



**PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FACHADA
VEGETAL CON SISTEMA DE PLANTAS PRECULTIVADAS Y CUBIERTA
VEGETAL SEMI-INTENSIVA**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Omer Jorge Romero Silva

Profesor Guía:
José Torres Barón

Fecha:
Noviembre 2020
Santiago, Chile

DEDICATORIA

Dedico esta memoria al tiempo, energía, y cariños de cada una de las personas que estuvieron acompañarme en este largo camino, dándome su apoyo incondicional para lograr finalidad este proyecto.

SOLO USO ACADÉMICO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Compañía de Jesús 3149, casa 2 y su gente que la constituye, gracias por albergar, alimentar y brindar todo su ánimo.

Agradezco infinitamente a Michelle mi pareja, que sin su incesantes muestras de apoyo y ánimo ayudó a que sacará adelante esta memoria. Gracias por convertir mis días grises en días soleados a través de tu alegría y demostraciones de cariños infinitas.

SOLO USO ACADÉMICO

RESUMEN

Las fachadas y cubiertas vegetales en los últimos años han demostrado ser una opción viable ante un tema relevante en la construcción de nuestros tiempos como lo es la sustentabilidad. Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo exponer y analizar los procesos constructivos de los sistemas de fachadas y cubiertas vegetales, debido a su aporte innegable al medio ambiente, contribuyendo con más metro cuadrados de áreas verdes y eficiencia energética para las edificaciones en las que se aplican.

Con esta finalidad, en primer lugar se desarrollará un estudio histórico de la evolución de estos procesos desde sus orígenes hasta la actualidad, identificando también las aplicaciones a lo largo de Chile. En segundo lugar, se analizarán las normativas a tener en cuenta para la aplicación de estos procesos constructivos. Luego, se explicará qué son las fachadas y cubiertas vegetales, haciendo un barrido por cada una de las tipologías con el fin de exponer el proceso constructivo para la implementación de fachada vegetal con sistema de plantas pre cultivadas y cubierta vegetal semi-intensiva. Finalmente, se profundizará en dos casos de estudio; la remodelación del Parque Arauco Kennedy y el Hospital Regional de Rancagua respectivamente, con el fin de enfatizar los beneficios de estas alternativas constructivas.

En conclusión, se puede considerar que estos sistemas vegetales son una solución real y viable, tanto al problema del consumo de energía de las edificaciones como a mejorar la calidad de vida y bienestar de los usuarios. La ausencia de legislación para la aplicación de estos sistemas hace necesario que nuestro país cuente con normativas especializadas que regulen estos sistemas y no solo un manual como el de la Corporación del Desarrollo Tecnológico. Además, el encuentro de variables inesperadas en esta investigación, abre nuevas vías de estudio y trabajo con alternativas como los humedales en cubiertas, los cuales se encuentran en fase experimental a modo de alternativa para el caso de las cubiertas vegetales y la integración social.

Palabras claves: Procesos constructivos / Fachadas vegetales / Cubiertas vegetales / Sustentabilidad / Eficiencia energética / Beneficios

SUMMARY

The facades and green roofs in recent years have proven to be a viable option in the face of a relevant issue in the construction of our times such as sustainability. That is why the present research aims to expose and analyze the construction processes of the façade and green roof systems, due to their undeniable contribution to the environment, contributing more square meters of green areas and energy efficiency for buildings in the that apply.

To this end, first a historical study of the evolution of these processes from their origins to the present will be developed, also identifying the applications throughout Chile. Second, the regulations to be taken into account for the application of these construction processes will be analyzed. Then, it will be explained what the facades and green roofs are, doing a sweep for each of the typologies in order to expose the construction process for the implementation of a green facade with a system of pre-cultivated plants and semi-intensive green roof. Finally, two case studies will be explored; the remodeling of Parque Arauco Kennedy and the Regional Hospital of Rancagua respectively, in order to emphasize the benefits of these constructive alternatives.

In conclusion, it can be considered that these plant systems are a real and viable solution, both to the problem of energy consumption in buildings and to improve the quality of life and well-being of users. The absence of legislation for the application of these systems makes it necessary for our country to have specialized regulations that regulate these systems and not just a manual such as that of the Technological Development Corporation. In addition, the encounter of unexpected variables in this research opens new ways of studying and working with alternatives such as covered wetlands, which are in the experimental phase as an alternative in the case of green roofs and social integration.

Keywords: Construction processes / Green facades / Green roofs / Sustainability / Energy efficiency / Benefits

ÍNDICE

1. Introducción	9
1.1 Presentación del tema	9
1.2 Objetivos	10
2. Antecedentes	11
2.1 Fachadas y cubiertas vegetales a través del tiempo	11
2.2 Aplicaciones en Chile	14
3. Normativas a considerar para su implementación	19
4. Tipologías	21
4.1 Tipologías de fachadas vegetales	21
4.1.1 Fachadas verdes tradicionales	21
4.1.2 Fachadas como segunda piel	22
4.1.2.1 Sistema cables trenzado	22
4.1.2.2 Sistema enrejado modular	23
4.1.2.3 Fachada vegetal invernadero	24
4.1.2.4 Fachadas deslizantes	25
4.1.3 Sistema de plantas precultivadas	27
4.1.3.1 Paneles vegetados en cajas metálicas	27
4.1.3.2 Paneles vegetados en celdas drenantes	28
4.1.3.3 Gaviones Metálicos	29
4.1.4 Sistema hidropónico	30
4.1.5 Hormigón biológico vegetal	31
4.2 Tipologías de cubiertas	33
4.2.1 Cubiertas intensivas	37
4.2.2 Cubiertas extensivas	38
4.2.3 Cubiertas semi-intensivas	38
5. Casos de estudio	40
5.1 Remodelación Parque Arauco Kennedy	40
5.2 Hospital regional de Rancagua	43
7. Conclusiones	
8. Referencias bibliográficas	
8.1 Referencias de imágenes	

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N°1: Simulación de jardines colgantes de Babilonia	11
Imagen N°2: Palacio del emperador Tiberio - Italia	12
Imagen N°3: Rockefeller center - Nueva York, Estados Unidos	13
Imagen N°4: Edificio Consorcio - Santiago, Chile	14
Imagen N°5: Hotel intercontinental - Santiago, Chile	14
Imagen N°6: Cubierta de biblioteca Nicanor Parra - Santiago, Chile	15
Imagen N°7: Hotel Remota - Patagonia, Chile	15
Imagen N°8: Hospital del Carmen - Santiago, Chile	15
Imagen N°9: Hospital de Talca - Talca, Chile	16
Imagen N°10: Cubierta hospital regional de Rancagua - Rancagua, Chile	16
Imagen N°11: Cubierta hospital clínico metropolitano de la Florida - La Florida, Chile	16
Imagen N°12: Render hospital Gustavo Fricke - Viña del Mar, Chile	17
Imagen N°13: Universidad Adolfo Ibañez - Viña del Mar, Chile	17
Imagen N°14: Edificio Transoceánica - Santiago, Chile	17
Imagen N°15: Casa en el lago Rupanco - Puyehue, Chile	18
Imagen N°16: Cubierta Facultad economía y negocios UDP - Santiago, Chile	18
Imagen N°17: Fachada tradicional	21
Imagen N°18: Jardines verticales con cables de acero en forma de rombo	22
Imagen N°19: Fachada vegetal con sistema de enrejado modular	23
Imagen N°20: Detalle de la fachada vegetal tipo invernadero	24
Imagen N°21: Detalle constructivo 1 fachadas deslizantes	26
Imagen N°22: Detalle constructivo 2 fachadas deslizantes	26
Imagen N°23: Despiece componentes sistema de paneles vegetados en cajas metálicas	27
Imagen N°24: Corte vertical sistema de paneles vegetados en cajas metálicas	28
Imagen N°25: Fachada vegetal con gaviones metálicos	29
Imagen N°26: Corte horizontal sistema de paneles vegetados en cajas metálicas	30
Imagen N°27: Caixaforum – Madrid, España	31
Imagen N°28: Líquenes	32
Imagen N°29: Detalle constructivo hormigón biológico vegetal	32
Imagen N°30: Simulación en el centro cultural aeronáutico aeropuerto Del Prat - Barcelona, España	32
Imagen N°31: Componentes básicos de cubiertas vegetales	33
Imagen N°32: Fachada vegetal Mall Parque Arauco	40

