
3.3.2.	ESCENARIO 2. PRECIPITACIONES EXTREMAS	75
3.3.3.	ESCENARIO 3. ESTRÉS TÉRMICO.....	76
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
4.1.	ESCENARIO 1. SEQUÍA	78
4.1.1.	CONDICIONES AMBIENTALES.....	79
4.1.2.	COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE CAPAS	82
4.1.3.	COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE SECCIONES	84
4.1.4.	CÁMARA TERMOGRÁFICA.....	88
4.1.5.	RESUMEN ESCENARIO SEQUÍA.....	90
4.2.	PRECIPITACIONES.....	91
4.2.1.	CONDICIONES AMBIENTALES.....	92
4.2.2.	CÁMARA TERMOGRÁFICA.....	94

4.2.3.	ENSAYOS DE PRECIPITACIÓN.....	96
4.2.4.	RESUMEN ESCENARIO PRECIPITACIONES	110
4.3.	“ESTRÉS TÉRMICO”	111
4.3.1.	CONDICIONES AMBIENTALES	111
4.3.2.	COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE CAPAS	114
4.3.3.	COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE SECCIONES	116
4.3.4.	DATOS PRECIPITACIONES.....	119
4.3.5.	RESUMEN ESCENARIO ESTRÉS TÉRMICO	124
5.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	125
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	128
7.	ANEXOS	133
7.1.	CÓDIGO ARDUINO.....	133
7.2.	HOJA DE DATOS SUSTRATO.....	154
7.3.	HOJA DE DATOS BOMBILLA.....	155

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Metodología del TFM	20
Figura 2: Envoltente térmica de un edificio.....	22
Figura 3: Croquis de cubierta invertida y cubierta convencional (ISOVER, 2018)	24
Figura 4: Croquis de figura transitable y no transitable (ISOVER, 2018).....	25
Figura 5: Croquis de cubierta ventilada y cubierta no ventilada (ISOVER, 2018)	25
Figura 6: Recreación artística de los Jardines Colgantes de Babilonia (historia, 2018)	27
Figura 7: Cubierta verde de la Torre Sevilla (Projar, 2018)	28
Figura 8: Cubierta ajardinada extensiva (Sedum tapizante) (Zinco, 2018)	29
Figura 9: Cubierta ajardinada intensiva (CasasEcológicas, 2018)	29
Figura 10: Estructura tipo de una cubierta verde extensiva (Arquitectura Mexico, 2018)	30
Figura 11: Ejemplo de planta suculenta: Sedum.....	31
Figura 12: Ejemplo de planta herbácea.	31
Figura 13: Ejemplo de planta subarborescente.....	32
Figura 14: Lonicera nítida	33
Figura 15: Geotextil de Polipropileno para capa de filtro en cubiertas verdes	37
Figura 16: Geomembrana de PEAD como capa de filtro.....	37
Figura 17: Muestra de arcilla expandida (Arlita) (Jardineria On, 2018).....	39
Figura 18: Ficha técnica FloraDrain FD40-E (Zinco, 2018).....	40
Figura 19: Plancha de poliestireno extruido (aislante térmico) (Leroy Merlin, 2018)	41
Figura 20: Lámina PVC para impermeabilización de cubiertas (Numa Industrial, 2018).....	42
Figura 21: Lámina de polietileno elástico como barrera anti raíz.....	42
Figura 22: Ejemplo de la gestión de la escorrentía (en línea discontinua) frente a un evento de lluvia (línea en negrita) (Berndtsson, 2010)	45

Figura 23: Eficiencia en la atenuación de los picos de escorrentía para un espesor de 5, 10, 15, 20, 40 y 160cm de sustrato frente a la precipitación, indicada en azul (eficiencia relativa en el tiempo) (Feitosa & Wilkinson, 2016)	46
Figura 24: Relación entre la atenuación del pico de escorrentía y el área cubierta por la vegetación (Feitosa & Wilkinson, 2016).....	46
Figura 25: Ejemplo de comparación por energía ahorrada por cubiertas convencionales y verdes (Getter & Rowe, 2006)	49
Figura 26: Cámara termográfica en cubiertas verdes y convencionales (USEPA, 2008)	50
Figura 27: Ejemplo de cómo una cubierta verde regula la temperatura (Fiorretti, et al., 2010) 50	
Figura 28: Comparativa de temperaturas en zonas urbanas y rurales (USEPA, 2008)	51
Figura 29: Absorción mensual de distintos contaminantes en una cubierta verde implantada (Yang, et al., 2008).....	52
Figura 30: Comparativa de las temperaturas a lo largo del día entre diferentes tipos de cubierta	53
Figura 31: Ejemplo de uso recreativo de una cubierta verde (IDOM, 2018)	55
Figura 32: Ejemplo de huerto urbano situado en una cubierta vegetada (Zinco, 2018)	56
Figura 33: Ejemplo de barrio con mayoría de cubiertas verdes instaladas. Ciudad de Córdoba, Argentina (Vademecum Sustentable, 2018)	56
Figura 34: Recreación del proyecto Puerto Mediterráneo en Paterna (Valencia), con una cubierta verde de 200.000 m2 (Europa Press, 2017).....	57
Figura 35: Placa de prototipado de prueba	63
Figura 36: Imagen del interior del datalogger una vez finalizado	64
Figura 37: Emplazamiento definitivo del datalogger en los contenedores de ensayo	64
Figura 38: Esquemas de las tres secciones de cubierta verde a estudiar.	66
Figura 39: Cajón con aislante térmico colocado	67
Figura 40: Colocación del aislamiento de fondo y de las láminas impermeables de PVC	67
Figura 41: Colocación del geotextil de protección y de las sondas de temperatura inferiores..	68
Figura 42: Diferentes materiales para la capa drenante de las secciones	69

Figura 43: Colocación de la capa de filtro y las sondas de temperaturas intermedias.....	69
Figura 44: Imagen de las secciones con el sustrato colocado.....	70
Figura 45: Colocación de la vegetación, sondas de temperaturas superiores y sondas de humedad	70
Figura 46: Colocación de la estructura de madera, bombillas y los aislamientos exteriores	71
Figura 47: Montaje final del contenedor con el simulador de lluvia y el datalogger en su posición final	72
Figura 48: Detalle de la media caña interior y tuberías de salida al exterior para la recogida de agua.....	72
Figura 49: Ilustración de las tuberías exteriores y los recipientes que sirven para tarar para detectar la precipitación acumulada.....	73
Figura 50: Imagen termográfica previa al encendido de las bombillas	88
Figura 51: Imagen termográfica durante el encendido de las bombillas.....	89
Figura 52: Imagen termográfica posterior al encendido de las bombilla	89
Figura 53: Secciones tras la realización de los ensayos correspondientes al escenario de precipitaciones, donde la sección con Arlita (L) se encuentra en la posición central.....	105

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Temperatura ambiente.....	80
Gráfica 2: Humedad ambiente	80
Gráfica 3: Temperatura ambiente + temperaturas superiores (coberturas vegetales).....	81
Gráfica 4: Comparativa temperaturas capas NFU.....	82
Gráfica 5: Comparativa temperaturas capas Arlita (L).....	83
Gráfica 6: Comparativa temperaturas capas Arlita (M)	83
Gráfica 7: Comparativa temperaturas superiores (coberturas vegetales)	85
Gráfica 8: Comparativa temperaturas intermedias (capa de filtro).....	86
Gráfica 9: Comparativa temperaturas inferiores (geotextil de protección)	86
Gráfica 10: Aislamiento capa drenante (diferencia entre temperaturas intermedias e inf.)	87
Gráfica 11: Temperatura ambiente.....	92
Gráfica 12: Humedad ambiente	93
Gráfica 13: Imagen termográfica previa a la simulación de la precipitación.....	94
Gráfica 14: Imagen termográfica durante la simulación de la precipitación.....	94
Gráfica 15: Imagen termográfica posterior a la simulación de la precipitación	95
Gráfica 16: Tanda 1 - Ensayo 1	96
Gráfica 17: Tanda 1 - Ensayo 1 (I).....	97
Gráfica 18: Tanda 1 – Ensayo 2	97
Gráfica 19: Tanda 1 – Ensayo 2 (I).....	98
Gráfica 20: Tanda 1 – Ensayo 3	99
Gráfica 21: Tanda 1 – Ensayo 3 (I).....	99
Gráfica 22: Tanda 2 – Ensayo 1	100
Gráfica 23: Tanda 2 – Ensayo 1 (I).....	101

Gráfica 24: Tanda 2 – Ensayo 2	102
Gráfica 25: Tanda 2 – Ensayo 2 (I).....	102
Gráfica 26: Tanda 2 – Ensayo 3	103
Gráfica 27: Tanda 2 – Ensayo 3 (I).....	104
Gráfica 28: Tanda 3 – Ensayo 1	106
Gráfica 29: Tanda 3 – Ensayo 1 (I).....	106
Gráfica 30: Tanda 3 – Ensayo 2	107
Gráfica 31: Tanda 3 – Ensayo 2 (I).....	108
Gráfica 32: Tanda 3 – Ensayo 3	108
Gráfica 33: Tanda 3 – Ensayo 3 (I).....	109
Gráfica 34: Temperatura ambiente.....	112
Gráfica 35: Humedad ambiente.....	112
Gráfica 36: Temperatura ambiente + temperaturas superiores.....	113
Gráfica 37: Comparativa temperaturas NFU.....	114
Gráfica 38: Comparativa temperaturas Arlita (L).....	115
Gráfica 39: Comparativa temperaturas Arlita (M)	115
Gráfica 40: Comparativa temperaturas superiores.....	117
Gráfica 41: Comparativa temperaturas intermedias	117
Gráfica 42: Comparativa temperaturas inferiores.....	118
Gráfica 43: Aislamiento capa drenante (diferencia entre temperaturas intermedias e inf.) ...	118
Gráfica 44: Simulación de precipitación 1.....	120
Gráfica 45: Simulación de precipitación 1 (I)	120
Gráfica 46: Simulación de precipitación 2.....	121
Gráfica 47: Simulación de precipitación 2 (I)	121
Gráfica 48: Simulación de precipitación 3.....	122

Gráfica 49: Simulación de precipitación 3 (l)	122
Gráfica 50: Simulación de precipitación 4.....	123
Gráfica 51: Simulación de precipitación 4 (l)	123

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El presente Trabajo Fin de Máster “*Análisis teórico-experimental de la resiliencia de cubiertas verdes frente a varios efectos derivados del cambio climático*”, es una investigación asociada a unas prácticas desarrolladas en el Grupo I+D+i GITECO de la Universidad de Cantabria, al amparo del proyecto de investigación “*SUPRIS - Superficies Urbanas Permeables, Resilientes, Inteligentes y Sostenibles*”, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (BIA2015-65240-C2-1-R MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER-UE). Dicho proyecto está siendo desarrollado por varios grupos de investigación de la UC, coordinados por GITECO, y la Universitat Politècnica de València a través del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA). Puede obtenerse más información al respecto en el siguiente enlace: <http://www.giteco.unican.es/proyectos/SUPRIS/resumen.shtml>.

La motivación para realizar un trabajo como éste nace de la curiosidad de conocer como es el desarrollo de un proyecto de investigación. Dicho conocimiento complementará otros adquiridos en diferentes asignaturas del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, pero desde un punto de vista nunca antes desarrollado.

1.2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En este apartado se van a definir dos conceptos fundamentales para entender este trabajo: la resiliencia y la sostenibilidad.

La **resiliencia**, en términos generales, se refiere a la **capacidad que tiene un elemento para superar circunstancias extremas**. En el caso de la resiliencia de las cubiertas verdes frente a las acciones producidas por el cambio climático, se refiere ya no sólo a la capacidad que tienen este tipo de cubiertas de afrontar los eventos extremos, sino su capacidad de recuperación una vez el evento extremo ha concluido. En este sentido, y aunque a lo largo del trabajo se volverá a hablar de ello, entre otros eventos extremos derivados del cambio climático con previsión de magnificación cabe referir: precipitaciones de mayor intensidad, exageración de las temperaturas extremas, y el aumento de la duración de los periodos secos.

La **sostenibilidad**, generalmente hablado, se refiere a la cualidad de lo sostenible, especialmente las **características del desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones**. Las cubiertas verdes, al igual que otro tipo de SUDS - Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (pavimentos permeables, franjas filtrantes, depósitos de infiltración, etc.) y obras civiles (zonas de biorretención, parques inundables, etc.), nacen de la necesidad de generar un

entorno sostenible que mitigue los efectos adversos que el cambio climático puede conllevar. En este sentido, aunque las cubiertas convencionales cumplen con su función de proteger y aislar el edificio, las cubiertas verdes como elemento de superficie permeable, verde y sostenible comienzan a tener más importancia con la creciente conciencia acerca de la insostenibilidad del actual modelo de crecimiento económico (Bevilacqua, et al., 2016). Este modelo tiene dos factores o elementos principales:

- El fenómeno de la masificación de zonas urbanas y la consecuente pérdida tanto de espacios permeables como de zonas verdes en dichas áreas (Lanham, 2007). Por ofrecer un orden de magnitud, a principio del siglo XX, el 15% de la población vivía en ciudades. Actualmente, esa cifra se eleva hasta el 50% (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Esto ha conllevado, en especial en países desarrollados, a la expansión urbana, a veces incontrolada (United Nations, 2004)
- Los efectos del cambio climático pueden relacionarse con el fenómeno de masificación y el desarrollo poco sostenible de la economía. A nivel de ciudad uno de los efectos más directos y achacable es el del “efecto isla de calor” que supone el incremento de la temperatura urbana comparada con áreas no tan masificadas o rurales (Santamouris, 2012). Este incremento se debe, entre otros factores, al balance térmico positivo de las áreas urbanas debido al almacenamiento excesivo de radiación solar de las diferentes estructuras y/o a la falta de espacios verdes. Pero, como ya se ha referido anteriormente, no es el único efecto negativo producido por el cambio climático, dado que derivado de éste se están agudizando eventos que tienen como consecuencia fuertes amplificaciones térmicas y episodios extremos de precipitación (épocas secas de mayor extensión e instantes de alta intensidad pluviométrica).

Además, y aunque dependerá mucho de la zona geográfica y de su nivel de desarrollo, **las cubiertas constituyen aproximadamente un 25% de la superficie urbana** (Akbari, et al., 2003). Diferentes estudios relacionan el incremento de zonas verdes urbanas con una reducción local de la temperatura (Takebayashi & Moriyama, 2007), sugiriendo de esta forma que la vegetación es un factor clave en aspectos del cambio climático como la mitigación del efecto isla de calor.

Es por todo esto que **las cubiertas verdes resultan una buena opción como elemento resiliente frente a las acciones del cambio climático.**

1.3. OBJETIVOS

Una vez asumido que las cubiertas verdes pueden constituir un elemento urbano resiliente, hay que especificar que no todas las cubiertas de este tipo contribuyen a mitigar los efectos climáticos de la misma forma.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es **validar una metodología experimental de comparación de la resiliencia de distintas cubiertas verdes**. Después de desarrollar una lista completa con indicadores de diferente naturaleza, y tras discutirla con los directores del trabajo, se escogerán aquellos que mejor puedan caracterizar (y que sean susceptibles de ser medidos con los medios disponibles) las cubiertas vegetadas, de tal forma que, tras la realización de los ensayos pertinentes, sea posible establecer una calificación del desempeño de cada una de ellas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para poder llevar a cabo la meta general citada en el apartado anterior, seguidamente, se relacionan varios objetivos específicos:

- **Revisar el estado del arte de las cubiertas verdes**: El primer paso es conocer con profundidad y exactitud el estado actual del conocimiento sobre las cubiertas vegetadas, qué tipos se emplean y por qué, que objetivos están cumpliendo dichos elementos constructivos, y cuáles son las líneas de investigación actuales.
- **Seleccionar materiales y secciones**: Una vez conocida la situación actual, y teniendo en cuenta las limitaciones de infraestructura que existen, el siguiente paso será especificar qué secciones de cubierta verde (compuestas por diferentes materiales, también seleccionados a partir del estado del arte) formarán parte del estudio experimental.
- **Proponer y desarrollar una metodología de ensayo**: Dicha campaña experimental se basará en aplicar una predicción meteorológica aportada por la Agencia Estatal correspondiente (AEMET) a las secciones mencionadas.
- **Discutir los resultados**: Una vez finalizada la campaña de ensayos y con los resultados definidos, se realiza un análisis y una discusión de los mismos, en términos absolutos y relativos entre las diferentes secciones estudiadas.
- **Extraer conclusiones y proponer futuras líneas de trabajo**: El último objetivo específico es el de una vez discutidos los resultados, definir qué se ha logrado en todo el proceso del trabajo, y proponer propuestas para encaminar futuros proyectos de investigación que tengan relación con el presente.

1.4. METODOLOGÍA DEL TFM

A continuación, se muestra un diagrama de flujo para reflejar visualmente el proceso que se seguirá para la elaboración de este trabajo.

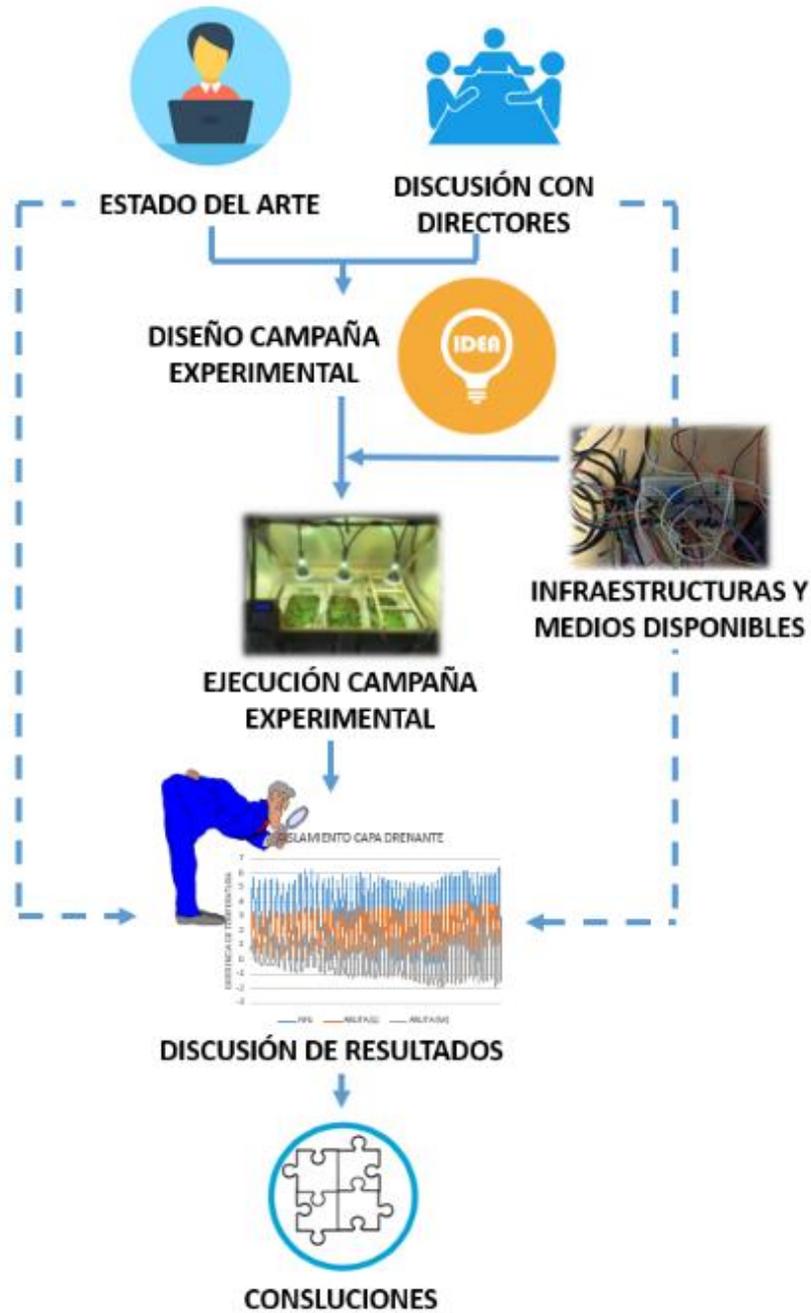


Figura 1: Metodología del TFM

1.5. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El presente documento está dividido en 6 secciones.

- **Capítulo 1. Introducción:** En este capítulo (al cual pertenece este apartado) se introduce el trabajo, se definen conceptos fundamentales a tener en cuenta a lo largo del proyecto, y se definen tanto los objetivos generales como específicos, exponiendo la metodología general a seguir.
- **Capítulo 2. Estado del Arte:** Desarrolla el estado del conocimiento en materia de cubiertas verdes y todo lo necesario para poder realizar una toma de decisiones coherente.
- **Capítulo 3. Metodología:** A partir de lo expuesto en el apartado anterior (y la correspondiente discusión con los directores del trabajo y tutores de las prácticas), se propone y desarrolla una metodología. En este apartado se incluye todo lo relativo a materiales e infraestructuras necesarios para realizar el montaje de los especímenes a ensayar y se explica el procedimiento de los diferentes ensayos.
- **Capítulo 4. Resultados y discusión:** Se muestran todos los resultados obtenidos de la campaña experimental y se realizan las comparaciones y discusiones pertinentes que surgen de los mismos.
- **Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras de trabajo:** En el penúltimo apartado, una vez analizados todos los resultados y recordando los objetivos de la investigación, se aportan las principales conclusiones y se plantean posibles líneas futuras de trabajo.
- **Capítulo 6. Bibliografía:** Se listan las referencias bibliográficas consultadas a lo largo del trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. CUBIERTAS CONVENCIONALES

Previo al estudio de las cubiertas verdes, a continuación, se facilita información sobre las cubiertas en general (cubiertas convencionales).

Se define cubierta como el cerramiento superior de la envolvente de un edificio que está en contacto con el exterior. Las cubiertas, como el resto de las partes que conforman dicha envolvente, aportan cobijo y aíslan en la medida necesaria al edificio. La Figura 2 ilustra el contorno de un edificio tipo, así como la condición para la distinción entre cubierta (C), fachada (M) y otros cerramientos horizontales y en contacto con el terreno (S y T).

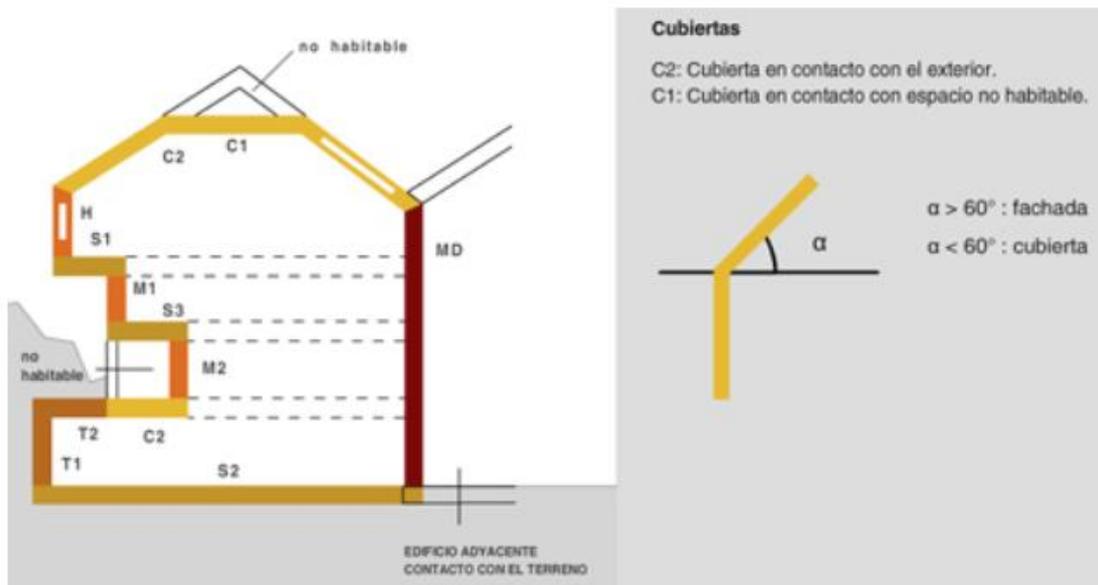


Figura 2: Envolvente térmica de un edificio

2.1.1. ELEMENTOS

Al igual que ocurre con otros elementos, en España existen unas normas que hay que cumplir a la hora de diseñar y construir las cubiertas. Además de verificar que se cumple con lo establecido en documentos como *CTE DB-HE1* o *CTE DB HR*, se debe seguir el *Documento Básico de Salubridad, DB HS 1 Protección frente a la humedad*. En este documento, perteneciente al CTE (Código Técnico de la Edificación, 2017) se definen las partes de las que deberá estar compuesta una cubierta (sobre el soporte estructural, entendiendo que éste, a pesar de las distintas opiniones de diferentes autores, es el elemento portante de techo de última planta del edificio), a saber:

- Un **sistema de formación de pendientes** cuando la cubierta sea plana o cuando sea inclinada, y su soporte resistente no tenga la pendiente necesaria para el tipo de protección y de impermeabilización que se vaya a utilizar.
- Una **barrera contra el vapor** inmediatamente por debajo del aislante térmico cuando, según el cálculo descrito en la sección HE1 del DB “Ahorro de energía”, se prevea que vayan a producirse condensaciones en dicho elemento.
- Una **capa separadora bajo el aislante térmico**, cuando deba evitarse el contacto entre materiales químicamente incompatibles.
- Un **aislante térmico (AT)**, según se determine en la sección HE1 del DB “Ahorro de energía”.
- Una **capa separadora entre el AT y la capa de impermeabilización**, cuando deba evitarse el contacto entre materiales químicamente incompatibles o la adherencia entre la impermeabilización y el elemento que sirve de soporte en sistemas no adheridos.
- Una **capa de impermeabilización** cuando la cubierta sea plana o cuando sea inclinada, caso que el sistema de formación de pendientes no tenga la pendiente exigida.
- Una **capa separadora entre la capa de protección y la capa de impermeabilización**, cuando deba evitarse la adherencia entre ambas capas o la impermeabilización tenga una baja resistencia al punzonamiento estático.
- Una **capa de protección**, cuando la cubierta sea plana, salvo que la capa de impermeabilización sea autoprotegida.
- Un **tejado**, cuando la cubierta sea inclinada, salvo que la capa de impermeabilización sea autoprotegida.
- Un **sistema de evacuación de aguas**, que puede constar de canalones, sumideros y rebosaderos, dimensionado según el cálculo descrito en la sección HS 5 del DB-HS.

2.1.2. TIPOLOGÍA

En las cubiertas convencionales, los elementos expuestos en el apartado anterior no se colocan siempre de la misma manera (ni siquiera tienen por qué aparecer todos ellos). Es por esto que existen diferentes tipos de cubiertas, entre ellas las verdes.

La distinción más importante entre cubiertas convencionales atiende a si son cubiertas planas o inclinadas, pero también existen múltiples comparaciones para caracterizarlas. En lo que sigue, se adjuntan figuras extraídas del CTE (Código Técnico de la Edificación, 2010) y del catálogo de una empresa especializada en cubiertas (Cubiertas Estévez, 2015):

- **Convencional o invertida** (Figura 3): Se denominan cubiertas invertidas aquellas en las que se invierte (respecto a las denominadas convencionales) la colocación del aislante y la capa impermeabilizante, logrando que el aislante (que se coloca

encima de la impermeabilización) proteja térmica y mecánicamente la capa impermeable. Estas dos ventajas son las que justifican que en la actualidad se empleen más que las convencionales.

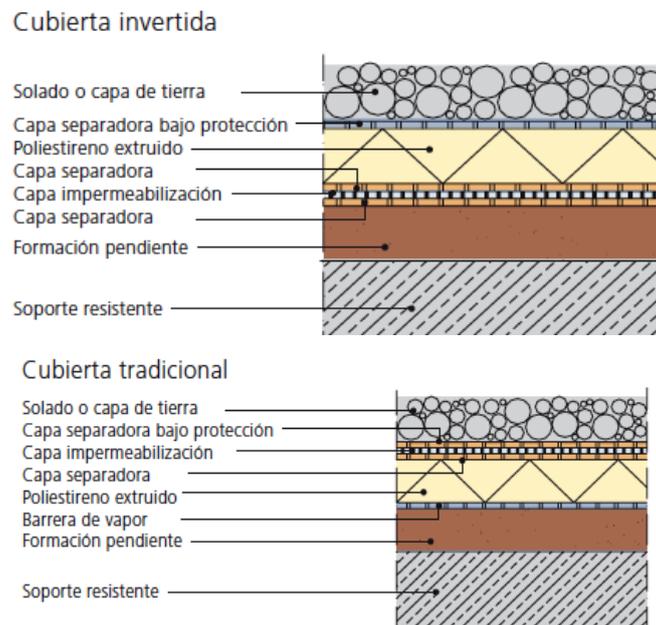


Figura 3: Croquis de cubierta invertida y cubierta convencional (ISOVER, 2018)

- **Transitable o no transitable** (Figura 4): hace referencia al uso de la cubierta pudiendo ser empleada por usuarios en todo momento o únicamente para labores de mantenimiento. Los elementos indicados en la figura son los siguientes:
 - P: Capa de protección. Solado fijo
 - MA: Material de agarre o nivelación
 - Csa: Capa separadora bajo protección
 - I: Capa de impermeabilización
 - Cs: Capa separadora
 - AT: Aislante térmico
 - B: Barrera contra el vapor
 - FP: Formación de pendientes
 - SR: Soporte resistente

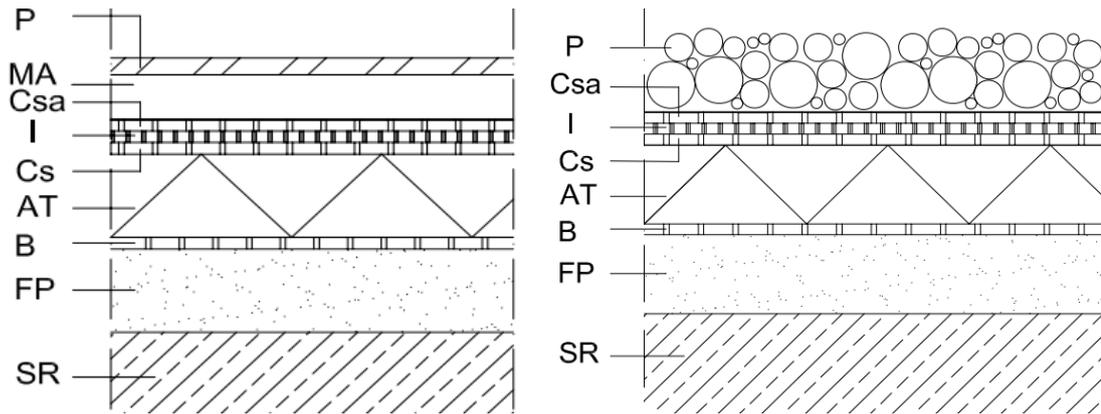


Figura 4: Croquis de figura transitable y no transitable (ISOVER, 2018)

- **Cubierta ventilada o no ventilada** (Figura 5): las cubiertas ventiladas, también denominadas cubiertas frías, tienen en su seno una cámara de aire con conexión atmosférica en varios puntos de forma que se garantice la ventilación cruzada. Si partimos de la base que ambas son convencionales, en las ventiladas, la parte exterior será la que impermeabilice y proteja la cubierta, mientras que la interior será la que realice la labor aislante. La principal ventaja de las cubiertas frías es el mejor comportamiento higrotérmico debido a la difusión del vapor de agua a través de las aberturas exteriores. Los elementos indicados en la figura son los siguientes:

- P: Capa de protección. Solado fijo
- MA: Material de agarre o nivelación
- Csa: Capa separadora bajo protección
- I: Capa de impermeabilización
- Cs: Capa separadora
- C: Cámara de aire ventilada
- AT: Aislante térmico
- B: Barrera contra el vapor
- FP: Formación de pendientes
- SR: Soporte resistente

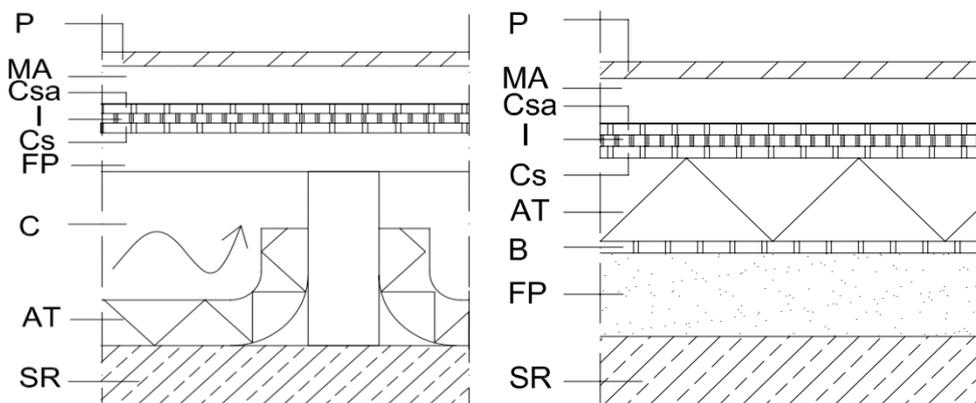


Figura 5: Croquis de cubierta ventilada y cubierta no ventilada (ISOVER, 2018)

Además de éstas, existe otra característica que permite clasificar las cubiertas y hace referencia al acabado. Éste puede ser con cobertura (solado fijo, flotante, capa de rodadura, acabado en grava), autoprotegidas, inundadas o ajardinadas.

2.2. CUBIERTAS VERDES

Una cubierta verde es, básicamente, una cubierta que dispone de vegetación en la capa superior, aunque esto implique el cambio completo de la ordenación de los elementos de la sección respecto a una convencional.

Las cubiertas verdes existen, en mayor o menor medida, desde hace más de 25 siglos (Shafique, et al., 2018). Como ejemplo más conocido de ello se tiene los Jardines Colgantes de Babilonia (Figura 6). Estas civilizaciones ya buscaban reducir los efectos adversos de la urbanización y potenciar sus características como aislantes.



Figura 6: Recreación artística de los Jardines Colgantes de Babilonia (historia, 2018)

Aunque se tiene conocimiento del uso de este tipo de técnica desde tiempo antiguo, es en países como Alemania, Francia o Suiza cuando en la década de 1960 se produce una implementación más intensiva de las mismas. Hay autores que explican como en Alemania, con la crisis energética de dicha década, se comenzaron a construir cubiertas vegetadas para reducir el consumo de energía. De hecho, hoy en día, sigue siendo una potencia puntera en el ámbito, incrementado año a año en 13,5 millones de m² la superficie de cubiertas verdes. De hecho, en el siglo XXI se ha conseguido que más del 10% de todas las cubiertas de edificios sean verdes (Getter & Rowe, 2006). Más tarde, acabaron sumándose Estados Unidos (especialmente la zona de Portland), Japón o los países nórdicos (Berardi, et al., 2014). Hoy en día, también destacan países como Canadá, Singapur, Hong-Kong o Corea del Sur, que con diferentes medidas (incluso legislativas) están promoviendo la implementación de cubiertas verdes.

En España, se tardó un poco más en la implementación de esta técnica y, de acuerdo con expertos en este ámbito (Asociación Española de Cubiertas Verdes y Ajardinamientos Verticales, 2017), estos son algunos hitos históricos de renombre en el Estado:

- 1992. Realización del primer proyecto en España: ajardinamiento de un garaje subterráneo con fuentes de agua en Madrid, proyectado por el arquitecto Jose Martínez Sarandeses.
- 1994. Cubiertas Ecológicas Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas.
- 1999. Realización de la cubierta ecológica de Vertres.
- 1999. Proyecto de Investigación en Colmenar Viejo-Madrid "Proyecto Módulos".
- 2004. La nueva sede del Banco Santander, la Ciudad Financiera, en Bobadilla del Monte (Madrid).
- 2008. Pabellón de las Naciones en Expo del agua en Zaragoza.
- 2014. Torre Sevilla (Sevilla).



Figura 7: Cubierta verde de la Torre Sevilla (Projar, 2018)

- 2015. Polideportivo La Cicer (Paseo de las Canteras, Las Palmas de Gran Canaria)

Según las características de las cubiertas, atendiendo (principalmente al tipo de cobertura vegetal y a los espesores de las distintas capas, se pueden clasificar en extensivas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) e intensivas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), aunque algunos autores también incluyen el término semi-extensiva en dicha clasificación.



Figura 8: Cubierta ajardinada extensiva (Sedum tapizante) (Zinco, 2018)



Figura 9: Cubierta ajardinada intensiva (Casas Ecológicas, 2018)

Las primeras están constituidas por plantas “tapizantes” que no requieren gran mantenimiento y generalmente se instalan como protección adicional de la cubierta. Por el contrario, las denominadas intensivas se forman con plantas de mayor porte, arbustos y/o árboles, que requieren un mantenimiento más complejo. En cuanto al uso que se le da a cada una de ellas, las extensivas tienen como objetivo explotar al máximo las ventajas ecológicas mientras que en las intensivas también les da uso con actividades humanas (son espacios similares a parques o jardines). En la Tabla 1 se resume una comparativa de las principales características de ambas cubiertas (Berardi, et al., 2014):

Tabla 1: Diferencias entre cubiertas extensivas e intensivas

CARACTERÍSTICA	CUBIERTA EXTENSIVA	CUBIERTA INTENSIVA
Espesor del sustrato	<200mm	>200mm
Accesibilidad	Inaccesible (frágil)	Accesible (para fines recreativos)
Peso	60-150 kg/m ²	>300 kg/m ²
Variedad de plantas	Escasa (musgo, hierbas, césped)	Alta (césped, arbustos, árboles...)
Construcción	Fácil	Técnicamente compleja
Riego	A menudo, no necesario	Necesarios sistemas de riego
Mantenimiento	Simple	Complicado
Coste	Bajo	Alto

Aunque pueden existir multitud de variantes, la estructura tipo de una cubierta verde debe incluir (Castleton, et al., 2010), Figura 10:

- Capa vegetal
- Sustrato (o capa de suelo)
- Filtro
- Capa drenante
- Aislante
- Capa impermeabilizadora

Aunque también pueden incluir elementos como:

- Barrera antiraíz (generalmente entre las capas de sustrato y la drenante)
- Sistema de riego

En caso de ser necesario, habrá que realizar la formación de pendientes que apoyará sobre el soporte estructural (que forma parte del edificio)

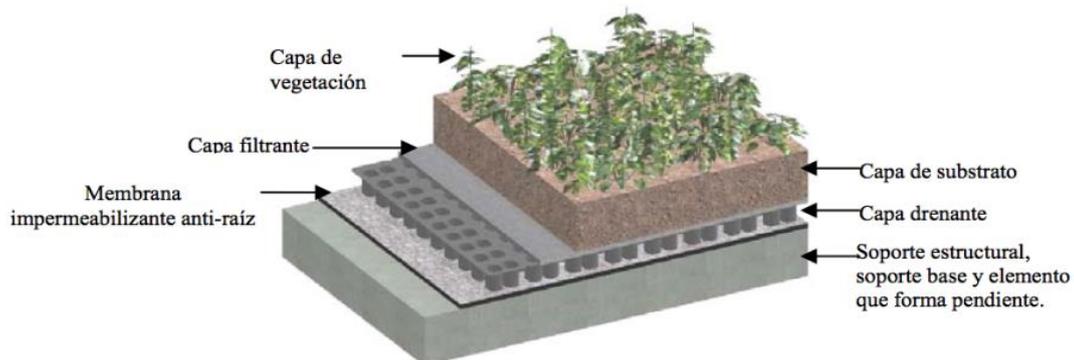


Figura 10: Estructura tipo de una cubierta verde extensiva (Arquitectura Mexico, 2018)

A continuación, se desarrollará información acerca de las capas principales. La base principal de esta información reside en la NTJ11E (Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo, 2003) que hace referencia a las cubiertas verdes extensivas. La información hace referencia a normas y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para el correcto diseño e implementación de las cubiertas verdes en España. También se aportará información de otros autores.

2.2.1. CAPA DE VEGETACIÓN

Las plantas que se empleen en las cubiertas ecológicas extensivas deberán requerir un bajo mantenimiento y tener un alto grado de adaptación a las condiciones limitantes del lugar de plantación (frío, calor, pluviosidad, sequía, etc.) El objetivo de esta capa es

alcanzar un porcentaje máximo de cobertura según las posibilidades de la cubierta, pero deberán cumplir los siguientes requisitos (al menos gran parte de ellos, según el área en el que se aplique este tipo de estructura):

- Resistencia a vivir con escasos requerimientos de mantenimiento.
- Resistencia a largos periodos de sequía.
- Resistencia a altas temperaturas.
- Resistencia a heladas.
- Resistencia a la acumulación temporal de agua.
- Resistencia a fuertes radiaciones.
- Resistencia a vientos.
- Tolerancia a la contaminación urbana.
- Persistencia al menos durante algunos años.
- Ser de crecimiento controlado, con componentes estéticos y con un desarrollo rápido de cobertura del terreno.
- Bajo peso.
- Riesgo bajo de incendios.
- No ser alergógenas.

Los tipos de planta a considerar en las cubiertas verdes extensivas son:

2.2.1.1. *Suculentas*

Son las que mejor se adaptan al uso en cubiertas, especialmente las del género *Sedum*, Figura 11 debido a sus mínimas exigencias y a la resistencia a períodos de extrema sequía aunque también tienen otras ventajas tales como facilidad de implantación, facilidad y velocidad de crecimiento, capacidad de retención de agua en sus tejidos, gran resistencia a altas radiaciones y temperaturas elevadas, buena resistencia a temperaturas bajas aunque no resisten demasiado bien el estancamiento de agua (precisan de un sustrato muy poroso) y tienen una nula resistencia al pisoteo.



**Figura 11: Ejemplo de planta suculenta:
Sedum.**



Figura 12: Ejemplo de planta herbácea.

2.2.1.2. *Herbáceas perennifolias y cespitosas*

Estos grupos de plantas tienen una alta resistencia a temperaturas extremas, consiguen una rápida colonización de calvas sin vegetación y tienen un requerimiento bajo de nutrientes, Figura 12. Las perennifolias incluyen plantas con vegetación aérea perenne, con aspecto tierno, no lignificadas y de porte bajo, mientras que dentro del grupo de las cespitosas encontramos las familias de las gramíneas y las leguminosas.

2.2.1.3. *Subarbustivas*

Las plantas subarbustivas, Figura 13, son plantas de bajo porte (altura inferior a 50 cm, aunque en casos excepcionales pueden llegar hasta los 100 cm), con vegetación aérea perenne y algo lignificadas. Este tipo de plantas también tienen una alta resistencia tanto a temperaturas extremas como a la sequía, toleran bien el viento y no es necesario tampoco el aporte nutritivo.



Figura 13: Ejemplo de planta subarbustiva.

2.2.1.4. *Vivaces*

Este tipo de plantas (entre las que se incluyen los geófitos y los hemicriptófitos) sólo son visibles una parte del año, por lo que deben contemplarse como un complemento de las suculentas o herbáceas perennifolias. Además del menor valor estético, también presentan peor comportamiento que el resto de grupos redactados anteriormente.

En general, lo recomendado es la implantación de agrupaciones vegetales, adaptadas cada una de ellas a cada biotopo y a las condiciones de cada cubierta, aunque tampoco es recomendable incluir un número elevado de especies en una misma cubierta. Lo importante es una buena elección de dichas agrupaciones, pudiendo variar las mismas incluso en la misma cubierta en función de su exposición, altitud, sustrato, etc., favoreciendo así la biodiversidad y viabilidad de la misma.

La elección de la capa vegetal es fundamental para el aislamiento térmico producido por la estructura.

Distintos autores (Berardi, et al., 2014), confirman que una de las plantas más populares para las cubiertas verdes es el Sedum, especie que proporciona un alto coeficiente de sombra contra la radiación solar, tiene raíces cortas y es compatible con situaciones en las que los recursos hídricos son limitados. Sin embargo, el mayor inconveniente de esta especie vegetal, es que no garantiza una cobertura total de la superficie desde el inicio, siendo muy común la aparición de calvas o zonas en las que la especie no se ha desarrollado correctamente. Además, precisa como se ha comentado, de un sustrato poroso, lo que lo ideal sería que dispusiera de un sistema de drenaje que almacene agua (tanto para las temporadas en las que los recursos hídricos son menores como para lograr una capacidad óptima de la gestión del agua pluvial)

Otros estudios realizados en España, sin embargo, hacen hincapié en que la mejor especie cuyo desarrollo está garantizado con un sistema con retenedores de agua, es la Lonicera nítida (cubierta semi-intensiva), Figura 14, (Neila, et al., 2008).

