



# X ED ICIÓN 202<sup>3</sup><sub>4</sub>

Trabajo finalista – Texto completo

**Jardines verticales para la naturalización de la M-30**

**Autores**

**José Manuel Cendón Alberte**

**Fernando Hidalgo Romero**

**Almudena Sánchez Centeno**

**Enrique Figueroa Luque**

**Elena Mateos Martínez**

**Manuel Enrique Figueroa Clemente**

**Luis Pérez Urrestarazu**

**Rafael Fernández Cañero**

**Antonio Franco Salas**

**José Antonio Martín-Caro**

**AYUNTAMIENTO DE MADRID Y OTRAS ENTIDADES**

**ESPAÑA**

## Jardines Verticales para la Naturalización de la M30



## ÍNDICE

1	Ámbito y Objeto de la actuación	3
2	Situación y condicionantes de partida del Proyecto	5
3	Solución adoptada	9
4.	Ejecución del proyecto	16
5.	Proyecto innovador	30
6.	Seguimiento y monitorización de resultados	31
7	Conclusiones	32
8	Documentación audiovisual	34
	Anexo Documentación Fotográfica	35

## 1. Ámbito y Objeto de la actuación

La actuación que se presenta ha consistido en la creación de jardines verticales para la naturalización de la M30. Estos jardines verticales se han desarrollado en los dos muros existentes (interior y exterior) en el tramo definido entre la salida del túnel situado bajo de la glorieta de Mariano Salvador Maella hasta la finalización de dichos muros de contención, a unos 40 m sobrepasando la siguiente glorieta, la de Nueva Zelanda.



Esta actuación se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la funcionalidad de la vía, el fomento de la biodiversidad y la mejora del paisaje y bienestar de los ciudadanos, siendo un ejemplo de urbanismo sostenible que supone un avance en la adaptación de la ciudad a los escenarios previstos de cambio climático.

Se trata de un proyecto piloto cuyo principal objetivo es conocer si la creación de dichos jardines, ubicados en una vía de circulación con tanto tráfico, obtiene efectos positivos sobre la disminución de contaminantes atmosféricos y en qué grado.

Entre las mejoras para la ciudadanía que se pretenden se destacan las siguientes:

- Aumentar la superficie vegetal de la ciudad aprovechando superficies verticales existentes destinadas a infraestructuras viarias.
- Mejorar el confort ambiental contribuyendo a la amortiguación de la isla de calor y de la contaminación acústica.
- Aumentar el patrimonio verde de la ciudad favoreciendo la biodiversidad.
- Mejorar las conexiones diseñadas con criterios que fomentan la salud física y psicosocial.



Fotografía estado previo a las obras



Infografía que simula situación con muros revegetados con jardines verticales

## 2. Situación y condicionantes de partida del Proyecto

### 2.1. Diagnóstico ambiental previo

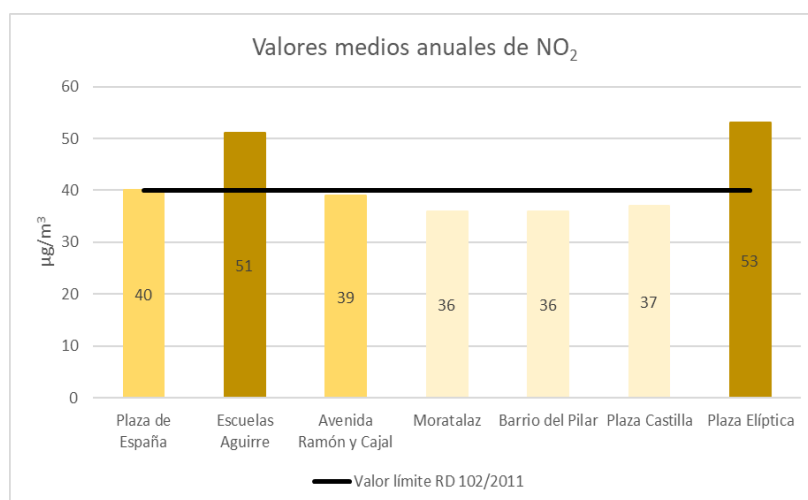
Previo al desarrollo del proyecto, se realizó un diagnóstico ambiental elaborado con datos de las estaciones de contaminación del Ayuntamiento de Madrid del año 2019. Para hacer este análisis se seleccionaron todas las estaciones que se encuentran en un área menor de 2 km de Calle 30 y que están destinadas a la medición de la contaminación urbana derivada del tráfico. Además, se analizó el informe de Calidad del Aire de 2019 del propio Ayuntamiento.

En este análisis se han considerado los contaminantes relacionados directamente con el tráfico rodado:

- NO y NO<sub>2</sub>
- PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>

El NO<sub>2</sub> proviene de manera fundamental de la oxidación del NO. Sus efectos sobre la salud humana van desde la inflamación de las vías aéreas, afecciones al hígado, bazo o al sistema inmunitario que, a su vez, provoca infecciones pulmonares e insuficiencias respiratorias. Además, produce efectos adversos sobre el medio ambiente, y los procesos de acidificación pueden afectar a las edificaciones. Por último, actúa como precursor en las reacciones que generan ozono troposférico, muy dañino para la salud. Se trata de un contaminante asociado al tráfico rodado que es emitido especialmente por los coches de motor diésel.

El Real Decreto 102/2011, de 22 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire tiene como finalidad prevenir los efectos nocivos de los contaminantes sobre la salud humana, el medio ambiente y los demás bienes de cualquier naturaleza, y establece los niveles que no deben superarse de cada uno de los contaminantes. El valor límite anual para la protección de la salud humana establecido para el NO<sub>2</sub> es de 40µg/m<sup>3</sup> y el valor límite horario para la protección de salud humana es de 200µg/m<sup>3</sup> que no podrá superarse en más de 18 ocasiones al año.

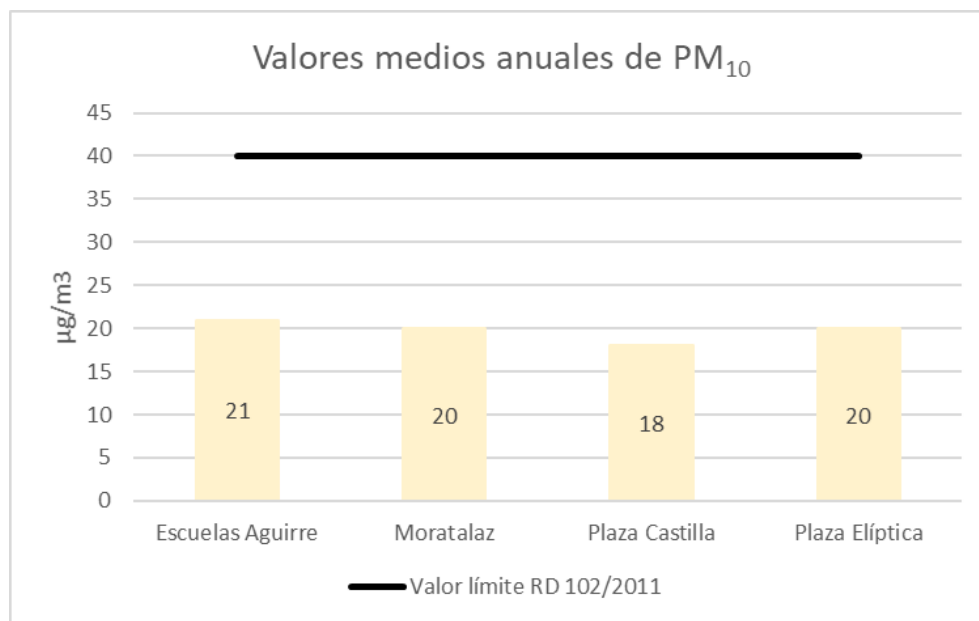


Fuente: Informe calidad del aire Madrid 2019. Elaboración propia.