Imagen N°33: Detalle constructivo sistema Telmadermi	42
Imagen N°34: Detalle constructivo cubierta vegetal Hospital Regional de Rancagua	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Componentes	33
Tabla N°2: Vegetación	37
Tabla N°3: Apartado técnico – intensiva	38
Tabla N°4: Apartado técnico – extensiva	38
Tabla N°5: Apartado técnico - semi intensiva	39

SOLO USO ACADÉMICO

1. Introducción

1.1 Presentación del tema

En Europa, desde los años setenta, específicamente en Alemania, las fachadas y cubiertas vegetales han demostrado ser una opción viable ante un tema relevante en la construcción de nuestros tiempos como lo es la sustentabilidad, con su innegable aporte al medio ambiente contribuyendo con más metro cuadrados de áreas verdes en la ciudad. Además, estos sistemas generan grandes ahorros energéticos en términos térmicos y acústicos para las edificaciones en las que se aplican.

Una de sus funciones es actuar como aislantes térmicos gracias al proceso de evapotranspiración de las plantas, que consiste en la utilización de la energía calórica de su entorno para evaporar el agua a su alrededor disminuyendo la temperatura ambiental con un mayor efecto en época de verano. Entre otras funciones se encuentran la aislación acústica y el mejoramiento de las escorrentías de aguas lluvias. A su vez, poseen incidencias en el impacto medioambiental, debido a que aportan al número de áreas verdes presentes en los espacios físicos en los que se emplazan resultando en ambientes más saludables y agradables al mejorar la calidad de vida de la población que habita los edificios en las cuales están presentes las fachadas y cubiertas vegetales.

Por su parte, la sustentabilidad en la construcción busca el equilibrio ecológico, optimizando los recursos naturales y sistemas de edificación para disminuir el impacto ambiental de las construcciones, y respondiendo a estas necesidades, las fachadas y cubiertas vegetales surgen como una alternativa. El arquitecto Enrique Browne fue pionero en la implementación de estos procesos constructivos en nuestro país, rompiendo con la homogeneidad de la construcción existente hasta los años noventa con la primera implementación de fachadas vegetales en el edificio Consorcio ubicado en la ciudad de Santiago.

A través de la presente investigación se explicará que son las fachadas y cubiertas vegetales, haciendo un barrido por cada una de las tipologías con el fin de exponer el proceso constructivo para la implementación de fachada vegetal con sistema de plantas precultivadas y cubierta vegetal semi-intensiva. Esto se profundizará en dos casos de estudio; la remodelación del Parque Arauco Kennedy y el hospital regional de Rancagua respectivamente, con el fin de enfatizar los beneficios de estas alternativas constructivas.

1.2 Objetivos

General:

Exponer técnicamente el proceso constructivo para la implementación de fachada vegetal con sistema de plantas pre cultivadas y cubierta vegetal semi-intensiva. Analizando el proceso constructivo y sus beneficios en los casos de estudio seleccionados.

Específicos:

- 1) Abordar conceptos claves con tal de enmarcar teóricamente la investigación realizada.
- 2) Destacar aplicaciones del proceso constructivo realizadas en Chile.
- 3) Nombrar las normativas vigentes a considerar para el proceso constructivo en Chile.
- 4) Describir los diferentes tipos de fachadas y cubiertas vegetales existentes.
- 5) Describir el proceso constructivo para la implementación de la fachada vegetal con sistema de plantas precultivadas y cubierta semi-intensiva.
- 6) Analizar el proceso constructivo y beneficios que proveen estos sistemas en los casos de estudio: Mall Parque Arauco y Hospital Regional de Rancagua.

2. Antecedentes

2.1 Fachadas y cubiertas vegetales a través del tiempo

Antes de hablar de la historia es necesario entender qué son las fachadas y cubiertas vegetales. En primer lugar, la fachada vegetal se entiende como una estructura adyacente a un muro que se caracteriza por su principal material: la vegetación, la cual brinda a la construcción una protección añadida, ya que funciona como aislante térmico y acústico. Por otro lado, las cubiertas vegetales son superficies que se encuentran sobre la quinta fachada (cubierta) de las edificaciones, las cuales están preparadas para la implementación de vegetación, ya sea para el uso humano, terraza, zona de juegos, recreación e incluso como zonas terapéuticas en hospitales o clínicas.

Los primeros antecedentes de estas construcciones, fueron las cubiertas vegetales que datan de la época del Neolítico (3.500 A.C.), las cuales fueron obras funerarias conocidas como tumbas de corredor que consistían en un estrecho pasaje hecho de piedras gigantes y varias cámaras funerarias cubiertas de sustrato. Algunos ejemplos famosos son: *Newgrange*, Irlanda y *la tumba de corredor* en Anglesey, Gales.

Con el tiempo estas técnicas evolucionaron, en Babilonia se implementaron *los jardines colgantes* que nacían en el techo y bajaban por las paredes para cubrirlas de verde, cumpliendo una función volcada al paisajismo y estética. No hay registros de estas estructuras, sin embargo, existen ilustraciones que se han hecho en base a las descripciones de historiadores griegos y romanos (imagen N°1).



Imagen 1 Simulación de jardines colgantes de Babilonia
Recuperado de <https://historia.nationalgeographic.com.es/>

En la antigua Roma estas estructuras de jardines se denominaron *Horti Pensiles* y formaban parte de los palacios, lo que trajo consigo el concepto de impermeabilización de terrenos que fue posible gracias al *cocciopesto* u *opus signinum*, que consistía en una gruesa capa de mortero apisonado elaborado con trozos de cerámica, arena y cal o piedra caliza finamente

molida, que se colocaba sobre la estructura y tenía propiedades impermeables al endurecerse. Un ejemplo es el *palacio de Tiberio* emperador romano, en Italia (imagen N°2).



Imagen 2 Palacio del emperador Tiberio – Italia
Recuperado de <https://idealista.com>

Debido a las condiciones climáticas adversas del norte de Europa, la turba¹ y el césped surgieron como una alternativa con mejores propiedades aislantes que las cubiertas tradicionales de madera o piedra no proporcionaban. En Islandia, la estructura que soportaba las casas se cubría con bloques de turba y en la cubierta se plantaba césped,

ayudando a disminuir la pérdida energética al retener el calor al interior de la vivienda.

A lo largo de la historia, hubo más construcciones que incorporaron la vegetación, ya fuera con fines estéticos o aislantes, como los casos antes mencionados. Algunas de estas aplicaciones se hallaban en muros de iglesias, palacios y patios durante el período Gótico. Durante el Renacimiento, los arquitectos re-descubrieron el trabajo de los romanos incorporando el arte de la jardinería en las construcciones dando origen a una nueva corriente de influencia conocida como la arquitectura de la naturaleza, la cual buscaba hacer de lo natural una extensión de las edificaciones.

A principios del siglo XX tendrían lugar una serie de hechos que establecerán las bases para el desarrollo de las fachadas y cubiertas vegetales. Ebenezer Howard² fundó el movimiento urbanístico de la *Ciudad Jardín*, que buscaba sustituir las ciudades industriales por zonas urbanas más pequeñas rodeadas de un cinturón vegetal, con el fin de mezclar la ciudad con el campo y así mantener la armonía entre el trabajo y una vida saludable. Frank Lloyd Wright³, pionero de la *Prairie School*, propondría una filosofía conocida como arquitectura orgánica, que perseguía la armonía y simbiosis entre el diseño de estructuras y el entorno que las rodeaba; enfocándose en la funcionalidad del hábitat humano sin irrumpir en el espacio físico en el que se pudiera emplazar. Le Corbusier, famoso arquitecto suizo referente de la

¹ Material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono.