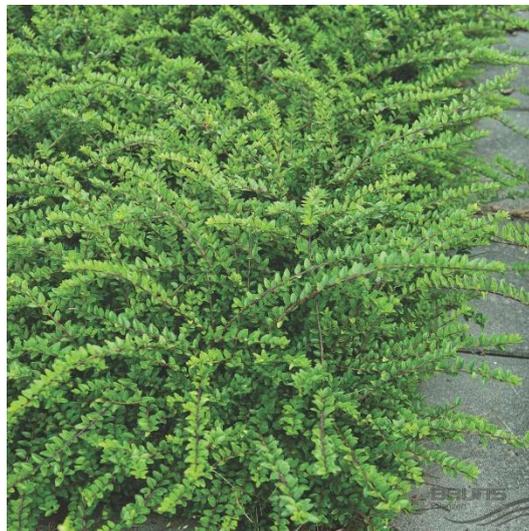


Figura 14: Lonicera nítida

Como las informaciones recabadas van en distintas direcciones, y teniendo en cuenta siempre los objetivos y las limitaciones del estudio, se decide contactar con un alto número de viveros y empresas que trabajen o lo hayan hecho en el ámbito de las cubiertas verdes, para conocer sus experiencias con distintas especies vegetales y recomendaciones que puedan sugerir una vez expuesta nuestra idea. Se busca que estén bien representadas las tres zonas climáticas bajo estudio. Tal y como se detallarán más adelante en este trabajo, se quiere estudiar los eventos climáticos más adversos de los climas atlántico, continental y mediterráneo, representados por las ciudades de Santander, Madrid y Valencia respectivamente. El listado completo de viveros y empresas consultadas es el siguiente:

Tabla 2: Viveros y empresas consultadas en el presente estudio

NOMBRE	LOCALIZACION	CONTACTO
Viveros Rucat	Madrid	http://www.viverosrucat.es/
Viveros Angel	Madrid	https://www.viverosangel.es/
Viveros Projardin	Madrid	https://www.viverosprojardin.com/
Topgrass	Madrid	http://www.topgrass.com/
Vivers de Cardedeu	Barcelona	https://viverosdecardedeu.com/
El Nou Garden	Barcelona	https://www.elnougarden.com/
Catalunya Plants	Barcelona	https://www.catalunyaplants.com/
Barnaplant	Barcelona	http://barnaplant.com/
Cultidelta	Tarragona	http://www.cultidelta.com/
Gondra	Bizkaia	http://www.gondra.com/
Artadi Mintegia	Bizkaia	http://www.gondra.com/
Jardinería y Paisajismo Bizkaia	Bizkaia	http://www.jardineriaypaisajismovizcaya.com
Jardinería La Encina	Cantabria	http://www.jardinerialaencina.com/
Jardinería Diego	Cantabria	http://jardineriadiego.es/
Viveros Fadura	Bizkaia	https://www.viverosfaduragetxo.com/es/
Biberoak Legu	Bizkaia	http://satlegu.com/
Projar	España	http://projar.es/

Las respuestas obtenidas van en el mismo sentido que las ya comentadas. El Sedum es el tipo de planta que mejor puede adaptarse a los eventos extremos ocasionados por el cambio climático (sobre todo para épocas secas).

2.2.2. SUSTRATO

La capa de sustrato en las cubiertas verdes extensivas es necesaria para suministrar nutrientes, agua y oxígeno. Es en esta capa donde las raíces se desarrollan y absorben las distintas sustancias, siendo posible en determinadas ocasiones que las raíces puedan absorber agua de la capa drenante si esta está provista de una reserva de hídrica, además de otorgar un soporte físico a la cobertura vegetal.

El grosor de esta capa está directamente interrelacionado con la elección de las especies a plantar, así como con las condiciones microclimáticas, en especial, la demanda evapotranspiratoria de la zona.

El sustrato que se emplea en este tipo de estructuras debe tener una buena aptitud agronómica, siendo recomendables las siguientes características:

- Buena capacidad de retención de agua.
- Alto contenido de la fracción mineral.
- Alto contenido en materia orgánica de origen natural.
- Alta bioestabilidad.
- Homogeneidad.
- Buena capacidad de rehumetación.
- Baja tasa de contracción.
- Componentes de baja inflamabilidad.
- Baja salinidad.
- Baja alcalinidad.

Estas características son de carácter general, pero hay especies que no necesitan que se cumplan todas ellas para un correcto desarrollo de las mismas. Las especies de Sedum, muy empleadas y recomendadas para este tipo de cubiertas, no necesitan un sustrato que disponga de tanta materia orgánica para su desarrollo, siendo muy habitual la utilización de sustratos más porosos al ser una especie que soporta peor el estancamiento de agua, como se ha descrito en apartados anteriores.

Las capas de sustrato, además, deben protegerse frente a la erosión hasta que queden totalmente cubiertas por la cobertura vegetal, sobre todo si se encuentran expuestas a vientos fuertes y/o si están instaladas en cubiertas inclinadas.

La capa de sustrato es muy importante desde el punto de vista de la retención de agua por parte de la cubierta. Hay estudios, (Buccola & Spolek, 2011) (VanWoert, et al., 2005), que demuestran que la retención del agua pluvial puede llegar del 20 al 83% en función

de las características de la precipitación. Una baja densidad aparente para inducir menores cargas, alta capacidad de retención de agua y alta porosidad son las propiedades ideales a satisfacer por un sustrato (Graceson, et al., 2014). Para combinar dichos efectos, se ha probado con sustratos con alto material inorgánico. Estos sustratos son mucho más sencillos de instalar y la reducción de materia orgánica no afecta al desarrollo de la cobertura vegetal. Sin embargo, conviene modificar el sustrato inorgánico con material verde compostado (grueso y fino) para que la combinación de ambos mejore las capacidades del sustrato en cuanto a retención de agua, densidad o porosidad, permitiendo el correcto crecimiento de la vegetación.

Entre los materiales inorgánicos que se emplean destacan los siguientes: Arcilla expandida, pumita, áridos reciclados de hormigón y materiales cerámicos como ladrillos o tejas, arenas y gravas, escorias o residuos (Nagase & Dunnet, 2011)

Igualmente, el sustrato a emplear deberá ser acorde a la cobertura vegetal empleada, ya que a todas las especies no les afecta igual la falta o abundancia de agua. En cuanto al espesor del sustrato, varía en función de la tipología de la cubierta (intensiva o extensiva).

Al igual que en el caso de las plantas, para obtener información adicional, se contactó con empresas nacionales del sector para conocer los productos con los que se trabaja. Es la empresa Projar la que nos suministra información del sustrato con el que ellos trabajan. El sustrato está compuesto por una parte de compost vegetal entre 20-30% y el resto con componente mineral para darle volumen, ligereza y drenaje: roca volcánica, cerámica triturada, mezclas con fibras de coco y turba. Todo ello para que la densidad real (en estado saturado) no sobrepase los 1300-1400 kg/m³.

2.2.3. FILTRO

Cuando se dispone de cubiertas ecológicas extensivas con capa drenante es necesario disponer una capa que actúe como filtro y que se encuentre entre las capas de sustrato y drenaje. El fin de la misma es evitar el paso de las partículas de finos del sustrato y la consecuente obstrucción de la capa drenante.

Habitualmente, las láminas filtrantes son denominadas geotextiles y están formadas por fibras sintéticas. Las características que deben tener estas láminas, con carácter general, son:

- Resistencia a la rotura y a la compresión.
- Imputrescible.
- Ser compatible con los materiales con los que vaya a estar en contacto.
- Tener una permeabilidad al agua 10 veces superior a la del sustrato.
- Ser permisible con el crecimiento de las raíces.
- Ser de estructura duradera y estable.

- Poseer resistencia frente a las acciones de los microorganismos.

Además, es necesario que la lámina filtrante sea permeable al agua en ambos sentidos, incluso después de un largo periodo, y que pueda absorber aproximadamente 1 l/s m².

La NTJ 11E (Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo, 2003) dispone también que la capa de filtro deberá ser colocada sobre la totalidad de la capa drenante, con un solape sobre la lámina adyacente de 10-20cm con el fin de asegurar su correcto funcionamiento.

En GITECO-UC, grupo de investigación donde realizo las prácticas asociadas a este Trabajo Fin de Máster, se han ensayado diferentes materiales que son susceptibles de emplear en cubiertas verdes, desde geotextiles de Polipropileno hasta geocompuestos y geomembranas de diferentes características. En dichos ensayos se ha comprobado que se cumplen los requisitos que deben tener las capas de filtro especificados anteriormente en este apartado. En las A continuación, en la Figura 15 y Figura 16 se ilustran este tipo de materiales.



Figura 15: Geotextil de Polipropileno para capa de filtro en cubiertas verdes



Figura 16: Geomembrana de PEAD como capa de filtro

2.2.4. CAPA DRENANTE

Lo normal y recomendable es disponer la capa drenante entre el sustrato y la membrana impermeabilizante con el fin de conseguir tanto un drenaje apropiado como una protección mecánica de la membrana. Además, puede ser empleada para el almacenamiento de agua (en el caso de que la capa drenante tenga reserva de agua) y como espacio útil para las raíces.

En el caso en el que el sustrato sea suficientemente permeable al agua y la cubierta tenga una inclinación suficiente para drenar el agua sobrante, podrá prescindirse de esta capa.

El efecto drenante debe estar asegurado incluso en las condiciones más adversas como podría ser un periodo de lluvia continuada en intensa proliferación de raíces.

En general, los materiales que se emplean en la capa drenante deben tener las siguientes características:

- Estructura duradera y estable.
- Estabilidad de forma y filtro.
- No nocivos para las plantas (contenido en sales y en carbonato solubles)
- Ser estables química y físicamente.
- Ligeros.
- Susceptibles de acumular agua.

Los materiales adecuados para conformar esta capa, pueden agruparse (con carácter general) en tres grupos:

- **Materiales plásticos drenantes:**
 - Mallas plásticas con lámina filtrante.
 - Láminas de fibras sintéticas, polipropileno.
- **Placas drenantes:**
 - De polietileno.
 - De poliestireno.
 - De fibras textiles recicladas.
- **Partículas o fragmentos minerales:**
 - Arenas y gravas.
 - Gravas volcánicas.
 - Arcillas expandidas, tanto troceadas como redondeadas, Figura 17. En España, se está empezando a emplear en diferentes superficies sostenibles la Arlita, un tipo de arcilla expandida. Estas son las especificaciones técnicas del producto que ofrece la empresa (que ya se ha implementado en países como Suecia, Dinamarca, Reino Unido o Francia):
 - Producto natural y ligero
 - Neutro e inerte.
 - Sustenta el crecimiento de las raíces.
 - Alta conductividad del aire.
 - Resistente a la congelación.
 - Estructuralmente estable.

- Calidad homogénea
- Buenas características térmicas y acústicas.
- Capacidad para la absorción de agua
- Resistente al fuego.



Figura 17: Muestra de arcilla expandida (Arlita) (Jardineria On, 2018)

Puede añadirse un cuarto grupo para el caso de aquellos sistemas que aparte del drenaje, aportan la capacidad de retener agua, aspecto muy interesante, por ejemplo, para las zonas de clima mediterráneo. El grupo lo conforman los siguientes materiales:

- **Sistemas drenantes con reserva de agua:**
 - Láminas con sistemas alveolares.
 - Sistemas con aljibes.
 - Paneles de fibras absorbentes de agua.

Diversos expertos recomiendan el uso de sistemas que, además de drenar, sean capaces de retener una cantidad del agua pluvial. Uno de los materiales propuestos hace referencia a materiales sintéticos con tejido para dicha retención de agua (Carter & Rasmussen, 2006). Como ejemplo de ello se muestra el Floradrain FD40, Figura 18.



Elemento de drenaje y de retención de agua, en poliolefina reciclada, para ser colocado en cubiertas ajardinadas tanto extensivas como semi-extensivas, con o sin pendiente.

Clips de unión de plástico



Datos técnicos	
Floradrain® FD 40-E	
Elemento de drenaje y retención de agua de poliolefina reciclada embudido a profundidad.	
Material:	Poliolefina (principalmente polietileno)
Color:	gris oscuro
Altura:	aprox. 40 mm
Peso:	aprox. 1,9 kg/m ²
Diámetro de las aperturas de difusión:	aprox. 2 mm
Capacidad de retención de agua:	aprox. 6 l/m ²
Volumen de relleno:	aprox. 17 l/m ²
Resistencia a la compresión (10 % de compactación):	vacío: aprox. 170 kN/m ² relleno de gravilla: aprox. 250 kN/m ²
Capacidad de drenaje en superficie (EN ISO 12958) (vacío):	
con 1 % de pendiente:	aprox. 1,5 l(s·m)
con 2 % de pendiente:	aprox. 2,1 l(s·m)
con 3 % de pendiente:	aprox. 2,6 l(s·m)

Figura 18: Ficha técnica FloraDrain FD40-E (Zinco, 2018)

En la actualidad, además de los expuestos con anterioridad, se están empleando también nuevos materiales para esta capa. Uno de ellos es el caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU). Hoy en día, se produce en distintos ámbitos un gran volumen de residuos, difíciles de ser tratados o reciclados. Un claro ejemplo de este tipo de materiales es el mencionado caucho. Tal y como comentan algunos autores (Molineux, et al., 2009) es necesaria la búsqueda de usos para este tipo de materiales, y el empleo de este material como capa drenante en cubiertas verdes extensivas puede proporcionar una correcta salida de este tipo de productos considerados como residuos (Rincón, et al., 2014). Frecuentemente, ya se emplean en ámbitos tales como cimentaciones de carreteras y vías de ferrocarril, rellenos para muros y puentes o en terraplenes.

Este material, es entre un 30 y un 50% más ligero, proporciona un aislamiento hasta ocho veces mejor que la grava, y ofrece una capacidad de drenaje diez veces mejor que un suelo bien graduado (ETRMA, 2016). Existen más autores que han experimentado con este material. (Vila, et al., 2012) comprobaron que la goma proveniente de neumáticos era un buen sustituto de los materiales pétreos empleados en cubiertas verdes. (Pérez, et al., 2012) calificaron este material como capaz de ser componente del sustrato empleado en este tipo de soluciones constructivas, siempre y cuando estén presentes en forma de partículas de pequeño tamaño. Además, (Richter & Weaver, 2008) muestran que reciclar este el caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso no es perjudicial para la salud o para el entorno medioambiental (Rodrigo, et al., 2008).

De esta forma, la sustitución de materiales provenientes de elementos porosos empleados habitualmente para la capa drenante de cubiertas verdes extensivas (como pueden ser la arcilla expandida, puzolanas naturales, pizarras o pumitas) por materiales

provenientes del reciclado de NFU, reúne dos aspectos muy a tener en cuenta: mejor capacidad drenante de la estructura y reciclaje de un material abundante que tiende a acumularse sin utilidad aparente.

El único inconveniente que posee el empleo de este tipo de materiales es que en fase de construcción sí que producen un impacto medioambiental superior al que pueden producir otros materiales empleados en otras soluciones constructivas, como, por ejemplo, cubiertas convencionales o cubiertas verdes extensivas con materiales como la puzolana para su capa drenante. Pero este mismo estudio (Rincón, et al., 2014), proporciona datos de que la fase operacional es la realmente importante, pues alcanza valores de hasta casi el 90% de impacto total producido y es en esta fase (la de explotación) cuando el material del que se está hablando es realmente competitivo.

2.2.5. OTROS ELEMENTOS

Aunque la NTJ 11E hace referencia prioritaria a los cuatro elementos descritos hasta ahora (cobertura vegetal, sustrato, filtro y capa drenante) a continuación se describen otros elementos que conforman las cubiertas.

2.2.5.1. Aislante térmico

Aunque ya de por sí las cubiertas verdes son mejores aislantes, en comparación con otro tipo de cubiertas, se deberá colocar un aislante térmico en el caso de que el aislamiento conseguido principalmente por la capa vegetal y el espesor de sustrato no cumpla con la normativa correspondiente. Uno de los materiales más empleados para esta función es el poliestireno extruido, Figura 19.



Figura 19: Plancha de poliestireno extruido (aislante térmico) (Leroy Merlin, 2018)

2.2.5.2. Capa impermeabilizadora

Suele ser un punto débil de las cubiertas debido a los problemas que acarrea derivado de la degradación frente a gradientes térmicos o por acciones mecánicas. Es por ello que debe estar bien asegurada y protegida de dichas acciones.

Los materiales más empleados para esta capa son láminas de plástico (PVC), Figura 20, aunque también se emplean láminas bituminosas, resinas o polímeros plásticos.



Figura 20: Lámina PVC para impermeabilización de cubiertas (Numa Industrial, 2018)

2.2.5.3. Barrera anti-raíz

Aunque no siempre se coloca esta capa separadora, su función es la de proteger la impermeabilización de la posible acción de las raíces de las plantas. Su uso es más frecuente en el caso de cubiertas intensivas, dado que, en la mayoría de las cubiertas extensivas, aunque depende de las especies escogidas, las raíces son más superficiales.

Capas plásticas como el polietileno o el polipropileno son las más empleadas para conformar la barrera anti raíz, aunque cualquier geotextil con un espesor y unas propiedades mecánicas adecuadas puede cumplir dicha función, Figura 21. Según lo obtenido por parte de suministradores (Projar, 2018), un espesor de 2,5 mm y una resistencia a tracción urdimbre de 7,2 kN/m es normalmente empleado para dotar a la cubierta de una protección suficiente.



Figura 21: Lámina de polietileno elástico como barrera anti raíz

2.2.5.4. *Sistema de riego*

Al igual que ocurre con la barrera anti raíz, este elemento es más utilizado en el caso de las cubiertas intensivas, dada las características de la cobertura vegetal. En situaciones ideales, se trata de diseñar las cubiertas de tal manera que no sea necesario el aporte “artificial” de agua, sino que sea la propia cubierta la se regule en épocas de sequía y de precipitaciones.

2.3. VENTAJAS DE LAS CUBIERTAS VERDES

Como se ha comentado en la introducción de este trabajo, los elementos de drenaje urbano sostenible, SUDs, familia a la que pertenecen las cubiertas verdes, se deben a la necesidad de mitigar los efectos adversos que ya está produciendo el cambio climático.

Aunque los beneficios de la implementación pueden ser muy notables, las siguientes son las ventajas principales que aportan las cubiertas verdes (Bevilacqua, et al., 2016) (Berardi, et al., 2014):

- Mitigación del efecto isla de calor.
- Reducción de la escorrentía del agua pluvial.
- Mejora en la calidad de la escorrentía.
- Mejora en la durabilidad de la membrana impermeable.
- Reducción en la demanda energética y por ende mayor economía durante la explotación del edificio.
- Secuestro de carbono y reducción de la contaminación.
- Disminución de la contaminación acústica.

Cabe destacar que no todas ellas contribuyen de la misma manera a la resiliencia frente al cambio climático. Así, por ejemplo, será más importante la gestión de la escorrentía que la cubierta pueda desarrollar frente a la reducción de ruido que pueda conseguirse.

Las cubiertas verdes, sin embargo, también tienen dos principales inconvenientes:

- Carga inducida a la estructura.
- Alta inversión inicial y mayor coste de mantenimiento.

Estas dos desventajas son solucionables con un correcto diseño estructural en el caso de las cargas, y con una correcta planificación de los gastos a largo plazo para el caso de la inversión.

En las siguientes páginas se desarrollan las ventajas, que a juicio de expertos y tutores, resultan más importantes para el objeto del estudio.

2.3.1. GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA

Una de las claras ventajas que ofrecen las cubiertas verdes es la gestión que nos permite realizar del agua pluvial, con aspectos como la infiltración o la retención de la misma. Las cubiertas verdes reducen la escorrentía de agua pluvial reduciendo el riesgo de inundaciones aproximando el balance urbano del agua a su ciclo natural (Berndtsson, 2010), Figura 22. En nuestro caso, interesará conocer qué porcentaje de dicha escorrentía es gestionada correctamente teniendo en cuenta las distintas situaciones que pueden darse, así como las diferentes secciones de cubierta verde que puedan tenerse. A continuación, se muestra un ejemplo de uno de los objetivos de las cubiertas vegetadas, una gestión del agua pluvial que lamine los eventos extremos, mitigándolos en cierta medida.

Existen estudios que demuestran que con los espesores adecuados por capa y el empleo de materiales capaces de gestionar la escorrentía, puede llegarse a reducir el caudal máximo de la escorrentía en valores de hasta el 80% (Berardi, et al., 2014)

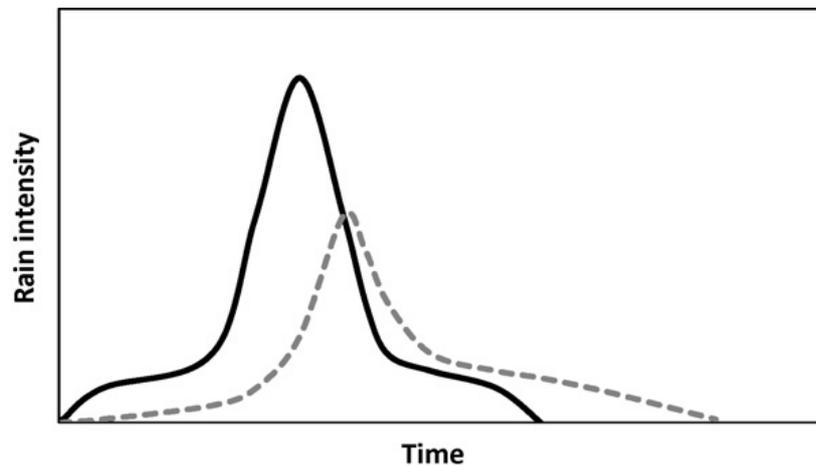


Figura 22: Ejemplo de la gestión de la escorrentía (en línea discontinua) frente a un evento de lluvia (línea en negrita) (Berndtsson, 2010)

Los principales factores que influyen en la capacidad de retención de agua de las cubiertas verdes son

- Número y espesor de capas.
- Materiales.
- Edad de la cubierta.

Así, las siguientes imágenes muestran como la diferencia de la profundidad del sustrato (Figura 23) o del porcentaje cubierto por la vegetación (Figura 24) modifican la gestión de la lluvia precipitada.

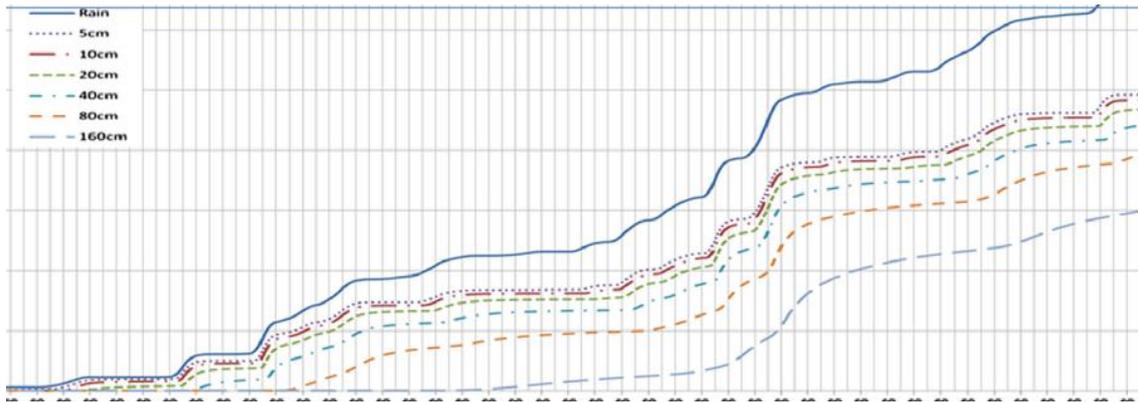


Figura 23: Eficiencia en la atenuación de los picos de escorrentía para un espesor de 5, 10, 15, 20, 40 y 160cm de sustrato frente a la precipitación, indicada en azul (eficiencia relativa en el tiempo) (Feitosa & Wilkinson, 2016)

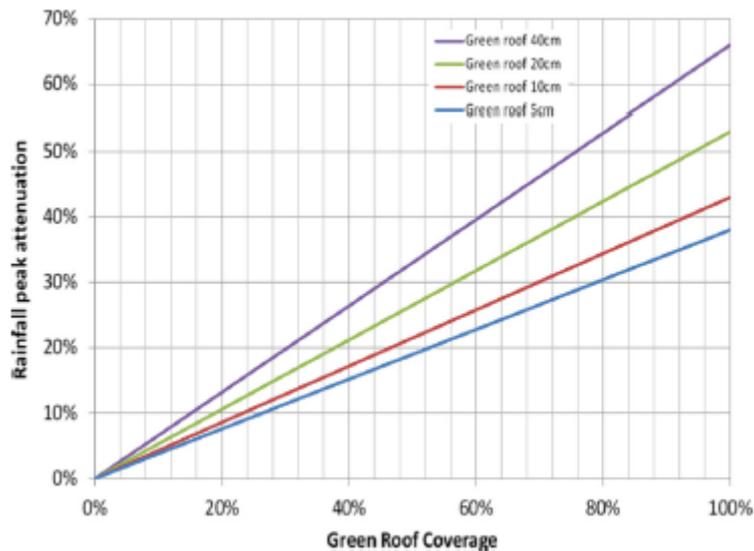


Figura 24: Relación entre la atenuación del pico de escorrentía y el área cubierta por la vegetación (Feitosa & Wilkinson, 2016)

Se han realizado investigaciones en las que se han ensayado diferentes materiales y su capacidad de drenaje o retención de agua (propiedades antagónicas). Entre otros pueden citarse a (Carter & Rasmussen, 2006) y a (DeNardo, et al., 2005).

Lógicamente, en el desempeño de las cubiertas frente a estas propiedades, influyen las características del clima en que se localicen, a saber:

- Duración de periodos de sequía.
- Condiciones del aire (humedad, velocidad, etc.).
- Características de las precipitaciones.
- Contenido de humedad del sustrato previo a la precipitación.

2.3.2. CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA

Como ya se ha comentado anteriormente, dependiendo del tipo de cubierta verde y sus materiales, puede llegarse a retener entre el 50 y el 100% del agua pluvial.

El agua retenida en el sustrato se evaporará eventualmente o transpirará de vuelta a la atmósfera (fenómeno de evapotranspiración). Como el agua es retenida, los picos de escorrentía se reducen y espacian en el tiempo, ayudando a que los sistemas municipales de recogida de aguas no se inunden o colapsen (efecto de laminación ante elevadas intensidades de precipitación). En muchos lugares, el sistema de alcantarillado es unitario para las aguas pluviales y residuales. En estos casos, cada vez que se produce un desbordamiento, afloran los contaminantes de las aguas fecales. Así, cuando se da esta situación, es obvia la mejora en cuanto a la calidad del agua si las cubiertas consiguen retener un porcentaje del agua procedente de las lluvias (Rowe, 2010).

Sin embargo, existe un debate en la comunidad científico-técnica sobre si las cubiertas verdes son sumideros de dichos contaminantes (los más estudiados hacen referencia a metales pesados y nutrientes) o, si por el contrario, los elementos que conforman los sustratos añaden contaminación al agua pluvial.

A primera vista, las cubiertas vegetadas aparecen como fuente de contaminantes (Berndtsson, et al., 2006). Analizando metales pesados y diferentes nutrientes (Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Pb, Zn, NO₃eN, NH₄eN, Tot-N, PO₄eP, Tot-P) de una cubierta extensiva a base de Sedum y una cubierta no vegetada, se observó que, a excepción del nitrógeno, el resto de elementos estaban más presentes en la cubierta verde. En otros estudios las concentraciones de todos los nutrientes eran mayores que en los demás tipos de cubierta, a excepción de los nitratos y los fosfatos, cuyas concentraciones eran similares (Carpenter & Kaluvakolanu, in press). En otros casos sin embargo (Hathaway, et al., 2008), la concentración de estos nitratos y fosfatos era claramente superior.

La discusión, sin embargo, surge a raíz de la importancia de la edad de la cubierta verde y su influencia en la calidad de la escorrentía, asociando a que los contaminantes que puede poseer el sustrato serán mayores a medida que pasen los años. Por ejemplo, en un estudio pionero en Alemania, se observó cómo la concentración de PO₄ retenido se incrementaba del 26% en el primer año, hasta el 80% en el cuarto año (Köhler, et al., 2002). Estas cubiertas también retenían el 88% de Pb, 88% de Cd, 80% NO₃ y el 67% de PO₄ después de tres años.

Otras investigaciones (Steusloff, 1998) sugieren la importancia de la estación del año y de las características de los eventos de lluvia. En la Tabla 3 se muestra la capacidad de retención (en %) de los diferentes contaminantes por parte la cubierta verde estudiada.

Tabla 3: Comparativa entre estaciones de la capacidad de retención (en %) de distintos contaminantes por parte de una cubierta verde

Elemento	Verano	Invierno
Cu	97	34
Zn	96	72
Cd	92	62
Pb	99	91

Se observa que, en eventos de lluvia suaves, contaminantes que son transportados en los casos de cubiertas convencionales, en el caso de las cubiertas verdes son retenidos. Esto también explica una posible justificación a que en eventos de lluvia posteriores la concentración de estos contaminantes sea mayor.

Además, la elección de la vegetación, la composición del sustrato y su profundidad también influyen en la calidad del caudal efluente. Así, en los casos en los que se emplea Sedum hay más concentración que en los que se emplean plantas perennes o herbáceas (Monterusso, et al., 2004). En lo que a la composición del sustrato se refiere, aludir a que la concentración de nitratos y fosfatos decrece solidariamente si decrece el porcentaje de compost empleado.

En definitiva, parece que, a largo plazo, las cubiertas verdes pueden tener un efecto positivo en la calidad del agua. La mayor contaminación del agua en los primeros meses de la cubierta se debe a la descomposición de la materia orgánica existente en la mezcla original.

Por último, mencionar que el empleo de fertilizantes solubles convencionales debería ser evitado para no empeorar la calidad del agua.

2.3.3. REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA

Otra clara ventaja de las cubiertas verdes consiste en la capacidad que disponen de regular la temperatura, tanto a nivel de cubierta verde como a nivel de los espacios situados bajo la misma. Debido a sus mejores prestaciones aislantes, se consigue mayor eficiencia energética, mitigando el posible efecto de temperaturas extremas. Ahora bien esta regulación térmica (al igual que pasaba con la gestión del ciclo urbano del agua) dependerá de las características climáticas y de la cubierta. Es decir, en el hipotético caso de estar situado un edificio con un gran aislamiento en una zona de clima suave, la implementación de la cubierta verde no mejorará en exceso el comportamiento térmico del mismo.

En línea con lo anterior, diversos autores coinciden en que el aislamiento que se produce en verano es mayor que el que se produce en periodos fríos, o al menos en términos absolutos. Así, (Bevilacqua, et al., 2016) reportan que en invierno pueden lograrse temperaturas hasta 4°C mayores y en verano hasta 12°C menos. Por su parte, (Berardi, et al., 2014) refieren que la contribución al decremento del calor es hasta del 80%, pero limitando el efecto análogo en invierno entorno al 20%.

Esta regulación de temperatura, además de generar espacios urbanos mucho más agradables, deriva en un ahorro en el consumo energético innegable (Getter & Rowe, 2006). Es lógico pensar que con las modificaciones térmicas mencionadas en el párrafo anterior, la necesidad de encender la calefacción en invierno o el aire acondicionado en el periodo estival será menor, Figura 25.

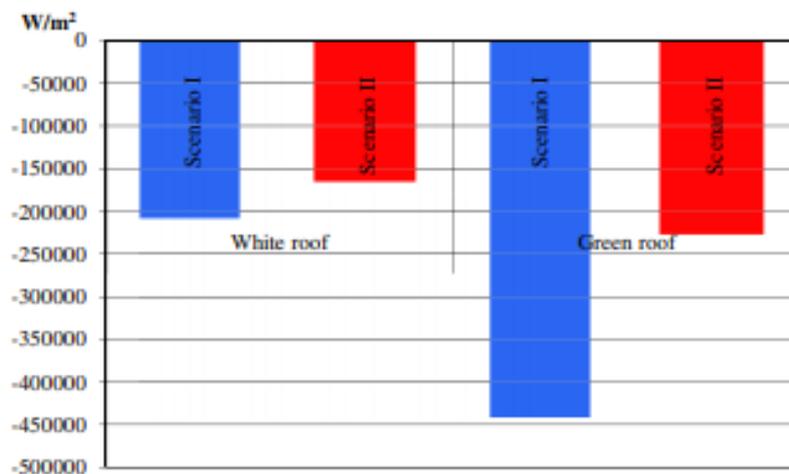


Figura 25: Ejemplo de comparación por energía ahorrada por cubiertas convencionales y verdes (Getter & Rowe, 2006)

En la Figura 26 y Figura 27 puede observarse la diferencia de temperaturas alcanzada en una cubierta convencional y en una cubierta verde, así como el efecto que produce la implementación de este tipo de estructura en un edificio.



Figura 26: Cámara termográfica en cubiertas verdes y convencionales (USEPA, 2008)

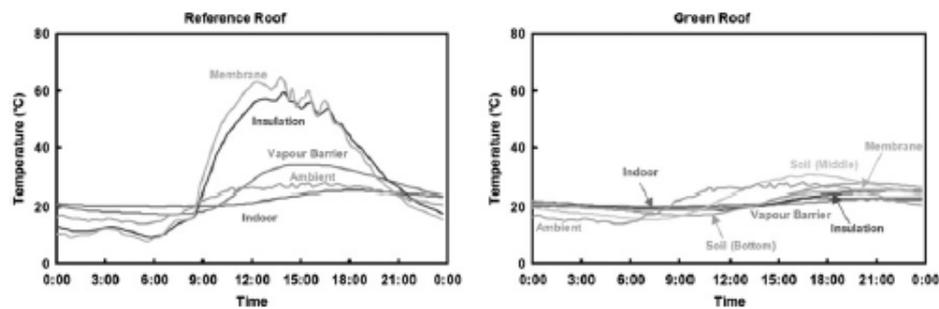


Figura 27: Ejemplo de cómo una cubierta verde regula la temperatura (Fiorretti, et al., 2010)

2.3.4. REDUCCIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR

A principio del siglo XX, el 15% de la población vivía en ciudades. Actualmente esa cifra se eleva hasta el 50% (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Esto ha conllevado, en especial en países desarrollados, a la expansión urbana a veces incontrolada (United Nations, 2004), sustituyendo zonas húmedas y permeables por zonas secas e impermeables. Estas últimas favorecen la absorción de calor elevando la temperatura del entorno.

Como ejemplo, en la Figura 28 se observa la diferencia de la temperatura entre ámbitos rurales y urbanos, y su comparación con la temperatura del aire.

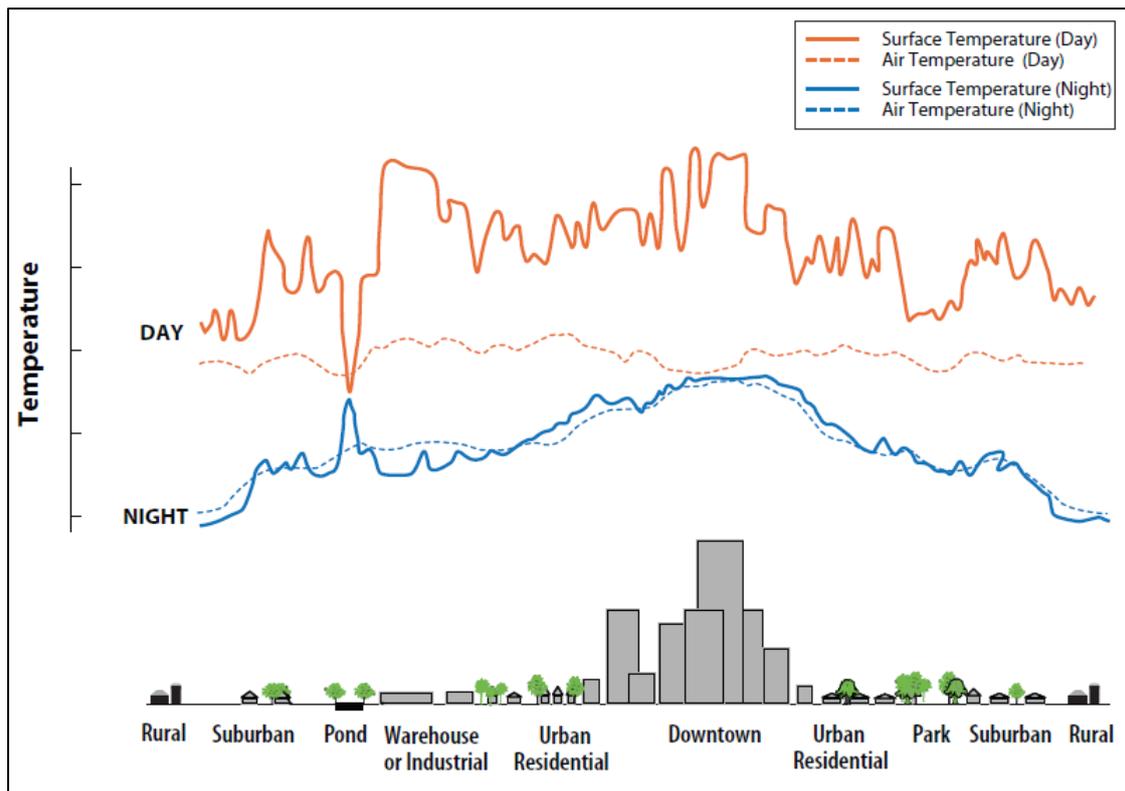


Figura 28: Comparativa de temperaturas en zonas urbanas y rurales (USEPA, 2008)

El efecto isla de calor es una situación urbana de acumulación de calor debido a la gran cantidad de materiales absorbentes de calor existentes. Depende principalmente de la modificación del balance energético en áreas urbanas cuyos factores más importantes son los “cañones urbanos”, las propiedades térmicas de los edificios, la sustitución de zonas verdes por superficies impermeables que limitan la evapotranspiración y el decrecimiento de albedo urbano (Susca, et al., 2011). (Berardi, et al., 2014) afirman que la implementación de este tipo de cubierta (sustituyendo a las convencionales), no sólo tiene las ventajas de regular la temperatura a nivel de edificio, sino que también lo hacen a escala urbana.

Diferentes estudios también relacionan el incremento de zonas verdes urbanas con una reducción local de la temperatura (Takebayashi & Moriyama, 2007), sugiriendo de esta forma, que la vegetación es un factor clave en la mitigación del efecto isla de calor.

2.3.5. MEJORA EN LA CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire en entornos urbanos es inferior a la de los entornos menos poblados, principalmente debido a la mayor contaminación existente y a las altas concentraciones de carbono, ambos factores perjudiciales para la salud humana (Mayer, 1999)

En zonas urbanas, está comprobada la capacidad de árboles y arbustos para contribuir a la reducción de contaminantes aéreos (Nowak, 2006).

(Whittinghill, et al., 2013) demuestran como los entornos vegetados, ya sean a nivel de suelo o en cubiertas, actúan como secuestradores de carbono, siendo más eficientes aquellos con mayor cantidad de vegetación (en el caso de las cubiertas verdes, correspondería a las cubiertas intensivas). Sin embargo, este aspecto no excluye a las cubiertas extensivas. Diversos estudios han demostrado que puede reducirse la contaminación hasta en 85kg por hectárea y año (Yang, et al., 2008), Figura 29. De esa cantidad, más de la mitad (52%) correspondía a ozono, seguido por dióxido de nitrógeno (27%), partículas PM₁₀ (14%) y dióxido de azufre (7%).

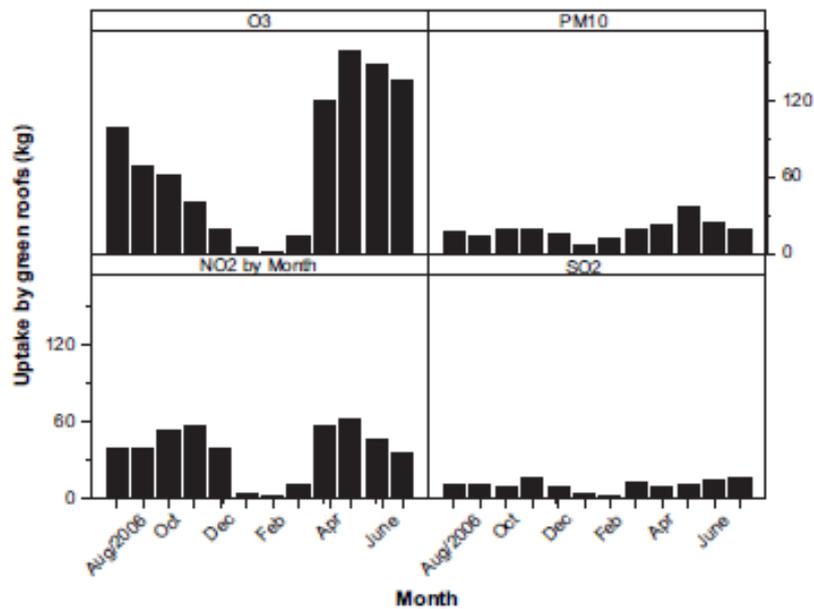


Figura 29: Absorción mensual de distintos contaminantes en una cubierta verde implantada (Yang, et al., 2008)

2.3.6. DURABILIDAD DE LA CUBIERTA

El problema de durabilidad de las cubiertas va asociado en la mayoría de los casos a la resistencia que posea la membrana impermeable. Se deteriora con facilidad debido a la radiación ultravioleta, ya que se vuelven frágiles. Esto se debe a que, en las cubiertas convencionales, dicha membrana queda a la intemperie.

En el caso de las cubiertas verdes, la membrana queda mucho más protegida porque son las capas superiores las que absorben la radiación correspondiente. Además, como ya se ha comentado anteriormente, las cubiertas verdes ayudan a que la temperatura a nivel de cubierta sea mucho más estable a lo largo del día. En la Figura 30 se observa como las cubiertas verdes experimentan unas variaciones mucho menores de temperatura (comparadas con una cubierta convencional) minorando el efecto de fatiga térmica que favorece la rotura prematura de la membrana impermeable de las cubiertas.

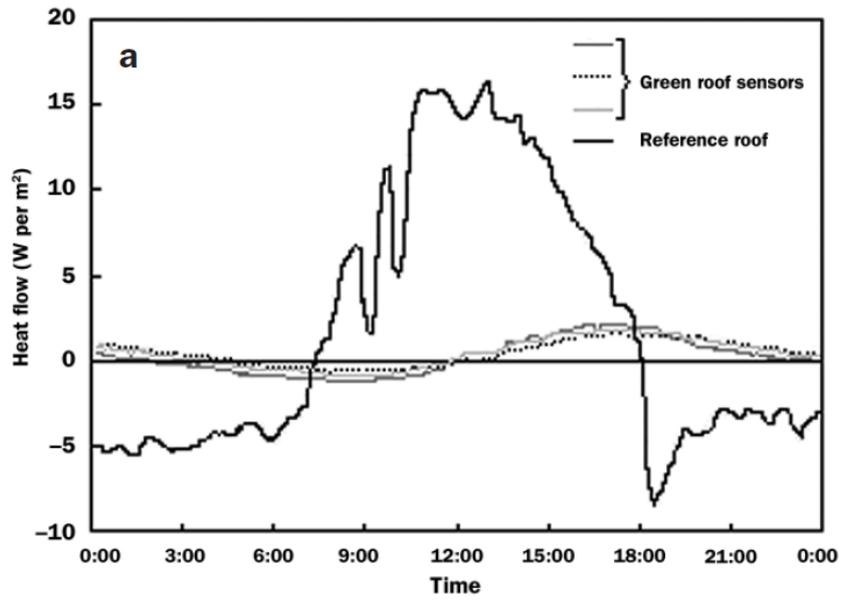


Figura 30: Comparativa de las temperaturas a lo largo del día entre diferentes tipos de cubierta

2.3.7. REDUCCIÓN CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

El exceso de ruido, además de ser molesto, puede derivar en problemas de salud (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000). En zonas urbanas, los niveles altos de ruidos pueden llegar a suponer un problema en espacios cerrados rodeados de edificios altos, o en espacios cercanos a zonas industriales o aeropuertos.

Aunque las cubiertas convencionales son generalmente superficies “duras” (de cara a soportar las ondas de sonido), la implementación de cubiertas verdes ayuda al aislamiento acústico. La estructura formada por la combinación de vegetación con la capa de sustrato absorbe mejor las ondas sonoras que las que se han denominado superficies duras (Van Renterghem & Botteldooren, 2008).

En los estudios referidos se explicita que existe una relación lineal entre el porcentaje de la superficie cubierta con vegetación y la reducción de presión sonora en la parte opuesta del edificio. La capa de sustrato es la que mayor influencia tiene en este aspecto ya que permite que, a través de sus poros, penetren las ondas sonoras quedando estas atrapadas y siendo mitigadas gracias a las partículas que conforman dicha capa (Van Renterghem & Botteldooren, 2009). Dicha influencia, se ve aumentada con el incremento de la profundidad de la capa de sustrato hasta el umbral de los 15-20cm, espesores mayores no contribuyen de forma proporcional a la reducción de la contaminación acústica.