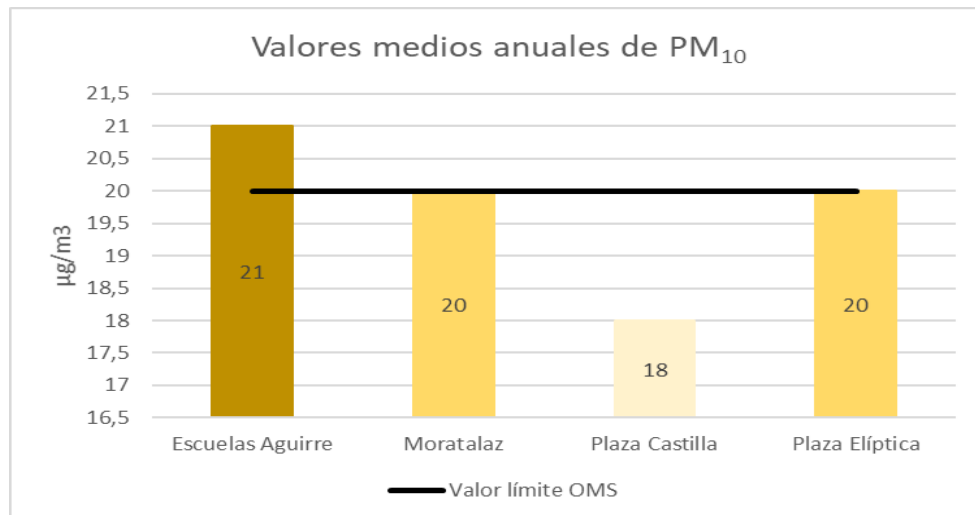
Como se observa, dos de las estaciones consideradas, Escuelas Aguirre y Plaza Elíptica, superan la media anual establecida por la legislación para la protección de la salud humana, si bien, el resto de las estaciones en lo referente a la media anual, se encuentran muy cercanas al valor límite. Además, la estación de Plaza Elíptica sobrepasa las 18 horas de superación del valor límite horario de  $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Respecto al material particulado PM (PM10 y PM2,5), las partículas PM10, denominadas partículas torácicas, pueden penetrar hasta las vías respiratorias bajas y las partículas PM2,5, denominadas partículas respirables, pueden penetrar hasta las zonas de intercambio de gases del pulmón. Se trata del problema más severo en nuestras ciudades, por su incidencia en el tracto respiratorio y en el pulmón.

Las partículas primarias son emitidas directamente por la fuente, en general, en incendios, obras de construcción, chimeneas o carreteras no pavimentadas. Las secundarias, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, se forman en reacciones químicas y son emitidas por las centrales eléctricas, industrias y automóviles, constituyendo la mayor parte de la contaminación por partículas finas (PM2,5) que son las más peligrosas debido a su alta capacidad de penetración.



El Real Decreto 102/2011 establece el valor límite anual para la protección de salud humana se establece, para las PM10, en  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el valor límite diario en  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  que no podrán superarse en más de 35 ocasiones al año. Sin embargo, la OMS es más restrictiva con el valor medio anual para la protección de la salud humana y lo establece en  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Como se observa en los gráficos, ninguna de las estaciones seleccionadas<sup>1</sup> supera los valores límite establecidos en el Real Decreto 102/2011, sin embargo, una de ellas si supera el valor establecido por la OMS, la de Escuelas Aguirre, y las estaciones de Moratalaz y Plaza Elíptica se encuentran en dicho valor de 20µg/m<sup>3</sup>.

Si bien, se considera imprescindible de cara a la proyección de actuaciones concretas en el entorno de Calle 30 que se realicen mediciones de contaminación en el entorno en el que se vaya a actuar, se entiende que la contribución de esta infraestructura a la contaminación de la ciudad de Madrid es considerable debido al gran número de vehículos que diariamente circulan por ella. En este sentido, la revegetación de los espacios de oportunidad detectados puede servir para atenuar la contaminación ambiental en zonas de la ciudad que se encuentran especialmente congestionadas.

## 2.2 Condicionantes estructurales

Existen dos condicionantes estructurales fundamentales, por un lado, los muros de contención de hormigón armado existentes, y por otro lado, los bastidores que se anclan en dichos muros y sobre los que cuelgan los jardines verticales.

En cuanto a los muros existentes sobre los que se va a colocar la nueva estructura, estos están conformados por contrafuertes de hormigón armado prefabricados a los que se anclan unos elementos modulares (2,00 x 1,00 x 0,10) también de hormigón armado prefabricados. Dado que los nuevos jardines se colocarán anclados en dichos muros, al inicio de las obras se evaluó el estado de estos muros de hormigón armado, y se establecieron una serie de condicionantes para la colocación de los jardines verticales sobre estos. Estos condicionantes fueron:

- Con el fin de asegurar el buen estado de los muros de contención existentes, previo a ser tapados por los jardines verticales, fue necesario incluir en el proyecto un tratamiento de reparación y protección de los muros de hormigón armado.

- Se incluyó en el proyecto la monitorizar de los parámetros electroquímicos y de la velocidad de corrosión de las armaduras de los muros existentes.
- Se condicionó el diseño del sistema de sustentación de los jardines que se colocara, ya que este debía permitir la inspección periódica de estos muros.

Por otro lado, se utilizaron datos obtenidos en catas y testigos, realizados in situ, para llevar a cabo un recálculo de los muros existentes y garantizar que las nuevas cargas a las que estarían sometidos no comprometían la seguridad estructural de dichos muros.

En cuanto a los bastidores sobre los que apoya el jardín vertical, se resolverían con una estructura metálica cuyas dimensiones de la modulación se veían condicionadas por la distancia entre los contrafuertes de los muros de contención. Los bastidores debían ser compatibles para poder ser anclados en los contrafuertes del muro existente, además de ser practicables para la inspección periódica de los muros, necesaria para el seguimiento de la infraestructura.

Por lo tanto, estos bastidores debían poder manipularse por los operarios de conservación para la comprobación de los muros de contención, por lo que debían permitir su apertura y cierre. Dichos módulos se diseñaron como puertas, con bisagras a un lado y cerraduras para bloquear cada módulo. El sistema de bloqueo de los paneles debían ser lo suficientemente robusto para conseguir que ninguna parte de toda la altura del panel pudiera abrirse o moverse, ya que dadas su dimensiones, hasta cinco metros de altura, cada módulo tendrá deformaciones importantes ante la acción del viento, lo que supone someter a la estructura a esfuerzos de fatiga, además de los inconvenientes estéticos que pueda suponer y de confort, debido al ruido que estos movimientos puedan causar.

Debido al incremento de humedad en el ambiente por el riego constante de los jardines, y para garantizar la durabilidad de la estructura metálica que conforma los bastidores estos se galvanizaron en caliente, y se dotó al jardín vertical de la impermeabilización adecuada para proteger la estructura del elemento vegetal.

Finalmente, el proyecto debía contener un plan de mantenimiento de los jardines verticales que definiera las precauciones a considerar pasada la ejecución de las obras.

### 3. Solución adoptada

A continuación, se describe la solución adoptada teniendo en cuenta los condicionantes anteriormente descritos.

#### 1) Sistema estructural elegido

El sistema estructural empleado en este proyecto carece de actuación en cimentación, al apoyarse en los muros existentes, que ya cuentan con su propia cimentación. Dichos muros están contruidos a base de elementos modulares prefabricados, autoestables en obra, y configuran una solución de muros de contención. Esta solución cuenta con cimentación, paneles modulares de hormigón de 10 cm de espesor, y contrafuertes.

En este caso, los paneles de hormigón modulares existentes, son una combinación de paneles lisos con otros que poseen unos relieves decorativos de franjas verticales.

Con el fin de que la solución de los jardines verticales quede en el mismo plano para posibilitar el correcto funcionamiento de apertura de los módulos, y así poder realizar las labores de inspección de los muros, y dado que la posición de los paneles de hormigón con relieves de los módulos sobre los que se sustenta tienen una distribución aleatoria sin un patrón definido, fue necesario que la solución para sustentar los diferentes módulos pudiera salvar esos elementos salientes para que al colocar los montantes verticales, que hacen las veces de marco para los módulos abatibles, éstos queden en el mismo plano para que el sistema funcione correctamente. Esta sustentación fue realizada mediante placas de anclaje con placas perpendiculares. Estos anclajes de sustentación fueron ancladas a los muros de contención de hormigón armado mediante anclajes químicos.