² Arquitecto y urbanista británico (1850-1928)

³ Arquitecto, diseñador de interiores, escritor y educador estadounidense (1867-1959)

arquitectura moderna, utilizó áreas verdes en las cubiertas de sus obras para compensar las que eran consumidas en los terrenos que se emplazaban sus construcciones. *Le petite maison*, construida entre 1923 y 1924 en Corseaux, Suiza, posee una cubierta vegetal en lugar de una tradicional, de la misma manera en que *La villa savoye*, construida en 1929 a las afueras de París, Francia, tenía un jardín en su cubierta. En 1939, se construyó el *Rockefeller Center*, en Nueva York, EE.UU, el cual posee hasta la actualidad una cubierta ajardinada en la azotea (imagen N°3).

En Alemania, a partir de 1970, la implementación de los techos verdes se normó bajo la Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau⁴ (FLL), para el año 1996 se habían instalado 10 millones de metros cuadrados de cubiertas vegetales en todo el país, todo esto impulsado por Reinhard Bornkamm, quien es considerado como su principal precursor. Esta iniciativa se extendió principalmente a países del norte de Europa, Estados Unidos y Canadá los cuales hoy poseen guías de diseño y construcción, mientras que Chile cuenta con un manual de recomendaciones para la instalación de cubiertas vegetales, mas no una normativa como Alemania.



Imagen 3 Rockefeller center - Nueva York, Estados Unidos
Recuperado de <https://thenyclifeblog.wordpress.com>

En 1993, aparece la primera gran aplicación del sistema de paneles enrejados en la *Green Wall* en *Universal Citywalk*, California. En 1995 se diseña la Terminal Internacional de Pasajeros de Yokohama, Japón, la cual fue construida entre los años 2000 y 2002. En 2001 se inició la construcción del Parque MFO, un impresionante ejemplo de fachada vegetal perteneciente a la estructura denominada *Casa del Parque*; este parque fue abierto al público en el año 2002 en Zurich, Suiza. Finalmente, en 2006 fue inaugurado el Museo del Muelle Branly - Jacques Chirac ubicado en la ciudad de París, otra conocida aplicación de fachada vegetal.

Tal como fue mencionado anteriormente, estas son algunas de las aplicaciones de fachadas y cubiertas vegetales que han existido a lo largo de la historia en el mundo, no obstante, nuestro

⁴ Asociación alemana de investigación y desarrollo en paisaje

país, a su vez, cuenta con grandes obras relacionadas a la materia, las cuales se revisarán a continuación.

2.2 Aplicaciones en Chile



Imagen 4 Edificio Consorcio, Enrique Brown & Borja Huidobro, 1990, Santiago, Chile

Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>

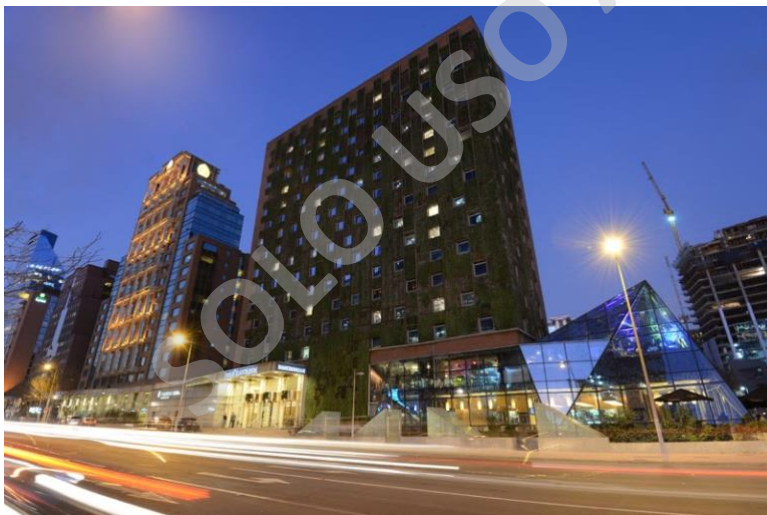


Imagen 5 Hotel Intercontinental, Alemparte Barreda y asociados, 2010, Santiago, Chile

Recuperado de <https://intercontisantiago.com>



Imagen 6 Biblioteca Nicanor Parra, Mathias Klotz, 2006, Santiago, Chile
Recuperado de <https://franciscasaelzer.com>



Imagen 7 Hotel Remota, German del Sol, 2006, Patagonia, Chile
Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>



Imagen 8 Hospital del Carmen, BBATS Consulting & Projects SEP, Murtinho+Raby Arquitectos, 2013, Santiago, Chile
Recuperado de <https://constructorasanjose.com>



Imagen 9 Hospital de Talca, Alvaro Prieto Lindholm, 2008, Talca, Chile
Recuperado de <https://ssmaule.cl>



Imagen 10 Cubierta Hospital Regional de Rancagua, South West Arquitectura, 2015, Rancagua, Chile
Recuperado de <https://zinco-greenroof.cl>



Imagen 11 Cubierta Hospital Clínico Metropolitano de La Florida, BBATS Consulting & Projects SLP, MURTHINO+BABY Arquitectos, 2013, Santiago, Chile
Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>



Imagen 14 Hospital Gustavo Fricke, AARQHOS, 2016, Viña del Mar, Chile
Recuperado de <https://minsal.cl>



Imagen 13 Universidad Adolfo Ibáñez, José Cruz Ovalle y Asociados, 2000, Viña del Mar, Chile
Recuperado de <https://uai.cl>



Imagen 12 Edificio Transoceánica, +Arquitectos, 2010, Santiago, Chile
Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>



Imagen 15 Casa en el lago Rupanco, Izquierdo Lehmann Arquitectos, 2010, Puyehue, Chile
Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>



Imagen 16 Cubierta facultad de economía y negocios Universidad Diego Portales, Rafael Hevia, Rodrigo Duque Motta, Gabriela Manzi, 2013, Santiago, Chile
Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>

3. Normativas a considerar para su implementación

Como se establece previamente, los alemanes fueron quienes re-descubrieron y realizaron los primeros estudios de fachadas y cubiertas vegetales, esto los llevó a ser el único país en obtener la normativa vigente; FLL. Resultando en que Europa regule el funcionamiento de ésta en cuanto a normas, técnicas, usos y políticas.

En Chile con el gran crecimiento de población y la ambición del rubro por cada metro cuadrado disponible para la construcción, salta a la vista que la vegetación está pasando a un segundo plano, es por esto que en la búsqueda de la empatía con el entorno se ha encontrado la forma de involucrar lo natural a la ciudad. En consecuencia, la ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C.) y la norma chilena de calidad (Nch) trabajan en conjunto para lograr una solución. Actualmente, la corporación de desarrollo tecnológico (CDT) cuenta con un manual para la instalación de cubiertas vegetales, sin embargo, aún no existe un instructivo similar para las fachadas.

A continuación se enuncian las normativas, ordenanzas y documentos a tener en consideración a la hora de abordar cualquiera de estos procesos constructivos:

- NCh 2800 impermeabilización de techumbres – Esta norma especifica los requisitos de la imprimación asfáltica que se utiliza con el asfalto en cubiertas e impermeabilizantes al agua y a la humedad por sobre o por debajo del nivel del suelo (hormigón, albañilería, metal y superficies de asfalto).
- NCh 2801 impermeabilización de techumbres – Materiales bituminosos, impermeabilizantes y de cubierta. Esta norma define los términos utilizados en materiales bituminosos, impermeabilizantes y de cubiertas.
- NCh 1537 Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecargas de uso. Esta norma establece las bases para determinar las cargas permanentes y los valores mínimos de las sobrecargas de uso normales que deben considerarse en el diseño de edificios. Las disposiciones de esta norma son aplicables a los edificios o partes de edificios que tienen los usos siguientes: bibliotecas, bodegas, cárceles, escuelas, estacionamientos, fábricas, hospitales, hoteles, iglesias, oficinas, teatros, tiendas y viviendas.