Si se realiza la comparativa con las cubiertas no vegetadas (cubiertas convencionales), en el rango de frecuencias que va desde los 500Hz hasta los 1000Hz, se consigue una muy notable disminución de hasta 10dB.

2.3.8. BIODIVERSIDAD Y ESPACIOS DE RECREO

Como se ha comentado, la necesidad de implementar cubiertas verdes al igual que otras superficies permeables sostenibles nace como consecuencia de la masificación de las zonas urbanas, así como de la reducción de zonas verdes que dicha gentrificación ha supuesto.

A su vez, esta ausencia o minoración de parques y arboledas conlleva inequívocamente a la pérdida de unas áreas propias del hábitat de muchas especies de fauna y flora. También son zonas aprovechadas por los seres humanos para actividades de ocio y recreo.

Las cubiertas verdes, en este sentido, pueden favorecer la aparición o vuelta de distintas especies que encuentren un ambiente mucho más acogedor (hasta el punto de disponer de alimentos). Así, hay autores que han comprobado la reaparición de animales invertebrados y aves (Coffman & Davis, 2005).

Por otra parte, el ser humano también puede desarrollar actividades en este tipo de cubiertas, siempre y cuando las dimensiones y las características del edificio lo permitan. En este sentido, las actividades pueden ser desde puramente de ocio, Figura 31, al empleo de las cubiertas con fines económicos como para el cultivo de distintas especies, Figura 32. Conviene insistir que dichas actividades deben poder llevarse a cabo sin suponer un peligro para la estructura, ya sea por la carga adicional que puedan suponer o por cualquier otro motivo.



Figura 31: Ejemplo de uso recreativo de una cubierta verde (IDOM, 2018)



Figura 32: Ejemplo de huerto urbano situado en una cubierta vegetada (Zinco, 2018)

Por último, mencionar en este apartado que las cubiertas verdes aportan un valor estético y agradable al entorno urbano, pudiendo llegar a influir hasta en el estado de ánimo de la ciudadanía, Figura 33. Dicho aspecto, aunque sea un aspecto quizá menos prioritario desde un punto de vista puramente ingenieril, conviene tenerlo en cuenta, Figura 34.



Figura 33: Ejemplo de barrio con mayoría de cubiertas verdes instaladas. Ciudad de Córdoba, Argentina (Vademecum Sustentable, 2018)



Figura 34: *Recreación del proyecto Puerto Mediterráneo en Paterna (Valencia), con una cubierta verde de 200.000 m² (Europa Press, 2017)*

3. METODOLOGÍA

En este capítulo, se desarrollará todo lo relacionado con la campaña experimental, desde su diseño (con las justificaciones pertinentes) hasta su puesta a punto, definiendo también todas las fases intermedias.

Como se ha comentado en apartados anteriores, las cubiertas verdes proporcionan una gran cantidad de ventajas para la mitigación de los efectos ocasionados por el cambio climático respecto de las cubiertas convencionales.

3.1. INDICADORES

Con el fin de valorar qué características de las cubiertas verdes extensivas son más interesantes desde el punto de vista de la resiliencia frente a las acciones del cambio climático, y para enfocar debidamente los ensayos, se desarrolló un listado de indicadores para ser discutido entre las personas involucradas en el trabajo (autor, directores y tutores de prácticas). A continuación, se ofrece la lista completa de los indicadores con una breve descripción de los mismos, Tabla 4.

Al analizar la lista completa propuesta, puede observarse que los indicadores son de diversa naturaleza, y se han agrupado en indicadores de carácter medioambiental, económico / funcional y social.

Tabla 4. Lista completa de indicadores

TIPO	INDICADOR	DESCRIPCIÓN
MEDIOAMBIENTAL	Mitigación de la contaminación del aire	Mejora de la calidad del aire reduciendo contaminantes del aire tales como: O ₃ , NO _x , SO ₂ o PM ₁₀
	Sumidero de Carbono	Purificación del aire mediante la absorción de CO ₂
	Contenido de humedad del aire	Variaciones del porcentaje de contenido de humedad del aire
	Capacidad de retención de agua	Capacidad de la sección para retener agua para su posterior aprovechamiento o drenaje
	Reducción del volumen de escorrentía	Reducción del volumen de agua que circula superficialmente durante un evento de lluvia
	Capacidad de laminación	Capacidad para reducir el caudal pico de agua que circula superficialmente durante un evento de lluvia
	Modificación de la concentración de contaminantes	Modificación de la calidad del agua filtrando/induciendo contaminantes a la escorrentía
	Regulación de la Tª ambiental	Contribución a la reducción del efecto isla calor
	Biodiversidad	Aumento y mejora de espacios para el hábitat de fauna y flora
ECONÓMICO / FUNCIONAL	Regulación de la Tª de la cubierta	Capacidad para regular la temperatura de las capas subyacentes que conforman la cubierta
	Porcentaje de Albedo	Porcentaje de radiación reflejada por la cubierta
	Minoración de transmitancia térmica	Cantidad de energía térmica que fluye a través de la sección de la cubierta
	Protección de elementos de la cubierta	Aumento de la vida de las distintas capas subyacentes que conforman la cubierta
	Aislamiento acústico	Reducción de ruidos y aumento consecuente de confort
SOCIAL	Uso del Espacio	Aumento del espacio urbano para actividades recreativas, agrícolas, etc.
	Aceptación Social	Valoración de la sociedad a la generación de cubiertas verdes
	Contribución al paisaje urbano	Aporte estético al paisaje

Derivada de la referida discusión de los indicadores realizada con los directores del trabajo y tutores de las prácticas, por cuestión de recursos económicos y de la infraestructura disponible para el desarrollo de la campaña experimental, la lista inicial de indicadores a estudiar experimentalmente se vio reducida, Tabla 5.

Tabla 5: Lista reducida de indicadores

TIPO	INDICADOR	DESCRIPCIÓN
MEDIOAMBIENTAL	Capacidad de retención de agua	Capacidad de la sección para retener agua para su posterior aprovechamiento o drenaje
	Capacidad de laminación	Capacidad para reducir el caudal pico de agua que circula superficialmente durante un evento de lluvia
	Regulación de la Tª ambiental	Contribución a la reducción del efecto isla calor
ECONÓMICO / FUNCIONAL	Regulación de la Tª de la cubierta	Capacidad para regular la temperatura de las capas subyacentes que conforman la cubierta
	Protección de elementos de la cubierta	Aumento de la vida de las distintas capas subyacentes que conforman la cubierta

3.2. PREPARACIÓN DE CARA A LOS ENSAYOS

3.2.1. DATOS METEOROLÓGICOS

A la hora de preparar los ensayos, el primer paso correspondió a decidir y consensuar qué efectos del cambio climático se pretendían simular, y que parámetros cuantificar para caracterizar el comportamiento de las diferentes secciones frente a dichos efectos, en diferentes climas tipo.

Dado que las circunstancias no permiten simular distintos climas (por espacio, falta de material, etc.) se decidió proceder a la elaboración de un “clima ficticio” que integrase los tres principales climas de España: Atlántico (representado por Santander), Continental (representado por Madrid) y Mediterráneo (representado por Valencia), con las situaciones más desfavorables en cada uno de los diferentes climas. Así, bajo la recomendación de expertos (desde profesores de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander hasta técnicos de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET), y una vez analizada la viabilidad de las diferentes opciones, se decidió realizar tres escenarios de ensayos:

- Escenario de sequía.
- Escenario con fuertes precipitaciones.
- Escenario de estrés térmico.

Por otra parte, dado que este trabajo tiene como objeto estudiar la resiliencia de las cubiertas verdes frente a los efectos adversos del cambio climático, por lo que además de los datos disponibles de los eventos extremos ya ocurridos, era necesario predecir el comportamiento climático futuro (se estableció el alcance en el fin del siglo XXI). Así, en base a la información proporcionada por responsables de AEMET, los datos que pueden ser de mayor utilidad son los siguientes, Tabla 6. Los datos en **negrita** son los más desfavorables de las tres ciudades de referencia, siendo los que se emplearán a la hora de simular los efectos más desfavorables.

Tabla 6: Datos meteorológicos proporcionados por AEMET. 20C3M: datos obtenidos hasta la actualidad. Escenario A1B: predicción hasta finales del siglo XXI.

	SANTANDER	MADRID	VALENCIA
TEMPERATURA MÁX 20C3M	24,33 25,08	32,46 37,92	29,39 30,36
TEMPERATURA MÁX A1B	26,61 28,66	36,84 43,71	32,58 34,49
PRECIP. ACUMULADA 20C3M	304 239,6	213 129,4	153,10 162,3
PRECIP.ACUMULADA A1B	334,6 327,9	246 159,10	197,6 162,70
PERC. 95 MÁX DIARIA 20C3M	24,93 25,90	33,02 38,56	29,93 30,76
PERC. 95 MÁX DIARIA A1B	27,43 29,22	37,92 44,00	33,30 34,6
PERC. 95 PREC. DIARIA 20C3M	14,95 15,92	12,00 10,76	21,07 16,99
PERC.95 PREC. DIARIA A1B	15,78 18,8	13,31 12,58	20,76 22,36
PRECIP. MÁX 24H 20C3M	28,6 30,10	19,7 19,1	46,3 31
PRECIP. MÁX 24H A1B	30,10 35,40	28,2 17,00	59,5 52,9
MÁX. DÍAS CONSEC. PRECIP < 1mm 20C3M	20 31	72 71	138 113
MÁX. DÍAS CONSEC. PRECIP < 1mm A1B	24 38	99 132	134 124

3.2.2. DISEÑO Y MONTAJE DEL DATALOGGER

Una vez conocidos los datos meteorológicos que han de simularse y los indicadores que se pretende cuantificar como base para una correcta caracterización de las diferentes secciones de las cubiertas vegetadas a estudiar, se considera necesario diseñar, programar y montar un datalogger al que puedan conectarse todos los sensores que se empleen, así como para almacenar los datos que dichos elementos de control proporcionen.

Para este fin, se utilizó el programa y el material de Arduino. En primer lugar fue necesario conocer el lenguaje de programación, para lo que se realizaron diferentes pruebas con diferentes placas de prototipado (y sus respectivos códigos), Figura 35.

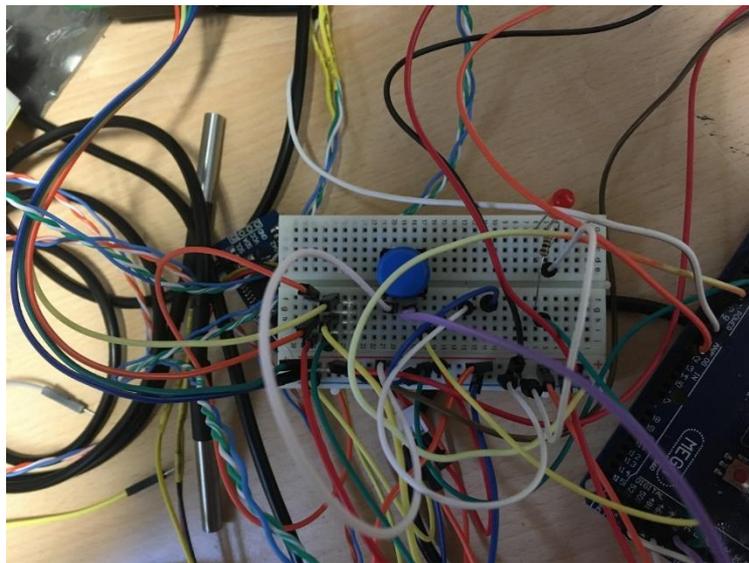


Figura 35: Placa de prototipado de prueba

Una vez dominados los aspectos principales de este lenguaje, se procedió al montaje del datalogger con el código definitivo. Mediante este código y el uso de diferentes sondas de temperatura, de humedad, de condiciones ambientales, un reloj, una pantalla y una tarjeta de memoria, se logró que, cada cierto intervalo de tiempo, el sistema almacenase los datos aportados por los elementos de control. Tanto las fichas técnicas de los elementos empleados como el código final se adjuntan como Anexo al final del trabajo.

En la Figura 36 se muestra cómo quedó el montaje con la caja eléctrica abierta (una vez colocados todos los cables), y su posición final en el contenedor diseñado para desarrollar los ensayos, Figura 37. En la interfaz del dispositivo puede observarse, en todo momento, las temperaturas de cada sección, las condiciones ambientales (temperatura y humedad), y el contenido de humedad del sustrato en las diferentes secciones de cubierta estudiadas.

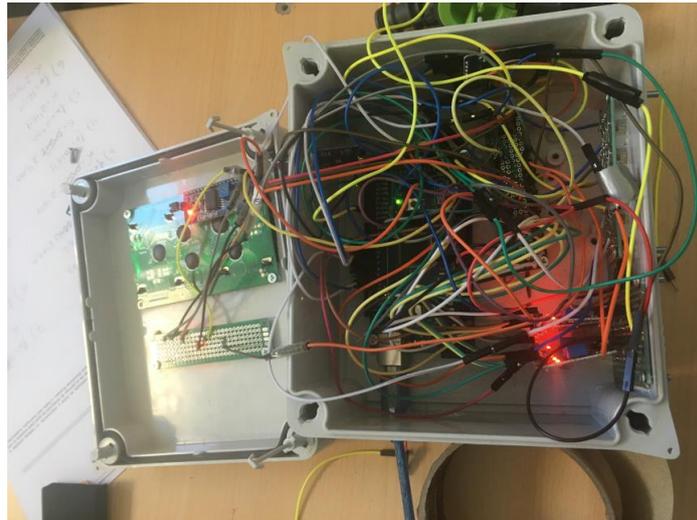


Figura 36: Imagen del interior del datalogger una vez finalizado



Figura 37: Emplazamiento definitivo del datalogger en los contenedores de ensayo

3.2.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

Con base en el Estado del Arte, se acordó la creación de tres secciones de cubierta verde diferentes a ser reproducidas el número de veces necesario para la correcta realización de todos los ensayos que son considerados. Como ya se ha referido, hay que tener en cuenta que los aspectos más limitantes fueron los referentes a las infraestructuras y espacios disponibles.

En lo que sigue, se definen los componentes de las diferentes secciones por capas. Además de los referidos a continuación, cabe destacar que en la conformación de las secciones se involucraron otros componentes, que serán descritos en el apartado correspondiente al diseño y montaje de las secciones:

- Cobertura vegetal. En las tres secciones de cubierta estuvo conformada por una composición de las especies de Sedum Album y Sedum Reflexum. Éstas fueron proporcionadas por Projar, una de las empresas contactadas en las fases anteriores.
- Sustrato: La empresa referida también fue la suministradora del sustrato empleado en las tres secciones. Éste estuvo compuesto por un 29% de materia orgánica. El resto de los componentes, teniendo en cuenta su idoneidad con las especies vegetales empleadas, fueron seleccionados con el objetivo de dotarle de mayor ligereza. Dichos materiales eran cerámica triturada, roca volcánica, arena de sílice y otros subproductos vegetales (Ver Anexo). Así, en base a la bibliografía consultada, se adoptó un espesor de sustrato de 12 cm en todas las secciones.
- Capa de filtro: Se aprovechó material geotextil caracterizado por GITECO-UC, cuyas características son compatibles con las que tienen que cumplirse en este caso.
- Capa drenante. Es en esta capa dónde se decidió crear diferencias entre las tres secciones de estudio, en base a dos argumentos principales:
 - o Por ser una de las capas más susceptibles a ser innovadas, debido a la gran variedad de nuevos materiales que se están siendo objeto de estudio, tal y como se ha referido en el Estado del Arte del presente trabajo.
 - o Diferentes empresas han facilitado su material para ser ensayado con el fin de conocer si realmente suponen un avance en la resiliencia de las cubiertas verdes frente a las acciones provocadas por el cambio climático.

Así pues, se decidió emplear tres soluciones distintas en las respectivas secciones de cubierta verde a ensayar:

- o Una formada por caucho proveniente de neumáticos fuera de uso, con una granulometría de 2-4mm.
- o Otra formada por una arcilla de una granulometría de 2-10mm, referida en este documento como Arlita (M)
- o Otra conformada también por arcilla expandida de 10-20 mm, referida en este trabajo como Arlita (L)

Con el fin de poder comparar unas secciones con las otras, en las tres secciones se adoptó un espesor de 10 cm para la capa drenante.

La Figura 38 esquematiza las tres secciones de cubierta verde estudiadas. En ella se sigue el orden expuesto anteriormente y en el que se colocan en los contenedores: primero la compuesta con NFU, la siguiente con Arlita (L) y la última con Arlita (M)

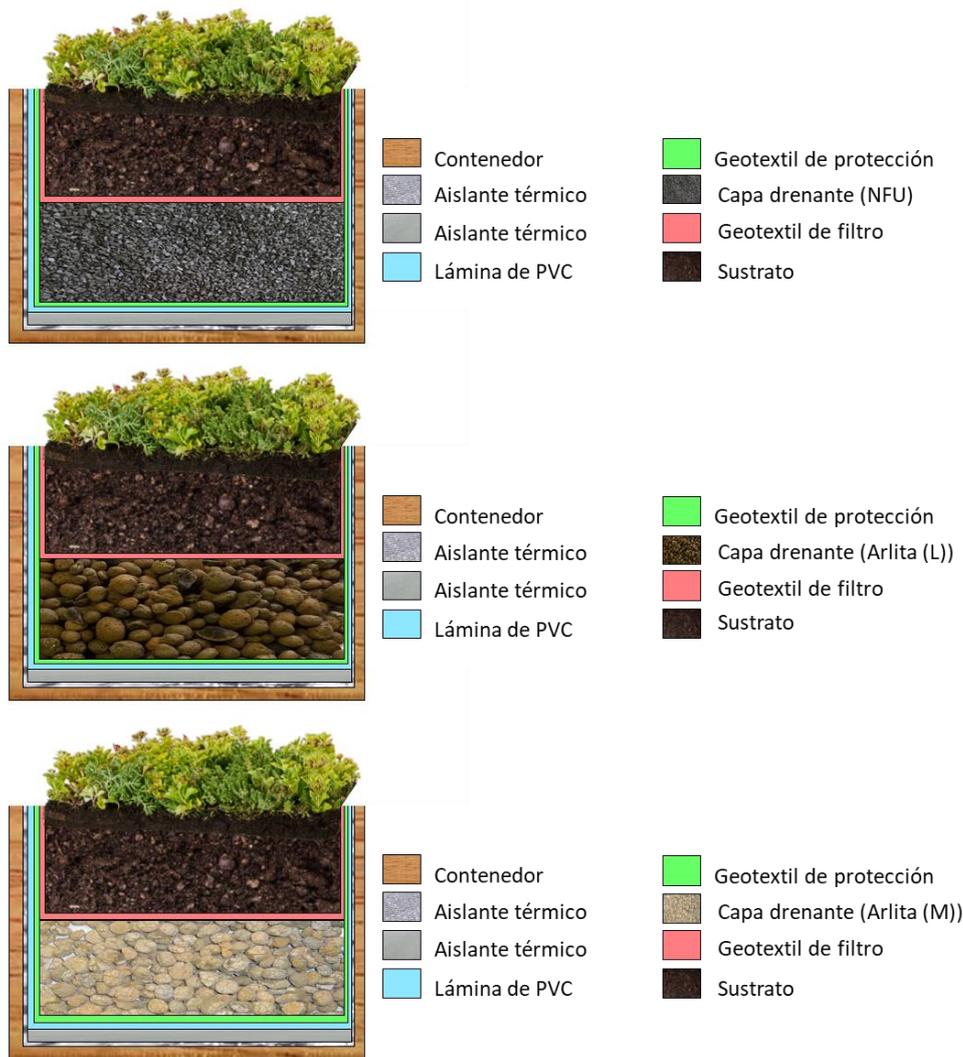


Figura 38: Esquemas de las tres secciones de cubierta verde a estudiar.

3.2.4. DISEÑO Y MONTAJE DE LAS SECCIONES

Una vez establecidos y acordados los materiales constituyentes de las secciones, se procedió a la construcción de las mismas. Para ello, fue necesario acondicionar dos contenedores de plástico en cuyo interior se alojaron cajones de madera subdivididos de tal forma que las tres secciones dispusiesen la misma área superficial y volumen. Las dimensiones adoptadas en planta fueron de 30x60 cm, en base del aprovechamiento de las dimensiones de los cajones de que se disponía en el laboratorio.

Una vez atornillados todos los tablones de madera, se aisló térmicamente en su totalidad cada uno de ellos para evitar, en la medida de lo posible, interferencias por radiación entre cajones (se supuso que en régimen estacionario la transferencia de calor por conducción entre cajones no debiera ser significativa). Dicho aislamiento fue materializado en base a un aislante reflexivo con acabado de aluminio y un espesor de 5mm, colocado según se ilustra en la Figura 39.



Figura 39: Cajón con aislante térmico colocado

Seguidamente, sobre dicho aislamiento, se colocaron láminas de PVC totalmente impermeables, Figura 40, por dos motivos principales:

- El primero, garantizar en todo momento que el agua vertida en las simulaciones de las precipitaciones se recoja en su totalidad en cada sección.
- El segundo, que el aislamiento térmico situado bajo la impermeabilización no se mojase (pudiendo afectar negativamente en el valor de su conductividad térmica y, por ende, ocasionar pérdidas de eficiencia en su desempeño). Hay que tener en cuenta que posibles filtraciones, además de afectar a la conductividad térmica del aislamiento, podrían incluso afectar a la madera componente de los cajones, produciendo en esta última cambios sustanciales de comportamiento (térmico y volumétrico) debido a la absorción de agua.



Figura 40: Colocación del aislamiento de fondo y de las láminas impermeables de PVC

Aunque en la anterior figura no puede apreciar se con nitidez, se han considerado zonas críticas todas las esquinas, en las que se reforzó la impermeabilización con solapes entre distintas láminas para asegurar una estanqueidad total.

La diferencia que sí puede observarse entre las dos figuras anteriores, es que además de la impermeabilización, se colocó en el fondo de la sección una nueva capa aislante, esta vez con el objetivo añadido de dotar de uniformidad a la base de la sección. En uno de los extremos se dejó una ranura en el que se instaló una media caña que hará las veces de colector del agua vertida en los ensayos con precipitaciones simuladas.

En la siguiente capa, se dispone de un geotextil de protección de la capa impermeable, Figura 41. Este geotextil, al igual que ocurre con el de la capa de filtro, está siendo caracterizado por GITECO-UC con lo que no tenemos datos finales acerca de sus características mecánicas, pero para asegurar que cumple con su función de proteger la capa impermeable, se empleó el geotextil más grueso. Se colocó de tal manera que cubría la sección tanto por el fondo como por los paramentos verticales laterales para además de proteger la impermeabilización, evitar el movimiento de partículas en sentido vertical y para garantizar un posterior desmontaje más sencillo (en caso de ser necesario). En la Figura 41 también se observan las sondas de temperatura que se instalaron a este nivel con la finalidad de proporcionar datos relativos a la capacidad aislante de las capas superiores.



Figura 41: Colocación del geotextil de protección y de las sondas de temperatura inferiores

A continuación se dispuso la capa drenante que, como se ha referido, era distinta para cada una de las tres secciones de cubierta estudiadas, Figura 42. El espesor adoptado en todos los casos fue de 10cm, con el fin de poder realizar una comparación de las capacidades de los distintos materiales. Puede observarse cómo la granulometría del caucho proveniente de NFUs es la más pequeña de las tres (un tamaño de 2-4mm según la información proporcionada por la empresa suministradora). También se distingue

con facilidad la diferente granulometría de la arcilla expandida empleada en las otras dos secciones, la mayor corresponde a 10-20 mm (Arlita (L)) y la de menor 2-10 (Arlita(M)).



Figura 42: Diferentes materiales para la capa drenante de las secciones

El siguiente paso fue la colocación del geotextil de malla más fina que cumpliría la función de ejercer de capa separadora, para evitar que haya mezcla de partículas, entre las capas de sustrato y de drenaje, Figura 43. Puede observarse el emplazamiento de sondas de temperatura (con coincidencia en planta con las subyacentes). La finalidad de su instalación fue el disponer de datos de las temperaturas alcanzadas en esta ainterfase.



Figura 43: Colocación de la capa de filtro y las sondas de temperaturas intermedias

Una vez colocado el filtro, se vertieron los 12cm de sustrato en las tres secciones (conviene recordar que únicamente el 29% del sustrato era materia orgánica con lo que la uniformidad en el acabado de la capa era importante de cara a uniformizar un

desarrollo comparable de la cobertura vegetal en las tres secciones de estudio. En la *Figura 45* *Figura 44* *Figura 44* puede observarse las fracciones minerales (fundamentalmente de origen cerámico) que dotan de volumen y ligereza al sustrato.



Figura 44: Imagen de las secciones con el sustrato colocado

Finalmente, para completar el montaje de las secciones, el último paso fue el trasplante de plantas de recubrimiento desde las bandejas en las que fueron suministradas a su emplazamiento final coronando las diferentes secciones, *Figura 45*. Fue muy importante colocar de forma bien distribuida el conjunto de las plantas, de forma que quedasen lo más similar posible en las secciones y así evitar la posible interferencia en los resultados alcanzados.



Figura 45: Colocación de la vegetación, sondas de temperaturas superiores y sondas de humedad

Como se puede observar en la *Figura 45*, justo debajo de la cobertura vegetal, se colocaron nuevamente sondas de temperatura, y en esta ocasión también se

dispusieron sondas de humedad para controlar su evolución en el sustrato, a lo largo de los diferentes ensayos.

Además de las construcciones de las secciones de cubierta, para el desarrollo de los ensayos fue necesaria más infraestructura.

Con el fin de simular la radiación solar de la manera más realista posible, se decidió emplear unas bombillas ya anteriormente utilizadas por GITECO-UC. El modelo empleado es la UltraVitalux de OSRAM (Ficha técnica en Anexos)

Así, para poder colocar las bombillas sobre las coberturas vegetales, se diseñó una estructura de madera apoyada sobre el contenedor plástico en el que se introdujo el cajón con las tres secciones de cubierta. Dicha estructura permitió situar las bombillas con el correspondiente cableado sobre un travesaño centrado, Figura 46. Además, con el objetivo de laminar posibles interferencias con las condiciones ambientales y con las generadas sobre cada una de las secciones, la estructura de madera fue cubierta (salvo el lado frontal) y compartimentada (para que las tres secciones estén afectadas por la acción de una única bombilla) con el mismo material empleado en el aislamiento de los cajones.



Figura 46: Colocación de la estructura de madera, bombillas y los aislamientos exteriores

Otro aspecto a tener en cuenta fue la colocación del datalogger desarrollado para la medición y almacenamiento de datos (diferentes temperaturas y humedades). Se decidió colocarlo en una esquina del contenedor para que afectase lo mínimo posible cuando haya que realizar alguna operación sobre el propio contenedor. Se colocó de tal manera que se pudiesen conectar todos los sensores dispuestos y que la extracción de la tarjeta de memoria fuese lo más sencilla posible.

Además, para los escenarios de precipitaciones y de estrés térmico (que serán explicados en apartados posteriores) en los que se realizan simulaciones de las precipitaciones extremas, se diseñó una especie de emparrillado de madera (Figura 47) que sirviese de soporte a varias tuberías provistas de goteros que, con la ayuda de un caudalímetro, eran las encargadas de distribuir el agua sobre la sección objeto de estudio. Esta agua, una vez que atravesaba toda la sección, era recogida por la media caña dispuesta en uno de sus extremos, siendo evacuada al exterior del contenedor por una tubería de salida, Figura 48. De esta forma se facilitaba la recogida del agua vertida por la sección, Figura 49, para la posterior medida de volumen / caudal.



Figura 47: Montaje final del contenedor con el simulador de lluvia y el datalogger en su posición final



Figura 48: Detalle de la media caña interior y tuberías de salida al exterior para la recogida de agua



Figura 49: Ilustración de las tuberías exteriores y los recipientes que sirven para tarar para detectar la precipitación acumulada

Por último, con la finalidad de introducir una pendiente del 5% (recomendada para las cubiertas verdes extensivas) que facilitase la evacuación de las aguas (función satisfecha in situ por la capa de formación de pendientes) se dotó de una pequeña inclinación al contenedor mediante la disposición de unos listones de madera en la arista opuesta al emplazamiento de las medias cañas.

3.3. DEFINICIÓN Y PLAN DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Por ser común a todos los escenarios a simular, cabe referir que para recrear la luz solar sobre cada sección se dispuso una bombilla Ultra Vitalux de OSRAM. Como se ha comentado anteriormente, este tipo de bombillas ya habían sido utilizadas en diferentes proyectos del grupo GITECO-UC, por lo que se conocía previamente su adecuada funcionalidad.

Como ya se ha referido, para colocar dichas bombillas se diseñó y construyó una estructura de madera que, apoyada en el contenedor, permitiera colgar de manera adecuada las bombillas encima de las diferentes secciones.

3.3.1. ESCENARIO 1. SEQUÍA

Como se ha comentado en apartados anteriores, el primero de los escenarios objetivo de este trabajo era observar y analizar el comportamiento de las diferentes secciones de cubierta verde construidas ante un escenario extremo de sequía. Si bien es cierto que la cobertura vegetal es la misma en todas las secciones, deberá observarse si la diferencia en cuanto a la capa drenante es relevante o si hay algún comportamiento que pueda atribuirse a dicha diferencia.

Según las predicciones meteorológicas con las que se ha trabajado, las plantas tendrían que ser capaces de aguantar un total de 134 días sin ningún aporte externo de agua (entendiendo que se busca el mantenimiento más bajo posible). Además, y aunque se presupone que el control de la temperatura a la que están sometidas las secciones no puede controlarse de manera exacta (debido a que los ensayos no se realizaron en una atmósfera controlada con la incertidumbre que ello puede suponer), se intentó que la temperatura alcanzada en las secciones fuese cercana al percentil 95 de la temperatura máxima predicha para este siglo XXI (alrededor de los 40°C). Para conseguirlo, se realizaron diferentes pruebas con diferentes distancias entre la cobertura vegetal y la bombilla, fijando finalmente la misma en aproximadamente 40 cm (es conveniente recordar que no pueden acercarse las bombillas en demasía para que éstas no abrasen la plantas, efecto que desvirtuaría por completo el estudio).

El escenario de sequía simplemente consistió en realizar un aporte de agua sobre las coberturas vegetales y comenzar su exposición, al igual que en el resto de escenarios, a 12 horas de luz y 12 horas sin luz para simular el ciclo de luz de un día.

Periódicamente, se realizaron fotografías y se recogían los datos almacenados en el datalogger para su posterior análisis.

3.3.2. ESCENARIO 2. PRECIPITACIONES EXTREMAS

Otra de las consecuencias más importantes que el cambio climático prevé es el antagónico a la sequía: el aumento de periodos húmedos y de precipitaciones extremas.

En este escenario también se colocarán bombillas sobre las secciones con el fin de simular correctamente la exposición solar a las que pueden llegar a estas sometidas este tipo de cubiertas (ciclos de 12 horas de luz / no luz).

Al realizar el estudio de las predicciones meteorológicas proporcionadas por AEMET puede observarse que la precipitación máxima acumulada en un mes asciende a 334mm, mientras que la **precipitación máxima diaria corresponde a 60mm** (60 l/m²). Como el área de cada sección es de aproximadamente 0,2 m², en la precipitación simulada se deberán verter 12 litros en cada una de las secciones.

Una vez analizadas las máximas intensidades de lluvia sufridas en España, y con las opciones que ofrece el caudalímetro del que se dispone, se decidió no realizar todas las simulaciones con la misma intensidad, para comprobar el comportamiento de las tres secciones frente a diferentes intensidades.

Las intensidades seleccionadas son: 1l/min, 2l/min y 4l/min.

Así, para cada intensidad corresponde una **duración de la simulación de 12, 6 y 3 minutos** respectivamente.

Además, para garantizar las peores condiciones posibles (y así mismo, garantizar que las condiciones iniciales para cada ensayo son las mismas), todas las simulaciones de este escenario se realizaron con las secciones previamente saturadas. Con el fin de asegurar que las condiciones de saturación fuesen las mismas, se decidió precipitar 60mm cada vez que fuese necesario generar la saturación.

Como el estudio no sólo busca el comportamiento durante los eventos extremos, sino que también busca conocer cómo se recupera la sección una vez sufrido el evento (concepto de resiliencia), se diseñaron 3 tandas de precipitaciones de la siguiente manera, teniendo en cuenta que en cada tanda se simulaban las tres intensidades explicadas en los párrafos anteriores:

- TANDA 1: en esta tanda se busca el peor escenario posible, en el que la saturación previa vaya seguida de la simulación de la precipitación (asegurándonos eso sí, que por la tubería de drenaje no sale agua para no distorsionar los datos recogidos durante y después de la simulación). Es decir, se busca que el tiempo que transcurre entre dos eventos consecutivos sea el menor posible, para que las secciones no dispongan de la posibilidad de recuperar sus condiciones iniciales.
- TANDA 2: en esta ocasión, entre la saturación de las secciones y la precipitación simulada se deja un periodo más largo, que pudiera permitir una recuperación (por

pequeña que fuera) de las secciones diseñadas. Se busca conocer si ese tiempo que se deja entre eventos hace variar los resultados o es una variable con cierta independencia, sin consecuencias directas en los resultados.

Una vez concluidas estas dos tandas, en las que sólo en precipitaciones simuladas se habrían aportado 360 mm de agua a cada sección, se decidió dejar una semana de recuperación antes de realizar la última tanda. De esta forma, se podría observar si existe recuperación, principalmente de la cobertura vegetal y capa drenante, o, por el contrario, estas secciones carecen de resiliencia alguna.

- TANDA 3: además de dejar el periodo de recuperación referido en el párrafo anterior, se decide alargar el tiempo que transcurre entre la saturación del terreno y las precipitaciones simuladas. De hecho, en esta tanda, las propias simulaciones sirven como ejercicio de saturación de cara a la precipitación posterior. Obviamente, a la primera intensidad simulada sí que le corresponderá una saturación previa (del mismo volumen de agua).

ASPECTO	TANDA 1	TANDA 2	TANDA 3
Ensayos realizados	3	3	3
Tiempo entre saturación y ensayo	Inmediato	6 horas	No existe saturación adicional
Tiempo entre ensayos consecutivos	6 horas	24 horas	60 horas

Tanto en este escenario como en cualquiera que precise del estudio de la evolución del drenaje de las secciones, las medidas de agua que salen por las tuberías se realiza manualmente. Se disponen dos envases para cada sección (previamente tarados) y alternando dichos recipientes y siendo pesados en cada fase, se obtiene la curva del agua evacuada por cada una de las estructuras.

3.3.3. ESCENARIO 3. ESTRÉS TÉRMICO

En este último escenario se busca combinar los dos escenarios anteriores, aumentando las condiciones extremas que tendrán que sufrir las secciones.

La idea es aumentar el rango de temperaturas que se ha conseguido en el escenario de sequía. Para aumentar la temperatura máxima se cierra (también con aislante térmico)

la parte frontal de los contenedores en los que están dispuestos los cajones, con la intención de provocar un incremento térmico.

Por otro lado, y para disminuir la temperatura mínima del rango, se acuerda simular periódicamente precipitaciones como las del segundo escenario (únicamente la de la intensidad media, de 2l/min). Además, estas simulaciones aportan información añadida de la evolución del comportamiento de los distintos materiales que conforman las cubiertas, ya que también se recogerá la evolución del agua drenada por la sección.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESCENARIO 1. SEQUÍA

A continuación, se exponen las gráficas obtenidas de los datos recogidos por el datalogger.

En cada gráfica, se establece en el título la información que se ofrece, detallando en la leyenda los parámetros de control.

Para evitar distorsionar demasiado los gráficos (dado que ocupan demasiado espacio) y para poder observar fácilmente cada ciclo diario, en las gráficas correspondientes a este escenario se evita poner etiquetas en el eje horizontal.

Además, se ofrece una explicación de los datos obtenidos para cada grupo de gráficas, con el fin de esclarecer su contenido

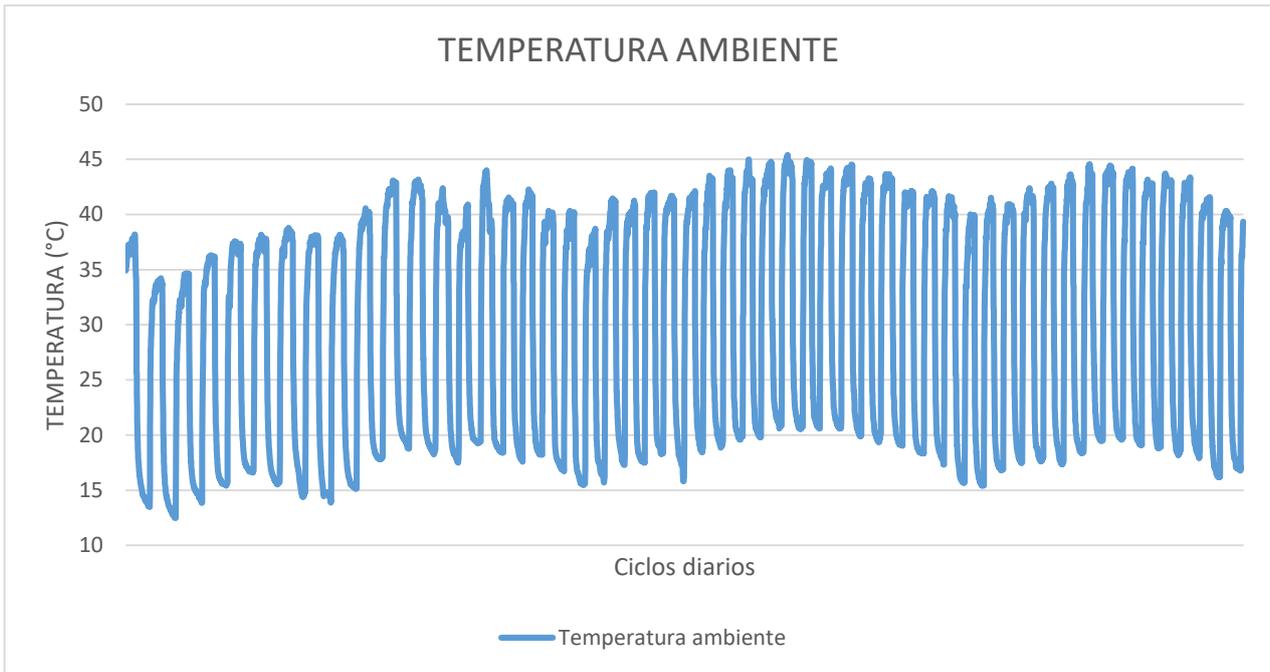
4.1.1. CONDICIONES AMBIENTALES

En las siguientes gráficas, se muestran los datos referentes a temperatura y humedad ambiente. En la Gráfica 1 se observa cómo la temperatura ambiente crece en la primera parte del ensayo, hasta alcanzar los 45°, temperatura que no se supera a lo largo de la duración del mismo. Es natural pensar que el incremento de temperatura en esos primeros días se deba a la acumulación de calor desprendida por las bombillas. Obviamente, también influye la temperatura ambiente general de la nave donde se realizan los ensayos, y de ahí que se produzcan variaciones, aunque una vez alcanzada la temperatura máxima, siempre dentro de un rango de 5°, entre los 40° y los 45°.

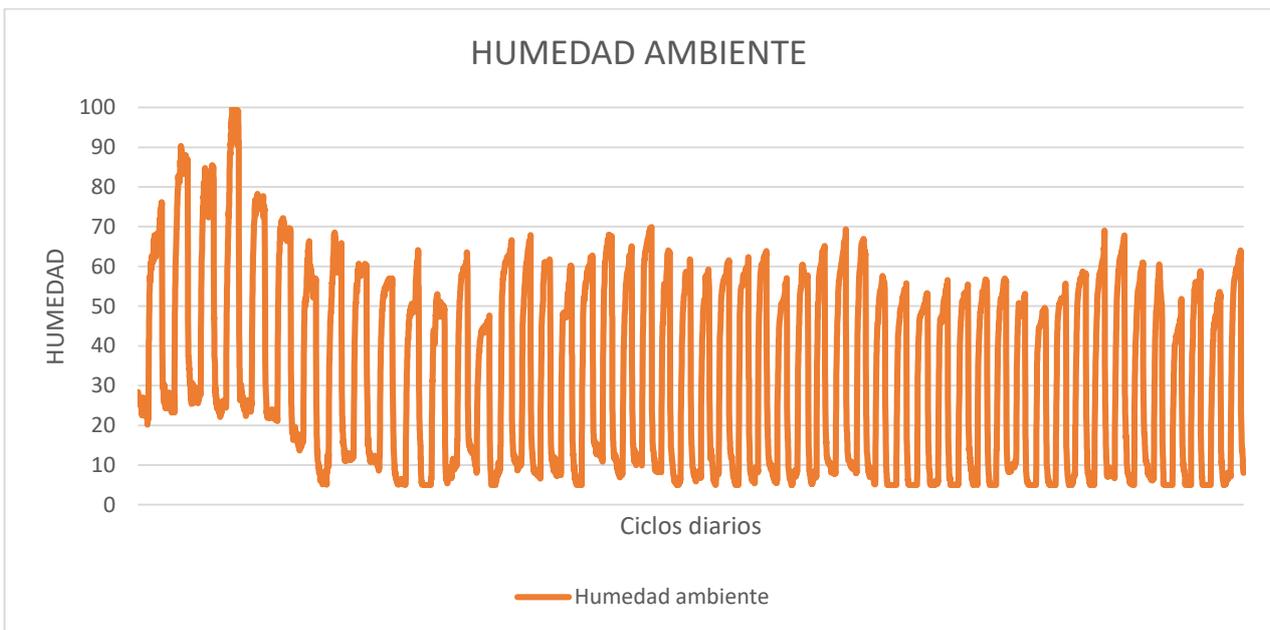
En el caso de la humedad, en la Gráfica 2 se observa claramente la influencia de la precipitación que da comienzo al ensayo en los datos registrados. En los primeros días, la humedad ambiente varía entre el 80% y el 100%, mientras que, pasados dichos primeros días, el valor máximo alcanzado es del 70%, estando siempre por encima del 50%. Esta bajada, se debe obviamente al efecto producido por la simulación de la radiación solar mediante las bombillas, y las variaciones existentes una vez reducido el valor de los primeros días de ensayo podrían atribuirse a las condiciones climáticas del entorno.