Los montantes verticales tienen una labor funcional, ya que sirven de marco para los módulos de jardín. También tendrán una función estructural pues, a través de ellos, se transmiten los esfuerzos de los jardines a los muros mediante placas de anclaje, fijadas al muro de hormigón modular mediante anclajes metálicos químicos para uso en hormigón, de acero inoxidable para un mejor comportamiento en ambiente agresivo, como es el caso que nos ocupa. En todos los casos las placas de anclaje van apoyadas en el muro de hormigón.

Se incluyen dos tipos de anclaje:

- Anclaje tipo 1: estos anclajes se disponen siempre en los extremos, y en caso de disponer de 5 anclajes el módulo, también se dispondrá en el anclaje central. Este anclaje constará de un único anclaje y llegará hasta el contrafuerte, con una profundidad total de 185 mm.
- Anclaje tipo 2: estos anclajes se disponen en la zona central del módulo. Este tipo de anclaje constará de dos anclajes, separados 70 mm en vertical y 50 mm en horizontal, y solo anclarán en la placa de hormigón armado del muro de contención, con una profundidad total de 70 mm.

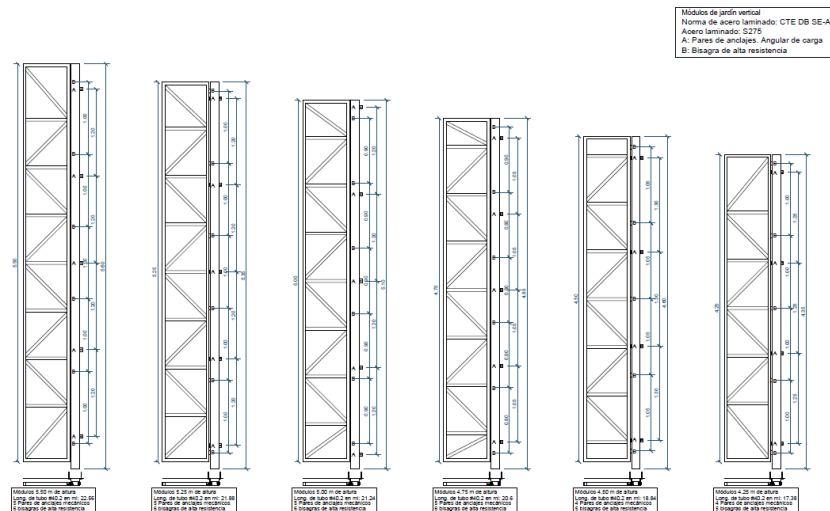


Figura. Alzados de los marcos de estructura auxiliar instalados

Los montantes son perfiles de 80x60x3 mm, colocados en paralelo al muro. El material de los montantes y del entramado que forman los módulos de jardín, así como de las placas de anclaje es de acero galvanizado.

Por otro lado, los módulos abatibles de los jardines verticales están compuestos por un entramado triangulado de perfiles cuadrados #40.4 de acero galvanizado, unidos a los montantes o marcos verticales mediante bisagras.

Se limitó la apertura de los módulos a días sin viento o vientos suaves y se ha dispuesto una barra en la parte superior del módulo para fijar este en posición abierta y evitar cierres y aperturas indeseadas que puedan provocar daños a los operarios o a los jardines verticales.

Además, se evaluaron las acciones transmitidas desde los elementos de anclaje de la estructura del jardín vertical a los módulos estructurales del muro vertical existente. Se evaluó que el incremento de esfuerzos suponía un incremento del 0,6% respecto a los esfuerzos previos al montaje de la estructura adosada a los muros y a la instalación del jardín vertical. Este mínimo incremento se consideró perfectamente asumible, ya que no comprometía los coeficientes de seguridad del conjunto estructural del muro de contención existente.

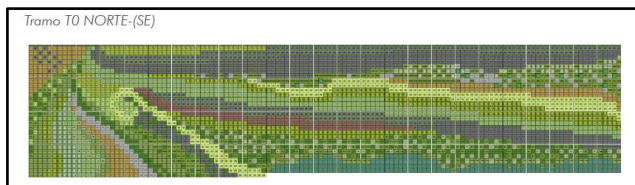
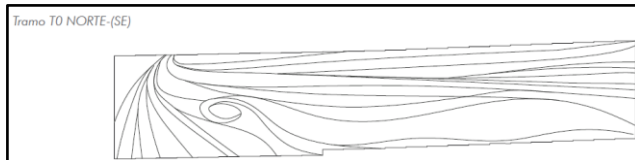
## 2) Elección del sistema de jardín vertical

Para garantizar la durabilidad del jardín se ha optado por un sistema semihidropónico multicapa compuesto por tres capas de material sintético y flexible ensamblados entre sí con espesor total de 20 mm y matriz mediante bolsillos que albergan las distintas plantas. Cada bolsillo se rellena con sustrato orgánico que reduce el consumo de agua habitual en este tipo de jardines y garantiza una mayor durabilidad ante cualquier problema puntual en el riego

Este sistema modular multicapa contribuye al buen desarrollo de la planta a través de un óptimo equilibrio de aireación de la raíz de la planta y una distribución homogénea del agua y los nutrientes, que lo convierten en un excelente medio de cultivo. Esto se traduce en unas óptimas condiciones posteriores de mantenimiento: una tasa de reposición de plantas muy baja, menos uso de recursos (agua, fertilizante) facilidad de intervención en el sistema, etc.)

### 3) Diseño paisajístico y selección de plantas

El diseño de los jardines verticales ha tomado como referencia el lugar de implantación: "Se ha inspirado en la proyección o reflejo de las luces de fuga que generan los coches en vías bidireccionales de tráfico elevado y también simula los torbellinos de viento generados en este tipo de vías, como puede verse en las siguientes imágenes.



Este diseño se ha materializado gracias a la variedad de plantas seleccionadas para su implantación en los jardines. Para esta selección se tiene en cuenta la orientación de los muros en los que se va a actuar ya que es determinante de cara a las horas de exposición al sol y al frío (Pared sureste y Pared noroeste).

Los criterios de selección de las distintas especies vegetales han sido los siguientes:

- Durabilidad: resiliencia y adaptación a los nuevos escenarios previstos de Cambio Climático y tolerancia al clima de la ciudad de Madrid, teniendo en cuenta la orientación a cada uno de los muros en los que se va a actuar.

- Disponibilidad en las cantidades adecuadas en el plazo de ejecución de las obras.

- Absorción de agentes contaminantes según la bibliografía existente.

- Requerimientos hídricos reducidos o contenidos. Se ha utilizado un cultivo semihidropónico, con un pequeño sustrato orgánico que reduce el consumo de agua habitual en este tipo de jardines y garantiza una mayor durabilidad ante cualquier problema puntual en el riego.

En base a dichos criterios fueron seleccionadas las siguientes 23 especies diferentes y se utilizaron un total de 114800 plantas.

Lavandula dentata	Rosmarinus off prostratus	Santolina Chamaecyparissus
Erigeron karvinskianus	Stachys bizantina	Hypericum calycinum
Geranium macrorrhizum	Iberis Sempervirens	Lonicera nitida Maigrun
Euonymus fortunei minimus	Carex Morrowii Ice Dance	Carex Oshimensis "Evergold"
Campanula ortenschlagiana	Geranium cantabrigiense	Heuchera Green Spice
Heuchera Plum Royale	Euphorbia amygdaloides Robbieae	Hedera Helix Goldchild
Hedera Helix Shamrock	Vinca minor f.alba	Hedera Helix Wonder
Vinca minor	Pachysandra terminalis	



Sistema de jardín vertical ya instalado

#### 4) Estudio de capacidades metabólicas

Adicionalmente, y durante la ejecución de las obras se realizaron ensayos en laboratorio para conocer la adsorción de todas y cada una de las especies seleccionadas en colaboración con catedráticos e investigadores de la Universidad de Sevilla. En estos ensayos se comparó cuantitativamente la captación de diferentes agentes contaminantes en condiciones de contorno constantes de humedad, luz y temperatura para poder extraer conclusiones válidas para futuros proyectos.