- NCh 432 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones. Esta norma establece la forma en que debe considerarse la acción del viento en el cálculo de construcciones. Esta norma se aplica en todos los cálculos de resistencia de todo tipo de construcciones dentro del país con exclusión del Territorio Antártico chileno.
- Los cuerpos salientes en fachadas sobre el espacio público deben cumplir con la normativa establecida en el Art. 2.7.1. de la O.G.U.C
- Las fachadas deben cumplir con la aplicación de artículos 2.6.11 al 2.6.14 de la O.G.U.C
- “Recomendaciones Técnicas para proyectos de cubiertas vegetales” de la Corporación de desarrollo tecnológico.

4. Tipologías

4.1 Tipologías de fachadas vegetales

Estos sistemas son cada vez más frecuentes gracias a las ventajas de su uso, en términos tanto económicos como estéticos. La creciente concienciación que estamos sufriendo con respecto a la sostenibilidad de los edificios y el respeto al medio ambiente también son factores clave. (Torres, n.d.) es una variante a las fachadas tradicionales y su finalidad es preservar el medio ambiente que nos rodea. Esta técnica tiene un pensamiento muy parecido al de las cubiertas vegetales, la diferencia está en que se emplea en superficies o muros verticales.

Actualmente, existen distintos tipos de fachadas verdes, todas con un mismo fin común, que es dar más vida y porcentaje de vegetación y/o áreas verdes a la ciudad.

4.1.1 Fachadas verdes tradicional

Estas son las que tienen su origen en la naturaleza, eso quiere decir que no es instalada ni manipulada por el hombre, sino que tiene sus cimientos en la tierra donde nacen sus raíces. También son conocidas como plantas trepadoras debido a que solo necesitan un elemento vertical para poder apoderarse de él y trepar. Los ejemplos tradicionales de estas especies son la hiedra de boston o virginia creeper debido a que no tienen raíces aéreas (imagen N°17).

Los beneficios de esta tipología es que al ser natural los costos de instalación y mantenimiento son mínimos. Cumple con la función de proteger la edificación sin tener que acudir a una intervención material. Por otra parte, algunos de los inconvenientes de este tipo de fachadas es el tiempo que se toma este



Imagen 17 Fachada tradicional
Recuperada de <https://verfachadasdecasas.com>

proceso natural en cubrir la edificación, el daño que pueda producir en la fachada al penetrar grietas existentes además del bajo aislamiento térmico que produce.

4.1.2 Fachadas como segunda piel

Este sistema tiene un nombre autoexplicativo, busca crear dos superficies en la edificación siendo la primera la fachada y la segunda una capa independiente y separada de la primera por al menos 20 cms. Esta capa puede ser un enrejado de acero galvanizado, alambres o malla como apoyo estructural para el crecimiento de las plantas. Este concepto no es nuevo, pero cada vez está tomando más fuerza en los diseños arquitectónicos.

Existen tres sistemas para este tipo de fachada.

4.1.2.1 Sistema cables trenzado

Este sistema consiste en formar una estructura a través de cables, varillas de acero inoxidable y piezas accesorias, que será el soporte para las plantas trepadoras. Esta puede tener forma de rombo u ortogonal, existen diferentes prototipos y anclajes para este sistema, todo en función del peso que deberá soportar la estructura y materialidad de la fachada.

Los beneficios de este sistema son varios, al estar hecho de acero inoxidable es resistente a la corrosión, ligero y de rápida instalación gracias a su capacidad de adaptación al medio, 100% reciclable, gracias a que está compuesto de plantas trepadoras como las fachadas tradicionales es de fácil mantenimiento y posee un larga vida útil.

Por otro lado, algunos inconvenientes que presenta este sistema es que se encuentra limitado a solo dos formas: rombo (imagen N°18) u ortogonal, su proceso natural hace que el tiempo en cubrir la superficie sea lento, está condicionada estéticamente y brinda poca protección contra elementos climáticos.



Imagen 18 Jardines verticales con cables de acero en forma de rombo
Recuperado de <https://plataformaarquitectura.cl>

4.1.2.2 Sistema enrejado modular

Este sistema en base a módulos de maceteros flotantes que anclan con seguridad las plantas a la fachada de un edificio, consta de un sistema tridimensional compuesto de perfiles y chapas de acero inoxidable con la capacidad de adecuarse a las diferentes tipología y dimensiones de las fachadas (imagen N°19). Está diseñado para ser ensamblado en cualquier tipo de estructura, es un sistema que no daña la fachada y logra una cobertura vegetal diez veces más rápido que el sistema de fachada tradicional. Se compone de cinco elementos: contenedores, recipientes aislados con cables que proporcionan calor, mantenimientos (monitoreo remoto), sistema de riego y fertilización, y sistema de montaje que puede ser montado en cualquier superficie, ya sea hormigón, madera, o acero.



Imagen 19 Fachada vegetal con sistema de enrejado modular
Recuperado de <https://blog.laminasyaceros.com>

Algunos de los beneficios que trae este sistema es que gracias a su diseño puede montarse en madera, hormigón o acero, la factibilidad de la instalación de riego por goteo y monitoreo a través de sensores, al ser modular permite el fácil cambio de macetero o eliminación por inspección, y su materialidad es resistente a la intemperie.

En contraparte, independiente a que el sistema logre cubrir varios metros cuadrados de instalación, el crecimiento de las plantas sigue siendo lento. Tiene un bajo aporte en términos de aislación térmica y la variedad de plantas es limitada.

4.1.2.3 Fachada vegetal invernadero

Es una fachada que funciona como ventilación, aislación térmica y además brinda protección solar. La incorporación de elementos vegetales al cerramiento de la fachada ofrece una respuesta térmica variable según las condiciones climáticas exteriores, constituyendo el conjunto un sistema clave en la optimización de la cualidades de confort del edificio. Este sistema está formado por tres capas (imagen N°20) las cuales son: capa interior, capa intermedia y capa exterior.