En la siguiente gráfica (Gráfica 3), y última de este bloque, se expone la comparativa entre la temperatura ambiente y las temperaturas registradas a nivel de las coberturas vegetales. Se pueden diferenciar dos zonas del gráfico: en la primera, indicada en color rojo y correspondiente a los días iniciales del ensayo, la temperatura ambiente es entre 6 y 9 grados superior a las temperaturas medidas en las coberturas vegetales, mientras que, en la zona resaltada con la forma de color azul, se observa cómo se invierte dicho intervalo, siendo la temperatura en el nivel superior de las cubiertas unos 7 grados mayores a las registradas a nivel ambiente. Este efecto se puede deber a diferentes motivos:

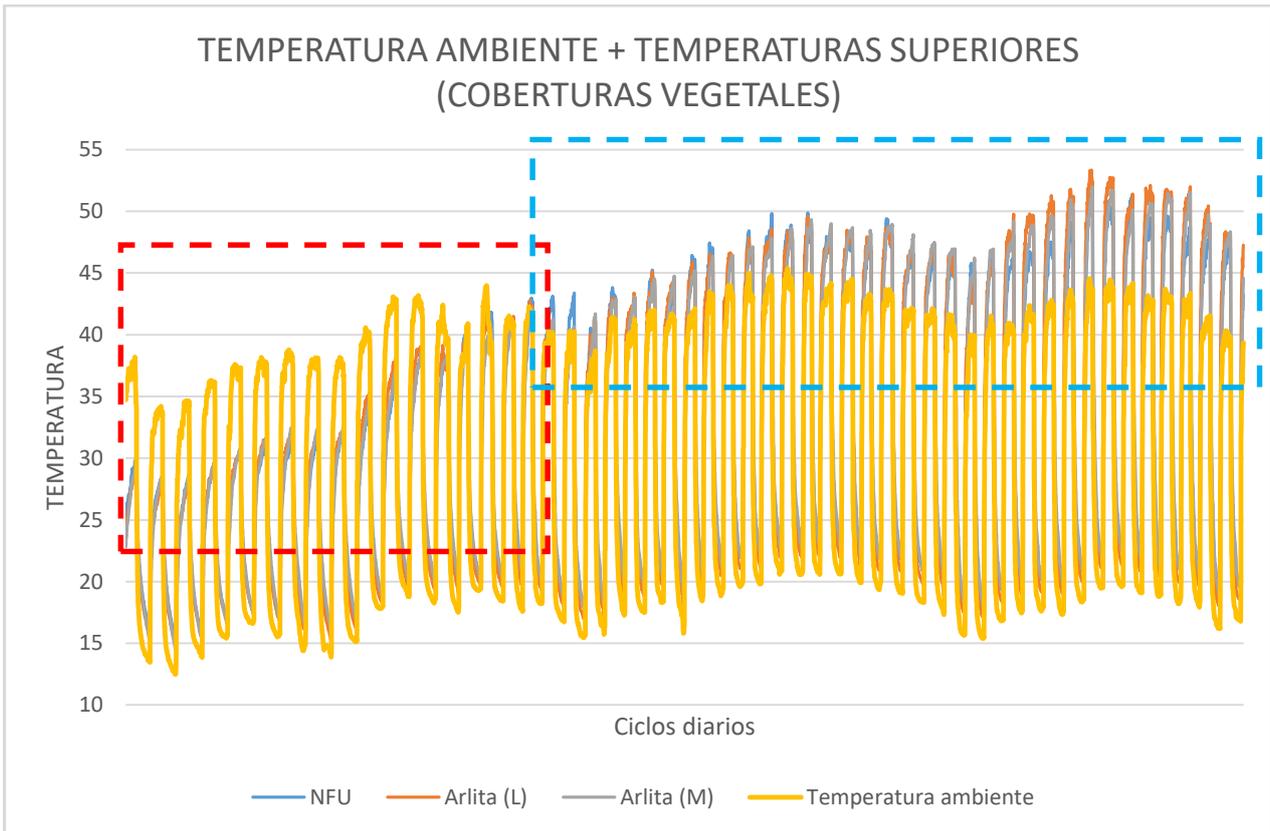
- La precipitación encargada de dar comienzo al ensayo, hace descender la temperatura en la superficie sobre la que cae. Una vez evaporado el contenido de humedad aportado por la precipitación, explicado en el párrafo anterior con la Gráfica 2, la temperatura en las coberturas vegetales se incrementa de manera más notoria que en los primeros días
- La cobertura vegetal va almacenando calor que no es capaz de disipar durante el tiempo en el que las bombillas permanecen apagadas.



Gráfica 1: Temperatura ambiente



Gráfica 2: Humedad ambiente



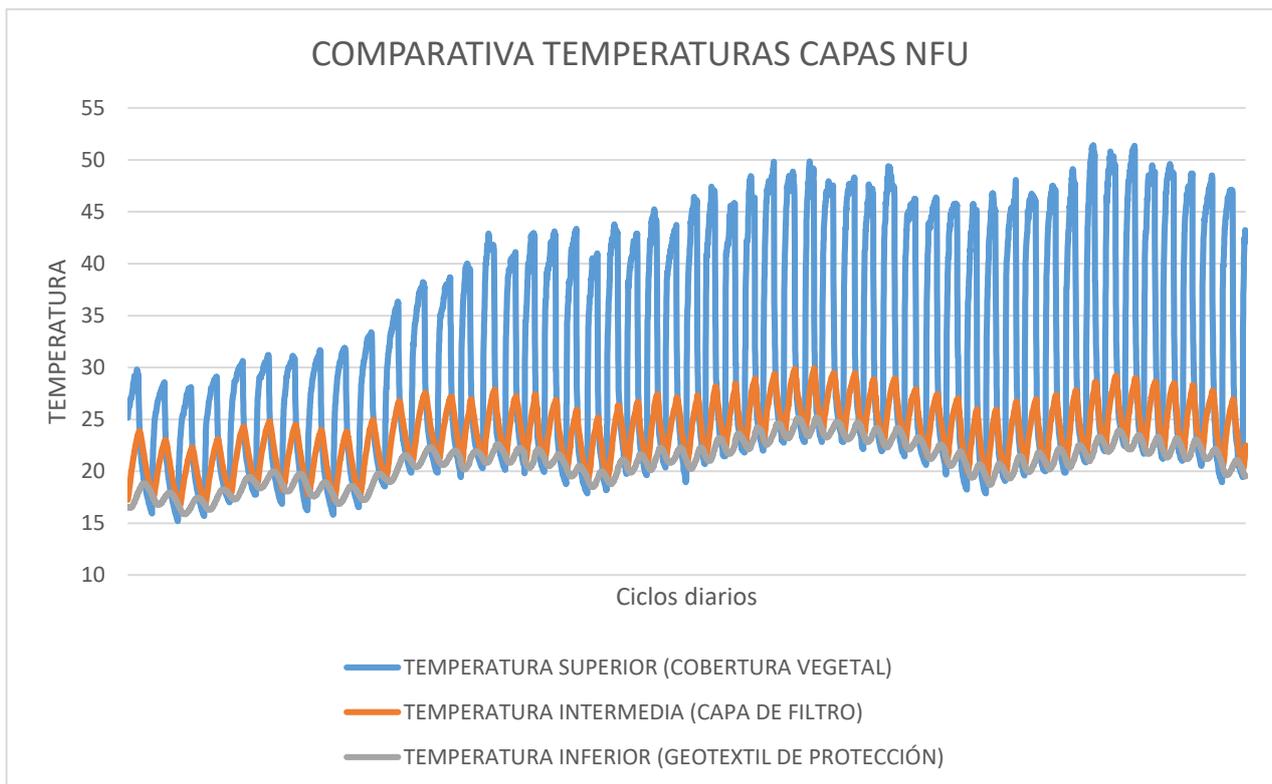
Gráfica 3: Temperatura ambiente + temperaturas superiores (coberturas vegetales)

4.1.2. COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE CAPAS

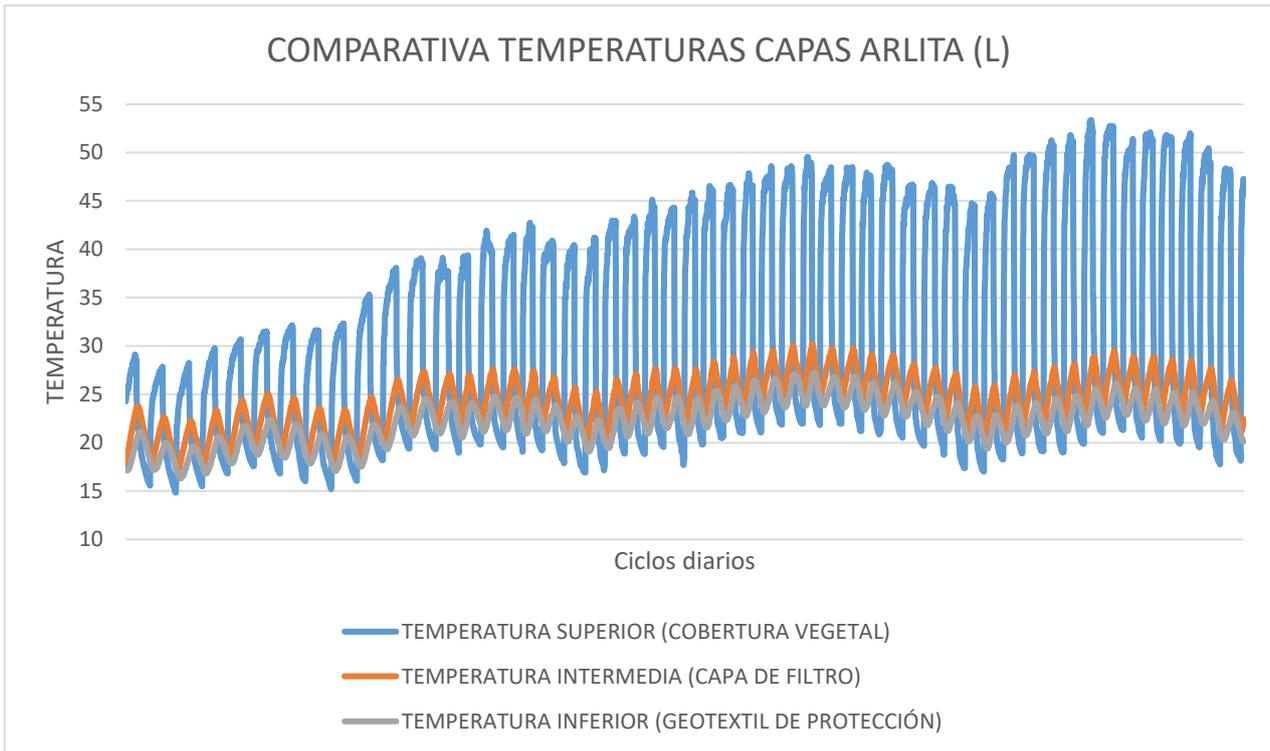
En el siguiente bloque, se analizan las diferencias existentes en cuanto a las temperaturas de las distintas capas de cada sección.

En la Gráfica 6, correspondientes a la sección del tamaño menor de Arlita (M), se refleja que en todo momento la temperatura de la capa superior es mayor a la de la capa intermedia, siendo ésta a su vez superior a la de la capa inferior.

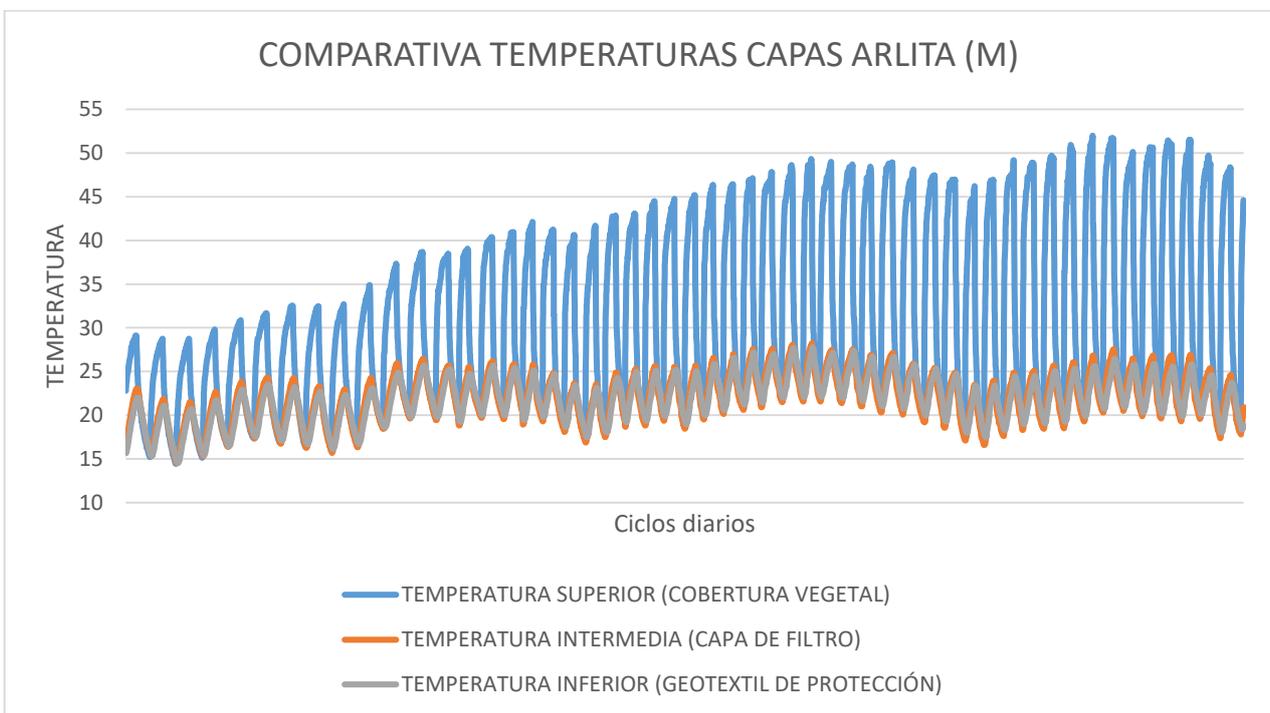
En la Gráfica 4, correspondiente a la sección con caucho reciclado (NFU), se observa cómo en los momentos de temperaturas mínimas, por las noches, la temperatura de la capa superior desciende a niveles similares, incluso algo por debajo, a los existentes en la capa inferior. Sin embargo, es en la Gráfica 5, correspondiente al tamaño mayor de Arlita (L), donde puede observarse la amplificación de ese comportamiento: la temperatura de la cobertura vegetal es hasta 3°C menor que la temperatura alcanzada en el extremo inferior de la sección. La causa de dicho comportamiento podría ser la mayor porosidad de la Arlita (L), la cual permite que la parte inferior de las secciones reciban más radiación, que no disipan del todo en los ciclos nocturnos.



Gráfica 4: Comparativa temperaturas capas NFU



Gráfica 5: Comparativa temperaturas capas Arlita (L)



Gráfica 6: Comparativa temperaturas capas Arlita (M)

4.1.3. COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE SECCIONES

En esta sección, se muestra la comparativa de las temperaturas en los diferentes niveles de las tres secciones.

En lo correspondiente a las coberturas vegetales, Gráfica 7, se observa que no existen variaciones significativas entre las distintas secciones. Este resultado, además de ser esperado, demuestra que las condiciones iniciales para cada sección, en lo que a colocación de las bombillas e instalación de la capa vegetal se refiere, son iguales para los tres casos de estudio.

Algo similar ocurre con lo representado en la Gráfica 8, referente a las temperaturas a nivel de capa filtrante. La temperatura en las tres secciones es bastante similar, si bien las correspondientes a los materiales de menor tamaño (NFU y Arlita (M)) son algo inferiores a las del mayor tamaño de Arlita.

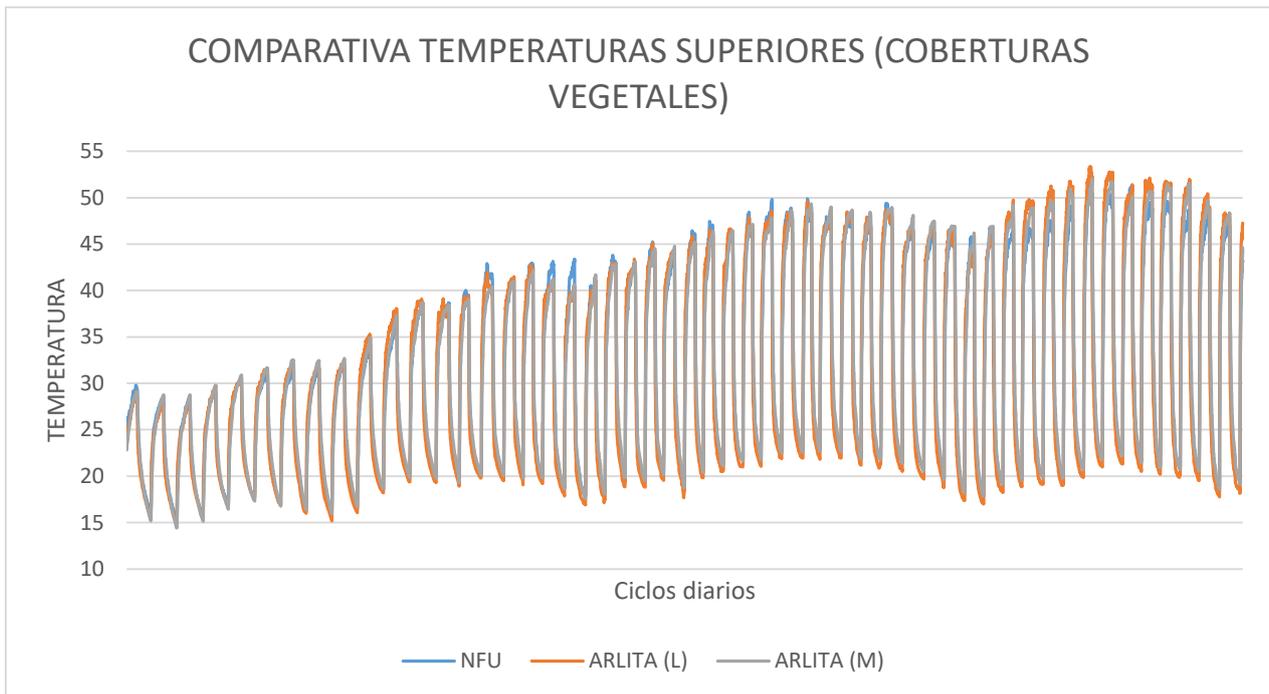
Sin embargo, en lo relativo a las temperaturas a nivel de impermeabilización, una vez “atravesada” la capa drenante, sí se encuentran diferencias, como consecuencia del empleo de distintos materiales en cada sección. Puede observarse, Gráfica 9, cómo las variaciones térmicas en la sección que contiene caucho reciclado (NFU) son mucho menores que en el resto de secciones, siendo la de Arlita (M), la que más variación ostenta en cada ciclo diario.

Por último, se cree conveniente analizar explícitamente el aislamiento proporcionado por la capa drenante ya que, más allá de que las temperaturas absolutas son importantes, es la diferencia relativa entre los puntos extremos de la capa de drenaje la que nos puede permitir caracterizar de forma más adecuada el comportamiento de cada material en este escenario Gráfica 10 Así, resulta muy interesante el apreciar que cada material se comporta de forma diferente, tal y como se explica a continuación:

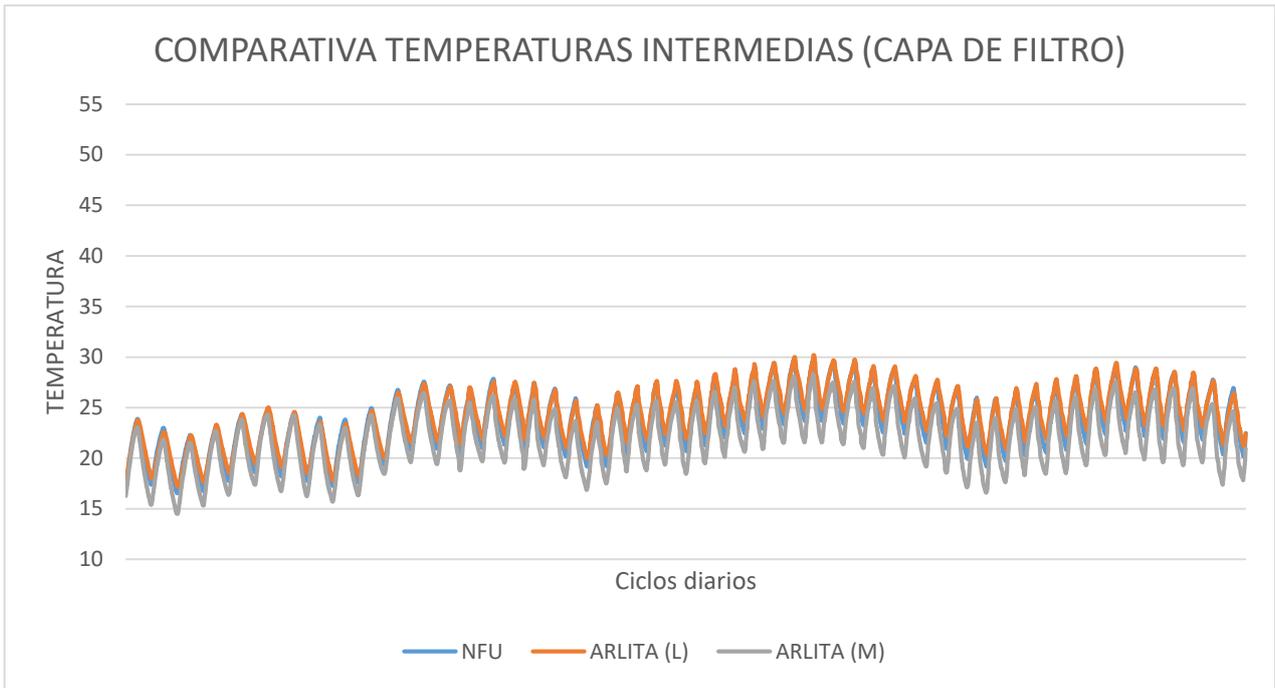
- La sección correspondiente al caucho reciclado (NFU) es la que, en términos absolutos, mayor aislamiento confiere, con un rango de 6°C, ya que la diferencia de temperaturas entre capas es de hasta 6°C en los momentos de temperaturas más altas y sin apenas diferencia entre los extremos de la capa drenante en los momentos de temperaturas mínimas (dentro de cada ciclo)
- El tamaño menor de Arlita (M), sin embargo, otorga unas diferencias de temperaturas con un rango de 3°C, pero la distribución de este aislamiento es muy interesante ya que durante el día sí que disminuye la temperatura en sentido descendente en la sección en 1-2°C, pero por las noches, la temperatura en la capa inferior es 1-2°C superior a la registrada a nivel de la capa filtrante, es decir, el aislamiento se produce en sentido inverso.
- La sección de Arlita (L), ofrece un comportamiento intermedio entre las anteriores: ofrece un rango de aislamiento similar al de Arlita (M), pero al igual que en el caso del caucho reciclado, dicho aislamiento siempre se registra en sentido descendente,

siendo en todo momento la temperatura de la capa filtrante superior a la de la capa impermeabilizadora.

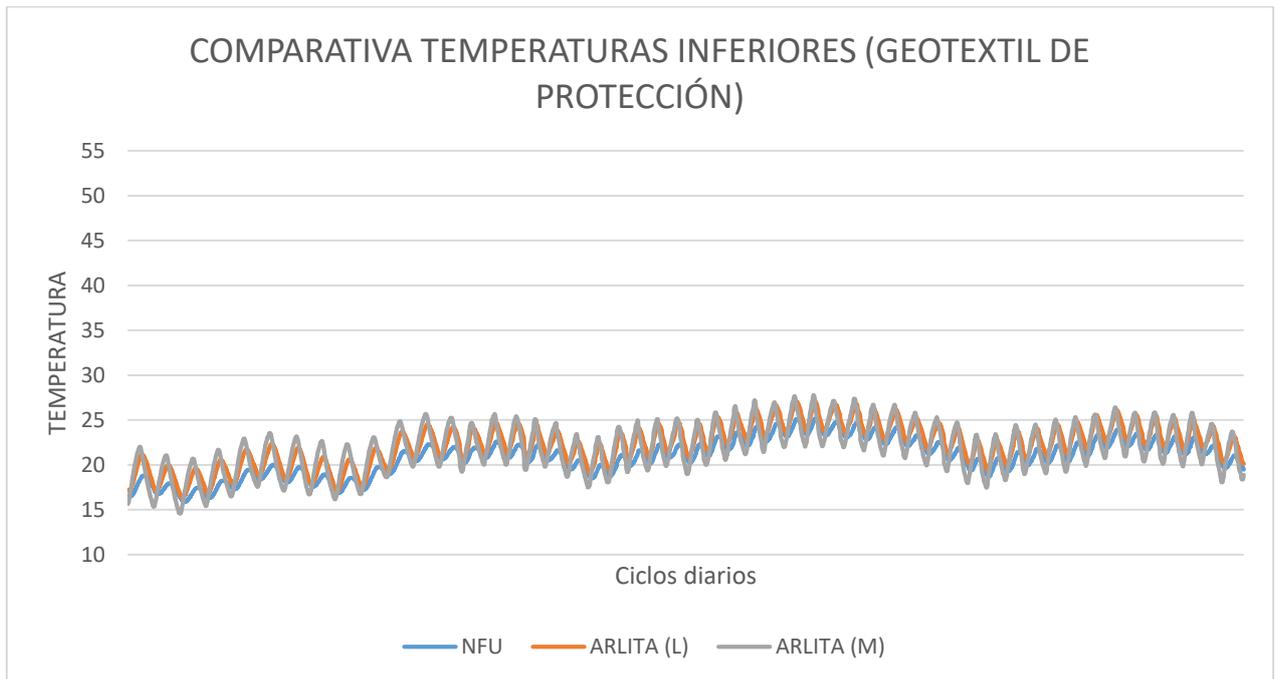
Este comportamiento se puede deber a la capacidad (potenciada por su color negro) del caucho para absorber calor, evitando en mayor medida el paso de la radiación hacia las capas inferiores, mientras que la Arlita, aunque también absorbe parte del calor, permite el paso del calor hacia el interior de las secciones, ocasionando esas diferencias menores entre capas, siendo en los ciclos nocturnos superiores en la parte inferior.



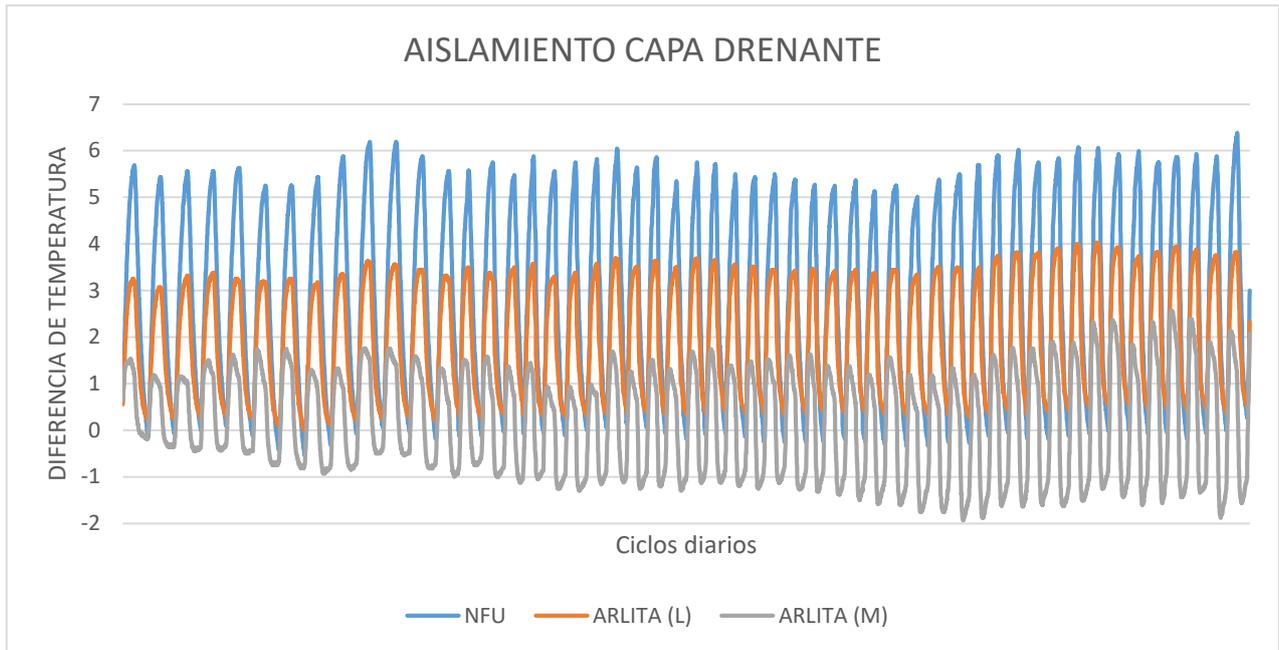
Gráfica 7: Comparativa temperaturas superiores (coberturas vegetales)



Gráfica 8: Comparativa temperaturas intermedias (capa de filtro)



Gráfica 9: Comparativa temperaturas inferiores (geotextil de protección)



Gráfica 10: Aislamiento capa drenante (diferencia entre temperaturas intermedias e inf.)

4.1.4. CÁMARA TERMOGRÁFICA

Además, para sustentar los datos obtenidos mediante el conjunto de sondas del que se ha dispuesto, se ha empleado una cámara termográfica. A continuación, se muestran imágenes previas al encendido de las bombillas, cuando las bombillas llevan un periodo corto de tiempo encendidas, y cuando se alcanza la máxima temperatura, respectivamente.

Así, puede observarse que la temperatura previa al encendido de la parte superior de las secciones es de 20° aproximadamente (Figura 50). Una vez encendidas las bombillas, Figura 51, y después de un periodo corto de tiempo (media hora aproximadamente), puede observarse cómo la temperatura se incrementa hasta los 30°. La última imagen, corresponde al momento en el que en teoría se alcanza la mayor temperatura, poco antes de que las bombillas se apaguen, en el que hay puntos que alcanzan temperaturas superiores a los 50°. Este último dato, sirve como comprobación a las gráficas anteriores en las que se observa como las temperaturas máximas alcanzaban valores de hasta 55°.

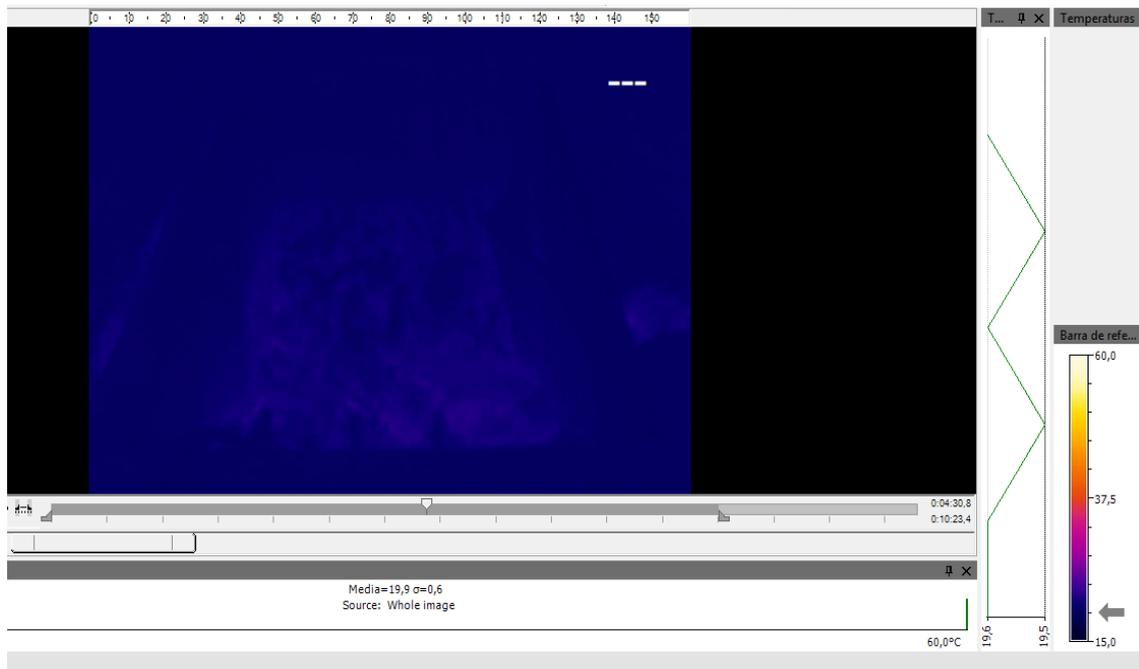


Figura 50: Imagen termográfica previa al encendido de las bombillas

ANÁLISIS TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LA RESILIENCIA DE CUBIERTAS VERDES FRENTE A VARIOS EFECTOS DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

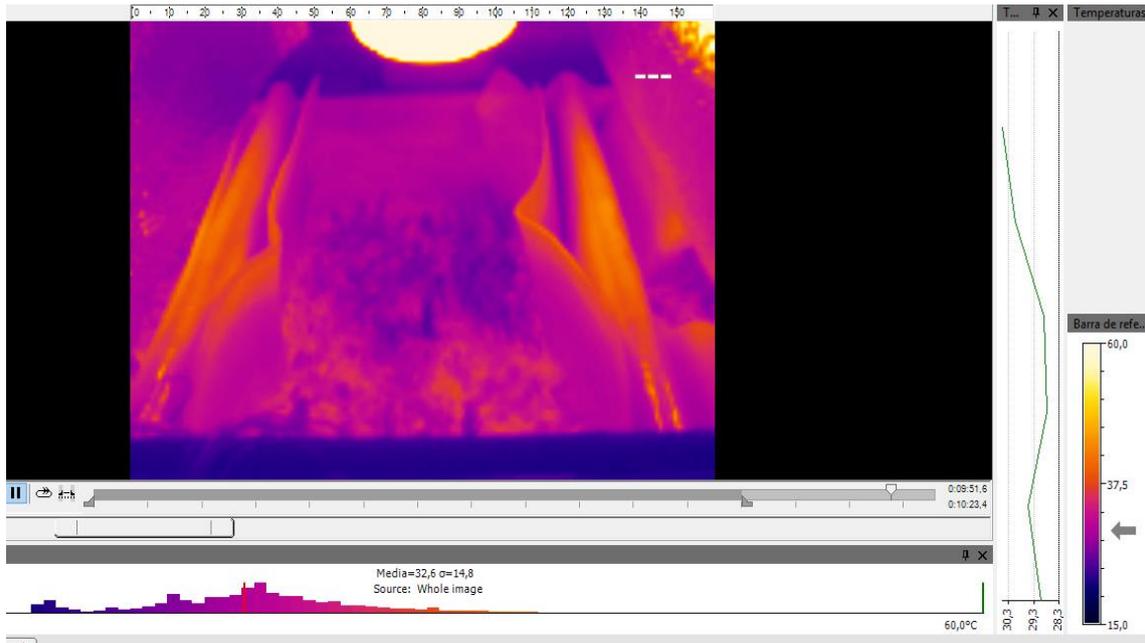


Figura 51: Imagen termográfica durante el encendido de las bombillas

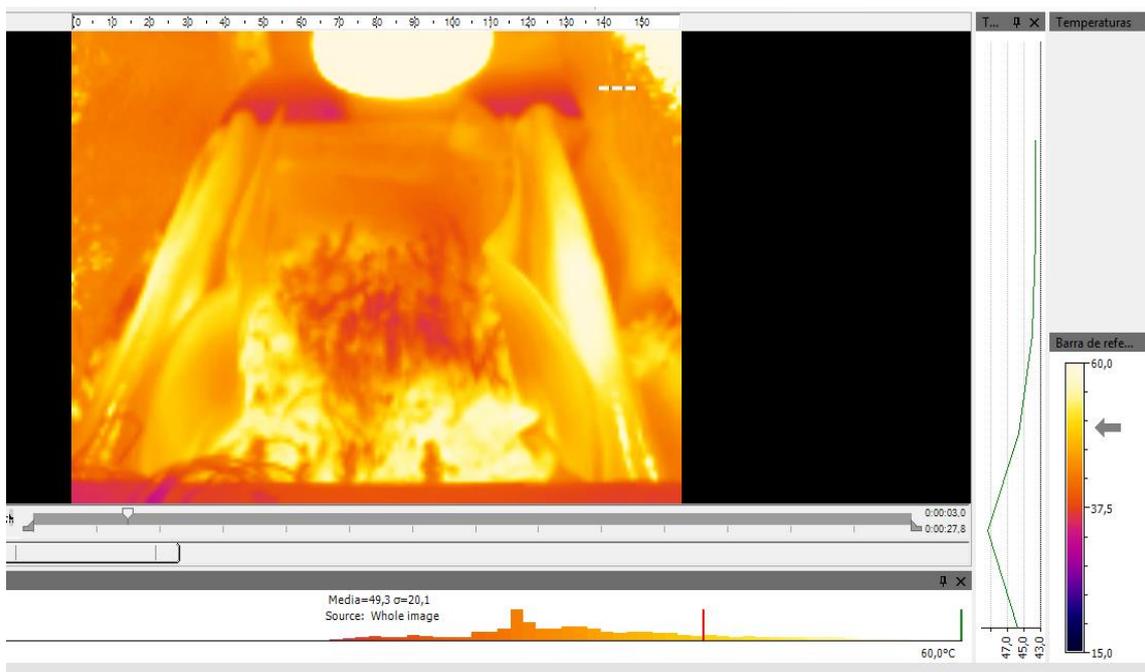


Figura 52: Imagen termográfica posterior al encendido de las bombilla

4.1.5. RESUMEN ESCENARIO SEQUÍA

Aunque ya se ha ido comentando con las correspondientes gráficas, a continuación, se muestran las principales ideas extraídas del primer escenario:

- Con las condiciones iniciales, en las que las plantas se encuentran en perfecto estado, se demuestra que, a nivel de cobertura vegetal, la temperatura es menor que la temperatura ambiente, pudiendo asociar este resultado a una reducción del efecto isla de calor. Sin embargo, y con el paso de los días, se ha observado un cambio en la dinámica, ocasionando el efecto justo contrario, es decir, que la temperatura sea superior en las capas vegetales que a nivel ambiente. El hecho de simular la radiación solar con 12 horas de bombillas encendidas puede haber distorsionado un poco el resultado, ya que en la realidad las plantas sí que reciben 12 horas (incluso 18 en la época estival) de luz solar pero la intensidad de la radiación que provoca las temperaturas máximas no se alarga tanto tiempo cada día.
- Entre las diferentes secciones se advierte un comportamiento similar en cuanto a las temperaturas de la capa superior y la temperatura registrada en la capa filtrante. Es lógico, dado que las especies vegetales y el sustrato empleados son los mismos en todas ellas.
- Sin embargo, sí varía el comportamiento relativo a la temperatura registrada a nivel de impermeabilización, y consecuentemente en lo relativo al aislamiento ocasionado por la capa drenante. Así, el caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso, es la que más aislamiento produce, siendo siempre inferior la temperatura a nivel de impermeabilización que en la capa filtrante. En cambio, la Arlita (M) ofrece un menor aislamiento en términos absolutos, pero presenta un comportamiento diferente ya que en la parte de los ciclos diarios en los que las bombillas permanecen apagadas, la temperatura en la capa filtrante es inferior a la registrada en la impermeabilización. El tercer material, Arlita (L), se comporta de manera intermedia entre los anteriores materiales ya que ofrece un aislamiento similar al que provoca el otro tamaño de Arlita en términos absolutos, pero al igual que ocurre con el caucho, en todo momento el valor registrado en la capa de PVC es menor que en el geotextil
- Las imágenes de la cámara termográfica corroboran lo expuesto en este apartado en lo referente a lo rápido que se alcanza una temperatura elevada con las bombillas, ya que se observa cómo instantes después del encendido de las mismas se alcanza una temperatura de 40°C. Por otro lado, amparan los resultados obtenidos mediante las sondas, de una manera visual y directa.

4.2. PRECIPITACIONES

Análogamente a lo realizado con los resultados del escenario de sequía, a continuación, se muestran gráficas obtenidas de los datos registrados por el datalogger, así como imágenes captadas con una cámara termográfica.

Además, en el caso de los diferentes ensayos de simulación de precipitaciones, se recogen las curvas obtenidas. Frente al tiempo, se muestra la evolución de la acumulación de la fracción de precipitación drenada. Cada gráfica dispone de un título que explicita el ensayo y la tanda a la que corresponde (convenientemente explicado en el apartado del diseño de los ensayos).

Es conveniente destacar, cómo para cada ensayo, se muestran dos gráficas. La primera corresponde a la evolución de la duración completa del ensayo (120 minutos para cada uno) mientras que la segunda gráfica muestra los primeros 20 minutos de los mismos, en los que realmente se aprecia una mayor diferencia de información entre las distintas secciones.

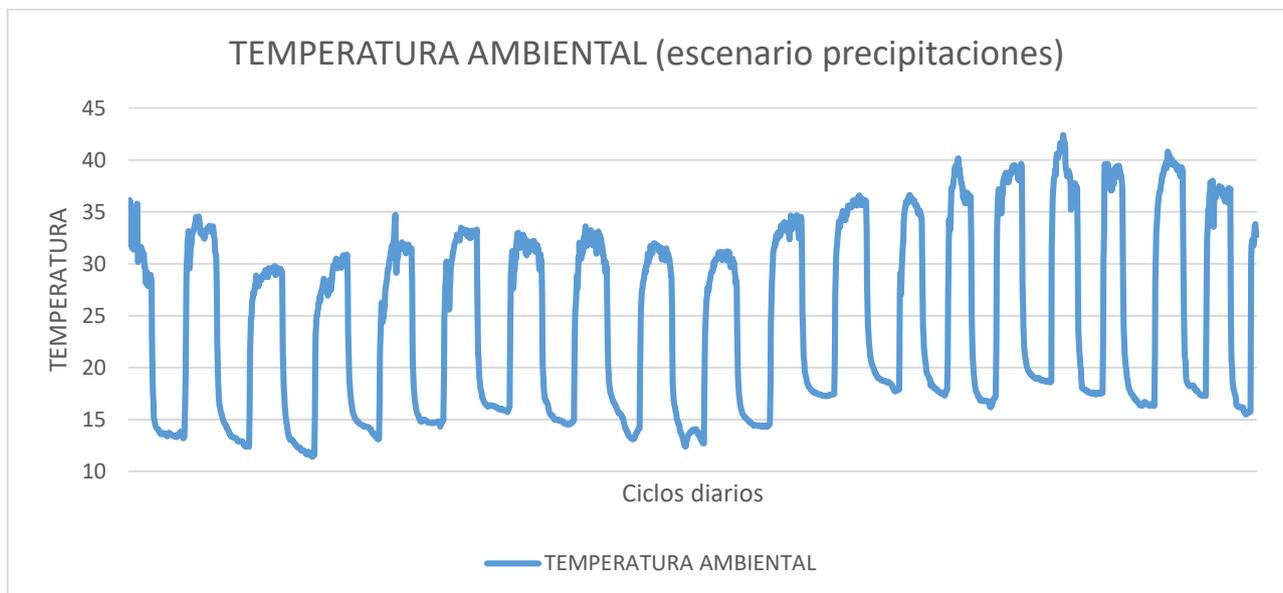
De la misma manera a que se ha realizado en el escenario ya presentado de sequía, cada gráfica o grupo de gráficas irá precedida del análisis y la información correspondiente para la correcta interpretación de las mismas.

4.2.1. CONDICIONES AMBIENTALES

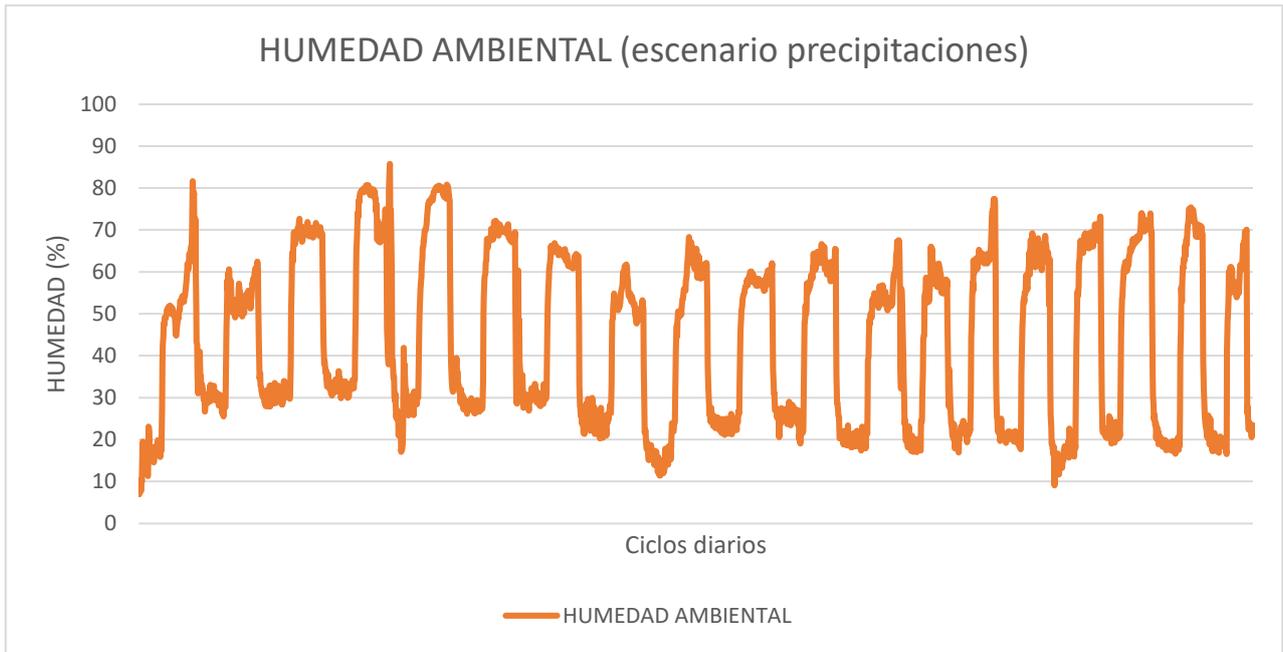
En primer lugar, se muestran las evoluciones de la temperatura y la humedad ambiente a lo largo de todo el escenario. Se ha evitado colocar etiquetas en el eje horizontal para no distorsionar la información realmente importante, pero cada ciclo que se observa (un pico máximo y otro mínimo) corresponde a un día natural.

En cuanto a la temperatura, Gráfica 11, se observa que, tal y como ocurría en el primer escenario, es superior en la parte final del ensayo, fruto de la acumulación de calor existente sobre las secciones. Sin embargo, el valor máximo alcanzado es de aproximadamente 42°C, inferior al registrado en el escenario de sequía. Además, las temperaturas máximas rondan en la inmensa mayoría del ensayo los 40°C mientras en el anterior caso, ascendían hasta los 45°C. Algo similar, ocurre con las temperaturas mínimas, aunque las diferencias con el anterior escenario no son tan pronunciadas, quedando en ambos escenarios dicho valor mínimo entorno a los 15°C.