Se diseñó una cámara de policarbonato con una estructura metálica de soporte y cierres metálicos que garantizan la hermeticidad de la misma, con varios racores que permitían unir los equipos a la cámara. La cámara tiene unas dimensiones de 2 m de alto, 1,2 m de ancho y 0,74 m de fondo, con un espesor de 12 mm (Imagen 1). En la parte superior presenta la iluminación de bombillas de luz blanca de sodio cuya intensidad lumínica es de 30.000 lux.



Cámara hermética donde se realiza el experimento en el laboratorio. En la parte inferior derecha se observa el tubo que conecta el motor diésel a la cámara para introducir los gases emitidos.

En la parte inferior se le acopló un conducto por el cual se procede a la inyección de contaminantes emitidos por un motor diésel, que fue la fuente de emisión de contaminación, mediante su unión al tubo de escape.

En el interior de la cámara se encuentran los medidores de gases con sensores específicos para cuantificar la concentración de los gases y material particulado (monóxido de carbono (CO), dióxido

de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) así como medidores de temperatura y humedad relativa del aire.

CANDIDATURA



Motor diésel con tubo de escape conectado al conducto que se dirige hacia el interior de la cámara. A la derecha se muestran los equipos de medición de las variables estudiadas.

Para cuantificar la capacidad de depuración de las diferentes especies vegetales se realizó en primer lugar una serie de experimentos en ausencia de plantas para poder analizar el comportamiento de los gases y material particulado en el interior de la cámara. Este experimento fue esencial para poder realizar la comparativa posterior con presencia de especies vegetales y cuantificar su capacidad depurativa.

El procedimiento del ensayo fue:

- 1) Cierre de la cámara
- 2) Inyección de contaminantes mediante activación del motor durante 1-2 segundos
- 3) Registro de datos durante una hora y media con una frecuencia de 1 minuto
- 4) Apertura de la cámara
- 5) Aireación de la cámara durante 30 minutos
- 6) Descarga de datos mediante el software
- 7) Análisis de datos registrados

Posteriormente el procedimiento se repitió introduciendo en el interior de la cámara de 8 a 12 **macetas de cada especie vegetal que se analizaba con unas condiciones constantes de humedad**, temperatura e intensidad lumínica, para que estos factores fueran los que alteraran ni el proceso ni los resultados del ensayo.

Como conclusión se puede indicar que el conjunto de especies exploradas mostró capacidad para la depuración de la atmósfera urbana en relación con los contaminantes estudiados, tanto gases (NO<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub>) como material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>). De esta forma es el conjunto de especies estudiadas las que hacen que se combinen sus efectos de reducción de gases contaminantes y de material particulado.

A continuación, se incluye una gráfica en la que se ha graduado los resultados obtenidos para cada especie desde baja capacidad de reducción de la contaminación hasta una muy alta capacidad de reducción de la misma:

Especie	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
<i>Campanula portenschlagiana</i>	ALTA	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
<i>Carex morrowi Ice dance</i>	ALTA	BAJA	MEDIA	BAJA	MEDIA
<i>Carex oshimensis evergold</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	BAJA	MEDIA
<i>Erigeron karvinskianus</i>	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
<i>Euonymus fortunei minimus</i>	BAJA	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA
<i>Euphorbia amygdaloides robbiae</i>	BAJA	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA
<i>Geranium cantabrigiense</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA
<i>Geranium macrorrhizum</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
<i>Hedera helix "Sahmrock"</i>	ALTA	MEDIA	MEDIA	ALTA	MEDIA
<i>Hedera helix goldchild</i>	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA
<i>Hedera helix wonder</i>	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA	ALTA
<i>Heuchera Green Spice</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA
<i>Heuchera Plum Royale</i>	MEDIA	MEDIA	ALTA	MEDIA	MEDIA
<i>Hypericum calycinum</i>	MEDIA	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
<i>Iberis sempervirens</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
<i>Lavandula stoechas</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	MEDIA	ALTA
<i>Lonicera nitida</i>	BAJA	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA
<i>Pachysandra terminalis</i>	MEDIA	BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA
<i>Rosmarinus officinalis postratus</i>	BAJA	BAJA	ALTA	BAJA	MEDIA
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	MEDIA	MEDIA	MUY ALTA	MEDIA	MEDIA
<i>Stachys byzantina</i>	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA	BAJA
<i>Vinca minor</i>	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
<i>Vinca minor alba</i>	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA

#### CAPACIDAD DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

 MUY ALTA	 ALTA	 MEDIA	 BAJA
--	--	---	--

Este estudio fue realizado por Catedráticos de la Universidad de Sevilla, así como por la empresa Cesyt coordinadora del proyecto acerca de la capacidad metabólica de las especies utilizadas en los jardines verticales de la M30. Los resultados de este estudio plantean, como conclusión general, la importancia de la infraestructura verde urbana en la depuración del aire de las ciudades para conseguir espacios salutogénicos. La utilización de paramentos vegetales constituye una vía para mejorar la calidad del aire de las ciudades.

La aproximación experimental empleada, idéntica para todas las especies, permite poner de manifiesto la capacidad de cada especie en la reducción de contaminantes y establecer un ranking que puede ser aplicado tanto para futuros desarrollos urbanos como para la depuración de espacios urbanos ya consolidados.

#### 4. Ejecución del proyecto

La ejecución de las obras necesarias para la implantación de los sistemas previstos de ajardinamiento vertical se inicia una vez llevado a cabo el tratamiento previo de los muros pantalla que enmarcan la autovía M30 en el sector de la Av. de la Ilustración. A partir de aquí, se planificó un proceso continuo de ejecución por fases, acotado en un espacio de tiempo muy limitado (inferior a 3 meses). Este proceso de montaje se fue solapando en el tiempo, para ajustar los tiempos de montaje, dada la situación de ejecución con el viario en funcionamiento y dada la importante extensión del ámbito de actuación.

El proceso se organizó en base a la ejecución de los componentes del sistema constructivo elegido:

- Montaje de estructura auxiliar
- Montaje del sistema de riego y control
- Montaje de medio de cultivo vertical para la plantación
- Plantación de las especies seleccionadas
- Puesta en marcha y comprobación de servicio.

En paralelo a los trabajos en desarrollo desde la zona del vial, la actuación se completa con la ejecución de los trabajos de obra civil para la canalización y reparto de los ramales de tuberías de riego. Estos ramales distribuyen el agua de riego a cada uno de los 12 sectores en los que se organiza toda la superficie de actuación.

Como se expone en el apartado de diseño, la actuación requiere de una acometida de agua, que se ubica en el local técnico situado junto a la glorieta de Nueva Zelanda, y desde el que se distribuye a cada uno de los 6 tramos en los que se organiza la sectorización de la propuesta (3 tramos por cada fachada lateral de la autovía).

La complejidad de la ejecución de dichos trabajos con un viario en uso en una de las arterias principales de tráfico de la ciudad de Madrid, obligó a la planificación de los flujos de trabajo para la construcción de la instalación de manera detallada y acotada en el tiempo, como se observa en el diagrama de Gantt de flujo de trabajos adjunto:

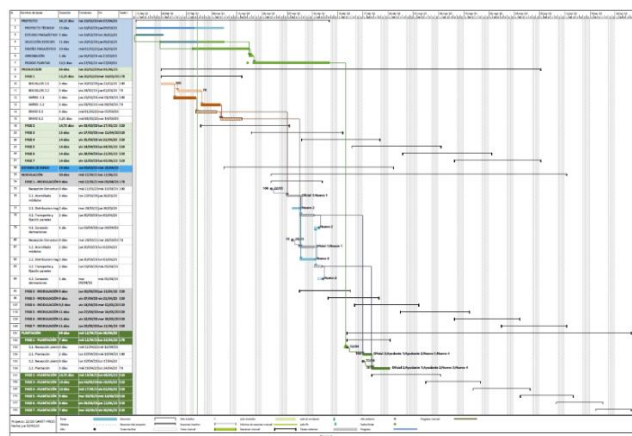


Figura. Gráfica de Gantt del proceso de ejecución seguido

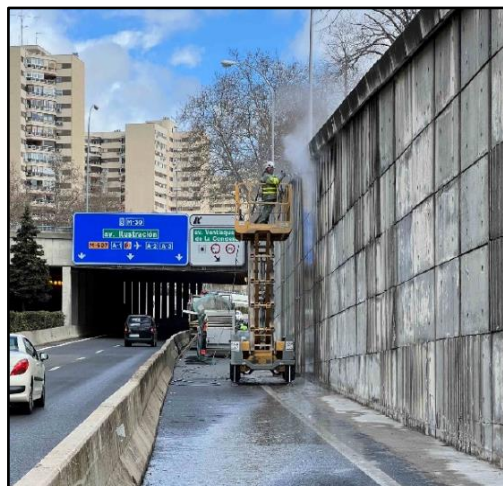
A continuación, se detallan por orden cronológico las distintas actuaciones llevadas a cabo para la creación de los jardines verticales ubicados en calle 30:

#### 1) Valoración del estado de los muros previo a las obras

Se ha procedido a estudiar el estado de los muros y levantar un plano de patologías. Asimismo, se ha procedido a realizar mediciones de la carbonatación del hormigón y la velocidad de corrosión de las armaduras en distintas zonas de los muros.

#### 2) Limpieza de los muros

La limpieza de los muros se ha realizado mediante lanza de chorro de agua a distintas presiones según el deterioro en la superficie del muro existente.



Pruebas de limpieza utilizando diferentes presiones de chorro de agua

Los anclajes existentes de las placas prefabricadas de hormigón del muro estaban cubiertos con tapas plásticas, las cuales fueron retiradas y las cabezas de los anclajes fueron limpiadas eliminando cualquier tipo de óxido, para luego ser protegidos con un mortero especial sin retacción.



Anclajes existentes en las placas

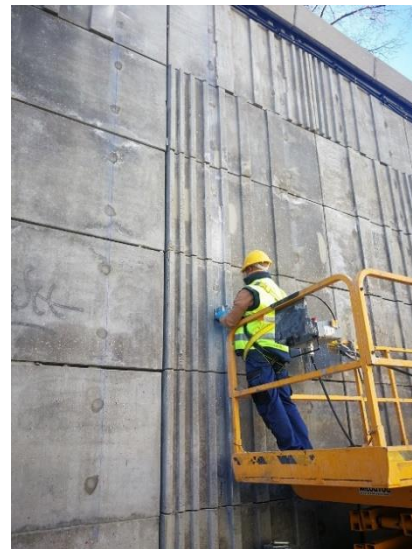
### 3) Reparación y preparación de los muros:

Una vez determinadas las zonas deterioradas, las cuales se localizaron principalmente en los zócalos de los muros, la reparación consistió en el picado y limpieza de las armaduras vistas oxidadas, aplicación de pintura inhibidor de la corrosión sobre las mismas y finalmente se procedió a la aplicación de mortero de reparación para su recubrimiento y restitución de la geometría inicial.

Para posibilitar la colocación de los casquillos de anclaje en U de la estructura, dada la singularidad del relieve decorativo del muro, en algunos casos fue preciso la eliminación de estrías de la geometría de las placas de hormigón para dejar una superficie plana sobre la que poder anclar la estructura sustentadora de los jardines.



Patología de muro en zócalo

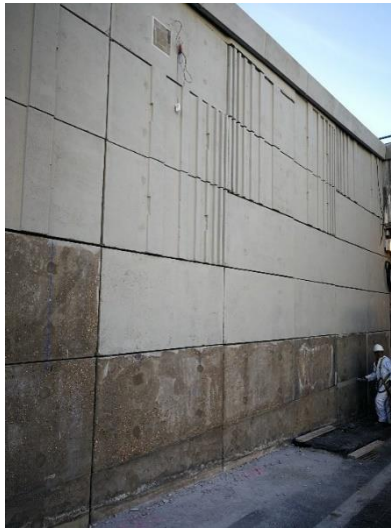


Eliminación de estrías en placas para colocación de anclajes

#### 4) Tratamiento protector de los muros:

El tratamiento sobre los muros de hormigón consistió en la aplicación de un producto inhibidor de la corrosión y una pintura anticarbonatación.

Para conocer la posible afección de la humedad sobre los muros se ha instalado un sistema de sensores con los que se monitoriza los parámetros electroquímicos, como la velocidad de corrosión de las armaduras de los muros.



Aplicación pintura anti carbonatación y cableado para monitorización

#### 5) Instalación de la estructura soporte de los jardines verticales.

El diseño de la estructura como se ha indicado anteriormente se ha encontrado condicionada por las siguientes necesidades:

- Para asegurar que la carga de la nueva estructura sea transmitida a las zonas más resistentes de los muros existentes, los anclajes se han realizado en los contrafuertes del muro, adaptándose los módulos a la separación existente de 100 cm.
- El sistema permite que los muros continúen siendo accesibles para conocer su estado en cualquier momento que se requiera, y, en su caso, realizar las correspondientes actuaciones de mantenimiento o reparación. Para conseguir esta accesibilidad a los muros se ha proyectado un sistema de paneles abatibles de fácil acceso, que ha aumentado la complejidad, tanto del cálculo de la estructura como de la ejecución y montaje de la misma.



Para garantizar la correcta ventilación de los muros y su exposición limitada a la humedad propia de los jardines, el sistema debe situarse separado de los muros.

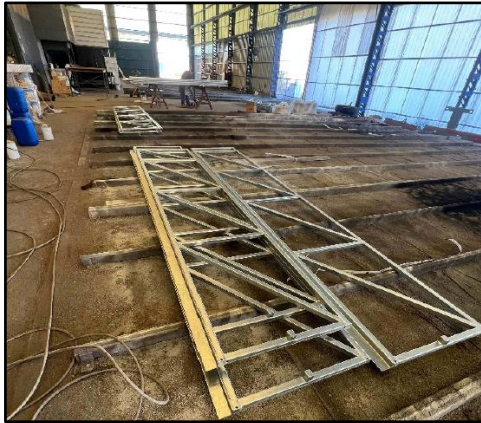
En base a lo anterior se ha diseñado una estructura compuesta por los siguientes elementos:

- Se han requerido 4979 anclajes a los muros existentes mediante casquillos en U a lo largo de la altura del contrafuerte y montantes verticales atornillados a dichos casquillos.



Anclaje de casquillos e instalación de Montantes

- El bastidor de tubo sobre el que se instala el jardín cuenta con bisagras de rodamientos ancladas al bastidor y un sistema de cierre en distintas alturas para garantizar su cierre y apertura. Con ello se consigue un portón abatible. Se han utilizado 824 bastidores de acero galvanizado de 90 cm de ancho y diferentes alturas desde 2,4 m hasta 5,2 m.



Fabricación de módulos en taller (izda) e Instalación de módulos en obra (dcha) módulos instalados mediante bisagras que permiten su apertura para la supervisión del muro de hormigon existente.



En la elección de los materiales estructurales y elementos de unión se ha tenido en cuenta el ambiente húmedo al que se encuentran sometidos.

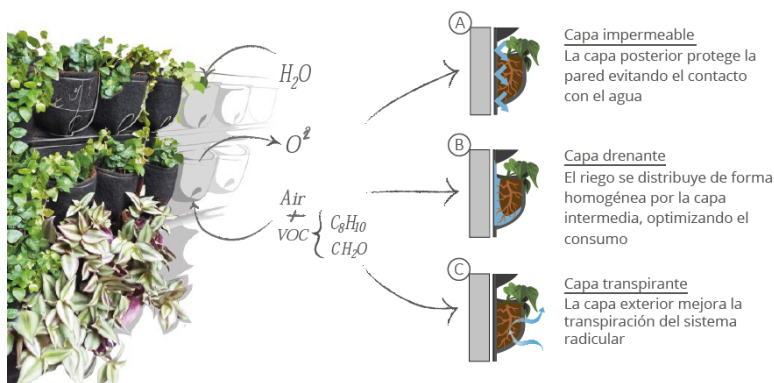
#### 6) Instalación del sistema de jardín vertical

En paralelo, una vez recibidos en obra los marcos de estructura, producidos en taller, se procede al montaje del sistema Fytotextile®, para jardines verticales. Su instalación realiza in situ en una campa instalada junto a la rotonda de Salvador Maella, incorporando parte de las tuberías de riego con goteros pinchados, que van incorporadas dentro del sistema de cultivo y que son las responsables del reparto homogéneo de agua sobre la superficie de la actuación.