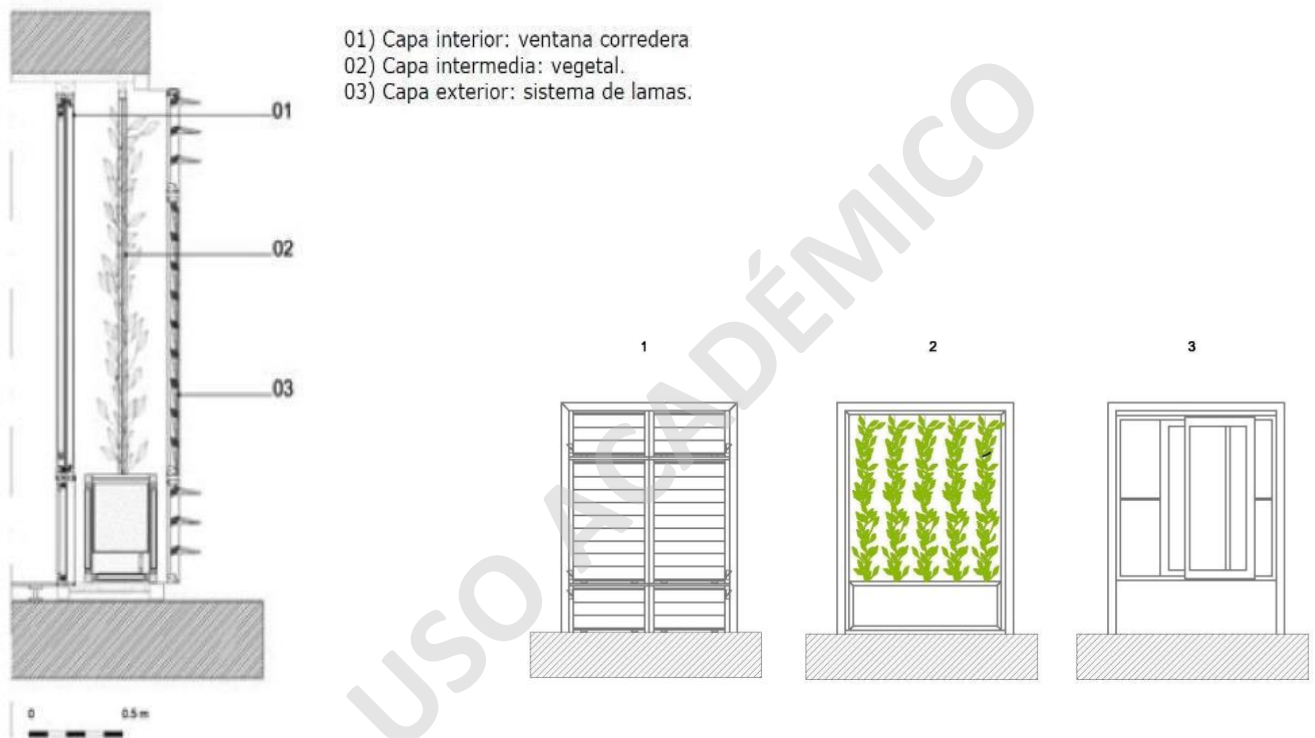


Imagen 20 Detalle de la fachada vegetal tipo invernadero
Recuperado de <https://polired.upm.es>

- Capa interior: ventana corredera hecha de metal de dos hojas, acristalamiento de doble vidrio con cámara de aire.
- Capa intermedia: donde se ubican las plantas, esta se compone de la jardinera metálica, riego automático por inmersión y control temporizado. La vegetación se desarrolla en cajas conformadas con placas rígidas de polipropileno donde se aloja el sustrato.
- Capa exterior: está formada por un entramado simple de lamas vasculares de policarbonato en masa de vidrio, la cual cierra la fachada.

Los beneficios del sistema son su rápida instalación debido a su estructura modular y estandarización de los paneles facilitando la puesta en obra, ahorro energético sobre todo en la época de verano debido a que la vegetación consigue una obstrucción solar, de manera que el aire exterior que atraviesa la capa vegetal húmeda enfría el ambiente interior, y en invierno la vegetación varía con la caída de la hojas dejando pasar la radiación solar. Para las fachadas vegetales internas puede llegar a ser una de las mejores opciones.

El gran inconveniente de este sistema es que aún se encuentra en fase de estudios por lo que es imposible evaluar sus resultados.

4.1.2.4 Fachadas deslizantes

Este es un sistema de protección solar móvil para huecos de fachadas, el cual incorpora un soporte que contiene un panel con plantas trepadoras, idealmente de hoja caduca, las cuales actúan como protección a la radiación solar, brindan sombra a la fachada y reducen la temperatura del aire alrededor del muro.

Este panel, que se desliza con un solo movimiento, cuenta con una jardinera-maceta instalada en la parte inferior que contiene el sustrato de las diferentes especies vegetales, un sistema de cables helicoidales el que posibilita el crecimiento de la planta de un modo vertical y un sistema de riego por capilaridad. El montaje de este sistema es sencillo ya que está formado por perfiles extruidos de aluminio, sin embargo la instalación de este panel solo es posible en edificios que tengan suficiente espacio para su instalación.

El detalle constructivo de este sistema consiste en (imágenes N°21 y N°22):

- Contraventana formada por perfiles extruidos de aluminio de 42 mm de lado.
- En la parte inferior, la maceta-jardinera se forma a partir del plegado de una chapa de aluminio anodizado, que forma un cajón de 1500 x 280 x 65 mm.
- El canalón-aljibe está conformado con chapa de aluminio anodizado, este tiene que estar de tal forma que reduzca al máximo la evaporación del agua, al ser sección abierta permite el ingreso del filtro que cuelga desde la jardinera y sirve como mecha en todo el recorrido de deslizamiento del panel. El canalón recibe agua de una llave en la fachada que no dificulta el recorrido deslizante y termina en una bajante conectada

de modo tal que el nivel de agua nunca rebose y se mantenga entre 40 y 20 mm de profundidad.

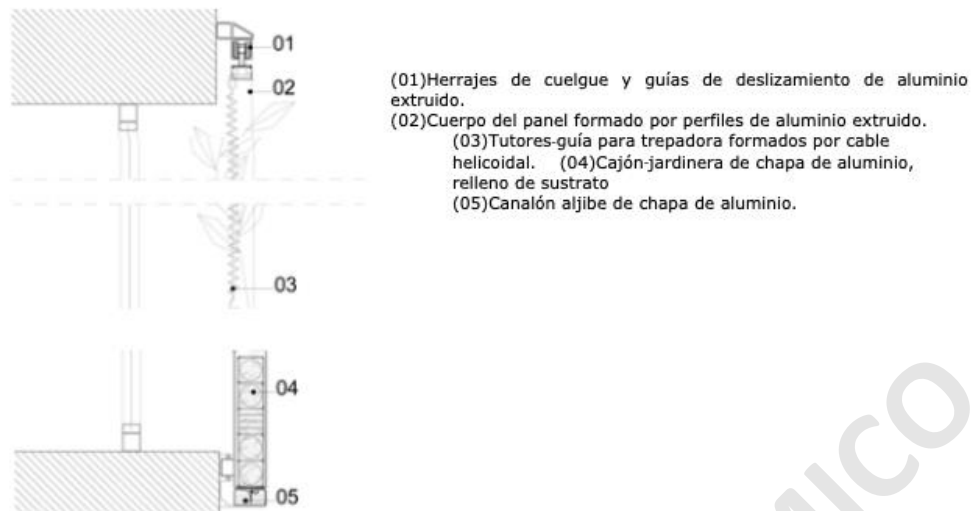


Imagen 21 Detalle constructivo 1 fachadas deslizantes
 Recuperado de <https://riunet.upv.es>

El soporte para el sustrato nos proporciona una rápida sustitución de las especies, para ello se introduce un sistema de placas rígidas de polipropileno celular, rellenas con el sustrato y envueltas en un geotextil resistente que lo retenga.

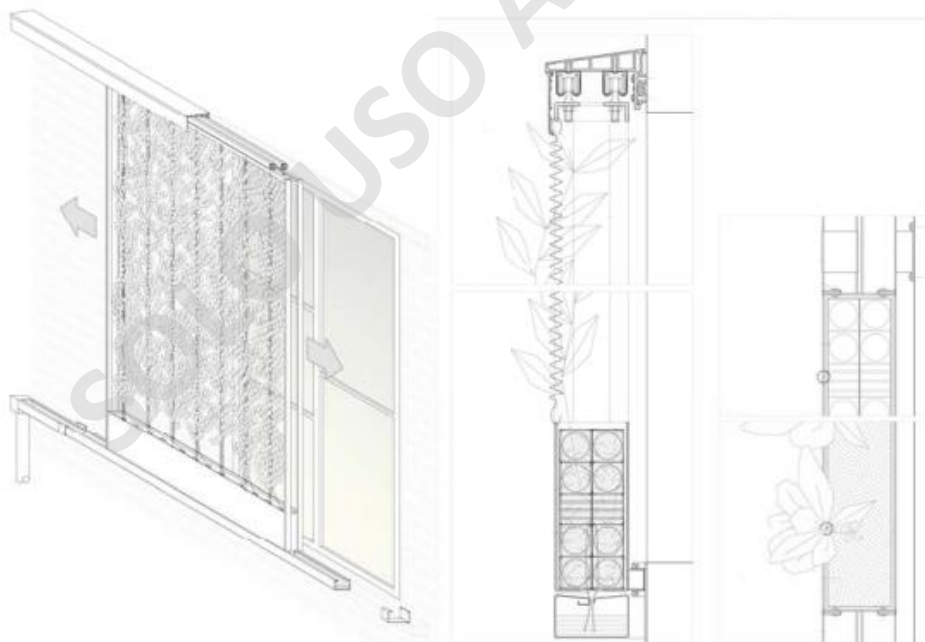


Imagen 22 Detalle constructivo 2 fachadas deslizantes
 Recuperado de <https://polired.upm.es>

Algunos de los beneficios de esta fachada son que al ser un sistema basado en módulos facilita su montaje, además de su buen comportamiento ambiental ya que la vegetación actúa como protección solar y reduce la temperatura del aire cercano al muro.