En cuanto a la humedad ambiente, Gráfica 12, a lo largo del escenario, los valores máximos obtenidos en cada ciclo oscilan entre el 60 y el 80%, llegando a ser hasta del 90% en los primeros días. Mientras que en el escenario de sequía se advertía una lógica en cuanto a que la humedad fuera máxima con el aporte externo de agua, en esta ocasión, y siguiendo la misma lógica, no puede explicarse el por qué con tantas simulaciones de lluvia realizadas, el valor máximo de humedad ambiente no es superior al registrado.



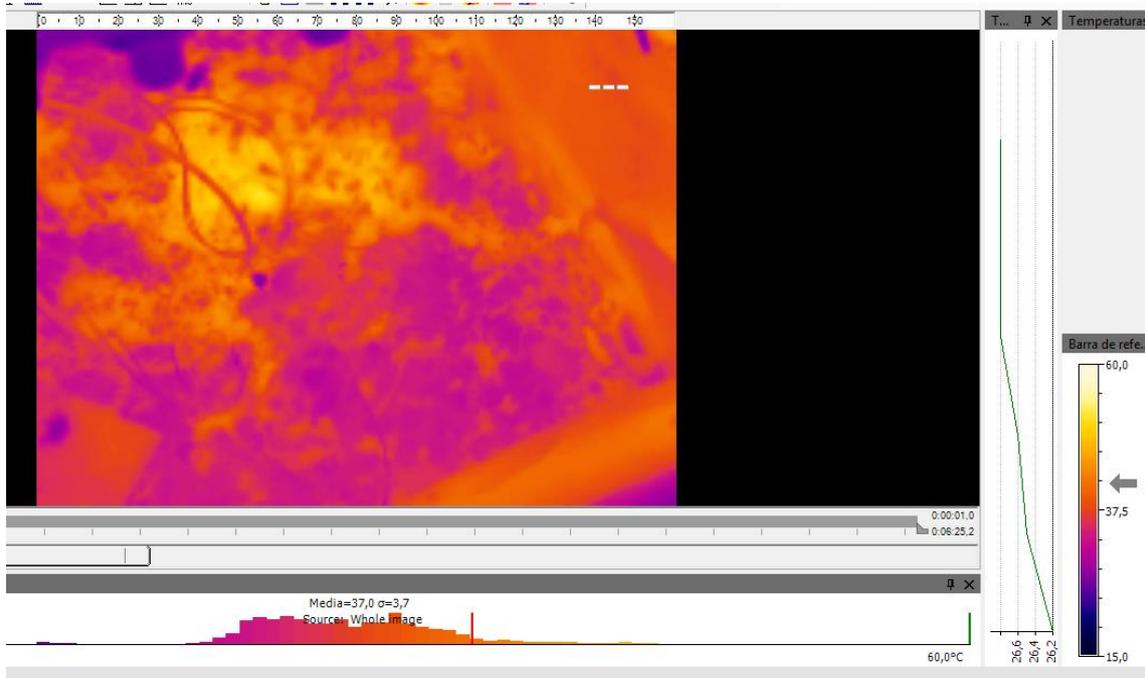
Gráfica 11: Temperatura ambiente



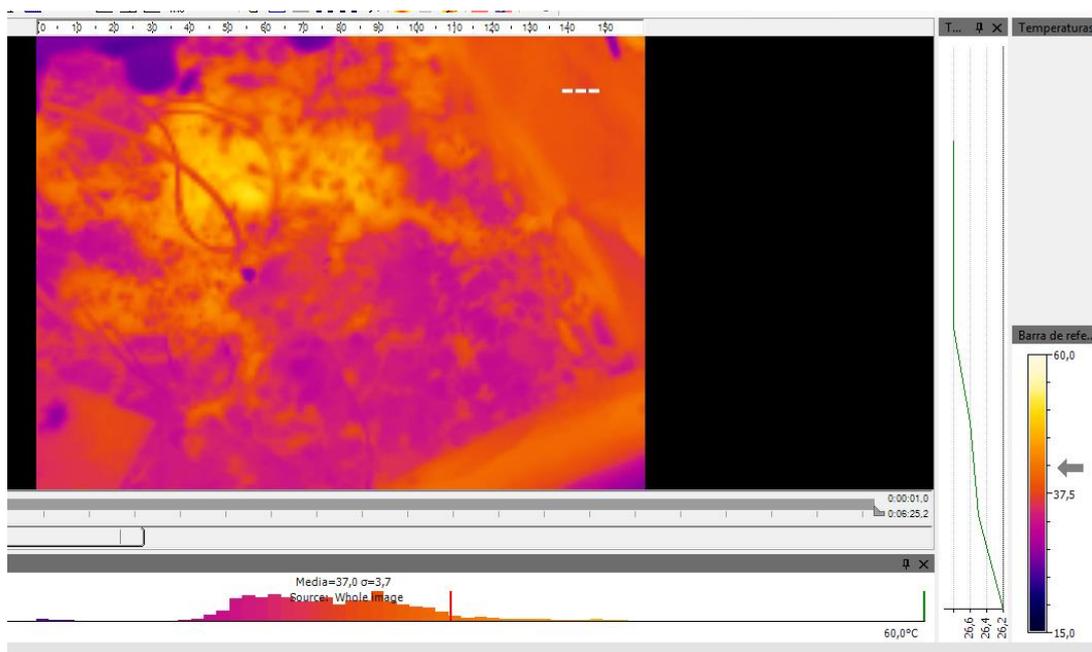
Gráfica 12: Humedad ambiente

4.2.2. CÁMARA TERMOGRÁFICA

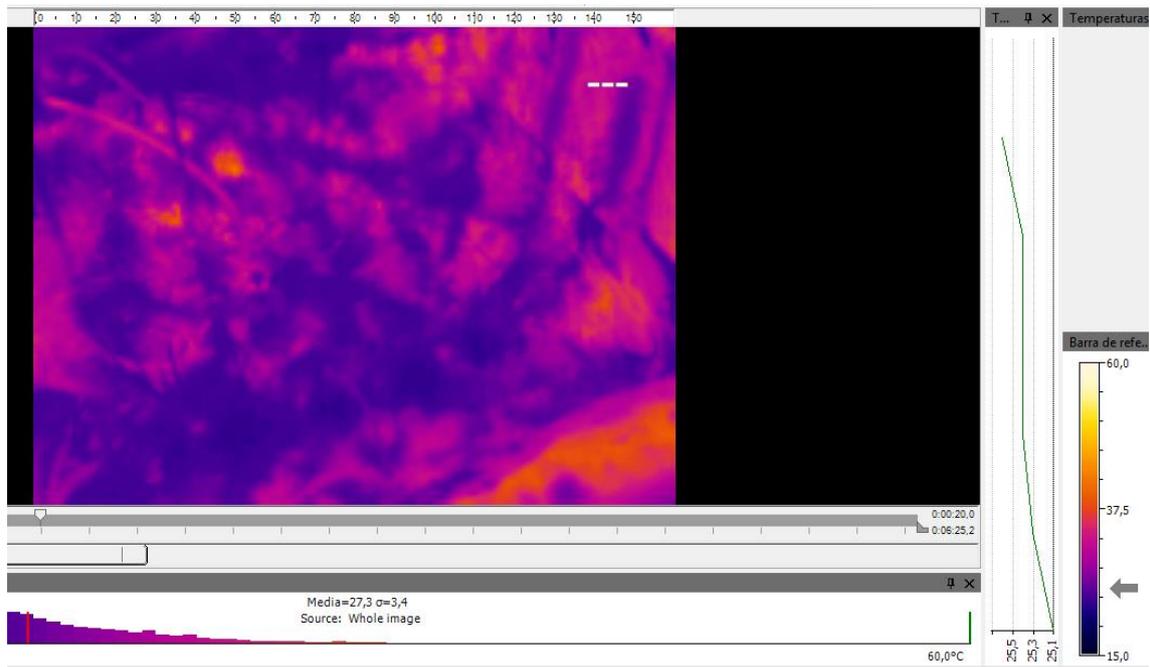
Al igual que en el escenario de sequía, se muestran a continuación, imágenes de la cámara termográfica antes, durante y después de la simulación de la precipitación. Tal y como era de prever, en el preciso momento en el que se da comienzo a la simulación de la precipitación, la temperatura de la superficie receptora desciende inmediatamente, de un valor cercano a los 40°C a 20°C aproximadamente.



Gráfica 13: Imagen termográfica previa a la simulación de la precipitación



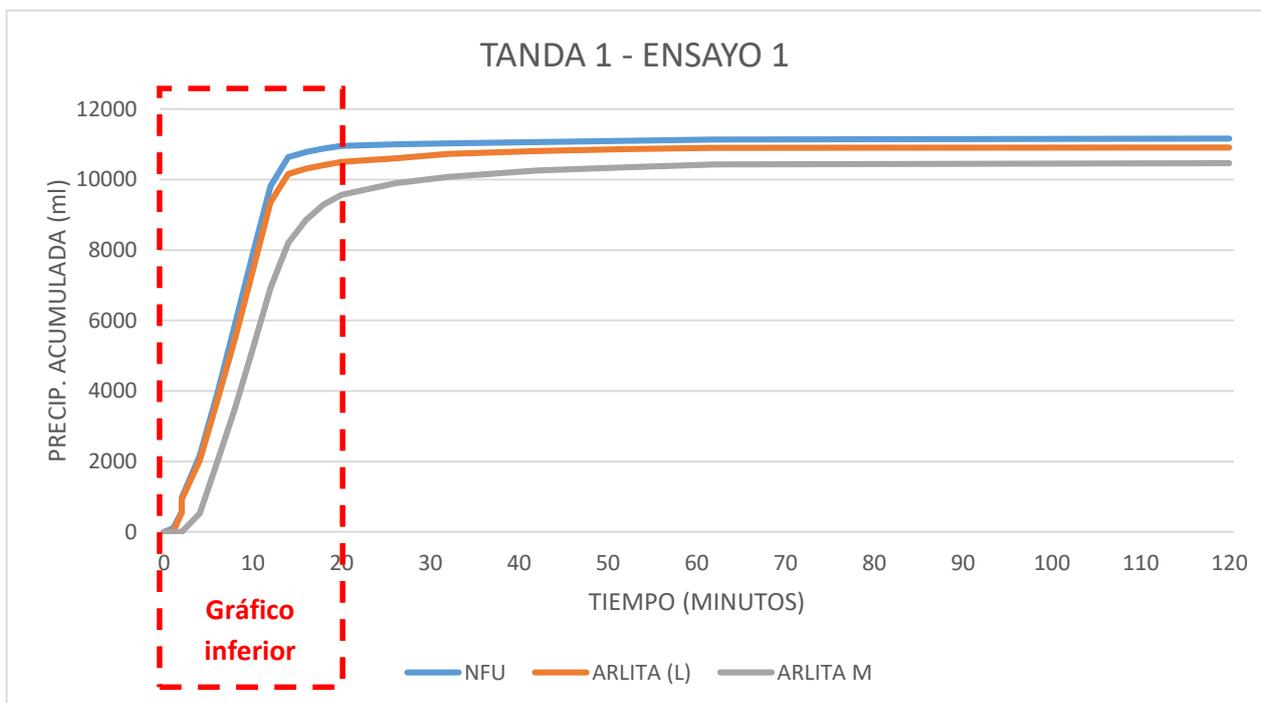
Gráfica 14: Imagen termográfica durante la simulación de la precipitación



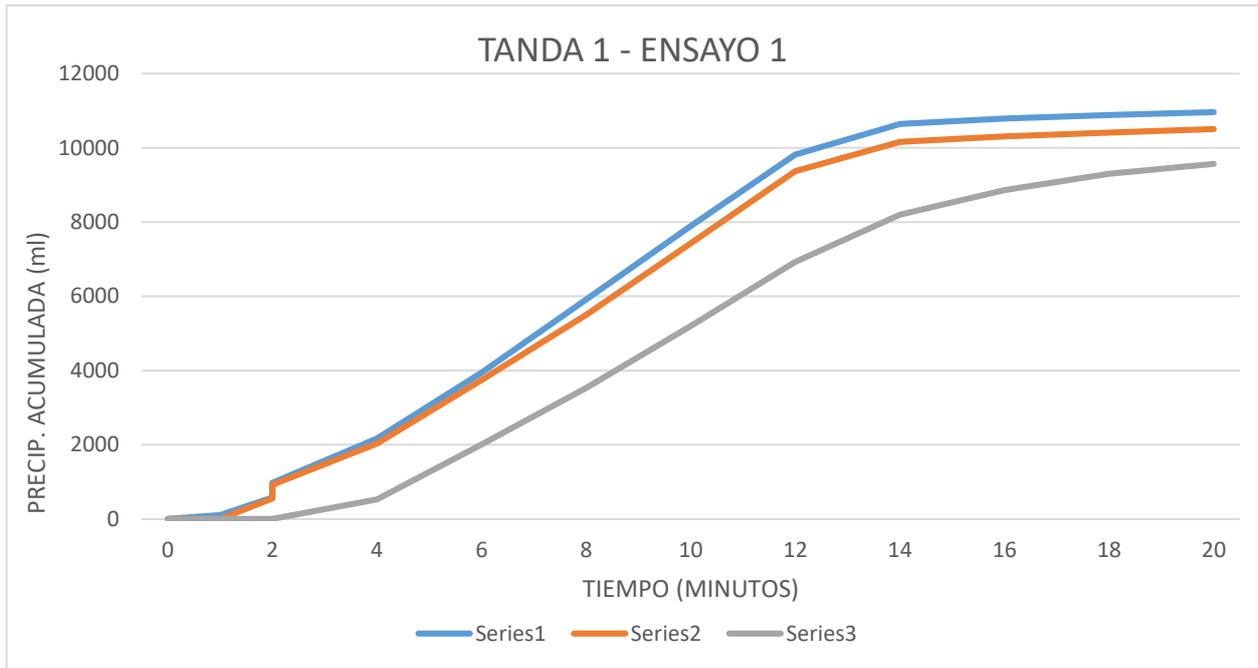
Gráfica 15: Imagen termográfica posterior a la simulación de la precipitación

4.2.3. ENSAYOS DE PRECIPITACIÓN

Como se ha explicado con anterioridad, en la **PRIMERA TANDA** el espacio temporal entre ensayos es el menor de todos. Apenas se asegura que el drenaje del ensayo anterior ha finalizado, para comenzar con el siguiente ensayo. Se realiza de esta manera para que las condiciones sean las más adversas posibles, en la que la sección está totalmente saturada. En este primer ensayo, Gráfica 16, en el que se vierte el agua con una intensidad de 1l/min, se observa como de las tres secciones, es la de Arlita (M) la sección que más tarda en drenar al agua recogida. De los 12 litros que se vierten en cada sección, las tres drenan por encima de los 10 litros, siendo la de caucho reciclado la que menos agua retiene. El comportamiento general del ensayo, también se refleja en los primeros 20 minutos del ensayo, Gráfica 17, donde la sección que contiene el menor tamaño de Arlita (M), tarda hasta 2'30" en comenzar a drenar agua desde el comienzo de la precipitación, mientras que las otras dos secciones, lo hacen al minuto de comenzar la aportación hídrica.

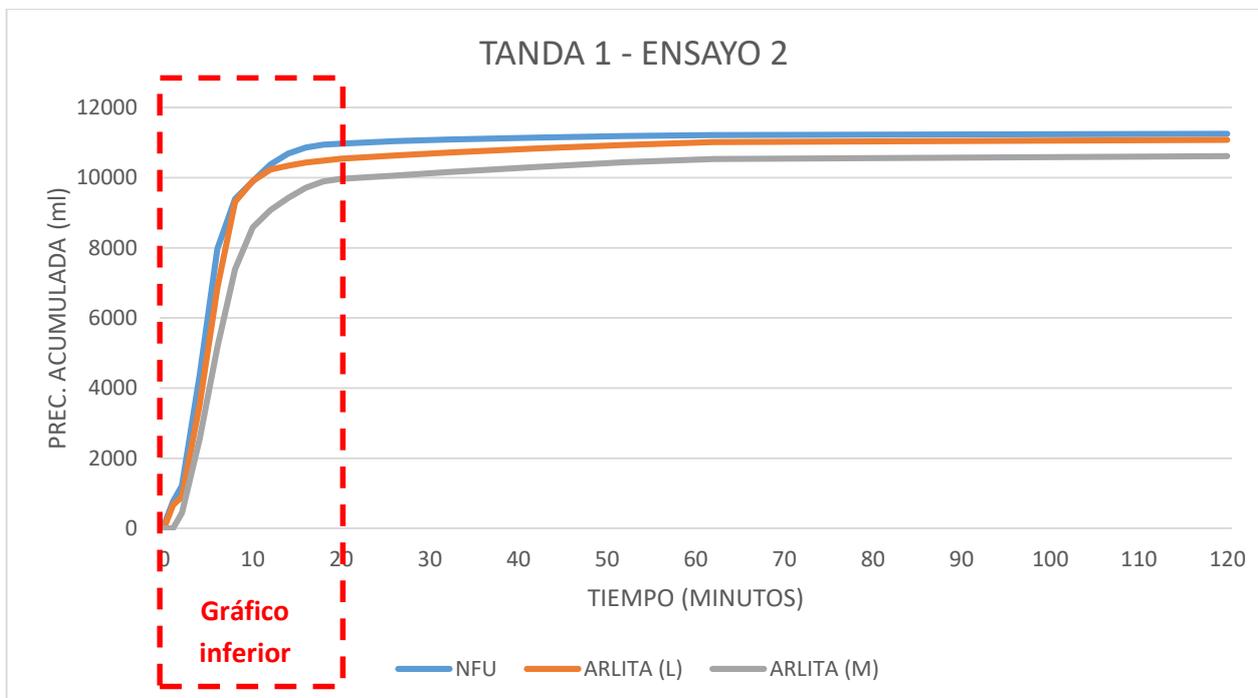


Gráfica 16: Tanda 1 - Ensayo 1

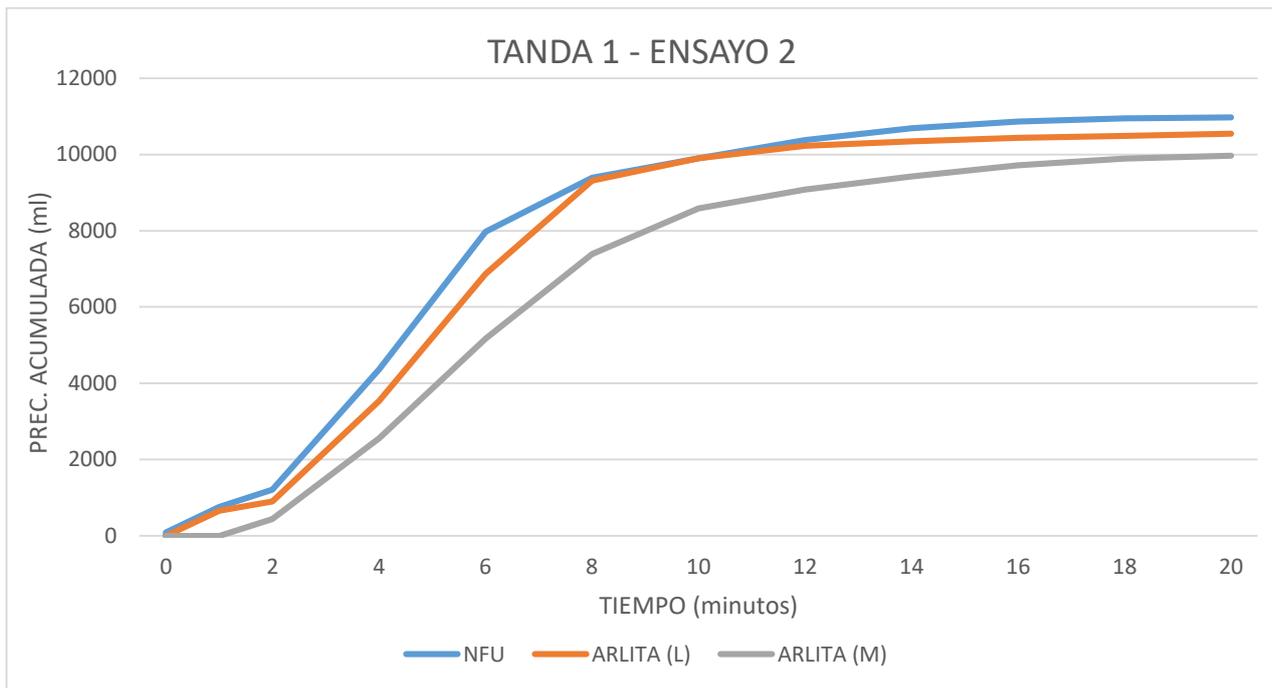


Gráfica 17: Tanda 1 - Ensayo 1 (I)

En el segundo ensayo, Gráfica 18 y Gráfica 19, la variación respecto al anterior, radica en la intensidad, ahora 2l/min. Como es lógico, el comportamiento de las tres secciones es más parecido y en todas ellas el drenaje del agua aportada comienza antes y la cantidad de agua retenida es menor. Sí que se repite que de las tres, la que confiere un mayor retraso en el comienzo del drenaje y retiene más agua es la sección caracterizada con la Arlita (M).

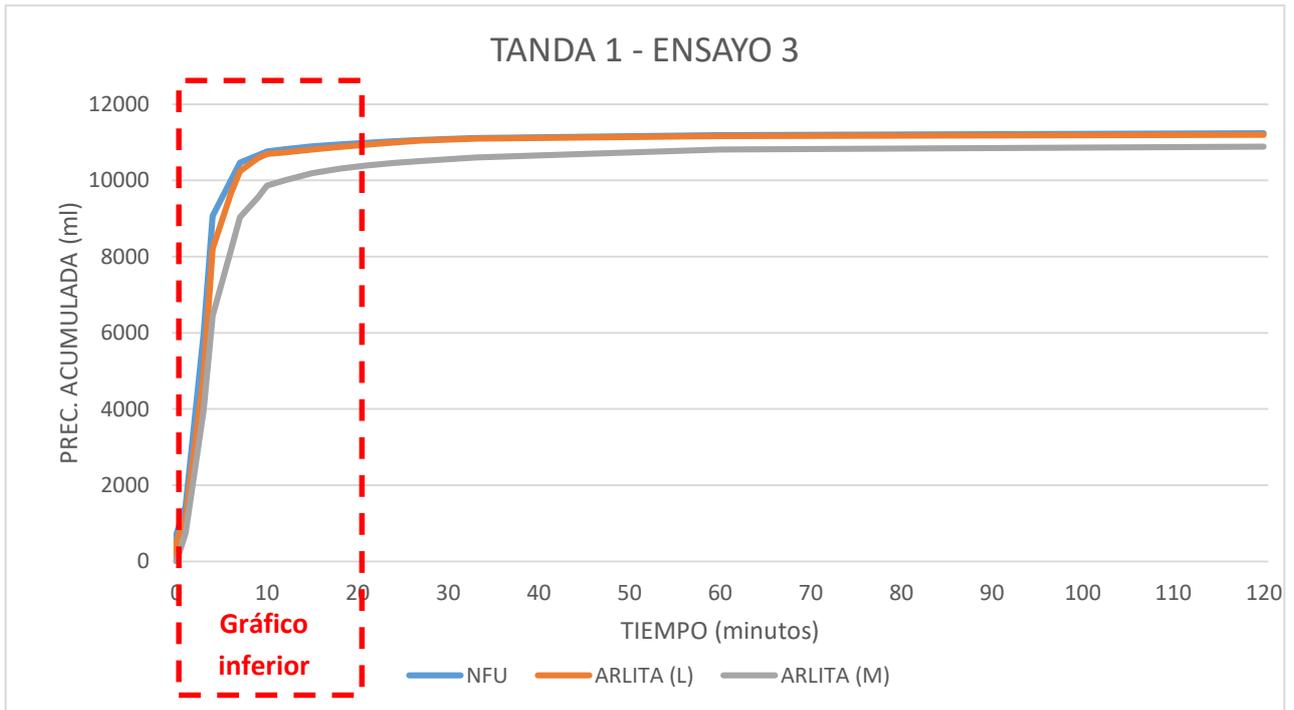


Gráfica 18: Tanda 1 - Ensayo 2

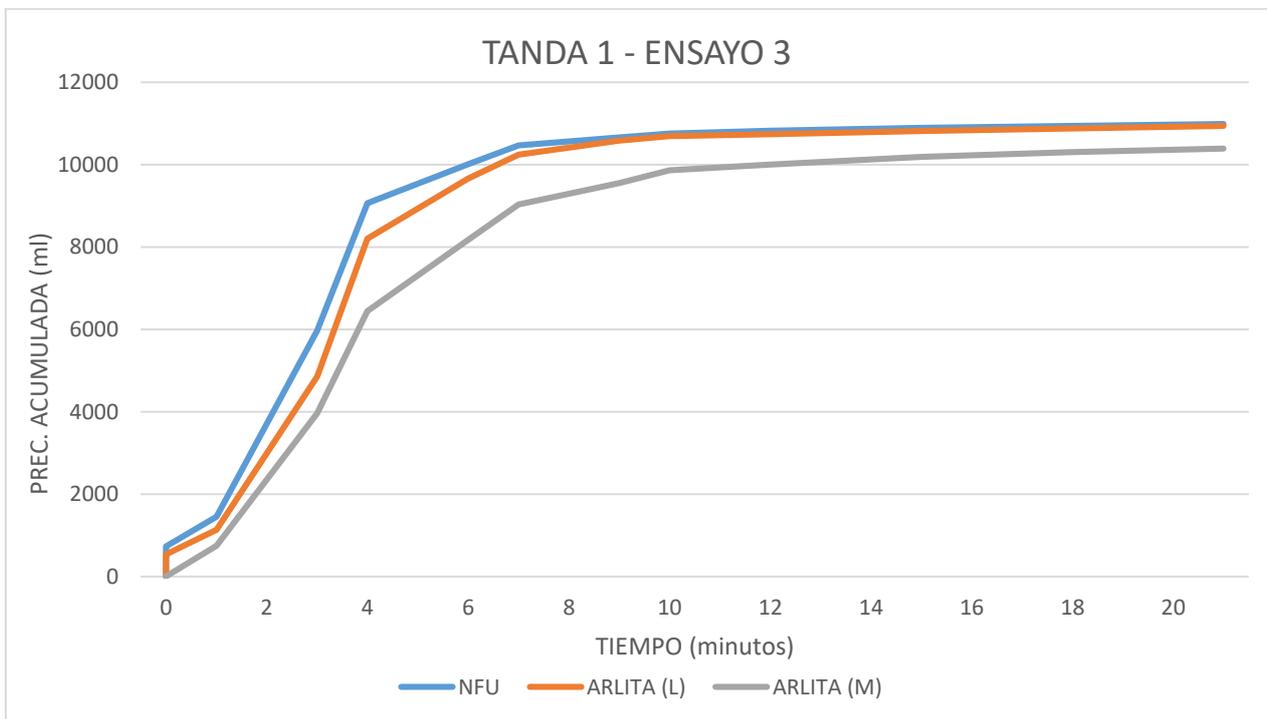


Gráfica 19: Tanda 1 – Ensayo 2 (I)

Para finalizar esta primera tanda, en el tercer ensayo realizado se vuelve a incrementar la intensidad de la simulación de lluvia alcanzando los 4l/min. Tal y como se ven en la Gráfica 20 y en la Gráfica 21, al aumentar la intensidad de la lluvia los resultados obtenidos de las tres secciones se aproximan más todavía, sin haber prácticamente diferencia entre las que contienen caucho reciclado y la Arlita de mayor tamaño. Nuevamente, la tercera sección (Arlita (M)) obtiene unos datos un tanto mejores desde el punto de vista de la retención de agua pluvial y retardo en el comienzo del drenaje, aunque llegados a este punto puede observarse una clara pérdida de prestaciones.



Gráfica 20: Tanda 1 – Ensayo 3



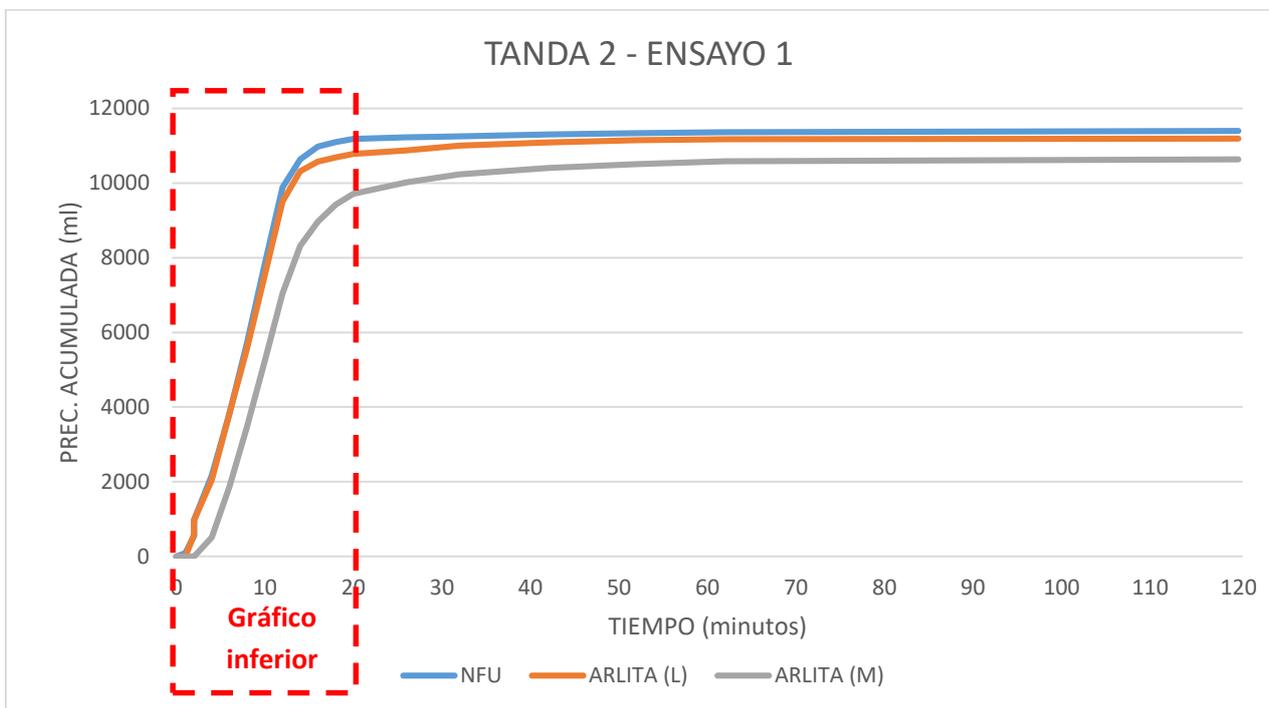
Gráfica 21: Tanda 1 – Ensayo 3 (I)

En la **SEGUNDA TANDA**, se vuelven a realizar tres ensayos iguales a los llevados a cabo en la primera. La diferencia entre ambas radica en el tiempo que transcurre entre dos ensayos, siendo en esta ocasión 24 horas. Para que las condiciones iniciales fueran iguales en todos los ensayos, también se humectan las secciones con un espacio de un día previo al primer ensayo.

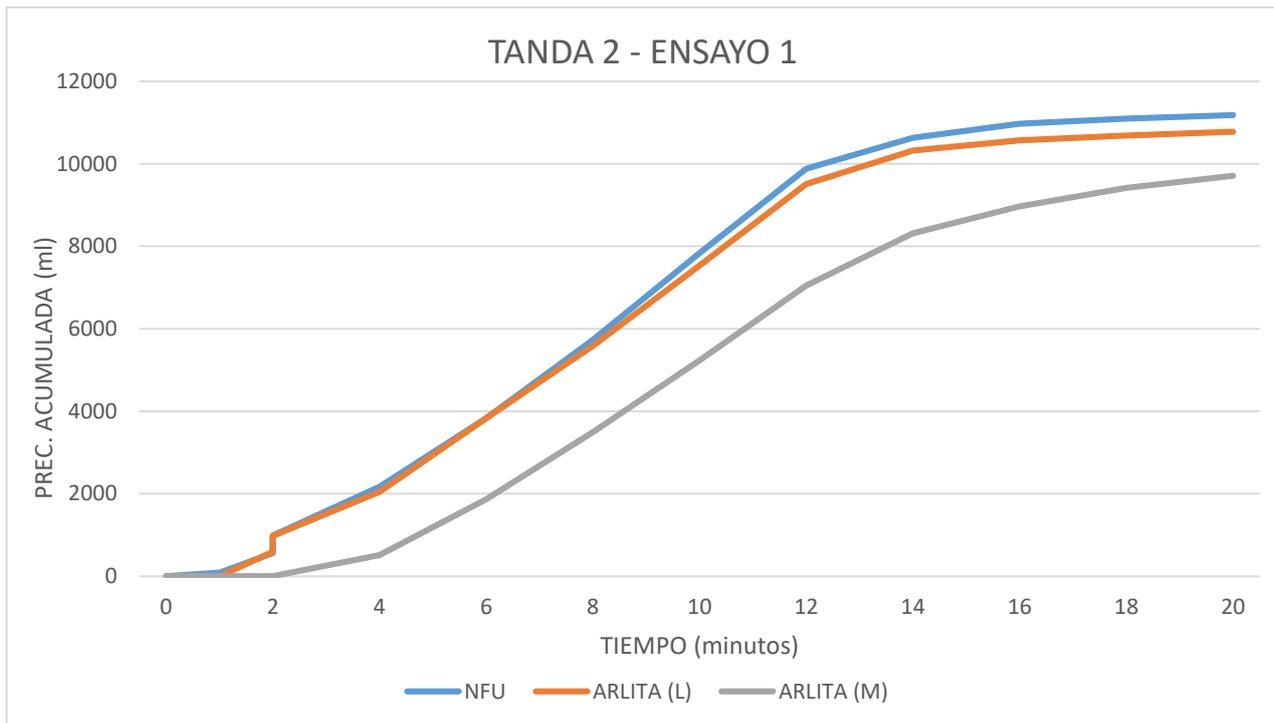
De esta forma, el primer ensayo vuelve a resultar la simulación de una precipitación de 12 litros por cada sección, con una intensidad de 1 l/min.

Como puede observarse en la Gráfica 22 y en la Gráfica 23, los resultados obtenidos muestran una tendencia similar a los reflejados en la primera tanda de ensayos. Hay dos materiales que tienen un comportamiento muy similar, mientras que la Arlita (M) de menor tamaño retrasa algo más el comienzo del drenaje y, al final del ensayo, la sección que contiene dicho material logra retener algo más de agua proveniente de la simulación de la precipitación.

Es interesante remarcar que, entre las diferentes tandas, se dejó un intervalo de 3-4 días con el fin de intentar que la estructura de la sección (principalmente la vegetación y el sustrato) recuperara condiciones lo más similares posible a las iniciales del escenario.



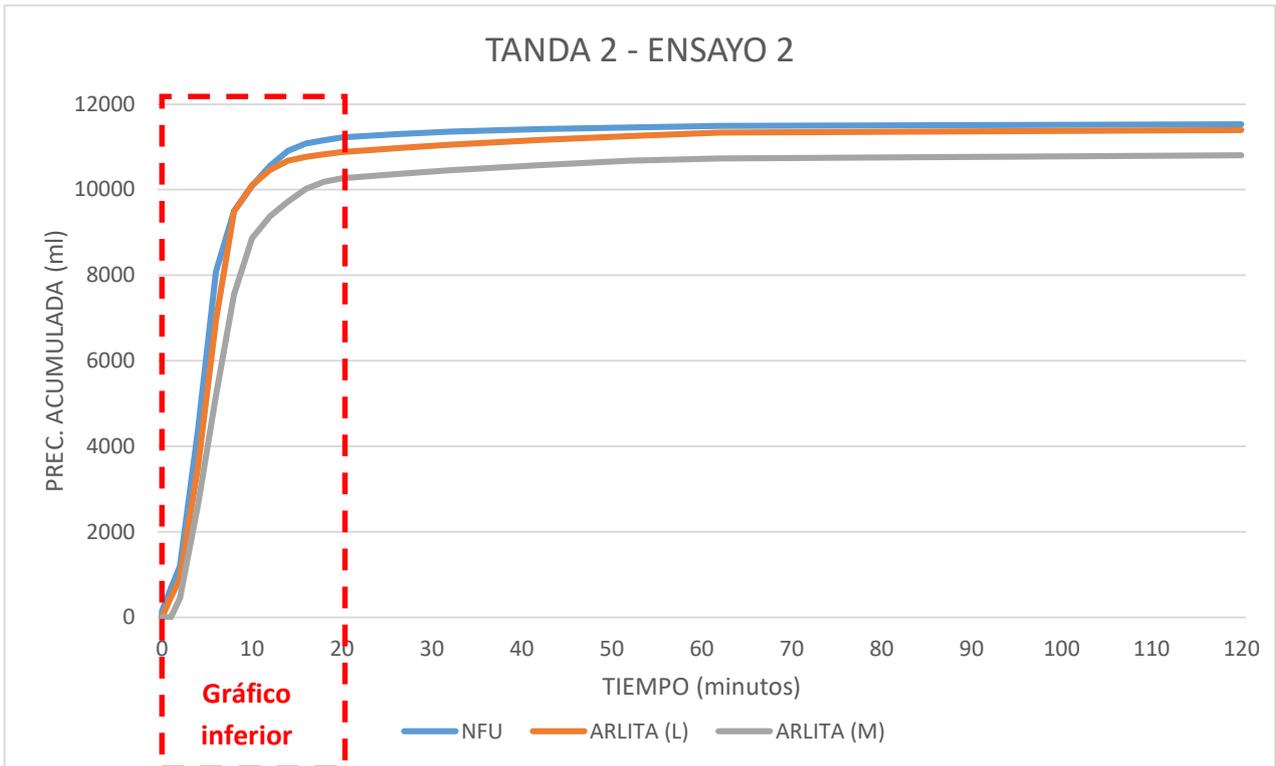
Gráfica 22: Tanda 2 – Ensayo 1



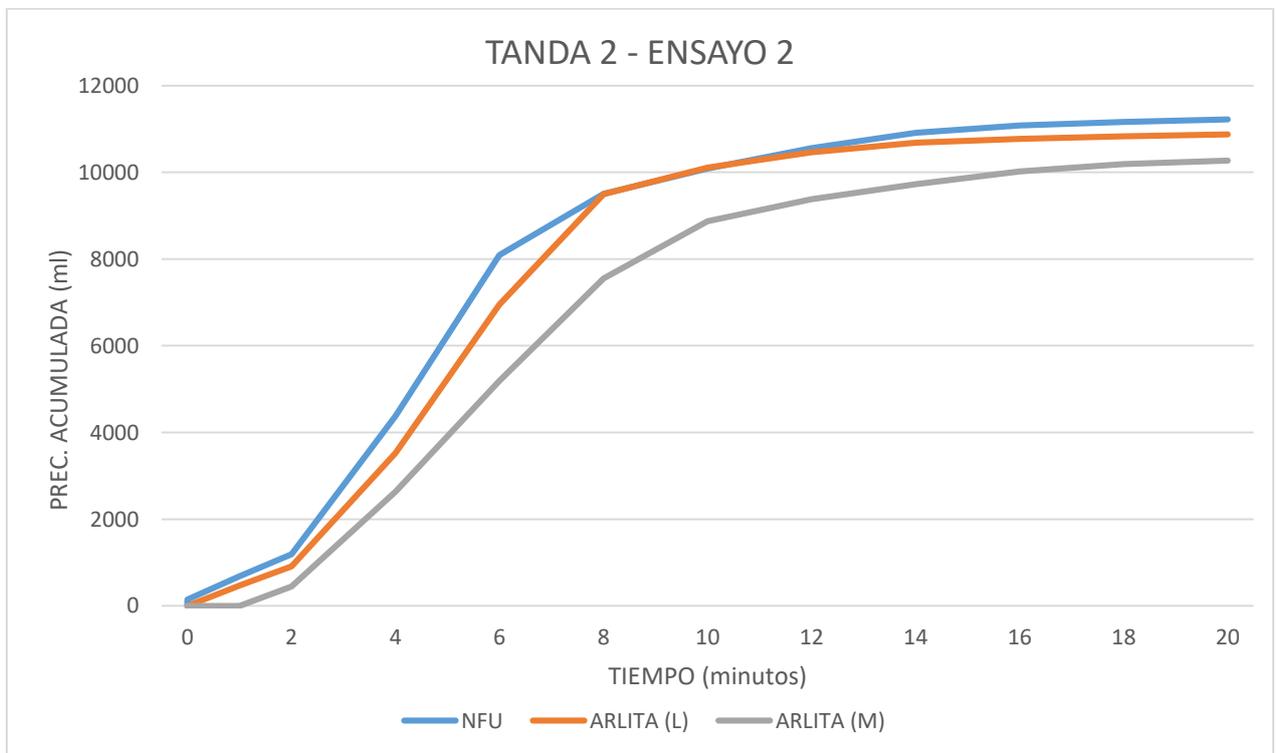
Gráfica 23: Tanda 2 – Ensayo 1 (I)

A continuación, se muestran los resultados del siguiente ensayo, realizado una vez transcurridas las 24 horas establecidas como intervalo entre ensayos, Gráfica 24 y Gráfica 25. Nuevamente, vuelve a simularse una precipitación de 60mm, en esta ocasión tal y como corresponde en 6 minutos (2l/min).

Es en este ensayo, cuando se empieza a confirmar que las secciones han perdido parte de su capacidad para gestionar el agua pluvial. Esto indica un cierto deterioro en las capas involucradas en este aspecto, y se observa cómo ya ninguna sección es capaz de retardar el drenaje más de un minuto. Al concluir el ensayo, dos horas después del comienzo, prácticamente se ha recogido toda el agua vertida a lo largo del mismo.