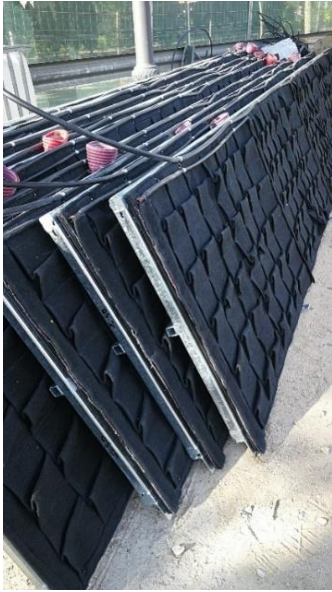
Desde dicha campa, una vez montados los módulos del sistema sobre los marcos de estructura, estos se izan en camión pluma y transportados a la vía, desde donde se lleva a cabo su montaje de forma rápida sobre los montantes verticales previamente instalados, acortando los tiempos de montaje y ocupación de viario.



Imagen del proceso de instalación desde la vía de los paneles de jardín vertical



Cada módulo cuenta con una tubería principal de riego vertical y dependiente de la altura del módulo varias situadas horizontalmente, que disponen de goteros de distinto caudal dependiendo de su situación en altura, optimizando los caudales de agua necesarios.



Sistema de jardín vertical atornillado al módulo preparado para instalación sobre los montantes en el muro de hormigón de la M30.

#### 7) Plantación de las especies seleccionadas

Con todo el sistema instalado y alimentado mediante riego desde el local técnico, se procede a la colocación de la plantación, conforme la propuesta paisajística desarrollada. Esta implantación de la vegetación se hace sobre sustrato mejorado con fibra de coco para prolongar la vida útil del mismo, y mejorar sus condiciones de estabilidad y aireación a lo largo de su vida útil, aspectos que inciden en las tareas de mantenimiento posterior, reduciéndolo en la medida de lo posible.

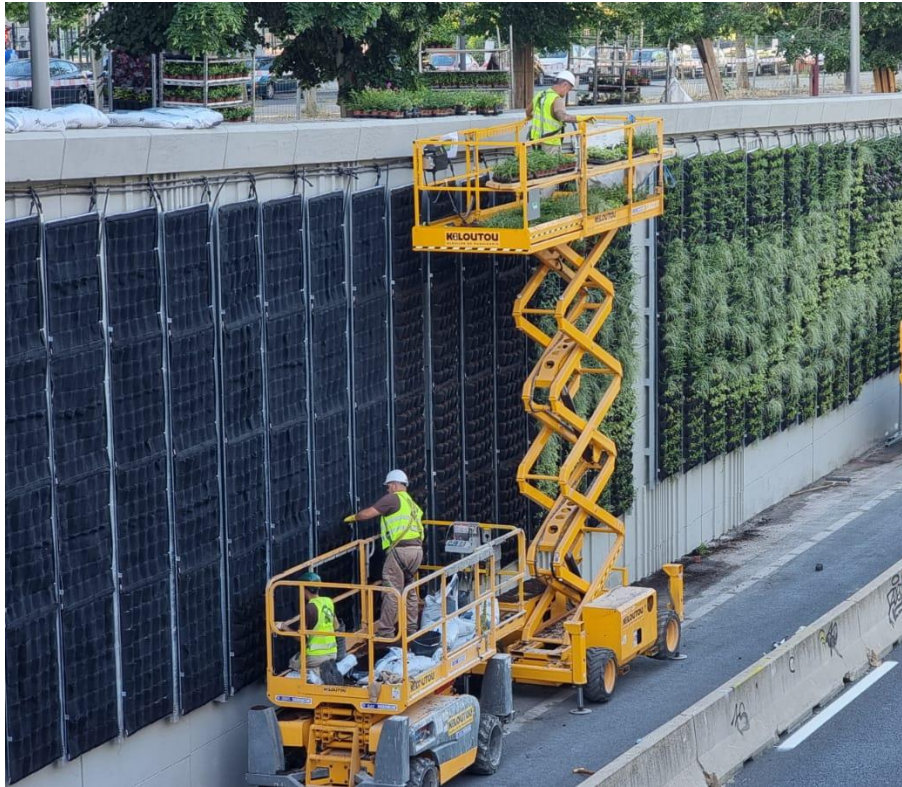


Imagen del proceso de ejecución del sistema con diferentes fases de instalación

Como se indicó en los puntos anteriores, el proceso de instalación se ejecutó por tramos que se instalaban por fases que se solapaban en el tiempo, mediante una cadencia: estructura – marco con módulo – plantación, que se repitió a lo largo de todo el desarrollo de ambos laterales, y dando lugar a fases de ejecución en los que un tramo estaba en fase estructura, otro en montaje de módulos y otros plantados y funcionando. Esta sincronización conllevaba la puesta en marcha paulatina de los sectores de riego que, necesariamente, habían de quedar operativos y funcionando antes de poder llevar a cabo la plantación.

#### 8) Montaje del sistema de riego y control

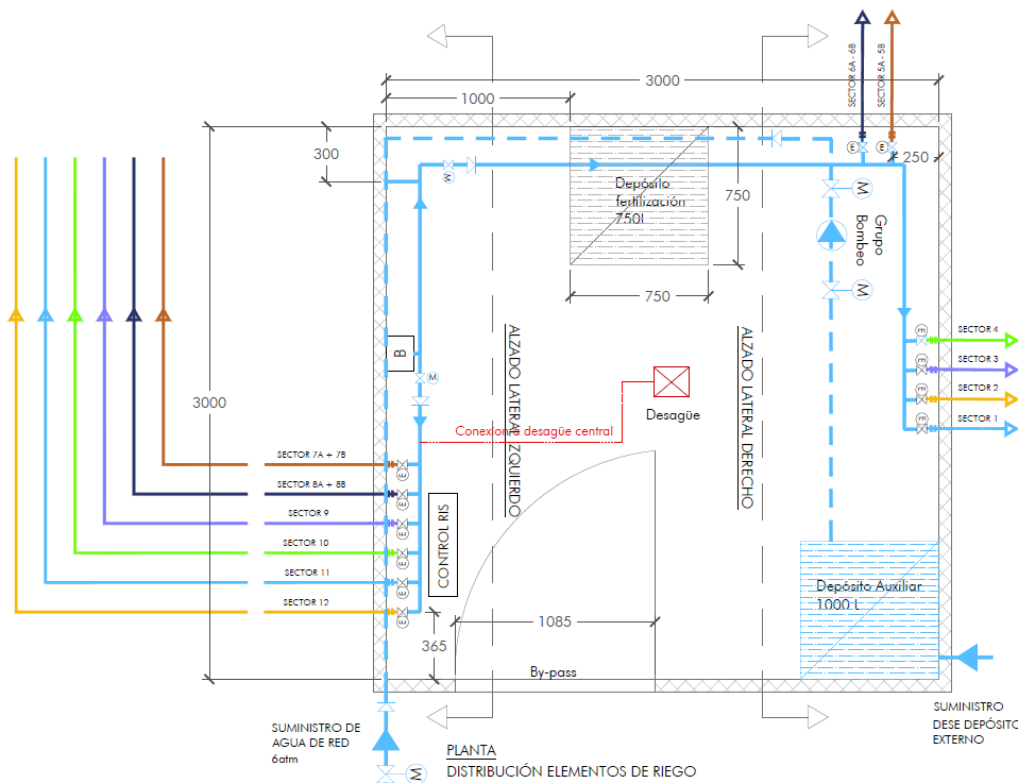
Desde el local técnico instalado en la cota del paseo, mediante una caseta prefabricada, se lleva a cabo el montaje de toda la ingeniería hidráulica y de control que conforma la ingeniería que mantiene en funcionamiento y monitoriza la actuación. En dicho local, conectado a la red de abastecimiento urbana, se dispone un depósito auxiliar que se alimenta, y desde el que se lleva a cabo, mediante bombeo, el abastecimiento de todos los sectores en los que se organiza la actuación. De esta forma, se resuelven las fluctuaciones de presión de la red de abastecimiento, que podrían dañar elementos y distorsionar la gestión y control del funcionamiento del sistema.