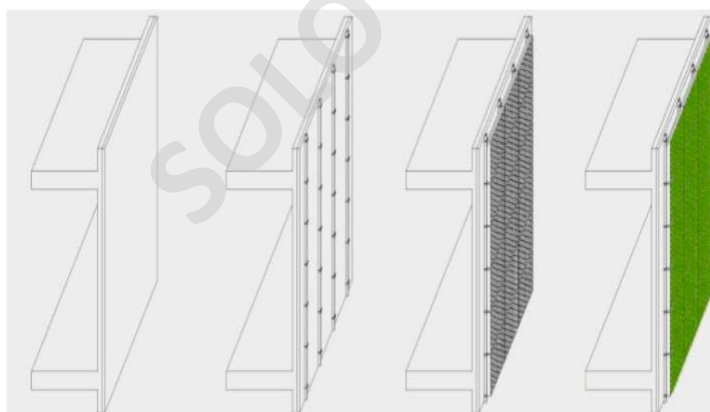
Los inconvenientes de este sistema son su poca adaptabilidad debido a que solo es posible su implementación en edificios con aberturas al exterior en forma de huecos de fachada. Y su alto grado de mantenimiento tanto del panel como de la vegetación.

4.1.3 Sistema de plantas precultivadas

Existen tres tipos de este sistema, los cuales son cajas metálicas, celdas drenantes y gaviones metálicos. Estas estructuras son ligeras, ancladas a las fachadas de la estructura donde se quiera crear este jardín vertical, está modulado en forma de panel y dentro de estos se cultivan las plantas. Tienen un sistema de riego por goteo, el cual se ubica por encima de cada panel. Su forma es semejante a una carcasa rectangular, de malla, de caja de acero, celdas de polietileno o poliresinas.

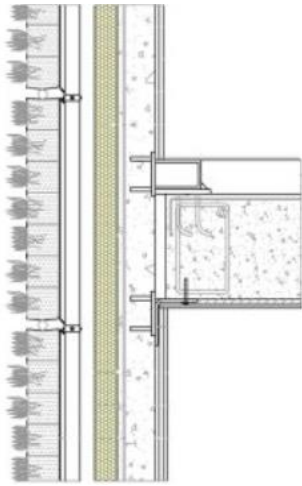
4.1.3.1 Paneles vegetados en cajas metálicas

Es un sistema de panel fácilmente desmontable de una estructura metálica de anclaje. Estos paneles están estructurados en forma de módulos de 60x60 cm, se adhieren a la edificación a través de una estructura portante de montantes y travesaños que permiten despegar los paneles vegetados del cerramiento interior. Estas cajas, al ser metálicas, deben llevar un tratamiento anticorrosivo debido a que se encuentran a la intemperie y por su alta exposición a la humedad. Los paneles al ser individuales facilitan su instalación y su reemplazo, esto hace que no exista la necesidad de esperar a que crezca la planta para cubrir la edificación.



Para garantizar el crecimiento de las especies vegetales dentro de la caja metálica se requiere de un elemento de soporte que contenga el sustrato que tiene los nutrientes y elementos necesarios envueltos en un geotextil cuya función es dar el soporte vital a la planta (imagen N°23).

Imagen 23 Despiece componentes sistema de paneles vegetados en cajas metálicas
Recuperado de <https://inarquia.es>



El sistema que tienen estos paneles para ser anclados a la estructura existente de la edificación es a través de portante de montantes y travesaños que en su parte posterior tienen unos anclajes que se enganchan a una estructura horizontal secundaria dispuesta sobre la perfilería vertical. Se crea una cámara de aire debido a que esta estructura permite despegar los paneles del cierre interior de la edificación. estas fijaciones son lo suficientemente resistentes para cualquier tipo de viento y cualquier tipo de impacto que puedan recibir (imagen N°24).

Imagen 24 Corte vertical sistema de paneles vegetados en cajas metálicas
Recuperado de <https://polired.upm.es>

Los beneficios de este sistema son que permite un buen comportamiento térmico gracias a su semejanza con los sistemas de fachadas ventiladas, ser un sistema basado en módulos individuales facilita su montaje o reemplazo en caso de estar dañado, optimiza el consumo de agua puesto que, la selección de su vegetación es principalmente autóctona, especies que sobreviven con poca agua y generan una gran cobertura vegetal proporcionando un alto nivel de protección al edificio.

Algunas de las desventajas de este sistema son su alto nivel de corrosión al ser cajas metálicas, su constante deterioro y mantenimiento a raíz de los diferentes cambios climáticos provocando un posible aumento en su costo, tiene un aspecto más artificial que natural y una limitada capacidad de diseño a causa de su poca variación de la vegetación que se puede utilizar en este sistema.

4.1.3.2 Paneles vegetados en celdas drenantes

Estos paneles están formados por celdas drenantes de polipropileno, con una porosidad del 90%. Los espacios en su interior se llenan con un sustrato elegido especialmente para el tipo de vegetación a utilizar. Los componentes se envuelven con fieltro de lana de 2mm de espesor obteniendo un paquete compacto colocado en paralelo a la fachada, para que se puedan introducir las plantas, se le realizan cortes al fieltro y son regadas por goteo. Este sistema de riego es automático, formado a través de tubos de polipropileno de 16 mm de diámetro que distribuyen el agua, se ubican en la parte superior de cada panel. Para obtener la aspersión del agua se colocan goteros de 4 mm, los que se instalan sobre estacas y bajo una presión de 1,5 bares. Es un sistema complejo y de alto costo en su mantenimiento.

Uno de sus principales beneficios es el reciclaje, ya que al estar formado por celdas fabricadas con polipropileno o polietileno que se puede recuperar y reutilizar. Tiene un buen comportamiento ambiental, puesto que las especies vegetales utilizadas actúan sobre la contaminación captando las partículas contaminantes para metabolizarlas. Al ser un sistema de celdas individuales son más fáciles de instalar y reemplazar, funciona como un aislante térmico y acústico. Al ser un sistema de panel exterior, le brinda protección a la edificación evitando deterioros de la fachada en que se instala.

En cuanto a las desventajas del sistema, podemos encontrar entre ellas que al ser paneles o celdas de polipropileno, no son muy resistente a la intemperie y constantemente se deben estar reemplazando por su desgaste natural frente a las condiciones climáticas, lo que implica un aumento en su costo de mantención y a diferencia de los sistemas hidropónicos este puede llegar a pesar cinco veces más, característica importante considerando que su peso puede llegar a los 150 kg/m².

4.1.3.3 Gaviones metálicos

Los gaviones se proponen como una solución industrializada formada por malla metálica de acero inoxidable, con piedras, celdas de drenaje de polipropileno con sustrato y todos los elementos necesarios para el crecimiento de las especies vegetales. Esta tiene una modulación de 55x55 cm. los módulos se rellenan con piedras y la vegetación crece entre ellas (imagen N°25).



Imagen 25 Fachada vegetal con gaviones metálicos
Recuperado de <https://gaviones.es>

Los gaviones se unen entre ellos a través de grapas de alta resistencia, 250 g/m². para evitar deformaciones futuras por causa de su gran peso se instalan tensores de alambre galvanizado cada 20 cm. La resistencia se ve condicionada debido a la abertura y diámetro de la malla, la abertura ideal es de 50x50 mm, su variación condiciona la resistencia del gavión. Las piedras utilizadas en este sistema son piedras volcánicas (piedra pómez, puzolana o piedras porosas).