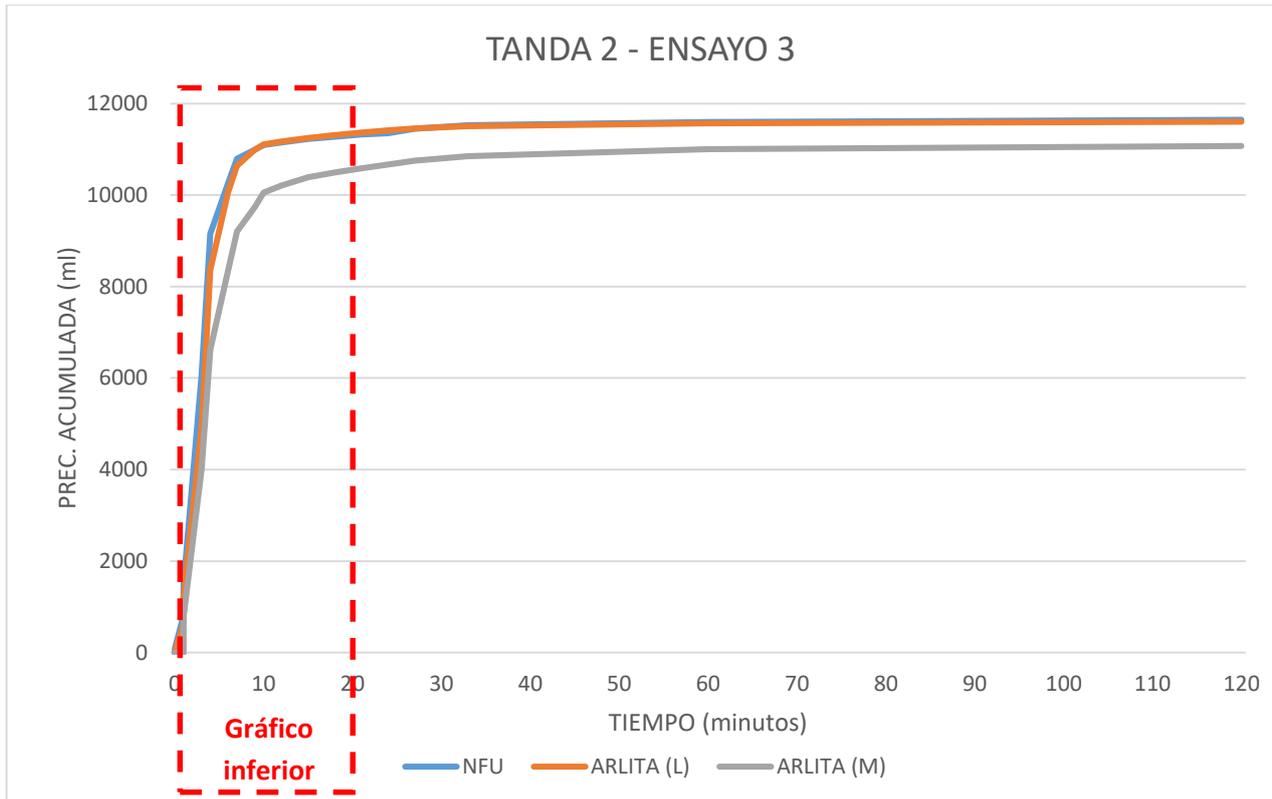


Gráfica 24: Tanda 2 – Ensayo 2

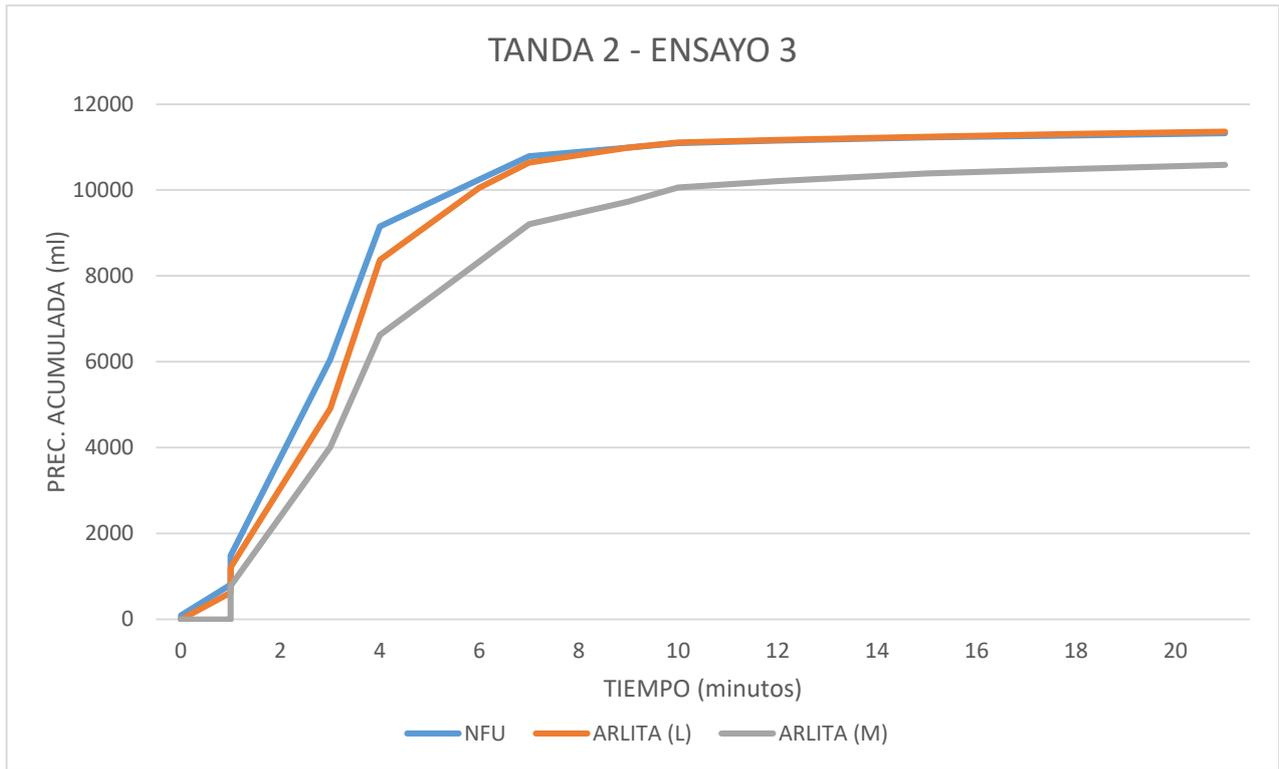


Gráfica 25: Tanda 2 – Ensayo 2 (I)

Por último, se relacionan los resultados correspondientes al 3er ensayo – Tanda 2, en la que vuelve a simularse una precipitación de 4l/min durante 3 minutos. Como era de esperar, se ratifica la tendencia hacia un peor comportamiento por parte de las secciones. En la Gráfica 26 ya no se distingue tan claramente el comportamiento de la sección que estaba resultando más óptima y se puede observar también como a los 20 minutos de comenzar el ensayo, Gráfica 27, las tres secciones han drenado más del 90% del volumen total vertido.



Gráfica 26: Tanda 2 – Ensayo 3



Gráfica 27: Tanda 2 – Ensayo 3 (I)

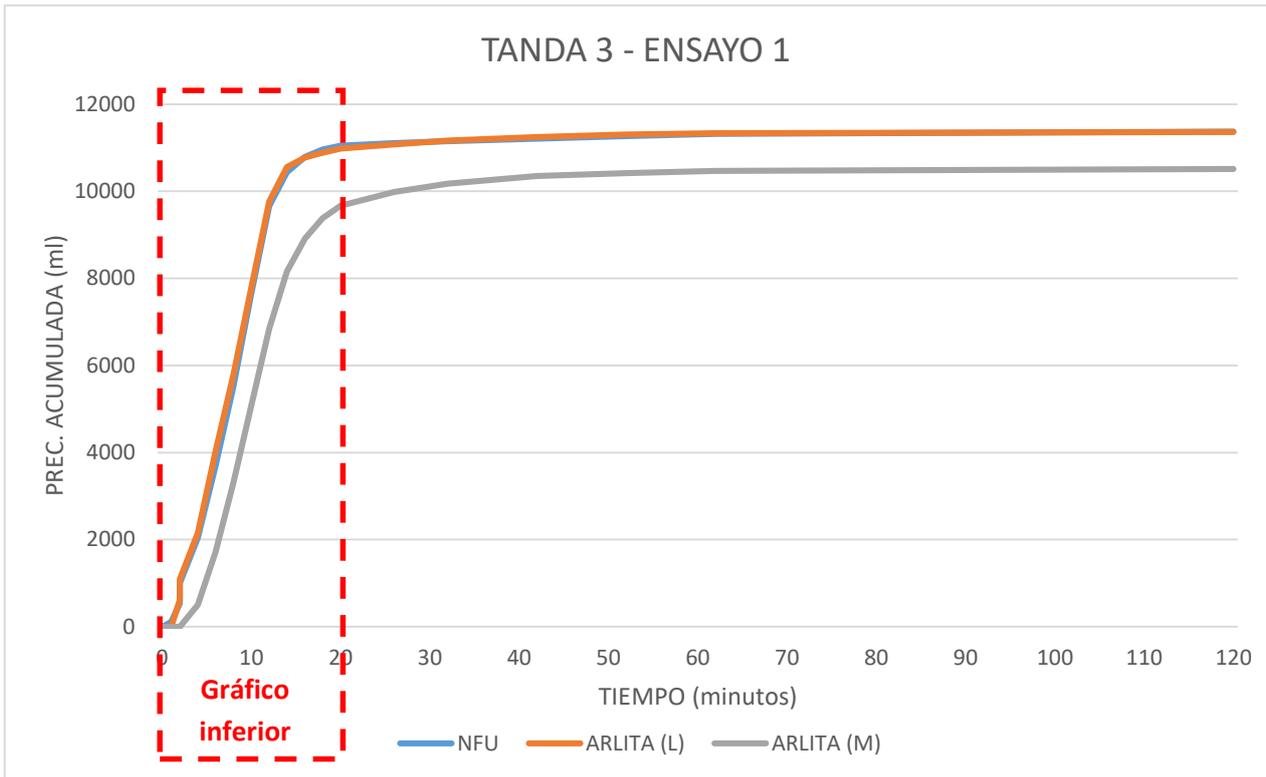
Una vez concluida la segunda tanda de ensayos del escenario de precipitaciones, se comprueba el estado de las coberturas vegetales y se observa el deterioro de las mismas, sobre todo de la sección caracterizada por tener Arlita (L) como material drenante. La imagen de la Figura 53 permite visualizar dicho deterioro



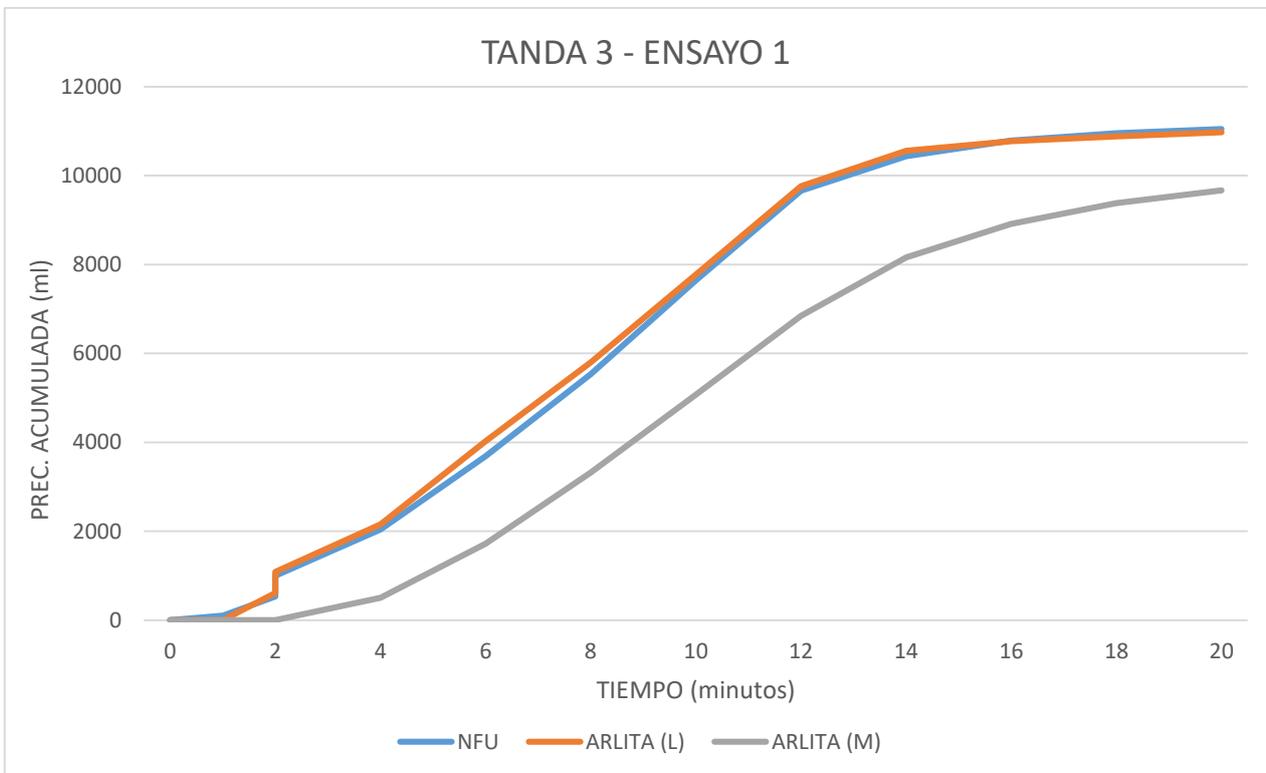
Figura 53: Secciones tras la realización de los ensayos correspondientes al escenario de precipitaciones, donde la sección con Arlita (L) se encuentra en la posición central

Cabe recordar, que entre la segunda y la **TERCERA TANDA** transcurre una semana en la que no se realizan aportes externos de agua, con el fin de que las especies vegetales recuperen (o no) parte de sus capacidades. En esta última serie de ensayos también se alarga el periodo entre dos ensayos consecutivos, aumentándose a 60 horas aproximadamente.

Así, en el primer ensayo, y a la vista de los resultados mostrados en la Gráfica 28 y en la Gráfica 29 se observan diferentes tendencias. Por una parte, la sección con Arlita (L), siendo aquella cuya cobertura vegetal se había extinguido en gran medida, se comporta peor que en los ensayos anteriores. La sección cuya capa drenante está compuesta por caucho reciclado (NFU), tiene un comportamiento similar al experimentado en los otros ensayos y corrobora su peor capacidad como elemento retenedor de agua. Sin embargo, en la tercera sección de la Figura 53, con Arlita (M) y una cobertura vegetal no tan deteriorada, se observa una cierta recuperación en su comportamiento característico y vuelve a diferenciarse de las otras dos secciones, aunque no lo haga con tanta evidencia como en los primeros ensayos del escenario.



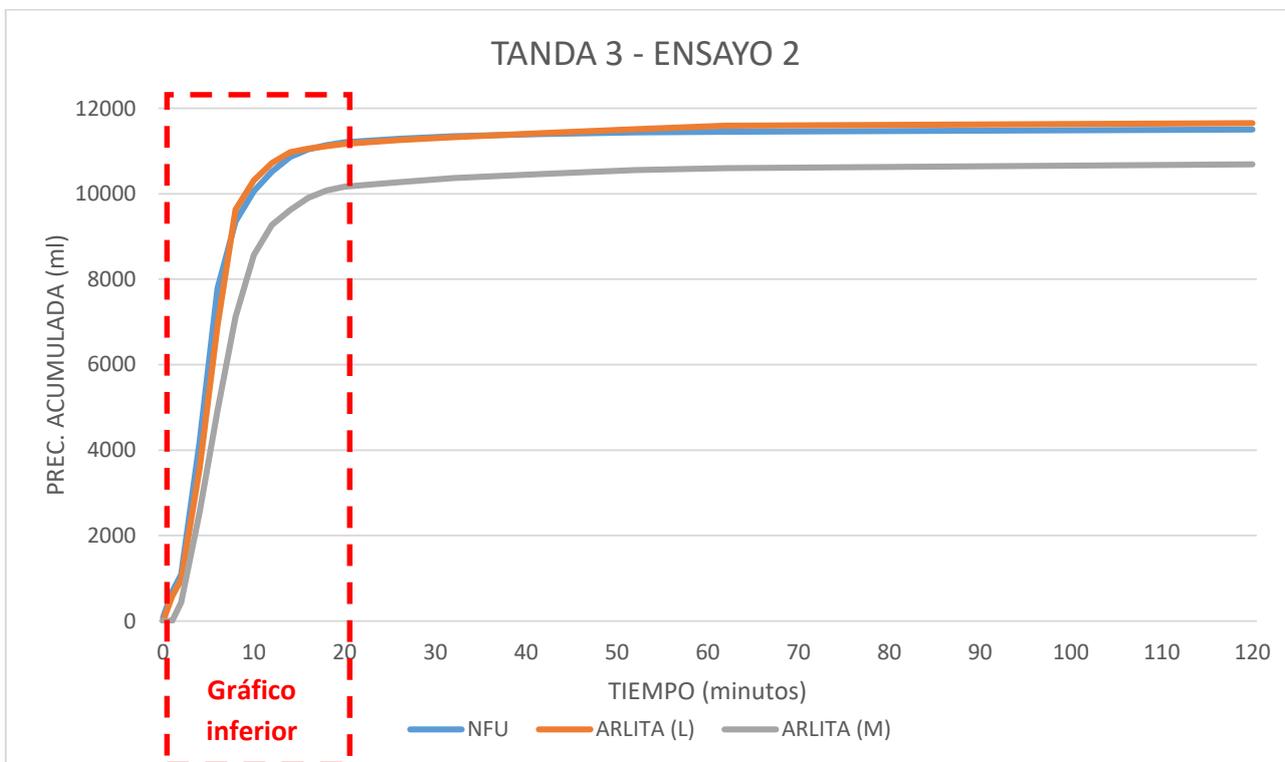
Gráfica 28: Tanda 3 – Ensayo 1



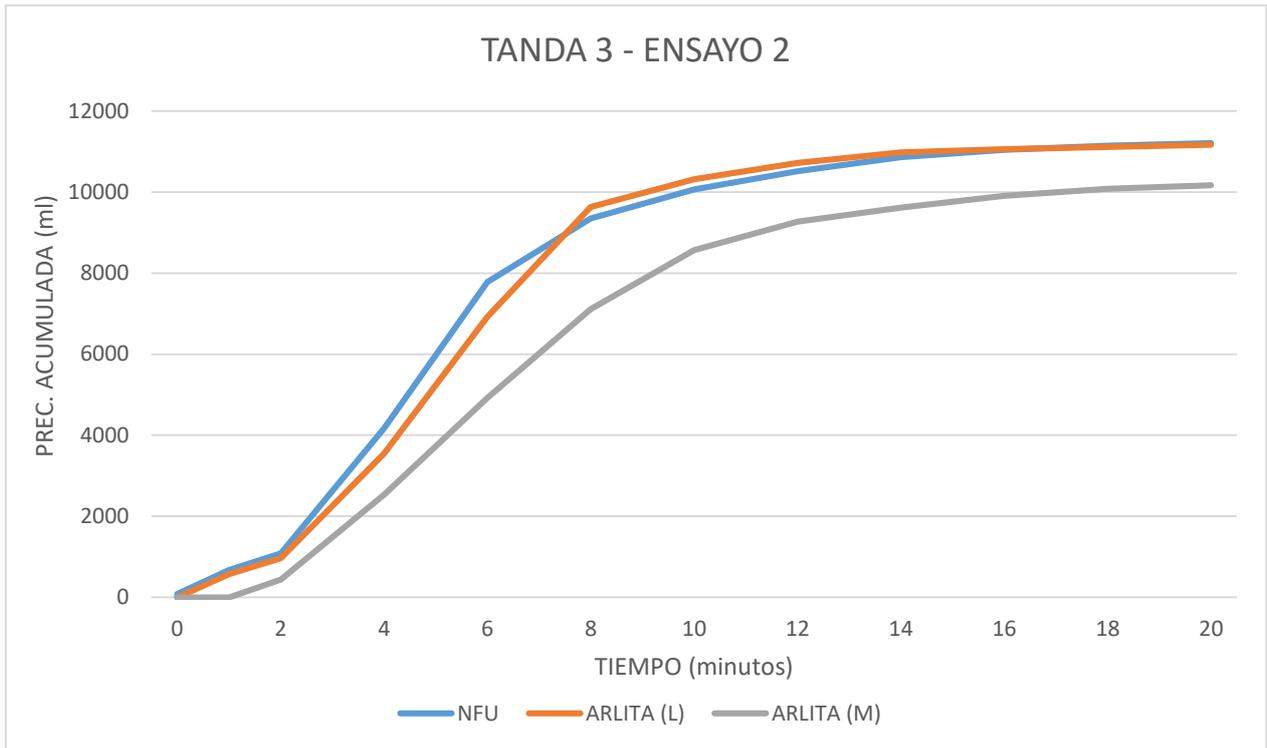
Gráfica 29: Tanda 3 – Ensayo 1 (I)

En los dos últimos ensayos de la 3ª tanda del escenario de precipitaciones, la tónica general es la de un empeoramiento del comportamiento de las secciones. Las dos secciones que peor estaban trabajando, NFU y Arlita (L), parece que llegan a su límite y no aportan nada en cuanto a regulación del agua pluvial se refiere. Sí se confirma la pequeña recuperación de la tercera sección, Arlita (M), pero atisbando una evolución negativa de hacia el último ensayo.

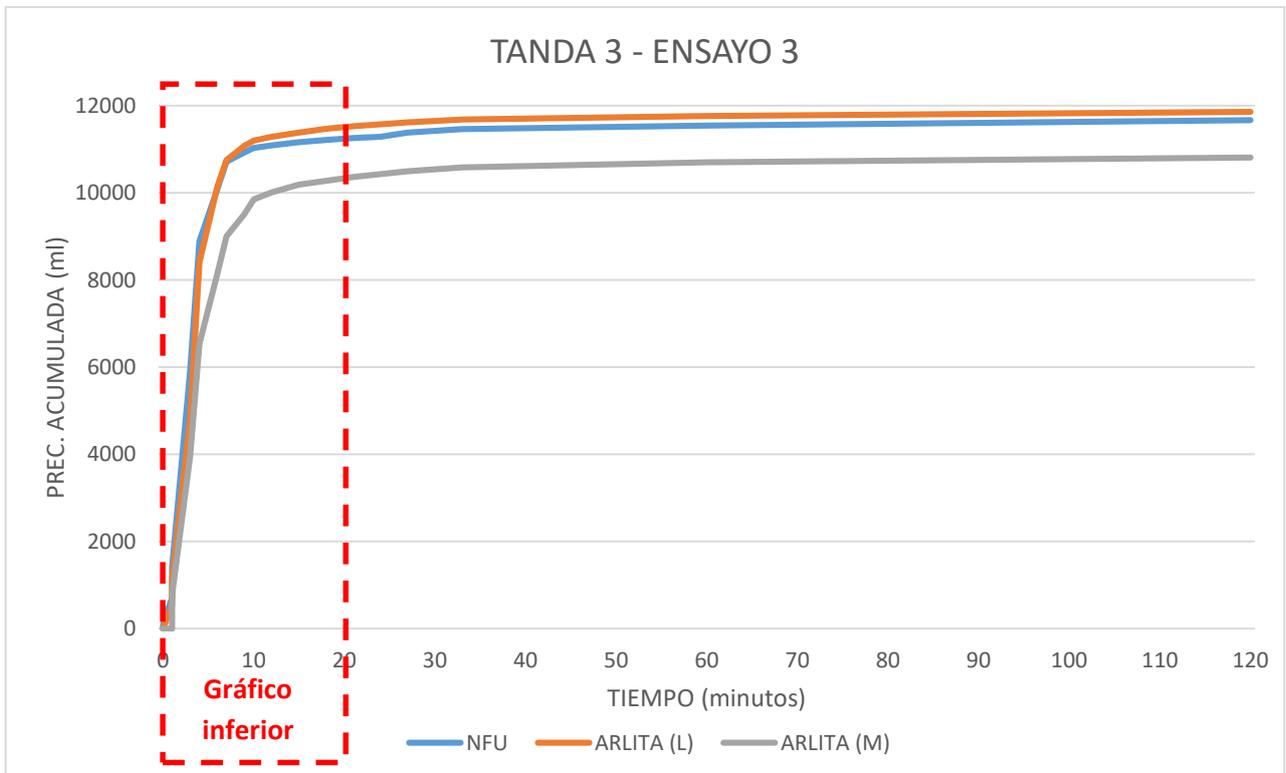
En las últimas gráficas (Gráfica 30, Gráfica 31, Gráfica 32, Gráfica 33) del escenario, se percibe un comportamiento similar al del último ensayo de la tanda anterior (Gráfica 26 y Gráfica 27) en la que prácticamente la totalidad de las precipitaciones simuladas es drenada en los primeros compases del ensayo, y apenas se nota una cierta retención de agua en la sección que dispone de Arlita (M).



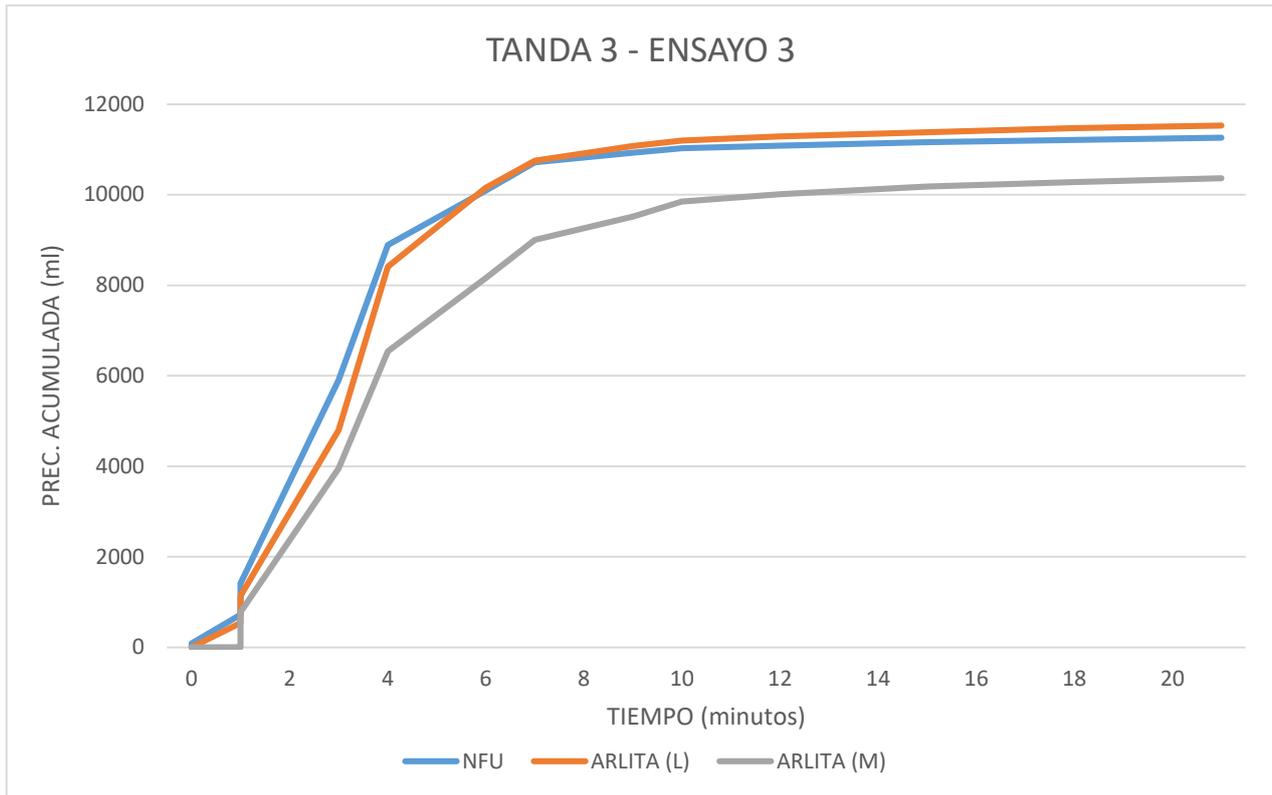
Gráfica 30: Tanda 3 – Ensayo 2



Gráfica 31: Tanda 3 – Ensayo 2 (I)



Gráfica 32: Tanda 3 – Ensayo 3



Gráfica 33: Tanda 3 – Ensayo 3 (I)

4.2.4. RESUMEN ESCENARIO PRECIPITACIONES

Conviene destacar los siguientes aspectos esclarecidos con los ensayos efectuados en este escenario:

- En cada tanda, y como cabía pensar, el comportamiento de las secciones a empeorado a medida que avanzaban los ensayos, ya que se reduce la capacidad de las mismas para retener parte de las precipitaciones simuladas. Además, esta pauta es común a todas las secciones.
- Al comparar el comportamiento de cada sección, en todos los ensayos realizados, es la sección con Arlita (M) la que ofrece un mejor comportamiento en comparación con las otras. En la mayoría de los ensayos (a excepción de los que se realizan en la tercera tanda), dicha sección consigue retener entre 1 y 2 litros de los 12 vertidos. Las secciones caracterizadas con los otros dos materiales, NFU y Arlita (L), no consiguen retrasar el drenaje y apenas retienen un poco de las precipitaciones aportadas. Además, en lo referente al tiempo que transcurre entre el inicio de cada ensayo y el drenaje por parte de las secciones a través de las medias cañas instaladas, cabe reseñar que la que mejores resultados ofrece también es la sección con Arlita (M), ya que consigue retrasar el comienzo del drenaje hasta 2,5 minutos mientras que las otras dos secciones apenas llegan a 1 minuto.
- En la tercera tanda, a pesar de ser en la que más descanso se otorga entre ensayos, se obtienen los peores resultados. Obviamente, no se debe al tiempo entre precipitaciones sino al daño acumulado que arrastran las secciones (principalmente las coberturas vegetales) de las tandas anteriores. De hecho, como se ha mencionado, al finalizar este ensayo, dados los resultados y el estado de las coberturas vegetales, se determina que estas últimas han quedado anegadas por los efectos de las lluvias simuladas y que mediante el 3^{er} escenario solo se tratara de comprobar si las secciones recuperan parte de la funcionalidad perdida.
- Por último, comentar que las imágenes obtenidas con la cámara termográfica demuestran que, al verter el agua sobre las especies vegetales, la temperatura en la zona desciende drásticamente.

4.3. “ESTRÉS TÉRMICO”

Este escenario, tal y como está planteado en el diseño de la campaña experimental, busca aunar en la medida de lo posible lo estudiado en los dos escenarios previos. La información disponible en este apartado de resultados va en la misma línea que la desarrollada tanto en el escenario de sequía como en el de precipitaciones.

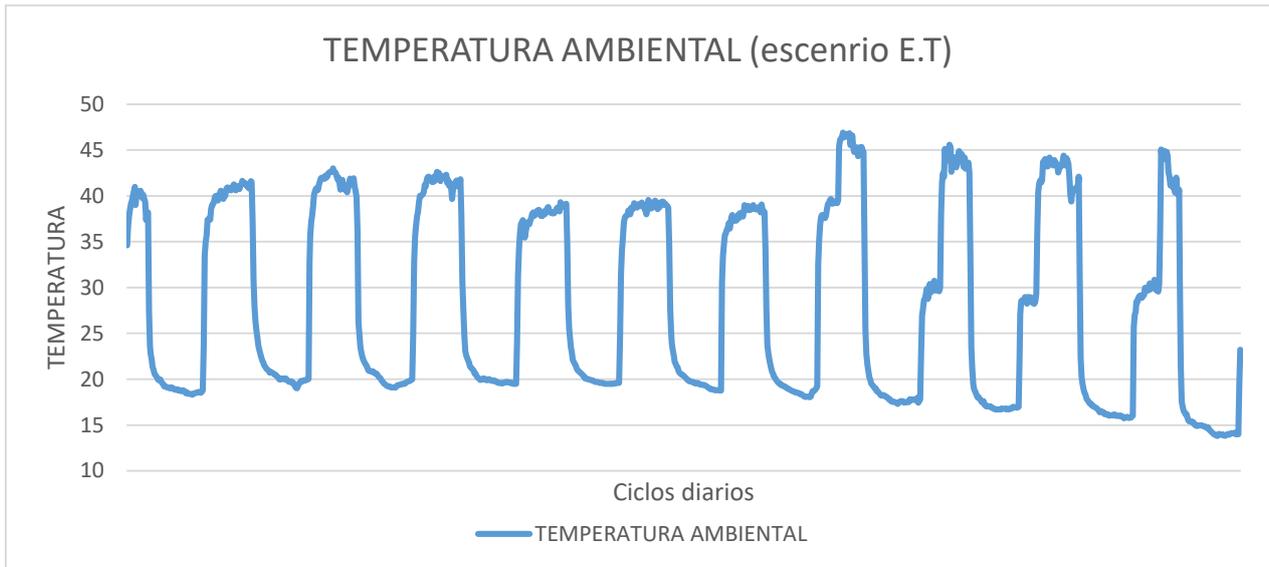
Es conveniente destacar que las secciones sobre las que se realiza este escenario han sido las mismas que han soportado el escenario de precipitaciones, si bien se han intentado cuidar en lo referente a aportes externos de agua y radiaciones aplicadas. Sin embargo, la duración de esta serie ha resultado más corta debido al deterioro completo de todas las secciones.

4.3.1. CONDICIONES AMBIENTALES

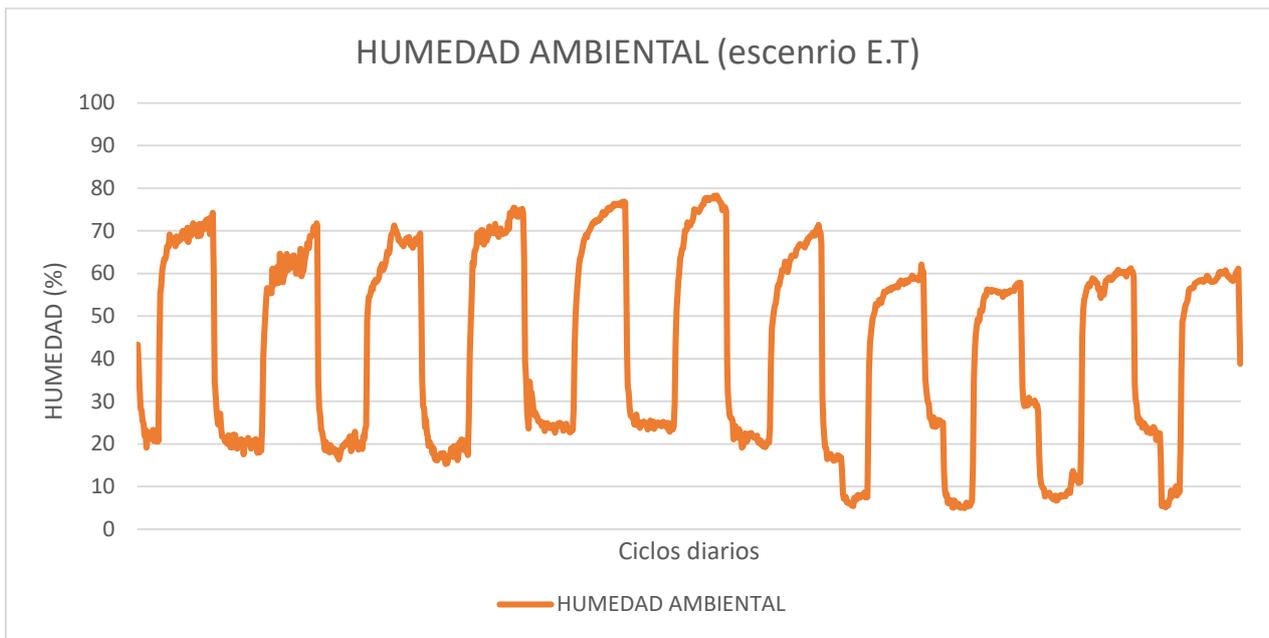
De forma análoga a lo realizado en el escenario de sequía, lo primero que se analiza son las condiciones ambientales del ensayo, es decir, mediciones de la temperatura y humedad ambiente captadas en un espacio “externo” a las secciones sobre las que se realizan los ensayos. Así, como se muestra en la Gráfica 34, la temperatura ambiente es algo superior a la obtenida en el ensayo de sequía. Desde el primer día alcanza valores superiores a los 40°C, y ya en el séptimo día alcanza valores por encima de los 45°C. El ensayo tiene que detenerse pocos días después debido al estado de las secciones, así que no pudo corroborarse en un espacio temporal más amplio si el aislamiento adicional colocado habría sido el detonante del incremento de las temperaturas, tal y como se pretendía.

Por otro lado, en la Gráfica 35, relativa a la humedad ambiente, se observa que los datos reflejados son más similares a los del segundo escenario, en los que, a pesar de haber aportes externos de agua, no se supera el 80% de humedad en ningún momento, cuando en el primer escenario y ante la simulación de precipitación que daba comienzo al ensayo hacía que el valor registrado rondara el 100%. Todo indica a que el fallo (de haberlo) radica en los propios sensores, y que el 80% que queda guardado en esta ocasión, es en realidad un valor mayor.

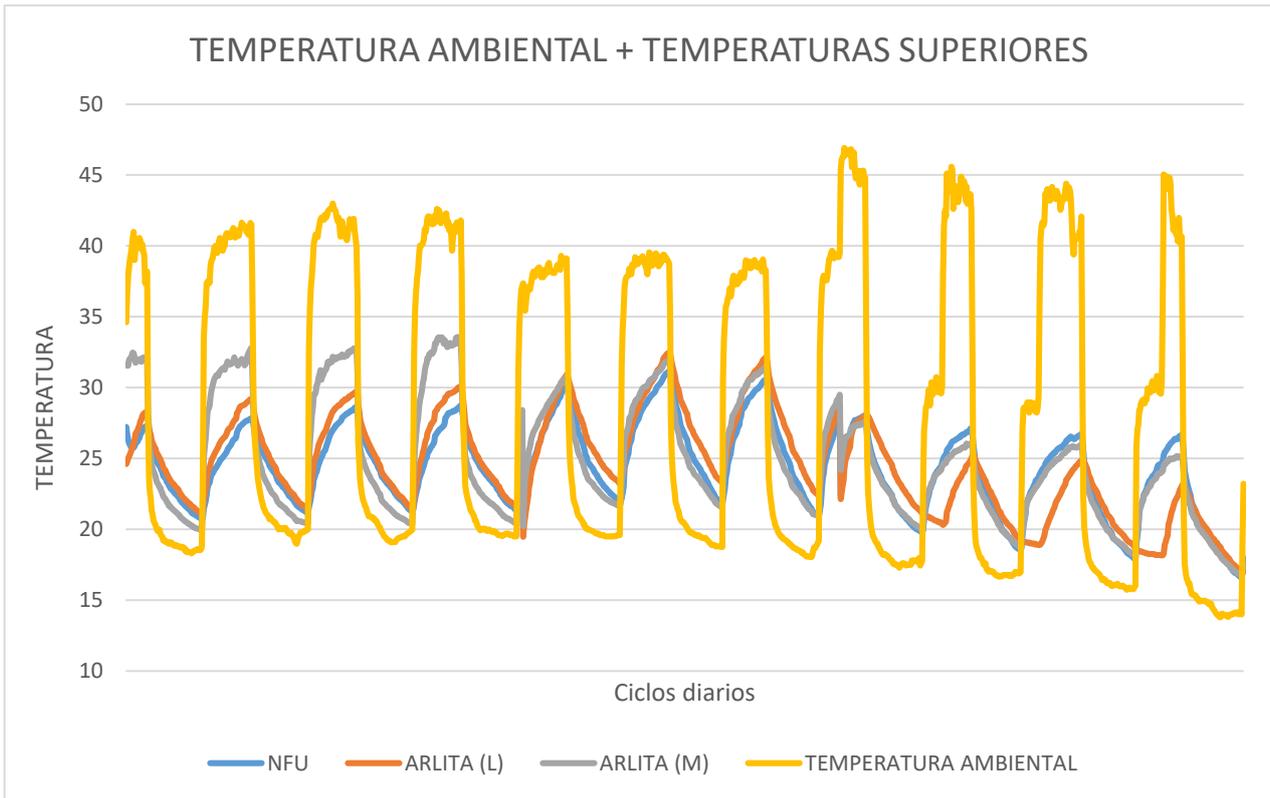
Por último, en este bloque, se ofrecen las temperaturas superiores de cada sección, mostrándose también la temperatura registrada como temperatura ambiente, Gráfica 36. Durante los primeros días del ensayo, la temperatura en la sección de Arlita (M) es superior a la del resto de secciones, pero se corrige a partir del cuarto día. Esto se debe probablemente a la colocación de la sonda, en la que, por circunstancias, quedaría expuesta de forma más directa a la radiación de las bombillas. Sin embargo, una vez corregida la posición del sensor, se observa que las temperaturas alcanzadas en las tres secciones son similares. También destaca como las temperaturas de las tres secciones alcanzan sus temperaturas extremas con un retardo respecto al momento en el que alcanza el sensor de temperatura ambiente.



Gráfica 34: Temperatura ambiente



Gráfica 35: Humedad ambiente

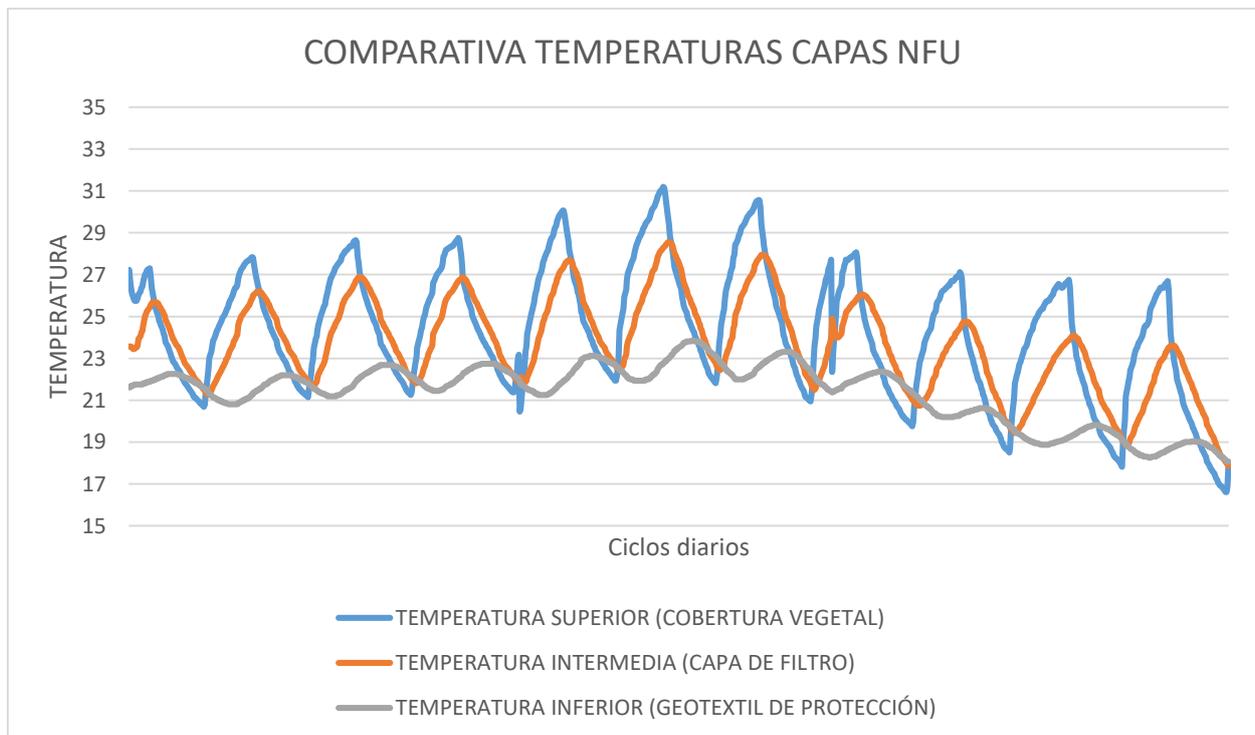


Gráfica 36: Temperatura ambiente + temperaturas superiores

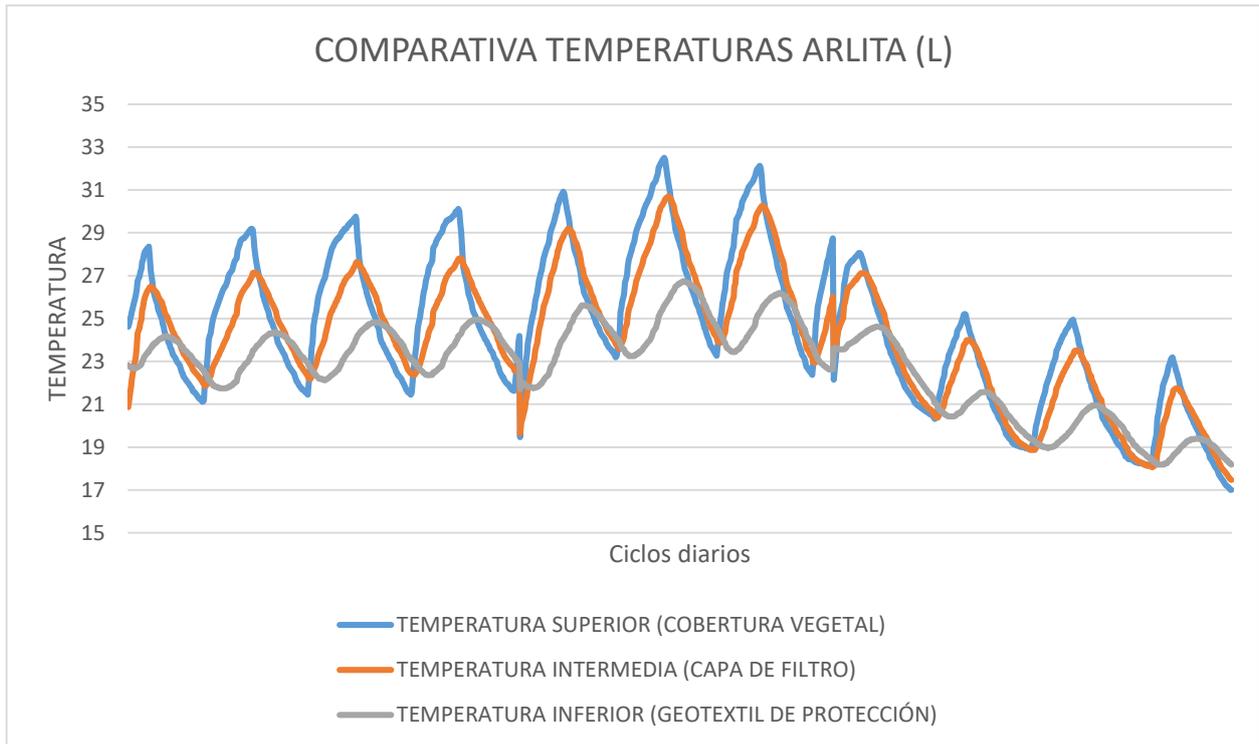
4.3.2. COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE CAPAS

Las gráficas que corresponden a este bloque reflejan la comparativa de las temperaturas en los tres puntos de medida de cada sección. Es curioso la manera en la que varían respecto a lo estudiado en el primer escenario, debido principalmente al deterioro acumulado por las plantas (las que no se han extinguido). De esta forma, en las tres gráficas correspondientes a las distintas secciones, Gráfica 37, Gráfica 38 y Gráfica 39, se observa cómo las diferencias entre las temperaturas superiores e intermedias son menores que la que se experimentaban en el primer escenario.