En el esquema hidráulico previsto, se disponen reguladores de presión que facilitan la gestión de tramos de tubería de muy diferente longitud con una serie de sensores de presión para monitorear el estado

de funcionamiento del sistema, de Ph y de EC para controlar la calidad del agua, así como se reciben las señales de las sondas trisensor (de humedad de sustrato, temperatura de sustrato y conductividad de sustrato) que se disponen a lo largo de toda la actuación conectadas a unidades remotas que se comunican vía radio con el local técnico, para tener una información en tiempo real de la evolución de los parámetros críticos para el funcionamiento del sistema.



Interior del local técnico instalado en superficie (armario de control, depósitos, árbol de electroválvulas y bombas de impulsión)



Esquema de principio del local técnico



Imagen de la excavación de zanjas para red de tuberías de reparto de riego

Por otro lado, desde el local se canalizan todas las tuberías que alimentan toda la extensión de la actuación, a través de excavación en zanjas. Mediante la disposición de arquetas de conexión se lleva a cabo la perforación de los muros pantallas en los puntos donde se conecta con la red de reparto de riego.

**DETALLES TÉCNICOS - GOTEROS**

Gotero NGE AL (TORC)  
(autocompensantes y antidrenantes)

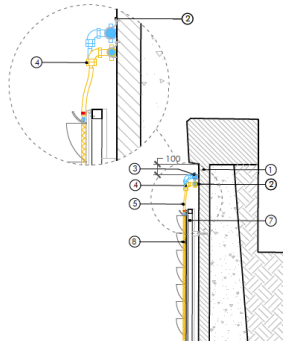


**Datos técnicos**  
Caudal y color:  
NGE AL 2.0 l/h (azul)  
NGE AL 4.0 l/h (gris)  
Presión de trabajo: 1,0 - 3,4 bar  
Presión máxima: 4,1 bar

Gotero PCJ CNL (NETAFIN)  
(autocompensantes y antidrenantes)



**Datos técnicos**  
Caudal y color:  
PCJ CNL 1,2 l/h (marrón)  
Presión de trabajo: 0,7 - 4,0 bar  
Presión máxima: 4,0 bar



**LÍNEAS DE REPARTO - RIEGO JARDÍN VERTICAL**

- ① MURO PANTALLA.
- ② GRAPAS METÁLICAS ZINCADAS, FIJACIONES CADA 100 cm. TORNILLOS FIVE AUTORROSCANTE MULTICAPERO M10 X 65



- ③ TUBERÍAS DE REPARTO PEbd 64mm DE Ø SEGÚN SECTORES.
- ④ CODO Y REDUCCIÓN DESMONTABLE Ø16 mm.
- ⑤ TUBERÍA CONEXIÓN LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN A REPARTO DE RIEGO DE LOS JARDINES VERTICALES PARA PERMITIR REGISTRO DE PANELES.

Detalle de la fijación de la red de tuberías por la coronación de las pantallas

Esta red de reparto se canaliza mediante grapeado por la coronación de los muros pantalla, en la cara interior del viario, permitiendo la conexión de los módulos de jardín vertical que posteriormente se irán instalando y que se describen en el siguiente punto.

### 9) Puesta en marcha y comprobación del servicio

Una vez ejecutado todo el sistema, la comprobación y seguimiento de la actuación durante las primeras semanas de desarrollo es de crucial importancia, para evitar numerosas marras en vegetación y evitar incidencias que pudieran afectar a un lugar de difícil acceso como un viario en uso. Los aspectos principales que se revisaron en las primeras fases de desarrollo del sistema fueron:

- las presiones suficientes y adecuadas a cada tramo, chequeando que se llegara a cada tramo con suficiente presión para poder realizar los riegos sin problemas,
- la evolución de la humedad mediante la revisión de las gráficas que arrojan los sensores de humedad y temperatura de sustrato, máxime en un periodo de inicio de verano como el que se dio a la finalización de los trabajos.
- Control y revisión de componentes y conexiones que pudieran saltar o desconectarse, ya que, debido a las fluctuaciones de presión, las primeras semanas fue necesario ir realizando el ajuste de dichos elementos de manera puntual en diferentes ubicaciones del sistema.



Gráficas de lectura de sensores del sistema de control

Con esto, se llega a la fase de monitorización y mantenimiento posterior del sistema, en la que se lleva a cabo un seguimiento permanente en remoto de la evolución de los parámetros más relevantes del jardín, y que mayor impacto tienen en su evolución y desempeño, como los indicados previamente. Así mismo, se monitorean también los niveles de Ph y EC del agua de riego utilizada, y se cuenta con alertas de corte de alimentación, alertas por variación significativa de los rangos medios de humedad de sustrato previstos, o lecturas anómalas en la presión de red del sistema. Todo esto permite llevar a cabo actuaciones de reparación y mantenimiento mejor orientadas y en tiempo, para evitar sobrecostos o daños mayores a los previstos.

Además, el conjunto cuenta con una pequeña estación meteorológica que mide la incidencia solar en la zona, la velocidad del viento mediante un anemómetro y la humedad relativa del aire, completando así una revisión completa de los parámetros más importantes que pueden afectar a su funcionamiento.

Se trata por tanto de la tecnificación de la gestión de la zona verde incorporada a un espacio hostil y de difícil acceso, al objeto de poder lograr un impacto y resultado de alto valor.

10) Las actuaciones se han complementado con:

- Un sistema centralizado y sectorizado de riego de los jardines que cuenta con distintos sensores para conocer las incidencias que pudieran surgir y adaptar el riego a las mismas.

- Un sistema de monitorización de contaminantes atmosféricos y material particulado (CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y PM). Durante la fase de obra se realizaron mediciones en los muros antes y después de albergar los jardines para conocer los valores de cada uno de los agentes contaminantes con carácter previo a su instalación y con carácter posterior y así ponerlos a comparar. Estos sensores se han dejado instalados para conocer a lo largo del tiempo la evolución de dichos valores y poder extraer conclusiones.



## 5. Proyecto innovador

La actuación concebida conlleva un alto valor innovador debido a:

- Instalación de vegetación sobre muros de infraestructuras lineales en la ciudad, mejorando medioambiental y paisajísticamente el entorno urbano.
- El sistema estructural de soporte de los módulos del jardín vertical permite su abatimiento para el registro, inspección y mantenimiento de los muros de hormigón.
- La instalación es de cultivo semihidropónico, con un pequeño sustrato orgánico que reduce el consumo de agua habitual en este tipo de jardines y garantiza una mayor durabilidad ante cualquier problema puntual en el riego.
- Monitorización en tiempo real del estado del muro y de su armadura, conociendo la afección de la humedad sobre el mismo para poder actuar en caso de producirse algún daño sobre el mismo.
- Monitorización en tiempo real de contaminantes atmosféricos y material particulado (CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y PM) que permita conocer el impacto de la instalación de dichos jardines y su evolución en el tiempo.

Los datos obtenidos están siendo comparados con los datos generales de contaminación disponibles de Calle 30 o de las estaciones de contaminación del Ayuntamiento de Madrid con el objetivo de conocer cuál es la diferencia de concentración de contaminantes entre las distintas zonas.

Valoración de la capacidad de atracción de biodiversidad en los muros vegetados y de su evolución a lo largo del año, con especial atención a los meses de mayor actividad faunística que coinciden con la primavera y el otoño. El trabajo se centrará en la localización, principalmente, de especies de aves e insectos polinizadores.