Estos gaviones se acomodan sobre a la fachada existente por medio de una estructura auxiliar, a la que se anclan químicamente unos perfiles verticales de acero galvanizado. Estos anclajes angulares son el único vínculo entre los gaviones y la estructura. Este sistema actúa de forma parecida a una fachada ventilada, por lo que brinda un buen comportamiento térmico.

Algunos de los beneficios de este sistema es que al ser modular permite una fácil instalación y reemplazo de celdas, rápido montaje, buen comportamiento térmico y acústico, brinda protección al edificio y evita deterioros en la fachada al ser un cerramiento exterior (imagen N°26).

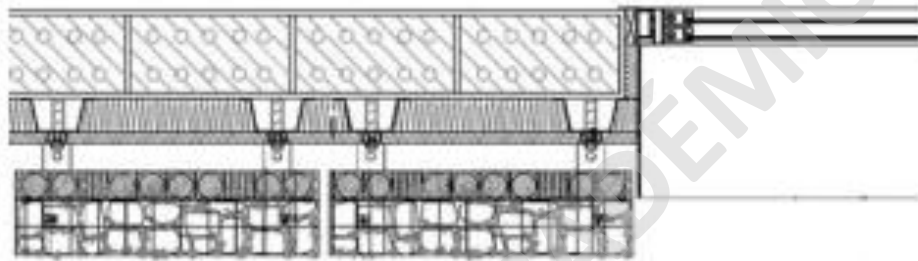


Imagen 26 Corte horizontal sistema de paneles vegetados en cajas metálicas
Recuperado de <https://polired.upm.es>

Las desventajas de este sistema, sin lugar a duda seria su gran peso al estar compuesto por piedras, su poca variedad de vegetación, porque solo se utilizan las que poseen la capacidad de crecer entre la piedras (rupícolas), su aspecto artificial-geométrico y los altos niveles de corrosión.

4.1.4 Sistema hidropónico

La creación de este sistema se debe al francés Patrick Blanc, este es de carácter totalmente automatizado y consiste en la instalación de láminas donde se proporciona el crecimiento vegetal sin ningún sustrato (imagen N°27). Es el sistema más ligero del mercado y con capacidad de recirculación de agua, para su instalación se requiere de un entramado de aluminio sobre la fachada previamente impermeabilizada, se termina con una capa de PVC impermeable y una de poli fieltro con rasgaduras, sobre este conjunto se plantan las especies vegetales. Requiere de una cuidadosa instalación, un mayor mantenimiento e inversión inicial.



Imagen 27 Caixa Forum – Madrid, España
Recuperado de <https://verticalgardenpatrickblanc.com>

El sistema de riego consiste en dejar caer el agua desde la parte superior de la jardinera que irá humectando todo el sector, durante el proceso de recirculación se introduce el abono y fertilizante a través de las bombas peristálticas

Uno de sus principales beneficios es la estética del sistema, ya que se pueden utilizar diversas tipología de plantas, lo que abre muchas posibilidades de diseño. Es el más ligero del mercado con un peso de 30 kg/m², brinda protección al edificio evitando deterioros en la fachada, al ser un cierre exterior. Es uno de los sistemas más innovadores debido al cultivo hidropónico que elimina la tierra de las plantas.

Por otro lado, lo complejo del sistema requiere instalación con personal calificado, al ser un sistema automatizado es necesaria una mantención más cuidadosa por ende más costosa, monitoreo constante del Ph de las plantas. La inversión inicial es alta debido a que se requieren equipos de riego, equipos de osmosis, bombas de impulsión y depósitos.

4.1.5 Hormigón biológico vegetal

Este nuevo tipo de hormigón biológico/ecológico desarrollado por el grupo de tecnología de estructuras de la universidad politécnica de Catalunya, tiene la cualidad de que dentro de sus cavidades crezcan organismos pigmentados de manera natural y acelerada.

Para lograr este hormigón se modificó el Ph, la porosidad y rugosidad de la superficie, se forma a partir de la combinación de dos materiales; cemento portland habitual (carbonatado) y un material a partir de cemento de fosfato de magnesio el cual tiene la capacidad de retener humedad, esto hace que se puedan desarrollar hongos, líquenes, microalgas y musgo (imagen N°28).



Imagen 28es Líquenes
Recuperado de <https://arquitecturayempresa.cl>

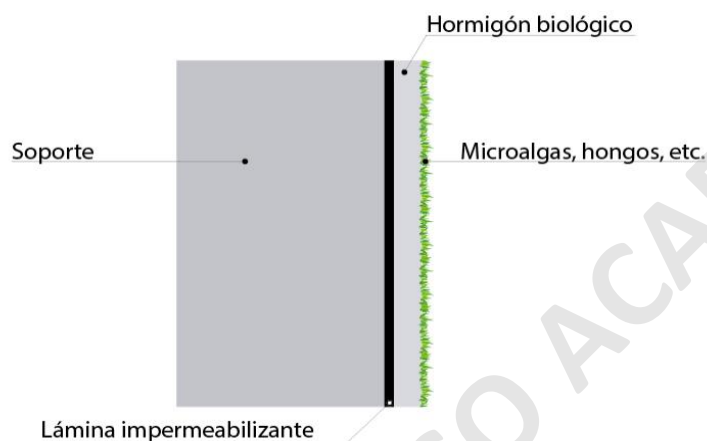


Imagen 29 Detalle constructivo hormigón biológico vegetal
Recuperado de <https://arquitecturayempresas.es>

Este hormigón consta de tres capas (imagen N°29) desglosadas en: capa impermeabilizante, capa biológica y revestimiento discontinuo. Esta última permite la entrada del agua y la acumulacion de agua en su interior.

La gran desventaja de este hormigón, es que aún se encuentra en fase de estudios (imagen N°30). No se tiene conocimiento de su permeabilidad, degradación ni tampoco de las consecuencias que traerán sus grietas y fisuras.



Imagen 30 Simulación en el centro cultural aeronautico aeropuerto Del Prat - Barcelona, España
Recuperado de <https://arquitecturayempresas.es>

4.2 Tipologías de cubiertas vegetales

Las cubiertas vegetales son una capa de vegetación que se construye sobre las cubiertas de las edificaciones, la cual está preparada para su implementación, ya sea para uso humano, terrazas, zona de juegos, recreación e incluso zonas terapéuticas en hospitales y clínicas.

El detalle constructivo que está expuesto en este capítulo tiene su base en el manual *Recomendaciones técnicas para proyectos de Cubierta Vegetales* del CDT. Los componentes básicos son fundamentales para lograr un buen resultado en la construcción de una cubierta vegetal (imagen N°31).

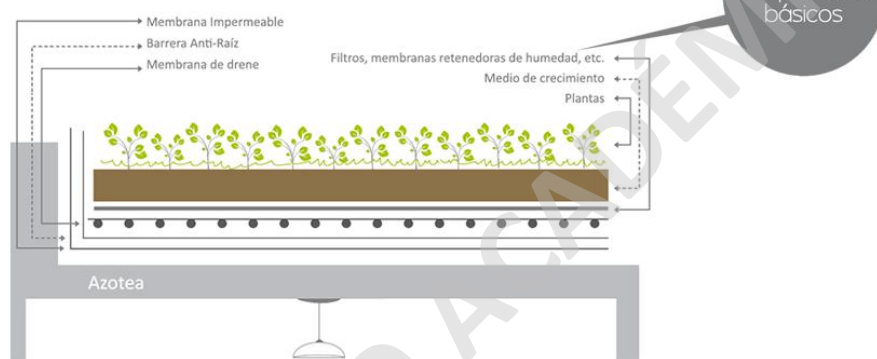


Imagen 31 Componentes básicos de cubiertas vegetales
Recuperado de <https://roofgardens.mx>

Los componentes de las cubiertas vegetales se pueden clasificar en básicos o esenciales y opcionales.