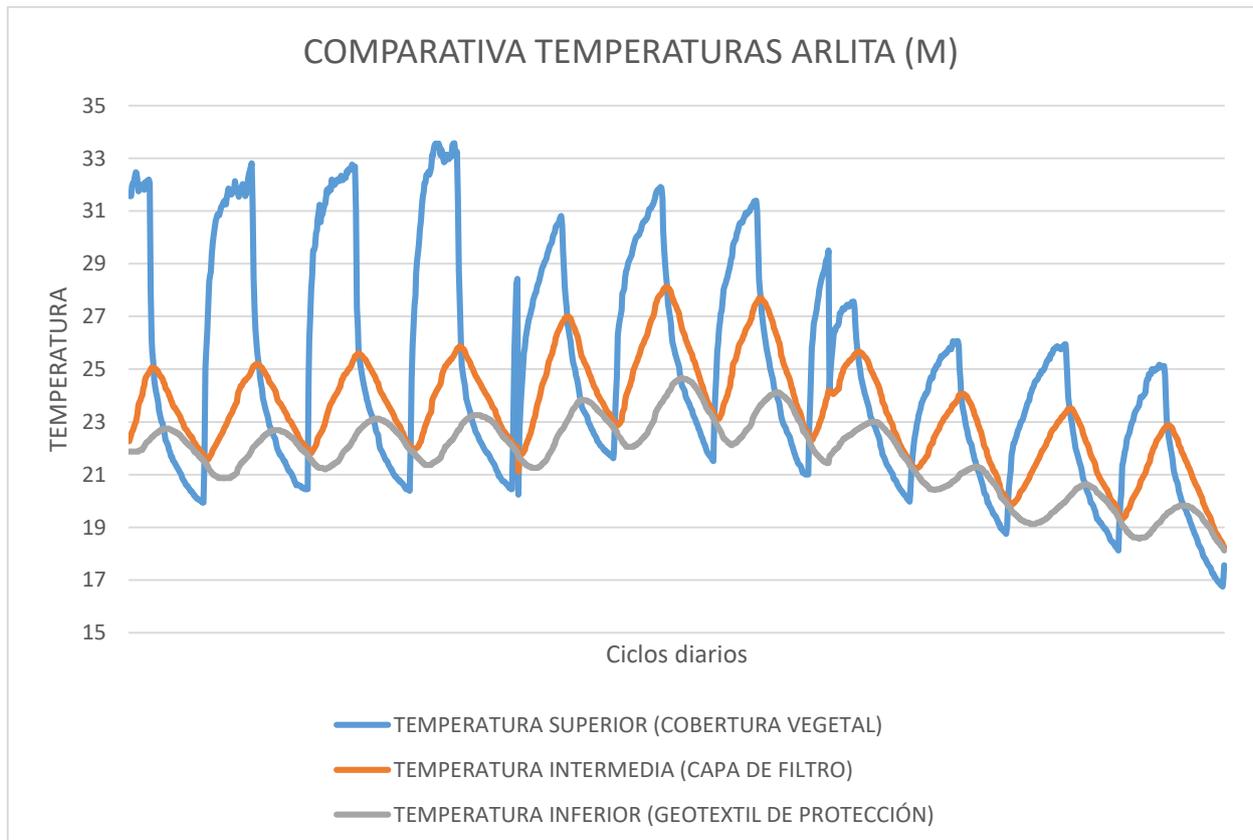
También destaca en esta ocasión que, de las temperaturas inferiores, la correspondiente al NFU experimenta variaciones más suaves que las de las secciones que contienen Arlita. Igualmente, en este escenario también es apreciable como los máximos y mínimos obtenidos en cada ciclo no se alcanzan a la vez, sino que primero se obtiene en las capas superiores, posteriormente en las capas intermedias y por último en las capas inferiores.



Gráfica 37: Comparativa temperaturas NFU



Gráfica 38: Comparativa temperaturas Arlita (L)



Gráfica 39: Comparativa temperaturas Arlita (M)

4.3.3. COMPARATIVA DE TEMPERATURAS ENTRE SECCIONES

Al igual que se ha analizado en el caso de sequía, se ofrecen las temperaturas registradas por capa, para su comparación entre secciones.

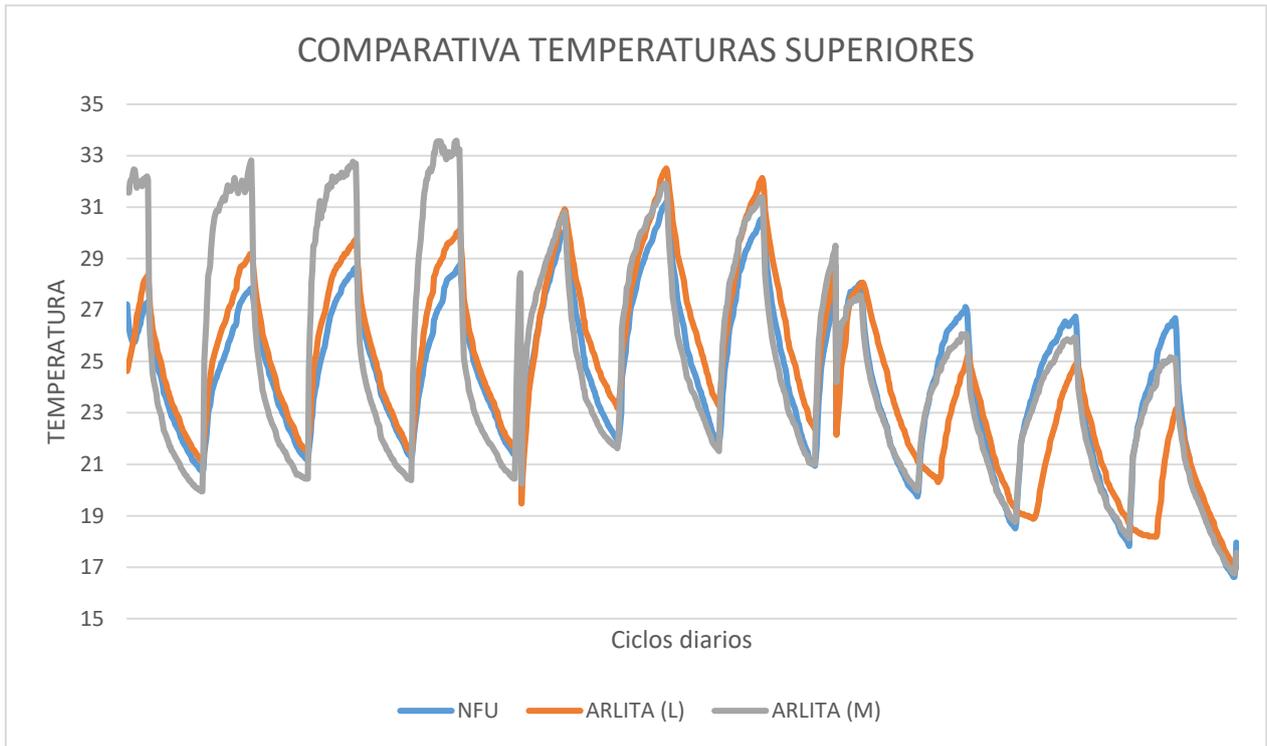
Una vez comentado el hecho de que, en los primeros días, la temperatura registrada en la sección de Arlita (M) era superior (debido al posicionamiento del sensor que luego fue reubicado), el comportamiento de las tres secciones de cubierta fue similar.

Otro fenómeno destacable es cómo en los últimos días las temperaturas superiores en las tres secciones descienden en 5°C, Gráfica 40, cuando la temperatura registrada por el sensor de temperatura ambiente reflejaba un incremento en ese mismo periodo, alcanzando los 45°C. Esos días corresponden a una fase en la que el aislamiento instalado en la parte frontal de las secciones estaba retirado, buscando y consiguiendo este descenso térmico.

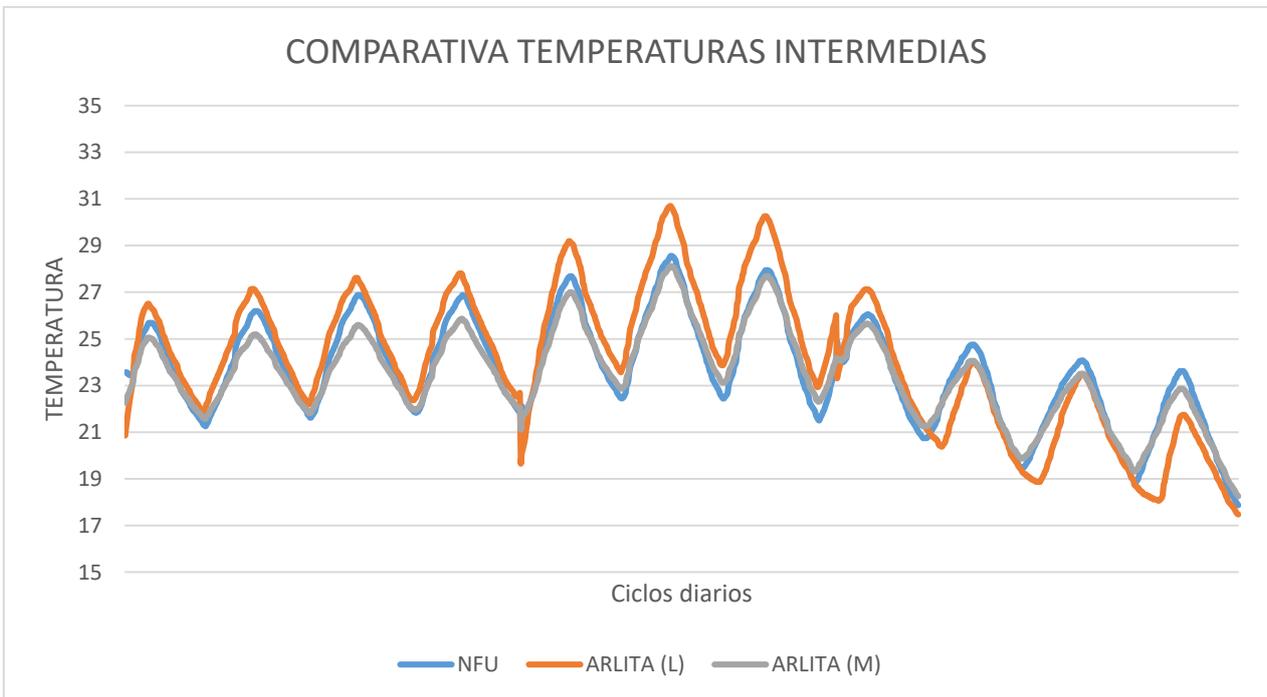
Conviene reiterar que, en la parte final de estos ensayos, las coberturas vegetales acumulaban un deterioro total, y que en algunas sondas también se apreciaba cierto deterioro, motivo extra para considerar por concluida la campaña experimental.

Sin embargo, hay aspectos que confirman lo esperado. En las temperaturas inferiores, Gráfica 42, destaca que la sección de Arlita (L), es la que registra mayores temperaturas, circunstancia lógica dado que su cobertura vegetal se encontraba en peor estado y, al ser un material de mayor tamaño (con mayor porcentaje de huecos), favorece el paso de la radiación hacia el interior de la sección.

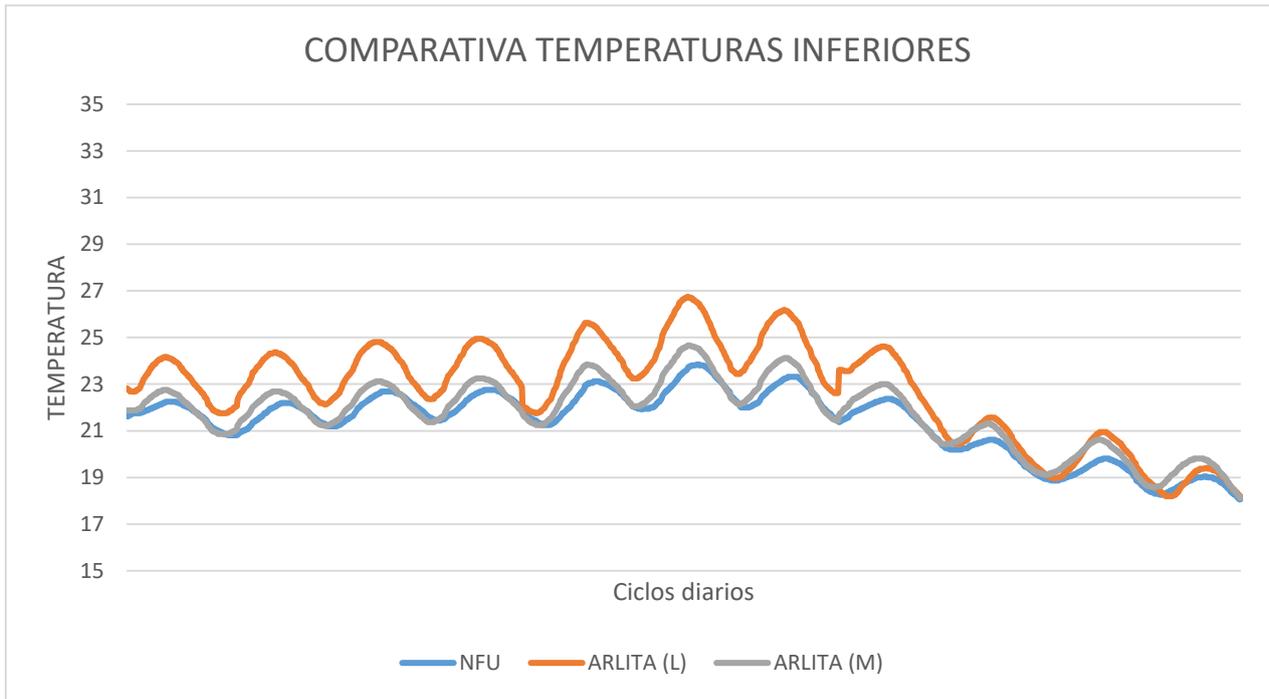
Para finalizar el análisis en cuanto a temperaturas se refiere, de la misma forma que se ha realizado en otros escenarios, la Gráfica 43 compara el aislamiento térmico otorgado por la capa drenante en las diferentes secciones. Otra muestra más del daño acumulado por parte de las secciones es el menor aislamiento obtenido en este caso (en relación a los escenarios previos), aunque también puede verse afectada esa característica por el agua presente en este escenario (el otro escenario en el que se analizaba esta propiedad era en el de sequía, sin aportes externos de agua).



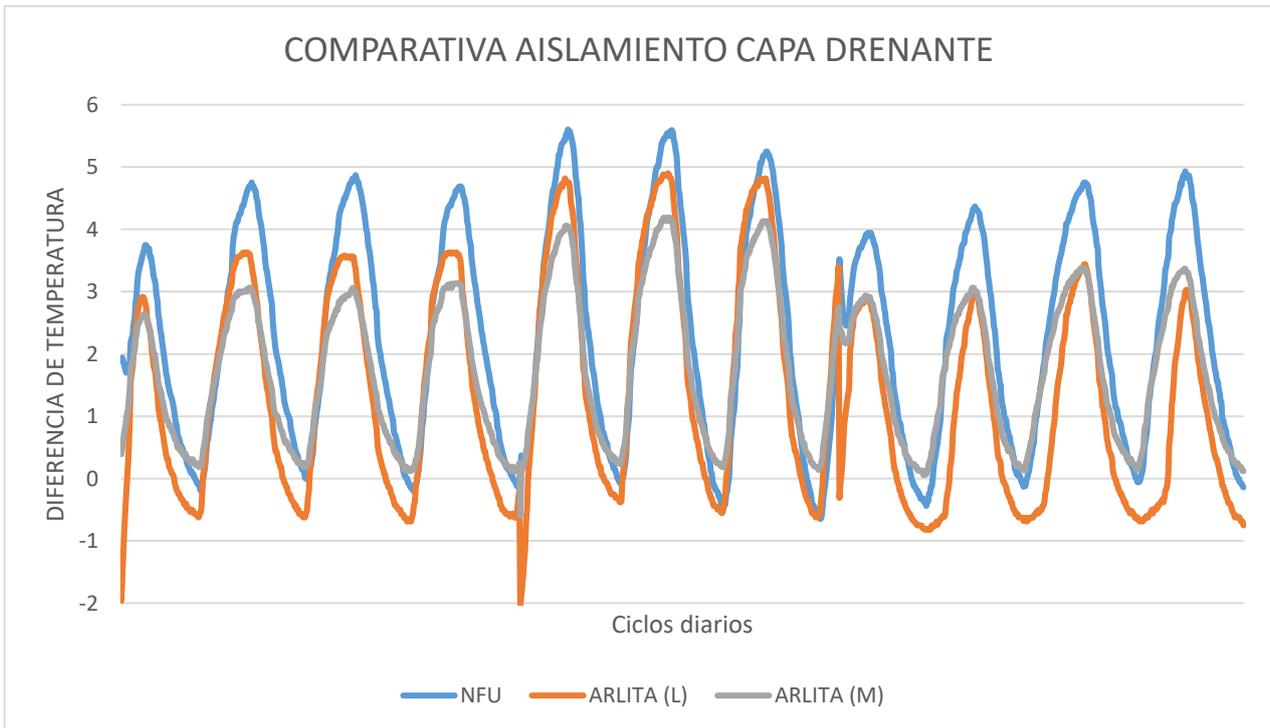
Gráfica 40: Comparativa temperaturas superiores (coberturas vegetales)



Gráfica 41: Comparativa temperaturas intermedias (capa de filtro)



Gráfica 42: Comparativa temperaturas inferiores (geotextil de protección)



Gráfica 43: Aislamiento capa drenante (diferencia entre temperaturas intermedias e inf.)

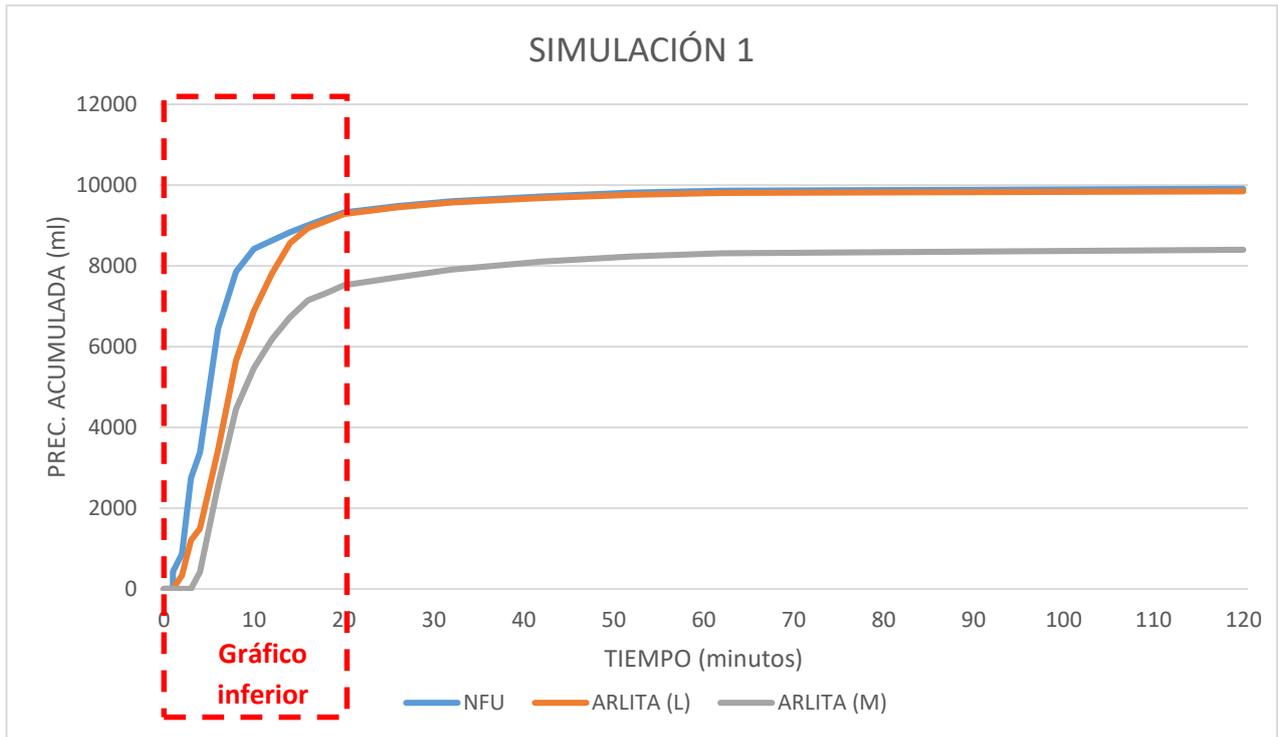
4.3.4. DATOS PRECIPITACIONES

En esta ocasión, las cuatro simulaciones efectuadas se realizaron con la misma intensidad de lluvia: 2l/min durante 6 minutos. Con ello se pretendió poder comparar los resultados alcanzados con los obtenidos en el escenario de precipitaciones.

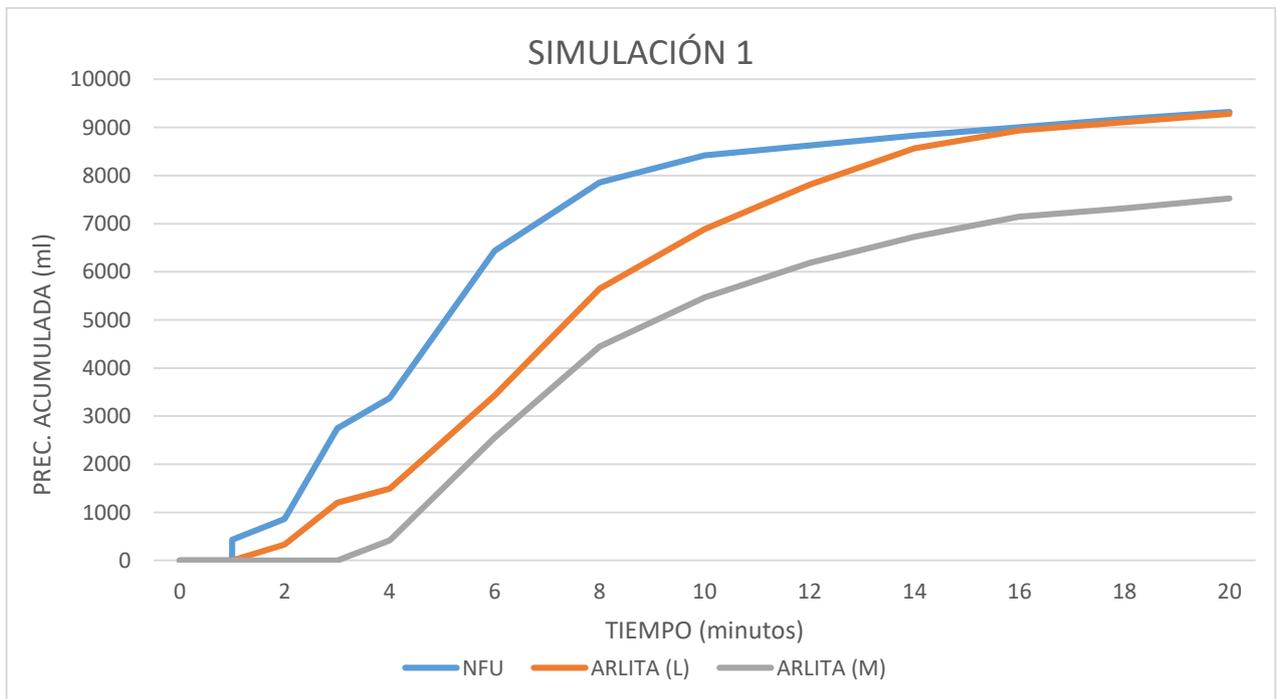
La forma de presentar los resultados es idéntica a la formulada en el escenario de precipitaciones, con dos gráficas para cada ensayo o simulación. En la primera de ellas, se muestra la curva del agua recogida a lo largo de las dos horas de duración del ensayo, mientras que en la segunda se hace un zoom sobre la primera parte del ensayo, para poder observar con mayor detalle el comportamiento a efectos de drenaje de las tres secciones durante los primeros 20 minutos, fase en la que se producen las diferencias más significativas.

En el comienzo de la serie de simulaciones (Gráfica 44 y Gráfica 45), cabe destacar la recuperación que experimentan las secciones después del parón establecido entre escenarios. Además, cuando se realiza la primera simulación, las secciones han estado tapadas completamente durante tres días, por lo que parece lógico que aumenten su capacidad de retención de agua.

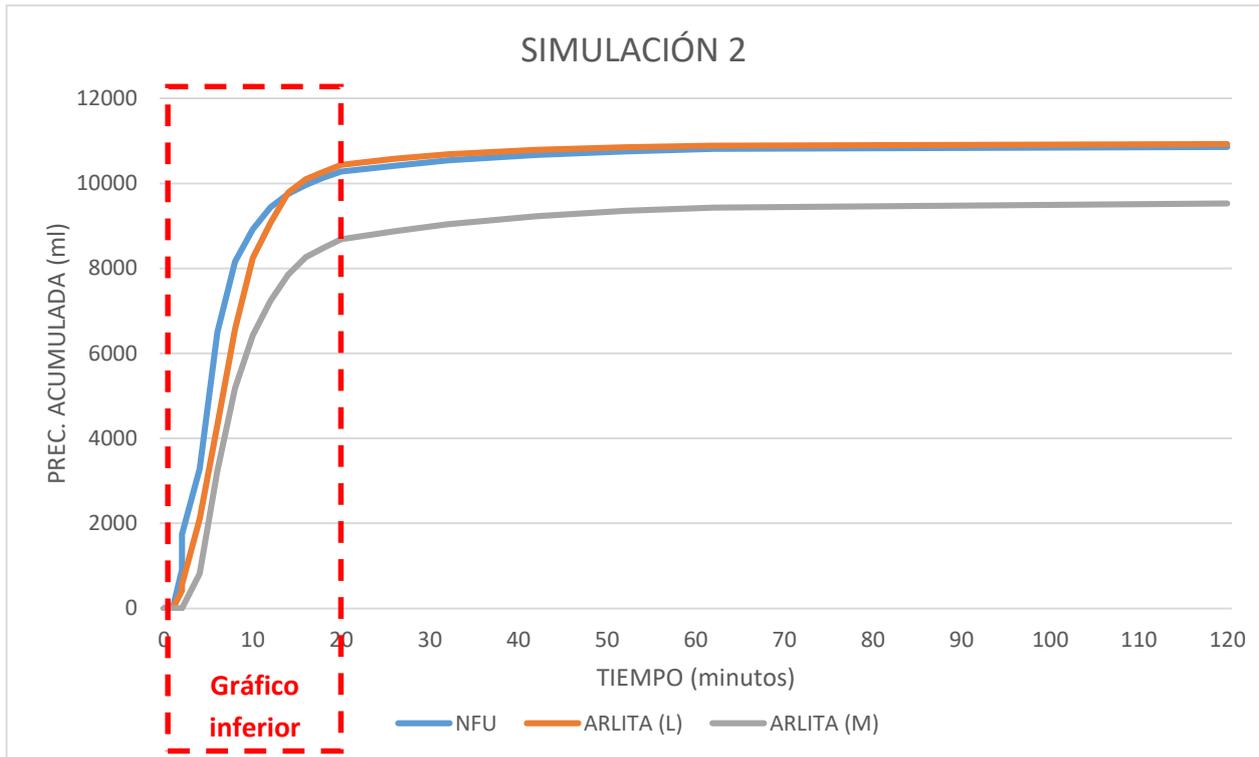
Sin embargo, y como es lógico, a medida que avanzan las simulaciones las secciones vuelven a experimentar un deterioro, alcanzando esta vez el daño total mucho antes que en el escenario de precipitaciones. Así, en la segunda simulación (Gráfica 46 y Gráfica 47), se aprecia ya cómo únicamente la sección de Arlita (M) consigue retener una cantidad superior a 2 litros al finalizar el ensayo, y como en las últimas simulaciones, Gráfica 48 y Gráfica 49, los resultados son incluso peores que los obtenidos en los peores casos del escenario 2 de precipitaciones. Es en este momento, cuando se decide con los directores del TFM y los tutores de las prácticas, dar por concluida la campaña experimental del presente estudio.



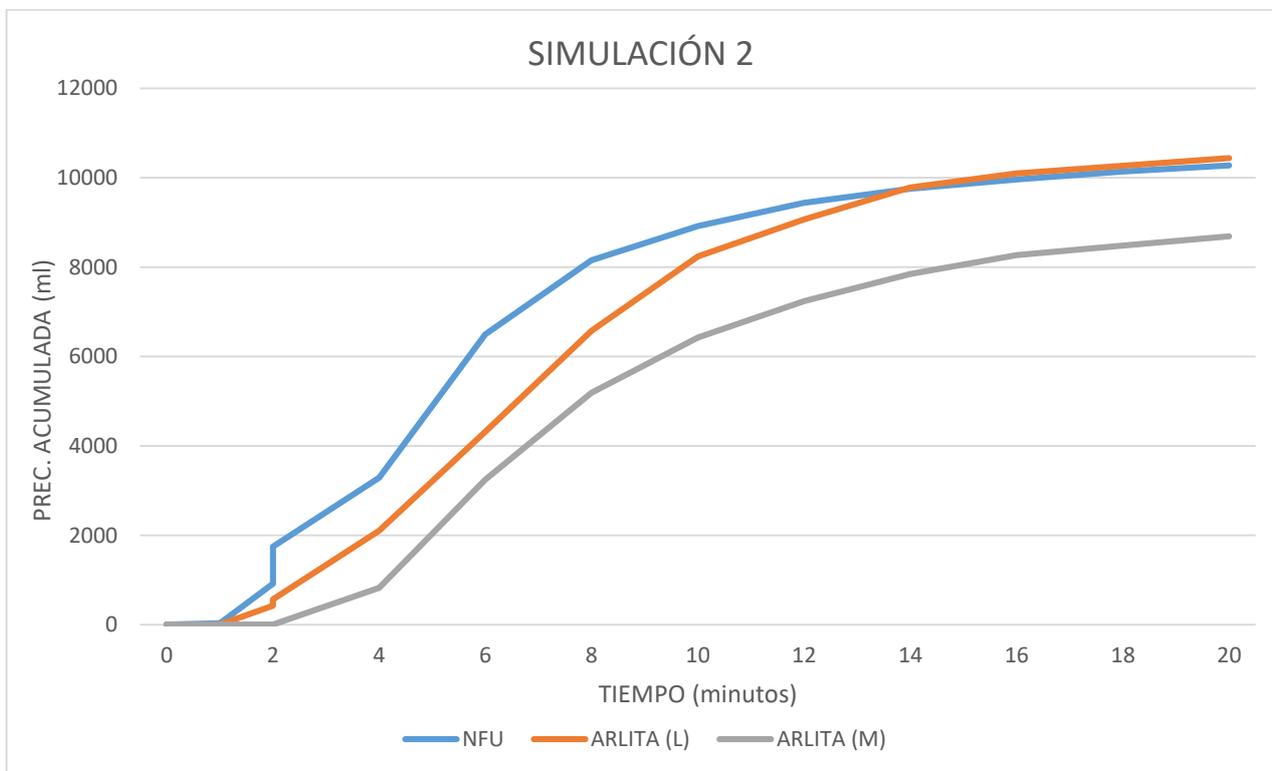
Gráfica 44: Simulación de precipitación 1



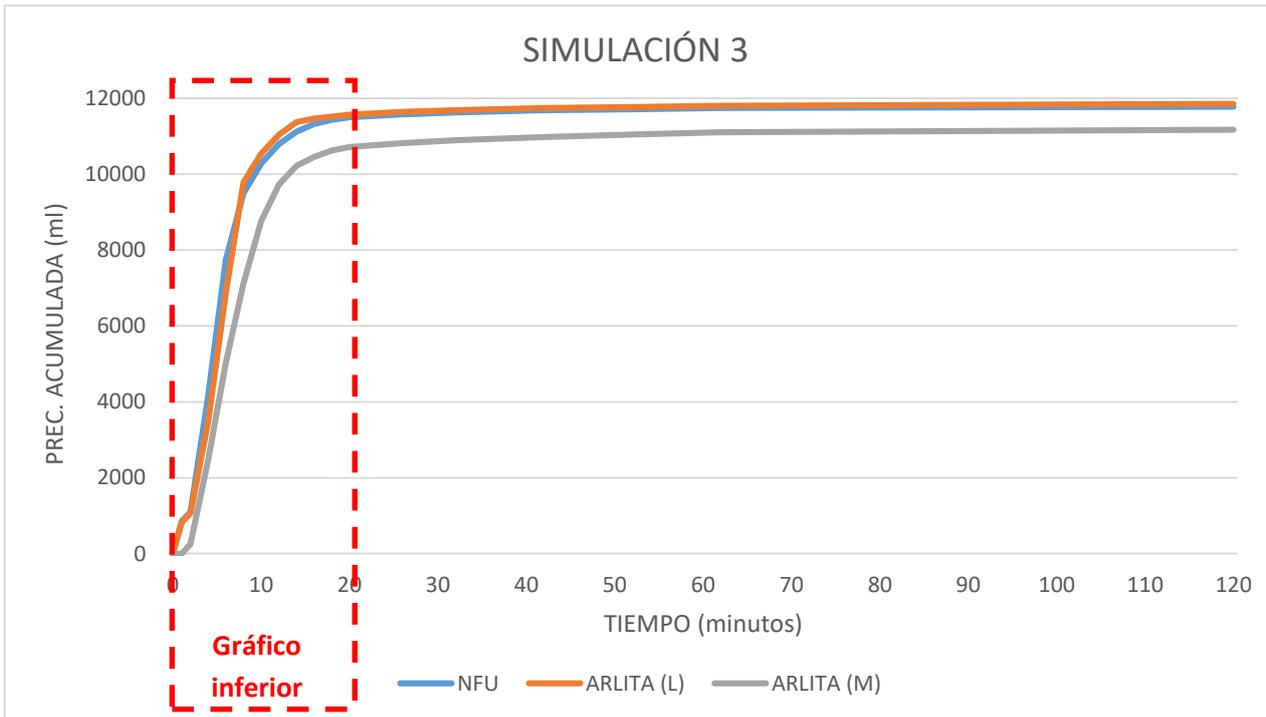
Gráfica 45: Simulación de precipitación 1 (I)



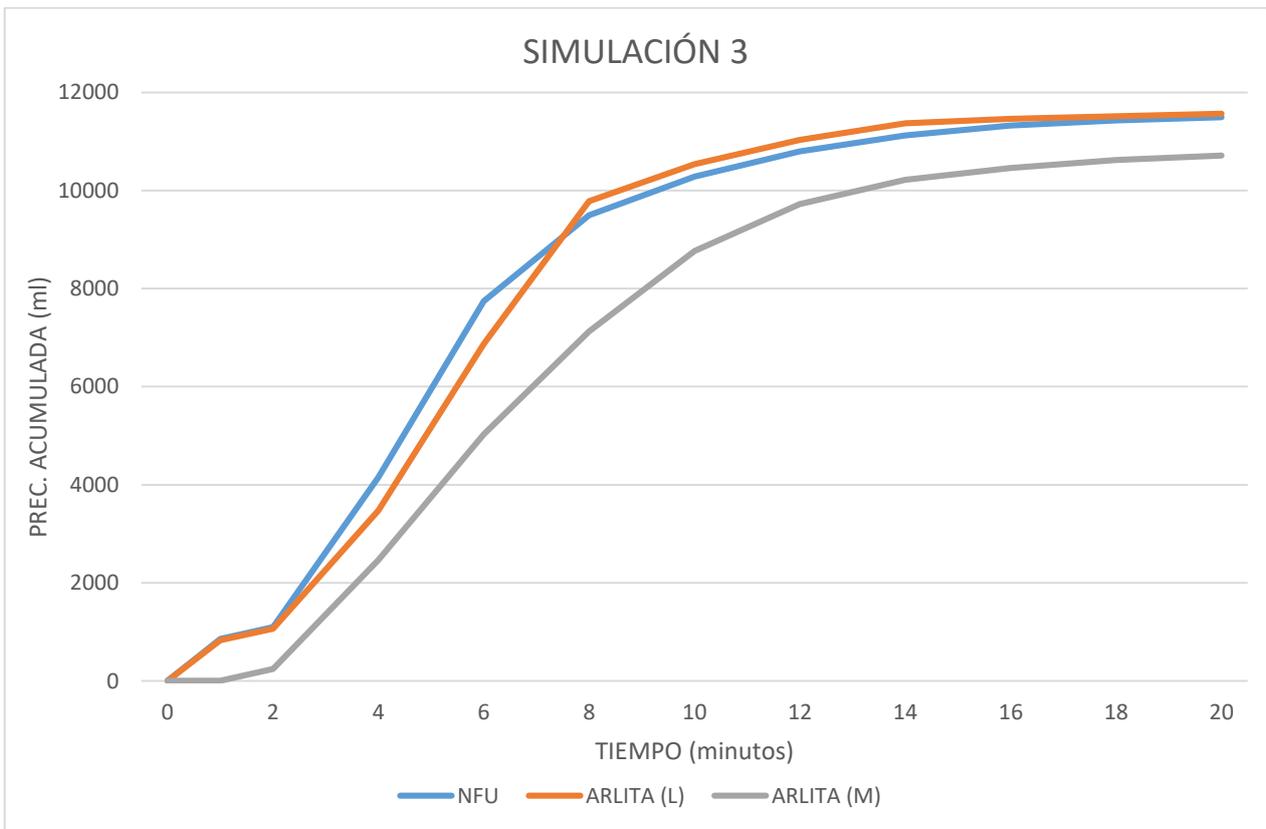
Gráfica 46: Simulación de precipitación 2



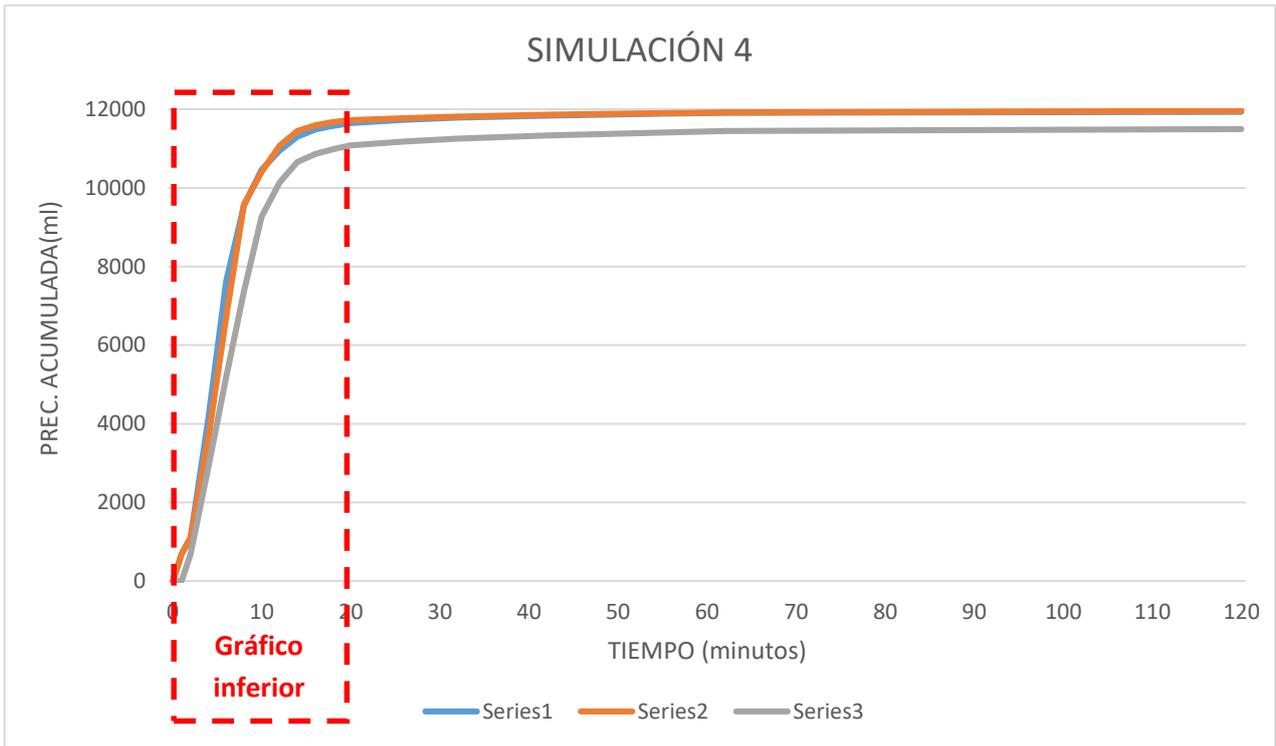
Gráfica 47: Simulación de precipitación 2 (I)



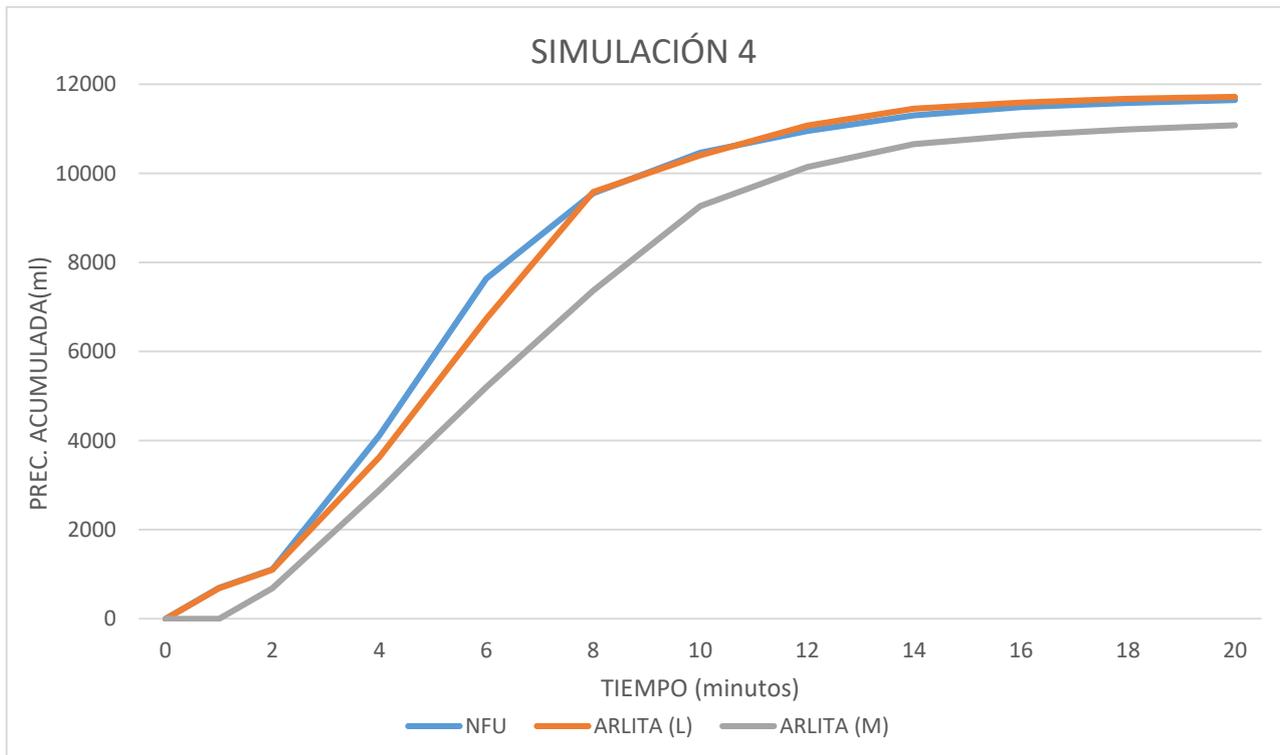
Gráfica 48: Simulación de precipitación 3



Gráfica 49: Simulación de precipitación 3 (I)



Gráfica 50: Simulación de precipitación 4



Gráfica 51: Simulación de precipitación 4 (I)

4.3.5. RESUMEN ESCENARIO ESTRÉS TÉRMICO

Lo primero digno de mención es que no se ha alcanzado el objetivo que se buscaba en este escenario, no del todo al menos, ya que, aunque se han logrado temperaturas más extremas que las obtenidas en el primer escenario, no se consiguió de manera continua. El estado de las plantas, bastante dañadas incluso después del periodo de descanso establecido entre escenarios tampoco resultó de ayuda. Sin embargo, se han obtenido datos interesantes:

- Después de haber suavizado las condiciones sobre las secciones, se observa que, al comenzar este escenario, las temperaturas en las coberturas vegetales son similares a las del comienzo del primer escenario.
- Además, en las dos primeras simulaciones de precipitación en este escenario, los resultados en cuanto a tiempos de comienzo de drenaje y retención total de agua son similares a los de los primeros ensayos del escenario anterior.
- Sin embargo, las nuevas aplicaciones de temperaturas extremas y los aportes externos de agua hacen que, a los diez días, se tenga que dar por concluida la campaña experimental debido al total deterioro experimentado por las secciones, circunstancia corroborada por la nula capacidad de retención de agua experimentada por parte de las secciones o por la escasa diferencia de temperaturas entre las capas superiores e intermedias.
- Conviene mencionar la contribución al aislamiento térmico generado por las diferentes capas drenantes. En comparación con los resultados del primer escenario (sequía), se observa como el aislamiento producido en términos absolutos es 1-2 °C menor en todas las secciones y en todo momento. La temperatura en la impermeabilización es inferior a la registrada en la capa filtrante. Además del daño acumulado que acumulan las secciones en este escenario, cabe pensar que esta variación en los aislamientos viene dada por la presencia de agua en los ensayos. Es posible que hubiera agua en la impermeabilización que hiciera disminuir la temperatura en ese punto de las secciones.