## 6. Seguimiento y monitorización de resultados

El proyecto desde su concepción ha tenido como objetivo generar un impacto ambiental positivo, tanto en la mejora de la calidad del aire, a través de la fijación de contaminantes y gases de efecto invernadero, como en la protección y fomento de la biodiversidad. Con la creación de más de 3.279 m<sup>2</sup> de áreas ajardinadas, se ha establecido un corredor verde intraurbano que, por su magnitud, se posiciona entre los más grandes del mundo en su categoría.

Este tipo de actuación innovadora se destaca por integrar vegetación en un entorno urbano complejo y hostil, caracterizado por su difícil acceso. Su impacto trasciende la mera mejora ambiental, ya que contribuye además a la mejora acústica, paisajística y de la biodiversidad urbana. La aceptación social del proyecto es evidente, con numerosos comentarios positivos en redes sociales que destacan el valor de este oasis urbano, subrayando el papel que desempeña en la transformación de la calidad de vida de los habitantes, donde muchos expresan su impacto positivo en su estado de ánimo al atravesar por allí o la felicidad que les transmite.

<https://www.facebook.com/100064727106339/posts/715170807317150/>

La iniciativa se alinea con las directrices más recientes de la Unión Europea, que promueven la expansión de espacios verdes en áreas urbanas, incrementando la proporción de metros cuadrados de zonas verdes por habitante. Además, este tipo de intervenciones son claves en la lucha contra el cambio climático, promoviendo un desarrollo urbano sostenible que refuerza la resiliencia de las ciudades, en consonancia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11 de la ONU: "Ciudades y comunidades sostenibles".

En esta actuación se han instalado sensores ambientales dispuestos en diferentes puntos del jardín, que permiten monitorizar desde el inicio del proyecto la influencia de los jardines verticales y las especies plantadas en la calidad del aire. Estos sensores cuantifican las concentraciones de partículas y gases contaminantes en los alrededores de la autovía, generando datos que pueden ser replicados en futuras fases del proyecto a nivel metropolitano. Así, se trata de un enfoque que no solo mejora la salud ambiental, sino que también tiene el potencial de ser una herramienta estratégica para futuras intervenciones urbanas y que se utiliza como campo de investigación y desarrollo de nuevas ideas que se alineen con un nuevo concepto de urbanismo sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Finalmente, cabe destacar que los jardines verticales de la M30 juegan un papel fundamental en la reducción de gases de efecto invernadero y CO<sub>2</sub>, ayudando a mitigar el calentamiento global. Esta estrategia urbana está alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13 de la ONU: "Acción por el clima", contribuyendo a un futuro más sostenible y resiliente.

## 7. Conclusiones

La obra presentada en el presente documento, así como los trabajos de investigación que se están realizando y los datos que se están monitorizando constantemente para extraer conclusiones y lecciones aprendidas, cumplen con los aspectos valorables en la Candidatura del Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernandez del Campo dado que:

1. Se obtiene un innegable **beneficio social** derivado directamente de la ejecución del proyecto dado que:

- Mejoran el confort ambiental disminuyendo la contaminación acústica. Los jardines verticales al haber sido colocados en los muros de la propia infraestructura de la carretera M30 mitigan el ruido justo en el foco emisor mejorando la calidad del entorno al trabajar como pantalla acústica.
- Contribuyen a la amortiguación de la isla de calor luchando contra el cambio climático del entorno.
- Favorecen la biodiversidad del entorno. En los meses en los que lleva instalado este jardín se ha podido comprobar la multitud de insectos que habitan en el jardín tales como mariposas y abejas, entre otros.
- Contribuye a la mejora estética de la ciudad, mejorando el disfrute de los ciudadanos al convertir un lugar hostil como una autovía en un agradable jardín.
- Se aumenta el patrimonio verde de la ciudad aprovechando superficies verticales existentes destinadas a infraestructuras viarias y, por tanto, sin ocupación de suelo de vía pública, que puede destinarse a otros usos.

2. Proyecto basado en una **solución singular y novedosa**: tanto el sistema de jardín vertical colocado con cultivos semi hidropónicos como el sistema estructural instalado que permite en todo momento acceder al muro existente ha presentado un reto de una complejidad técnica, con evidentes ventajas a posteriori.

3. **Utilización de nuevos materiales y tecnologías**: Se han incluido unos sistemas de monitorización constante de parámetros como la corrosión de las armaduras del muro, la medición constante de contaminantes atmosféricos y la medición constante de las características propias del estado del jardín (humedad, temperatura, PH, etc) hacen que en todo momento se pueden extraer conclusiones de su efectividad, así como se detecta en tiempo real cualquier problema que se presente pudiendo solucionarlo de la forma más rápida posible.

Tal y como se ha descrito en las páginas anteriores se han utilizado sistemas de monitorización con alto valor tecnológico e innovador que no se utilizan en otros campos de la jardinería.

La superficie que abarcan dichos jardines verticales asciende a unos 3.250 m<sup>2</sup> habiendo sido terminados en el mes de julio de 2023. Esta gran superficie convierte a estos jardines verticales en los más grandes del mundo dado que se sitúan 657 m<sup>2</sup> por encima del jardín vertical más grande del mundo registrado en el Libro Guinness de los Récords actualmente, ubicado en la ciudad de Kaohsiung (Taiwán).

A la vista de los resultados obtenidos de la monitorización realizada tras la ejecución del presente proyecto piloto se evaluará la viabilidad de hacer extensiva esta iniciativa a una superficie de unos 100.000 m<sup>2</sup> de muros de la M30.

La naturalización de dicha vía no sólo sirve para la mejora ambiental de Calle 30, también contribuye a la mejora visual de la vía más transitada de España habiendo cambiado las paredes de hormigón por vegetación, eliminando la visión de posibles pintadas vandálicas que se pudieran producir.

A día de hoy, desde el Ayuntamiento de Madrid se evalúa como tremendamente positiva la actuación de cara a la percepción de la ciudadanía.

## 8. Documentación audiovisual

CANDIDATURA

A continuación, se incluye un vídeo a cámara rápida que refleja un resumen de los meses de ejecución de las obras de Jardines Verticales para la Renaturalización de la M30. En una duración de 3 minutos y medio se resumen todos los trabajos que se han ejecutado de reparación de los muros existentes, colocación de la estructura de sujeción y finalmente la realización de la plantación que ha cubierto una longitud de más de 400 m de muros de la M30:

[Timelapse Calle 30 NATURA.mov](#)

**Anexo Documentación Fotográfica**



Emplazamiento actuación. Muros verticales en carretera M30 entre Glorieta Salvador Maella y Glorieta de Nueva Zelanda de Madrid



Estado previo a la actuación de los muros



Estado final. Muros con los jardines verticales instalados



Montaje estructura y colocación plantas desde plataforma elevadora

CANDIDATURA



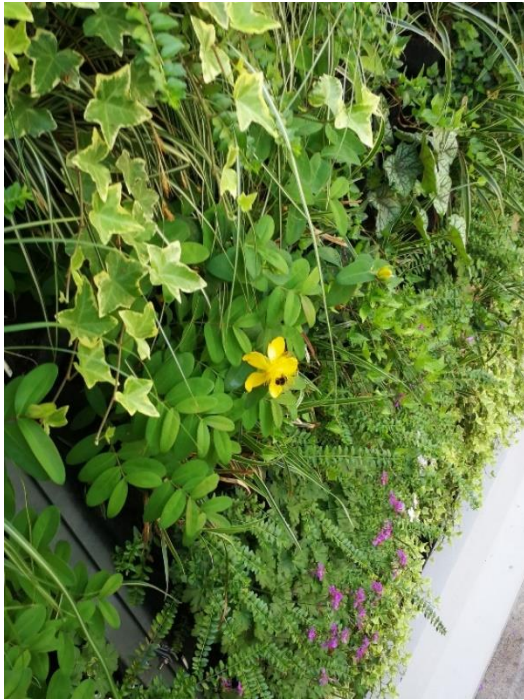
Detalle de jardín vertical estado final

CANDIDATURA



CANDIDATURA





Insectos que habitan en el nuevo jardín vertical. En la fotografía de la izquierda se puede observar un abeja polinizando en la flor y en la fotografía derecha una mariposa



Sensor de contaminación medioambiental



Módulo abatido para revisión estado muro