5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

El objetivo general de este trabajo fue **validar una metodología experimental de comparación de la resiliencia de distintas cubiertas verdes**. En este capítulo, se exponen las ideas principales que merecen la pena ser resaltadas una vez analizados los ensayos, así como ciertas recomendaciones a seguir en investigaciones relacionadas con el tema tratado en este TFM.

- En cuanto a la metodología definida y los ensayos llevados a cabo, se observan diferencias entre las secciones y, por tanto, **se pueden caracterizar los materiales que componen las secciones en base a los resultados obtenidos en los diferentes estudios**. Se considera esencial disponer de mayor número de especímenes de ensayo (varias secciones de cubierta de cada uno de los materiales estudiados) o, en su defecto, mayor cantidad de materiales para que el efecto de los ensayos realizados en cada escenario no distorsione los resultados alcanzados en los subsiguientes, debido al daño acumulado que pueda conllevar la realización de diferentes ensayos en las mismas secciones. En este caso, por ejemplo, habría sido conveniente replantar especies vegetales no ensayadas previamente en el tercer escenario, para poder asumir que ninguno de los resultados estaba alterado por disponer de unas secciones con la cobertura vegetal deteriorada.
- En cuanto a las especies vegetales, se ha observado como en el escenario en el que más han aguantado ha sido en el de sequía. Esto confirma lo estudiado en los primeros capítulos del trabajo: **las especies de Sedum toleran mucho mejor la falta de agua que la presencia abundante de la misma**. Hay que indicar, no obstante, que los escenarios en los que se han simulado precipitaciones han sido un tanto extremos, ya que se han concentrado los ensayos en pocos días simulando las precipitaciones máximas recogidas en todo un mes.
- En el escenario de sequía, la larga exposición de la cobertura vegetal a los ciclos de 12 horas de luz, no ha acabado con la cobertura vegetal tan rápido, pero ha provocado que las temperaturas en dicha capa (entre la cobertura y el sustrato) acabara siendo muy superior a la ambiental, lo que supone que **un periodo de sequía puede provocar que la capacidad para la mitigación del efecto isla de calor por parte de las cubiertas vegetadas sea mucho menor** (incluso llegan a acumular más cantidad de calor). Como ya se ha comentado en la discusión previa de los resultados, la cantidad de horas de luz sí que puede asemejarse a las que tendrían que soportar realmente las plantas, pero no así las temperaturas derivadas alcanzadas como consecuencia de la radiación de dichas bombillas, ya que, en los ensayos, las plantas se encontraban sometidas a temperaturas superiores a 45°C durante 12 horas cuando, en la realidad, esas temperaturas sólo se alcanzan en las horas centrales del día. En esta situación, **las especies han durado 45 días, cuando**

se ha visto en capítulos anteriores que los periodos de sequía a los que **tendrán que hacer frente en el futuro ciertas zonas de España es de más de 130 días.**

- En el mismo escenario, y atendiendo a la comparación entre diferentes secciones, se han observado diferentes comportamientos de los distintos componentes:
 - o La sección cuya capa drenante está formada por **caucho reciclado (NFU)** proporciona un **aislamiento de hasta 7°C**, siendo en todo momento la temperatura en la capa inferior menor que la registrada en la capa filtrante.
 - o Las de **Arlita**, por el contrario, consiguen un **aislamiento de hasta 3-4°C**, pero una de ellas, la de menor tamaño, Arlita (M), ofrece un comportamiento muy interesante. Durante el día, el aislamiento va en la dirección de enfriar el interior del edificio, mientras que, por las noches, con las bombillas apagadas, la temperatura en la impermeabilización es 1-2°C mayor que en capas superiores. Esto convierte dicho material en muy interesante para aquellas zonas en las que no sea necesario disponer de un aislamiento diurno muy alto, y que, además, ayude a suavizar el descenso térmico nocturno, como pudiera ser una ciudad como Santander, en las que las temperaturas máximas no son excesivas y las mínimas también son más bajas.
- En cuanto al **comportamiento de estas secciones frente a las precipitaciones**, se ha comprobado que, en mayor o menor medida, **pueden retener parte del agua vertida**. En ese sentido, el material que **mayor rendimiento ha proporcionado es la Arlita (M)**, ya que ha habido ensayos en los que **ha retenido más del 20% de la precipitación simulada, además de retrasar hasta en casi 3 minutos el comienzo del drenaje frente a la precipitación (efecto de laminación)**. En las otras dos secciones, la cantidad de agua finalmente retenida por la cubierta no superó el 10% y apenas se llega al minuto sin que la propia sección comience a drenar parte de la precipitación. Esto no quiere decir que un material sea mejor que los otros; cada caso concreto requerirá un análisis particular, ya que puede darse la circunstancia en la que sea desaconsejable retener agua en la cubierta por condiciones de cargas adicionales, por uso de la cubierta, etc.
- Además, en este escenario en el que se definen tres tandas de tres ensayos cada una y en el de estrés térmico en el que también se realizan simulaciones de precipitaciones, uno de los objetivos del planteamiento llevado a cabo, es el de estudiar la capacidad resiliente de las secciones. Así, **se puede conceder cierta capacidad resiliente a las cubiertas verdes ensayadas ya que cuando se ha aumentado el periodo entre dos ensayos consecutivos**, bien entre la segunda y la tercera tanda del escenario de precipitaciones, o entre los dos últimos escenarios, **se ha comprobado como las secciones recuperan cierta capacidad para gestionar el agua pluvial**. Sin embargo, el daño acumulado en las precipitaciones acaba por hacer desaparecer la cobertura vegetal.

- En cuanto a la **presencia de agua**, también cabe **destacar la reducida influencia que ofrecen las diferentes capas drenantes en el aislamiento térmico**. En este sentido, resulta especialmente significativo el comportamiento manifestado por la sección con Arlita (M), dado que el “aislamiento inverso día-noche” que se produjo en el escenario de sequía desaparece. Además, prácticamente desaparece la contribución absoluta proporcionada por todas las secciones al aislamiento térmico. Ambas circunstancias se relacionan con el hecho de la existencia de agua a nivel de capa de impermeabilización.

Una vez llegados a este punto, con el trabajo concluido, queda patente el potencial del que dispone la sociedad con las cubiertas verdes para la **generación de un entorno más sostenible**.

Explicitados los beneficios que aportan respecto a las cubiertas convencionales, se ha demostrado la influencia de distintos tipos de secciones vegetadas en los resultados que pueden obtenerse frente a diversos escenarios extremos ocasionados por el cambio climático. Así, unos materiales han respondido mejor que otros, invirtiéndose dichos beneficios para otros casos. El desarrollo de **líneas de investigación más concretas**, para casos más concretos, pueden ayudar a caracterizar de forma más acertada las cubiertas.

Además, deben potenciarse las sinergias que pueden producirse entre la generación de espacios verdes y el reciclado de materiales. En este trabajo se ha experimentado con neumáticos fuera de uso (NFU), un residuo difícil de reaprovechar. La generación de espacios verdes, además de los beneficios directos que produce, puede ocasionar beneficios indirectos mediante el reciclado de distintos materiales.

Como comentario final, remarcar que la adopción de cubiertas ajardinadas puede constituir una estrategia puntera en cuanto a la construcción sostenible, que conllevará el cambio del tejido urbano. Conviene incidir en la necesidad de que las cubiertas ajardinadas conformen una solución de cara a lograr un planeta sostenible. Para ello, se requiere la implicación de Administraciones e Instituciones para la divulgación y promoción de estas soluciones constructivas, bien sea mediante leyes u ordenanzas o mediante distintos incentivos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Akbari, H. y otros, 2003. *Cooling Our Communities e A Guidebook on Tree Planting and Light Colored Surfacing*. Washington, D.C, s.n.

Arquitectura Mexico, 2018. *Arquitectura Mexico*. [En línea]
Available at: <https://arquitecturamexico.wordpress.com/2011/12/13/normatividad-de-las-azoteas-verdes/>
[Último acceso: 26 Junio 2018].

Asociación Española de Cubiertas Verdes y Ajardinamientos Verticales, 2017. *Agricultura Urbana Sostenible en Altura*. s.l., s.n.

Berardi, U., GhaffarianHoseini, A. & GhaffarianHoseini, A., 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs.

Berndtsson, C., Emilsson, J. & Bengtsson, L., 2006. The influence of extensive vegetated roofs on runoff quality. *Science and the Total Environment*, Issue 355, pp. 48-63.

Berndtsson, J. C., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review.

Bevilacqua, P., Mazze, D., Bruno, R. & Arcuri, N., 2016. Experimental investigation of the thermal performances of anextensive green roof in the Mediterranean area.

Buccola, N. & Spolek, G., 2011. A pilot-scale evaluation of greenroof runoff retention, detention, and quality.. *Water Air and Soil Pollution*, pp. 83-92.

Carpenter, D. & Kaluvakolanu, P., in press. Effect of roof surface type on stormwater run-off from full-scale roofs in a temperate climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.

Carter, L. & Rasmussen, T. C., 2006. Hydrologic behaviour of vegetated roofs. *Journal of the American water resources association*.

CasasEcológicas, 2018. *i casas ecológicas*. [En línea]
Available at:
<https://www.google.es/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Ficasasecológicas.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F04%2Fterrazza-intensiva-en-edificio-de-Buenos-Aires-Argentina.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Ficasasecológicas.com%2Flos-techos-verdes-ventajas-desventajas%2F&>
[Último acceso: 29 Agosto 2018].

Castleton, H., Stovin, V., Beck, S. & Davison, J., 2010. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and buildings*, Issue 42, pp. 1582-1591.

Código Técnico de la Edificación, 2010. *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. s.l.:s.n.

Coffman, R. & Davis, G., 2005. *Insect and avian fauna presence on the Ford assembly plant ecoroof*. Washington DC, s.n.

Código Técnico de la Edificación, 2017. *Documento Básico Salubridad "DB HS1 Protección frente a la humedad"*. s.l.:s.n.

Cubiertas Estévez, 2015. [En línea]

Available at: <http://www.cubiertasestevéz.es/servicios/cubiertas-y-tejados-nuevos/cubiertas-planas/>

[Último acceso: 5 Junio 2018].

DeNardo, J., Jarrett, A., Manbeck, H. & Beattie, D. B. R., 2005. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs..

ETRMA, 2016. *Safety of recycled rubber infill material*, Bruselas: s.n.

Europa Press, 2017. *Europa Press*. [En línea]

Available at: <http://www.europapress.es/comunitat-valenciana/noticia-promotores-puerto-mediterraneo-plantean-cubierta-verde-200000-m2-mayor-europa-20170809145711.html>

[Último acceso: 3 Septiembre 2018].

Feitosa, R. C. & Wilkinson, S., 2016. Modelling green roof stormwater response for different soil depths.

Fiorretti, R., Palla, A., Lanza, L. & Principi, P., 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate.

Getter, K. L. & Rowe, D. B., 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), pp. 1276-1285.

Graceson, A., Hare, M., Hall, N. & Monaghan, J., 2014. Use of inorganic substrates and composted green waste in growing media for green roofs.

Hathaway, A., Hunt, W. & Jennings, G., 2008. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 37-44(51).

historia, V. d. l., 2018. *Viajero de la historia*. [En línea]

Available at: <http://viajerodelahistoria.com/2016/02/babilonia-la-gran-capital-de-mesopotamia/>

[Último acceso: 24 Junio 2018].

IDOM, 2018. *IDOM*. [En línea]

Available at: <https://www.idom.com>

[Último acceso: 3 Septiembre 2018].

ISOVER, 2018. *Isover*. [En línea]

Available at: <https://www.isover.es/documentacion/detalles-constructivos-segun-cte/detalles-constructivos-segun-cte-cubiertas>

[Último acceso: 25 Junio 2018].

- Jardineria On, 2018. *Jardineria On*. [En línea]
Available at: <https://www.jardineriaon.com/arlita.html>
[Último acceso: 29 Agosto 2018].
- Köhler, M. y otros, 2002. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics - far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health*, Issue 13, pp. 382-391.
- Lanham, J., 2007. *Thermal performance of green roofs in cold climates*. Master Thesis.. s.l., s.n.
- Leroy Merlin, 2018. *Leroy Merlin*. [En línea]
Available at: <http://www.leroymerlin.es/fp/17826872/poliestireno-extruido-xps-chovafoam-t-iii-e-2600x60x5>
[Último acceso: 30 Agosto 2018].
- Mayer, H., 1999. Air pollution in cities.. *Atmospheric Environment*, pp. 4029-4037.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being - Current State and Trends*. Washington, DC., s.n.
- Molineux, C., Fentiman, C. & Gange, A., 2009. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K.. *Ecological Engineering*, pp. 1507-1513.
- Monterusso, M., Rowe, D., Rugh, C. & Russell, D., 2004. Runoff water quantity and quality from green roof systems. *Acta Hort*, Issue 639, pp. 36-376.
- Nagase, A. & Dunnet, N., 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*, Issue 103, pp. 230-236.
- Neila, F. y otros, 2008. Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo.
- Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo, 2003. *Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo*. Barcelona: Fundació de l'Enginyeria Agrícola Catalana.
- Nowak, D., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States.. *Urban Forestry and Urban Greening*, Issue 4, pp. 115-123.
- Numa Industrial, 2018. *Numa Industrial*. [En línea]
Available at: <http://www.numaindustrial.com/laminas-pvc.php>
[Último acceso: 30 Agosto 2018].
- Passchier-Vermeer, W. & Passchier, W., 2000. Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*, Issue 108, pp. 123-131.
- Pérez, G., Vila, A., Rincón, L. & Cabeza, L., 2012. Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material. *Applied Energy*, Issue 97, pp. 347-354.

Projar, 2018. *Projar*. [En línea]

Available at: <https://www.projar.es/productos/productos-jardineria-urbanismo/cubiertas-ajardinadas/cubierta-ajardinada/cubierta-vegetal-intensiva/>

[Último acceso: 24 Junio 2018].

Richter, A. & Weaver, R., 2008. Treatment of domestic wastewater by subsurface flow constructed wetlands filled with gravel and tire chip media. pp. 1561-1567.

Rincón, L. y otros, 2014. Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative Life Cycle Assessment. *Building an Environment*, Issue 74, pp. 22-30.

Rodrigo, J. y otros, 2008. El consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda en España.

Rowe, B., 2010. Green roofs as a means of pollution abatement.

Santamouris, M., 2012. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments.

Shafique, M., Kim, R. & Rafiq, M., 2018. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review.

Steusloff, S., 1998. Input and output of airborne aggressive substances on green roofs in Karlsruhe.

Susca, T., Gaffin, S. & Dell'Oso, G., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs.

Takebayashi, H. & Moriyama, M., 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, Issue 42, pp. 2971-2979.

United Nations, 2004. *World Urbanization Prospects: The 2003 Revision*. New York, s.n.

USEPA, 2008. Green Roofs. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, Volumen 3.

Vademecum Sustentable, 2018. *Vademecum Sustentable*. [En línea]

Available at: <http://www.vademecumsustentable.com/notas.php?pagina=5>

[Último acceso: 3 Septiembre 2018].

Van Renterghem, T. & Botteldooren, D., 2008. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of Sound and Vibration*, pp. 781-799.

Van Renterghem, T. & Botteldooren, D., 2009. Numerical evaluation of sound propagating. *Building and Environment*, pp. 1081-1087.

VanWoert, N. D. y otros, 2005. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*, pp. 1036-1044.

Vila, A., Pérez, G., Solé, C. & Fernández, A. C. L., 2012. Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. *Building and Environment*, Issue 48, pp. 101-106.

Whittinghill, L. J., Rowe, B., Schutzki, R. & Cregg, B. M., 2013. Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems.

Yang, J., Yu, Q. & Gong, P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago.

Yang, J., Yu, Q. & Gong, P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in. *Atmospheric Environment*, Issue 42, pp. 7266-7273.

Zinco, 2018. *Zinco*. [En línea]

Available at: https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas_cubiertas/extensivas/sedum_tapizante.php

[Último acceso: 2 Julio 2018].

Zinco, 2018. *Zinco*. [En línea]

Available at: https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/downloads/download_files/ZinCo_FT_Floradrain%20FD%2040-E_es.pdf

[Último acceso: 29 Agosto 2018].

7. ANEXOS

7.1. ARDUINO

7.1.1. CÓDIGO ARDUINO

A continuación, se muestra el código empleado para poder medir y guardar todos los datos que eran necesarios

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include "RTCLib.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
RTC_DS3231 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 20, 4);
String h, m, s;
String daysOfTheWeek[7] = { "Domingo", "Lunes", "Martes", "Miercoles", "Jueves",
"Viernes", "Sabado" };
String monthsNames[12] = { "Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio",
"Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre" };
const int oneWirePin2 = 4;
const int oneWirePin3 = 5;
const int oneWirePin4 = 6;
const int oneWirePin5 = 7;
const int oneWirePin6 = 8;
const int oneWirePin7 = 9;
const int oneWirePin8 = 10;
const int oneWirePin9 = 11;
const int oneWirePin10 = 12;
const int oneWirePin11 = 13;
const int BOTON = 46;
const int LED =44;
const int LED2=42;
int val = 0; //val se emplea para almacenar el estado del boton
int state = 0; // 0 LED apagado, mientras que 1 encendido
int old_val = 0; // almacena el antiguo valor de val
const int numLecturas = 10; // número de lecturas de las que se hará el promedio
float lecturasT2[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
```

```
int lecturaActualT2 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT3[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT3 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT4[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT4 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT5[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT5 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT6[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT6 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT7[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT7 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT8[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT8 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT9[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT9 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT10[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT10 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasT11[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualT11 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasTA[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualTA = 0; // Lectura por la que vamos
float totalT2 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT2 = 0; // Media de las medidas
float totalT3 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT3 = 0; // Media de las medidas
float totalT4 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT4 = 0; // Media de las medidas
float totalT5 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT5 = 0; // Media de las medidas
float totalT6 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT6 = 0; // Media de las medidas
float totalT7 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT7 = 0; // Media de las medidas
float totalT8 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT8 = 0; // Media de las medidas
float totalT9 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT9 = 0; // Media de las medidas
float totalT10 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT10 = 0; // Media de las medidas
float totalT11 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaT11 = 0; // Media de las medidas
```

```
float totalTA = 0; // Total de las que llevamos
float mediaTA = 0; // Media de las medidas
float lecturasH[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualH = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasH1[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualH1 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasH2[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualH2 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasH3[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualH3 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasH4[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualH4 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasH5[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualH5 = 0; // Lectura por la que vamos
float lecturasHA[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActualHA = 0; // Lectura por la que vamos
float totalH = 0; // Total de las que llevamos
float mediaH = 0; // Media de las medidas
float totalH1 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaH1 = 0; // Media de las medidas
float totalH2 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaH2 = 0; // Media de las medidas
float totalH3 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaH3 = 0; // Media de las medidas
float totalH4 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaH4 = 0; // Media de las medidas
float totalH5 = 0; // Total de las que llevamos
float mediaH5 = 0; // Media de las medidas
float totalHA = 0; // Total de las que llevamos
float mediaHA = 0; // Media de las medidas
unsigned long previousMillis;
float temperatura2;
float temperatura3;
float temperatura4;
float temperatura5;
float temperatura6;
float temperatura7;
float temperatura8;
float temperatura9;
float temperatura10;
float temperatura11;
```

```
float temperaturaAmbiente;
float humedadAmbiente;
int lcdtemp2;
int lcdtemp3;
int lcdtemp4;
int lcdtemp5;
int lcdtemp6;
int lcdtemp7;
int lcdtemp8;
int lcdtemp9;
int lcdtemp10;
int lcdtemp11;
int lcdtempTA;
int lcdhumHA;
int lcdhum;
int lcdhum1;
int lcdhum2;
int lcdhum3;
int lcdhum4;
int lcdhum5;
DHT dht(15,21);
unsigned long testBegin; //variable donde almacenamos el tiempo relativo de
comienzo
unsigned long interval=10000; //variable que define el intervalo de medida (en
milisegundos)
File myFile; //inicializamos SD
int pinCS = 53; //pin donde conectamos el CS del modulo SD (predefinido, 53 en MEGA,
4 en UNO)
OneWire oneWireBus2(oneWirePin2);
OneWire oneWireBus3(oneWirePin3);
OneWire oneWireBus4(oneWirePin4);
OneWire oneWireBus5(oneWirePin5);
OneWire oneWireBus6(oneWirePin6);
OneWire oneWireBus7(oneWirePin7);
OneWire oneWireBus8(oneWirePin8);
OneWire oneWireBus9(oneWirePin9);
OneWire oneWireBus10(oneWirePin10);
OneWire oneWireBus11(oneWirePin11);
DallasTemperature sensor2(&oneWireBus2);
DallasTemperature sensor3(&oneWireBus3);
DallasTemperature sensor4(&oneWireBus4);
```

```
DallasTemperature sensor5(&oneWireBus5);
DallasTemperature sensor6(&oneWireBus6);
DallasTemperature sensor7(&oneWireBus7);
DallasTemperature sensor8(&oneWireBus8);
DallasTemperature sensor9(&oneWireBus9);
DallasTemperature sensor10(&oneWireBus10);
DallasTemperature sensor11(&oneWireBus11);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(1000);
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println(F("Couldn't find RTC"));
    while (1);
  }
  if (rtc.lostPower()) {
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  }
  pinMode(LED2, OUTPUT);
  digitalWrite(LED2, HIGH);
  Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
  if (!SD.begin(53))
  {
    Serial.println(F("Error al iniciar"));
    return;
  }
  Serial.println(F("Iniciado correctamente"));
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  sensor2.begin();
  sensor3.begin();
  sensor4.begin();
  sensor5.begin();
  sensor6.begin();
  sensor7.begin();
  sensor8.begin();
  sensor9.begin();
  sensor10.begin();
  sensor11.begin();
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
}
```

```
pinMode(A2, INPUT);  
pinMode(A3, INPUT);  
pinMode(A4, INPUT);  
pinMode(A5, INPUT);  
pinMode(BOTON,INPUT_PULLUP); // y BOTON como señal de entrada  
pinMode(LED,OUTPUT); // establecer que el pin digital es una señal de salida
```

```
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT2[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT3[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT4[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT5[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT6[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT7[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT8[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{  
lecturasT9[i] = 0;  
}  
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)  
{
```

```
lecturasT10[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasT11[i] = 0;
}

for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasTA[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasH[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasH1[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasH2[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasH3[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasH4[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasH5[i] = 0;
}
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
lecturasHA[i] = 0;
}

testBegin=millis(); //marcamos inicio de ensayo
```

```
previousMillis=testBegin; //variable auxiliar
//myFile = SD.open("sequia.txt");
//if (myFile)
//{
// Serial.println("Información");
// while(myFile.available()){
//   Serial.write(myFile.read());
// }
// myFile.close();
// }
//else
//{
// Serial.print("No se encontró archivo");
// }
pinMode(LED2,OUTPUT);
digitalWrite(LED2, HIGH);
}

void printDate(DateTime date)
{
  if (date.hour() < 10) { h = "0" + String(date.hour()); } else { h = String(date.hour()); }
  if (date.minute() < 10) { m = "0" + String(date.minute()); } else { m =
String(date.minute()); }
  if (date.second() < 10) { s = "0" + String(date.second()); } else { s =
String(date.second()); }
  lcd.setCursor(15,0);
  lcd.print(h);
  lcd.print(':');
  lcd.print(m);

  if (date.second() >= 0 && date.second() <= 8)
  {
    myFile = SD.open("sequia.txt", FILE_WRITE);
    if (myFile)
    {
      myFile.print(date.year(), DEC);
      myFile.print('/');
      myFile.print(date.month(), DEC);
      myFile.print('/');
      myFile.print(date.day(), DEC);
      myFile.print(" (");
```

```
myFile.print(daysOfTheWeek[date.dayOfTheWeek()]);  
myFile.print(" ");  
myFile.print(",");  
myFile.print(h);  
myFile.print(':');  
myFile.print(m);  
myFile.print(':');  
myFile.print(s);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT11);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT5);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT7);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT9);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT3);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT2);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT4);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT6);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT8);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaT10);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaH);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaH1);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaH2);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaH3);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaH4);  
myFile.print(",");  
myFile.print(mediaH5);  
myFile.print(",");
```

```
myFile.print(mediaTA);
myFile.print(",");
myFile.print(mediaHA);
myFile.println();
myFile.close(); // close the file
}
else
{
Serial.print("No se abrio el arvhivo");
}
Serial.print(date.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(date.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(date.day(), DEC);
Serial.print(" (");
Serial.print(daysOfTheWeek[date.dayOfTheWeek()]);
Serial.print(")");
Serial.print(",");
Serial.print(h);
Serial.print(':');
Serial.print(m);
Serial.print(':');
Serial.print(s);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT11);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT5);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT7);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT9);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT3
);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT2);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT4);
Serial.print(",");
Serial.print(mediaT6);
```

```
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaT8);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaT10);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaH);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaH1);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaH2);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaH3);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaH4);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaH5);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaTA);  
Serial.print(",");  
Serial.print(mediaHA);  
Serial.println();  
}  
  
}
```

```
void loop() {  
val= digitalRead(BOTON); // lee el estado del Boton  
if ((val == LOW)){  
state=1-state;  
}  
delay(1000);  
  
if (state==1){  
digitalWrite(LED, LOW); // enciende el LED  
sensor2.requestTemperatures();  
sensor3.requestTemperatures();  
sensor4.requestTemperatures();  
sensor5.requestTemperatures();  
sensor6.requestTemperatures();  
}
```

```
sensor7.requestTemperatures();
sensor8.requestTemperatures();
sensor9.requestTemperatures();
sensor10.requestTemperatures();
sensor11.requestTemperatures();

totalT2 = totalT2 - lecturasT2[lecturaActualT2];
totalT3 = totalT3 - lecturasT3[lecturaActualT3];
totalT4 = totalT4 - lecturasT4[lecturaActualT4];
totalT5 = totalT5 - lecturasT5[lecturaActualT5];
totalT6 = totalT6 - lecturasT6[lecturaActualT6];
totalT7 = totalT7 - lecturasT7[lecturaActualT7];
totalT8 = totalT8 - lecturasT8[lecturaActualT8];
totalT9 = totalT9 - lecturasT9[lecturaActualT9];
totalT10 = totalT10 - lecturasT10[lecturaActualT10];
totalT11 = totalT11 - lecturasT11[lecturaActualT11];
totalH = totalH - lecturasH[lecturaActualH];
totalH1 = totalH1 - lecturasH1[lecturaActualH1];
totalH2 = totalH2 - lecturasH2[lecturaActualH2];
totalH3 = totalH3 - lecturasH3[lecturaActualH3];
totalH4 = totalH4 - lecturasH4[lecturaActualH4];
totalH5 = totalH5 - lecturasH5[lecturaActualH5];
totalTA = totalTA - lecturasTA[lecturaActualTA];
totalHA = totalHA - lecturasHA[lecturaActualHA];
temperatura2 = (sensor2.getTempCByIndex(0));
temperatura3 = (sensor3.getTempCByIndex(0));
temperatura4 = (sensor4.getTempCByIndex(0));
temperatura5 = (sensor5.getTempCByIndex(0));
temperatura6 = (sensor6.getTempCByIndex(0));
temperatura7 = (sensor7.getTempCByIndex(0));
temperatura8 = (sensor8.getTempCByIndex(0));
temperatura9 = (sensor9.getTempCByIndex(0));
temperatura10 = (sensor10.getTempCByIndex(0));
temperatura11 = (sensor11.getTempCByIndex(0));
int SensorValue = analogRead(A0); //take a sample
int SensorValue1 = analogRead(A1); //take a sample
int SensorValue2 = analogRead(A2); //take a sample
int SensorValue3 = analogRead(A3); //take a sample
int SensorValue4 = analogRead(A4); //take a sample
int SensorValue5 = analogRead(A5); //take a sample
int porcentaje = map(SensorValue, 1023, 200, 0, 100);
```

```
int porcentaje1 = map(SensorValue1, 1023, 200, 0, 100);
int porcentaje2 = map(SensorValue2, 1023, 200, 0, 100);
int porcentaje3 = map(SensorValue3, 1023, 200, 0, 100);
int porcentaje4 = map(SensorValue4, 1023, 200, 0, 100);
int porcentaje5 = map(SensorValue5, 1023, 200, 0, 100);
temperaturaAmbiente = dht.readTemperature();
humedadAmbiente = dht.readHumidity();
lecturasT2[lecturaActualT2] = temperatura2;
lecturasT3[lecturaActualT3] = temperatura3;
lecturasT4[lecturaActualT4] = temperatura4;
lecturasT5[lecturaActualT5] = temperatura5;
lecturasT6[lecturaActualT6] = temperatura6;
lecturasT7[lecturaActualT7] = temperatura7;
lecturasT8[lecturaActualT8] = temperatura8;
lecturasT9[lecturaActualT9] = temperatura9;
lecturasT10[lecturaActualT10] = temperatura10;
lecturasT11[lecturaActualT11] = temperatura11;
lecturasH[lecturaActualH] = porcentaje;
lecturasH1[lecturaActualH1] = porcentaje1;
lecturasH2[lecturaActualH2] = porcentaje2;
lecturasH3[lecturaActualH3] = porcentaje3;
lecturasH4[lecturaActualH4] = porcentaje4;
lecturasH5[lecturaActualH5] = porcentaje5;
lecturasTA[lecturaActualTA] = temperaturaAmbiente;
lecturasHA[lecturaActualHA] = humedadAmbiente;
totalT2 = totalT2 + lecturasT2[lecturaActualT2];
totalT3 = totalT3 + lecturasT3[lecturaActualT3];
totalT4 = totalT4 + lecturasT4[lecturaActualT4];
totalT5 = totalT5 + lecturasT5[lecturaActualT5];
totalT6 = totalT6 + lecturasT6[lecturaActualT6];
totalT7 = totalT7 + lecturasT7[lecturaActualT7];
totalT8 = totalT8 + lecturasT8[lecturaActualT8];
totalT9 = totalT9 + lecturasT9[lecturaActualT9];
totalT10 = totalT10 + lecturasT10[lecturaActualT10];
totalT11 = totalT11 + lecturasT11[lecturaActualT11];
totalH = totalH + lecturasH[lecturaActualH];
totalH1 = totalH1 + lecturasH1[lecturaActualH1];
totalH2 = totalH2 + lecturasH2[lecturaActualH2];
totalH3 = totalH3 + lecturasH3[lecturaActualH3];
totalH4 = totalH4 + lecturasH4[lecturaActualH4];
totalH5 = totalH5 + lecturasH5[lecturaActualH5];
```

```
totalTA = totalTA + lecturasTA[lecturaActualTA];  
totalHA = totalHA + lecturasHA[lecturaActualHA];  
lecturaActualT2 = lecturaActualT2 + 1;  
lecturaActualT3 = lecturaActualT3 + 1;  
lecturaActualT4 = lecturaActualT4 + 1;  
lecturaActualT5 = lecturaActualT5 + 1;  
lecturaActualT6 = lecturaActualT6 + 1;  
lecturaActualT7 = lecturaActualT7 + 1;  
lecturaActualT8 = lecturaActualT8 + 1;  
lecturaActualT9 = lecturaActualT9 + 1;  
lecturaActualT10 = lecturaActualT10 + 1;  
lecturaActualT11 = lecturaActualT11 + 1;  
lecturaActualH = lecturaActualH + 1;  
lecturaActualH1 = lecturaActualH1 + 1;  
lecturaActualH2 = lecturaActualH2 + 1;  
lecturaActualH3 = lecturaActualH3 + 1;  
lecturaActualH4 = lecturaActualH4 + 1;  
lecturaActualH5 = lecturaActualH5 + 1;  
lecturaActualTA = lecturaActualTA + 1;  
lecturaActualHA = lecturaActualHA + 1;
```

```
if(lecturaActualT2 >= numLecturas)  
{  
    lecturaActualT2 = 0;  
}  
if(lecturaActualT3 >= numLecturas)  
{  
    lecturaActualT3 = 0;  
}  
if(lecturaActualT4 >= numLecturas)  
{  
    lecturaActualT4 = 0;  
}  
if(lecturaActualT5 >= numLecturas)  
{  
    lecturaActualT5 = 0;  
}  
if(lecturaActualT6 >= numLecturas)  
{  
    lecturaActualT6 = 0;  
}
```

```
if(lecturaActualT7 >= numLecturas)
{
    lecturaActualT7 = 0;
}
if(lecturaActualT8 >= numLecturas)
{
    lecturaActualT8 = 0;
}
if(lecturaActualT9 >= numLecturas)
{
    lecturaActualT9 = 0;
}
if(lecturaActualT10 >= numLecturas)
{
    lecturaActualT10 = 0;
}
if(lecturaActualT11 >= numLecturas)
{
    lecturaActualT11 = 0;
}
if(lecturaActualH >= numLecturas)
{
    lecturaActualH = 0;
}
if(lecturaActualH1 >= numLecturas)
{
    lecturaActualH1 = 0;
}
if(lecturaActualH2 >= numLecturas)
{
    lecturaActualH2 = 0;
}
if(lecturaActualH3 >= numLecturas)
{
    lecturaActualH3 = 0;
}
if(lecturaActualH4 >= numLecturas)
{
    lecturaActualH4 = 0;
}
if(lecturaActualH5 >= numLecturas)
```

```
{  
  lecturaActualH5 = 0;  
}  
if(lecturaActualTA >= numLecturas)  
{  
  lecturaActualTA = 0;  
}  
if(lecturaActualHA >= numLecturas)  
{  
  lecturaActualHA = 0;  
}
```

```
mediaT2 = totalT2 / numLecturas;  
mediaT3 = totalT3 / numLecturas;  
mediaT4 = totalT4 / numLecturas;  
mediaT5 = totalT5 / numLecturas;  
mediaT6 = totalT6 / numLecturas;  
mediaT7 = totalT7 / numLecturas;  
mediaT8 = totalT8 / numLecturas;  
mediaT9 = totalT9 / numLecturas;  
mediaT10 = totalT10 / numLecturas;  
mediaT11 = totalT11 / numLecturas;  
mediaH = totalH / numLecturas;  
mediaH1 = totalH1 / numLecturas;  
mediaH2 = totalH2 / numLecturas;  
mediaH3 = totalH3 / numLecturas;  
mediaH4 = totalH4 / numLecturas;  
mediaH5 = totalH5 / numLecturas;  
mediaTA = totalTA / numLecturas;  
mediaHA = totalHA / numLecturas;  
int lcdtemp2 = (int) mediaT2;  
int lcdtemp3 = (int) mediaT3;  
int lcdtemp4 = (int) mediaT4;  
int lcdtemp5 = (int) mediaT5;  
int lcdtemp6 = (int) mediaT6;  
int lcdtemp7 = (int) mediaT7;  
int lcdtemp8 = (int) mediaT8;  
int lcdtemp9 = (int) mediaT9;  
int lcdtemp10 = (int) mediaT10;  
int lcdtemp11 = (int) mediaT11;  
lcdhum = (int) mediaH;
```

```
lcdhum1 = (int) mediaH1;
lcdhum2 = (int) mediaH2;
lcdhum3 = (int) mediaH3;
lcdhum4 = (int) mediaH4;
lcdhum5 = (int) mediaH5;
lcdtempTA = (int) mediaTA;
lcdhumHA = (int) mediaHA;
lcd.clear();
lcd.print(lcdtempTA);
lcd.print("C-");
lcd.print (lcdhumHA);
lcd.print("%H ");
lcd.print("T:");
lcd.print(lcdtemp11);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("1:");
lcd.print(lcdtemp5);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdtemp7);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdtemp9);
lcd.print("C");
lcd.print("-");
lcd.print(lcdhum);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdhum1);
lcd.print("H");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("2:");
lcd.print(lcdtemp3);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdtemp2);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdtemp4);
lcd.print("C");
lcd.print("-");
lcd.print(lcdhum2);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdhum3);
lcd.print("H");
```

```
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("3:");
lcd.print(lcdtemp6);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdtemp8);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdtemp10);
lcd.print("C");
lcd.print("-");
lcd.print(lcdhum4);
lcd.print(",");
lcd.print(lcdhum5);
lcd.print("H");
unsigned long currentMillis = millis();
if ((currentMillis - previousMillis) >= interval) { //comprobamos si ha pasado el
intervalo
unsigned long duracion=(millis() - testBegin)/1000; //tiempo transcurrido (s)
previousMillis=currentMillis; //reinicializamos variable auxiliar
}

DateTime now = rtc.now();
    printDate(now);
}
if (state == 0)
{
    digitalWrite(LED,HIGH);
delay(1000);
    myFile.close();
}
}
//}
```

7.1.2. HOJA DE DATOS ELEMENTOS ARDUINO

7.1.2.1. SONDA DE TEMPERATURA DS18B20

Description	Value
Accuracy	±2(Max) °C
Function	Temp Sensor
Interface Type	Serial (1-Wire)
Lead Finish	Matte Tin
Mounting	Through Hole
MSL Level	1
Operating Supply Voltage	3 to 5.5 V
Operating Temperature	-55 to 125 °C
Output Type	Digital
Pin Count	3
Product Dimensions	4.95(Max) x 3.94(Max) x 4.95(Max)
Resolution	12 Bit
Screening Level	Military
Supplier Package	TO-92

7.1.2.2. SENSOR DE HUMEDAD YL-69

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Voltage	-	3.3	/	5	V
Current	-	0	/	35	mA
Output Voltage	Supply Voltage 5 V	0	~	4.2	V
Output Value	Sensor in dry soil	0	~	300	/
	Sensor in humid soil	300	~	700	/
	Sensor in water	700	~	950	/

7.1.2.3. SENSOR TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTE DHT 21

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de Operación: 3.5V - 5.5V DC
- Consumo corriente: 1mA - 1.5mA
- Tiempo de sensado: 2s
- Protocolo digital: Single bus (1 cable)
- Rango de Temperatura: -40 hasta 80°C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Precisión Temperatura: +- 0.5°C
- Rango de Humedad Relativa: 0 a 100% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Precisión HR: +- 3%
- Modelo: AM2301
- Dimensiones: 60*28*12mm
- Carcasa de plastico negro
- Longitud cable: 50cm

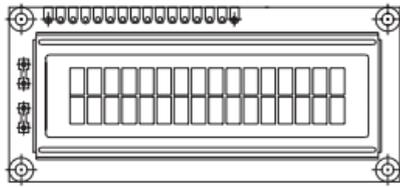
7.1.2.4. ARDUINO MEGA

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

7.1.2.5. RELOJ RTC D3231

- ◆ Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
- ◆ Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
- ◆ Battery Backup Input for Continuous Timekeeping
- ◆ Operating Temperature Ranges
Commercial: 0°C to +70°C
Industrial: -40°C to +85°C
- ◆ Low-Power Consumption
- ◆ Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Day, Date, Month, and Year with Leap Year Compensation Valid Up to 2100
- ◆ Two Time-of-Day Alarms
- ◆ Programmable Square-Wave Output
- ◆ Fast (400kHz) I²C Interface
- ◆ 3.3V Operation
- ◆ Digital Temp Sensor Output: ± 3 °C Accuracy
- ◆ Register for Aging Trim
- ◆ RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
- ◆ Underwriters Laboratories (UL[®]) Recognized

7.1.2.6. PANTALLA LCD ARDUINO



FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA	

7.2. HOJA DE DATOS SUSTRATO

projar

Inspiring Green Technology

www.projar.es

Sustrato CoverPro Flora para cubiertas ajardinadas extensivas

Sustrato especial formulado para el ajardinamiento de cubiertas ajardinadas.

Material fabricado con buena parte de material mineral entre sus componentes, como pueden ser la cerámica triturada, roca volcánica o arena de sílice y por otra parte subproductos vegetales, lo que confiere las características idóneas para un buen desarrollo vegetal.

Este sustrato permite retener agua necesaria sin encharcamientos y disponer de una capacidad de campo óptima.

Se suministra a granel o en Big bag. Recomendamos calcular con un factor de compactación de 1,15 de forma que por cada m²/cm de espesor = 11,5 L de sustrato.



Ventajas

- Producto reciclado de alta calidad
- Alta permeabilidad
- Alta capacidad de aireación
- Resistente a heladas
- Resistente al fuego
- Control de calidad y analítica realizada por la Universidad Politécnica de Valencia

INFORMACIÓN TÉCNICA

pH	8,0
C.E (ds/m)	1,6
Densidad (kg/m ³)	1060
Materia Orgánica (%)	29
C/N	63
CaCO ₃ (%)	8,4
Nitrógeno Total (%)	0,27
Fósforo (% P ₂ O ₅)	0,57
Potasio (% K ₂ O)	0,70

*Revisado 23.03.2017

*Especificaciones sujetas a cambiar sin aviso

www.projargroup.com www.solucionesambientales.projar.com

projar
Group



7.3. HOJA DE DATOS BOMBILLA

Hoja de datos de producto

OSRAM

ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27
ULTRA-VITALUX | Lámparas ultravioletas de alta presión con casquillo E27



Áreas de aplicación

- Simulación de la luz del sol
- Secado de adhesivos
- Envejecimiento de material artificial
- Exposición de revestimientos fotorresistentes sensibles a UV
- Terrarios
- Solario equino

Características del producto

- Lámpara UV para aplicaciones técnicas
- Funcionamiento directo sin equipo de control



agosto 30, 2018, 16:29:57
ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27

© 2018, OSRAM GmbH. Reservado todos los derechos
Página 1 de 4

Hoja de datos de producto

Datos técnicos

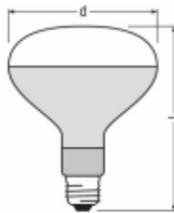
Datos eléctricos

Tensión nominal	230 V
Tensión de funcionamiento	230 V
Tensión de construcción	230,00 V
Potencia nominal	300,00 W

Datos Fotométricos

Radiación UVA 315...400 nm	13.6 W
Radiación UVB 280...315 nm	3.0 W

Dimensiones y peso



Diámetro	127,0 mm
Largo	185,0 mm

Duración de vida

Duración	1000 h
----------	--------

Datos adicionales del producto

Casquillo (denominación estándar)	E27
-----------------------------------	-----

Capacidades

Posición de quemado	Universal
---------------------	-----------

Categorías específicas del país

Referencia para pedido	U VITALX 300W E
------------------------	-----------------

Información del país

Hoja de datos de producto

Código del producto	Código METEL	SEG-No.	Número STK	UK Org
4008321543929	OSRUVITAL300	-	4779248	-

Hoja de datos de producto

Instrucciones de seguridad

Due to their intense heat generation, the lamps may only be operated in suitable luminaires. The lamps must also be protected against moisture and splashing water. In case of improper use, UV radiation may lead to sunburn and conjunctivitis. Not approved for use on persons according to the new edition of EN 60335-2-27.

Logistical Data

Código del producto	Descripción del producto	Unidad de embalaje (Piezas/unidad)	Dimensiones (largo x ancho x alto)	Volúmen	Peso bruto
4008321543929	ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27	Estuche de cartón 1	196 mm x 130 mm x 130 mm	3.31 dm ³	243.50 g
4008321543936	ULTRA VITALUX 300 W 230 V E27	Embalaje de envío 6	455 mm x 230 mm x 325 mm	34.01 dm ³	2149.80 g

El código del producto mencionado describe la unidad más pequeña de la cantidad que se puede pedir. Una unidad de envío puede contener uno o más productos individuales. Al cursar un pedido, introduzca la cantidad de la unidad de envío o su múltiple.

Aviso

Sujeto a cambios sin aviso. Excepto errores y omisiones. Asegúrese de utilizar la emisión más reciente.