Tabla N°1: Componentes

Básicos/esenciales	Opcionales
Estructura soportante	Protección de la impermeabilización
Impermeabilización	Aislacion termica
Protección anti-raíz	Acumular de agua
Drenaje	Sistema de riego
Filtro	Retenedores perimetrales
Medio de crecimiento	Pasarelas
Vegetación	Barandillas
	Iluminación
	Caja registrable

Recuperado de recomendaciones técnicas cubiertas vegetales, CDT

- **Estructura soportante:** pueden ser de hormigón, madera o de elementos prefabricados, dependiendo de la que se quiera utilizar se puede definir el tipo de cubierta a utilizar. Para los sistemas intensivos y semi-intensivos se recomiendan estructuras de hormigón debido a la carga que generan estos sistemas la cual varía entre los 500 y 1000 kg/m². La estructura puede tener una inclinación máxima de 32° y se aconseja que para todo tipo de caso ser asesorado por un ingeniero calculista.
- **Impermeabilización:** esta capa membranosa permite mantener el control de la humedad en la losa de cubierta cumpliendo la función de evitar filtraciones hacia la edificación, estas están fabricadas de asfalto o alquitrán.
 - **Membrana EPDM** (etileno propileno dieno, tipo M): Membrana de larga vida útil, adaptable a los cambios de temperatura y dilatación de materiales, solución integral y de fácil instalación. Para su aplicación se recomienda que la superficie esté limpia y seca, la membrana debe sobre la superficie y se deja reposar, finalmente se instala de manera flotante perimetralmente en la cubierta.
 - **Membrana de TPO** (Poliolefina termo plástica combinada con caucho de propileno y etil propileno): Material amigable con el medio ambiente, es armado con malla de poliéster, resistente a las condiciones meteorológicas propias del caucho. Para su aplicación se recomienda que el aislamiento termo-acústico debe estar ya instalado, la superficie debe estar limpia, plana y preparada para la instalación de la membrana, los traslapes deben estar a contra pendiente y para ser sellado es termofusionado.
 - **Membrana líquida de poliuretano:** Es una solución líquida, de aplicación rápida y fácil a través de rodillos, adaptable a cualquier tipo de superficie, queda con aspecto de goma y se recomienda 3 mm de espesor. Para su aplicación se recomienda que la superficie debe estar limpia y sin presencia de partículas contaminantes. Se aplica mediante rodillo creando una membrana única, este tratamiento detalla un curado de un mínimo de 24 horas en su primera mano de instalación y si no se logra el espesor deseado de 3 mm deben ser aplicado nuevamente hasta llegar a dicho espesor.
 - **Lámina de PVC** Flexibles y muy resistentes a la intemperie su composición con plastificantes no migratorios garantiza la impermeabilidad y ausencia de poros, no requiere mantención. Para su aplicación se recomienda que la superficie donde se aplicará esta lámina, debe estar limpia, seca, libre de

contaminantes y sin irregularidades ni protuberancias. Se expande sobre la superficie previamente preparada con un traslapo de 10 cm entre láminas adhiriéndose a través de aire caliente, posterior a esto se presiona con un rodillo de caucho, cuidando las zonas de juntas de dilaciones las cuales deben ser selladas con sellante elástico para juntas.

- **Protección anti-raíz:** barrera física o química formada por polipropileno de alta viscosidad cuya función es impedir que las raíces de la vegetación plantada en el sustrato atraviesen la capa de impermeabilización de la superficie soportante, provocando problemas de filtración y/o humedad. Como alternativa se propone el PVC, pero no se recomienda debido a su poca empatía con el medio ambiente en el proceso de su fabricación. Para su aplicación se recomienda que el sustrato debe estar sin ningún tipo de suciedad, seco y correctamente mente inclinado. La protección se instala directamente al sustrato, en los bordes deben quedar sobrepasado 5 cms como mínimo y se sella a través de la termofusión, se debe tener cuidado en el sector de los desagües y uniones.
- **Drenaje:** esta capa está conformada por tableros de desagües y/o tubos que remueven la cantidad necesaria de agua en la cubierta para no comprometer el sistema de impermeabilización o la estructura soportante, además de permitir albergar la cantidad necesaria de agua en el sustrato que permita la supervivencia de las especies, también cumplir una doble función que implica una barrera parcial contra raíces, aumentar la comprensión y la capacidad térmica de la capa aislante. Dependiendo de la complejidad del proyecto la dificultad de instalación del sistema puede variar. Se recomienda la que cubierta mantenga una pendiente del 1% para garantizar su mejor funcionamiento, al utilizar este sistema de drenaje es importante que los materiales de su composición no sean degradables, esto puede causar serias consecuencias al sistema como son la obstrucción, pérdida de capacidad del drenaje o su colapso producto de las capas superiores. Para su aplicación se recomienda que la estructura y sustrato estén con una pendiente correcta, aseada y sin ningún tipo de suciedad. Es importante que antes de instalar esta capa, ya debe estar el aislante térmico. La instalación se comienza por el punto más bajo de la cubierta desde donde se despliegan los rollos. Los conos de extrusión que trae esta capa debe quedar boca abajo.

- **Filtro:** la función principal del filtro es prevenir que cualquier tipo de partícula bloquee el sistema de drenaje y ayudar a mantener el medio de crecimiento en su lugar. Tiene forma de alfombras y pueden ser de poliéster, polietileno o polipropileno, debe estar compuesto por materia liviana y a prueba de putrefacción. Se instala sobre la capa de drenaje o puede ser incluido en esta, ambos cumplen una función de barrera de raíz adicional.
- **Medio de crecimiento:** es el lugar donde crecen las plantas, compuesto por material orgánico e inorgánico, encargándose de drenar el agua, crecimiento y preservación de la vegetación. Su composición varía en función de los requerimientos del proyecto. El porcentaje de material orgánico dependerá de las plantas que se usen, el clima y la disposición local.
- **Vegetación:** La capa vegetal es el lugar donde se desarrollaran las plantas, la selección de estas variará dependiendo de las condiciones climáticas (temperaturas, vientos y lluvias) en donde se quiera construir la cubierta vegetal y el espesor de la cubierta (dependiendo de su tipología), a continuación detallaremos una tabla con vegetación sugerida según espesor del sustrato

Tabla N°2: Vegetación

Espesor medio de crecimiento	Inaccesible/invisible	Inaccesibles/visibles desde una distancia lejana	Inaccesibles/visibles desde una distancia cercana	Accesible
0-5 cms	comunidades simples de sedum y musgo	comunidades simples de sedum y musgo	comunidades simples de sedum y musgo	comunidades simples de sedum y musgo
5-10 cms		gramíneas, vegetación alpina y bulbos pequeños que resistan la sequía	gramíneas, vegetación alpina y bulbos pequeños que resistan la sequía	gramíneas, vegetación alpina y bulbos pequeños que resistan la sequía
10-20 cms			mezcla semi extensiva de gramíneas y árboles de tamaño bajo que resisten la sequía. arbustos pequeños y cespel	mezcla semi extensiva de gramíneas y árboles de tamaño bajo que resisten la sequía. arbustos pequeños y cespel
20-50 cms				pequeños arbustos, plantas comestibles, plantas perennes y cespel.
50cms +				pequeños árboles de hoja caduca y coníferas.

Recuperado de recomendaciones técnicas cubiertas vegetales, CDT

Existentes diferentes maneras de cultivar y poblar esta capa vegetal las cuales son :

1. Sembrado y esquejes: este permite una distribución pareja de plantas.
2. Plantas en bandejas: mantas de vegetación prefabricadas, contiene diferentes plantas según requerimiento del mandante.
3. Plantas en maceta: gajos cortados de otras plantas y llevados a la cubierta en macetas.
4. Plantas en alfombras: prefabricado opción rápida y fácil, pero necesitan mayor mantención.
5. Plantas vivas: especies traídas directamente desde su lugar nativo a la cubierta.

Dependiendo del uso, espesor, vegetación, tipo de sustrato y peso que se le quiere dar, los tipos de cubiertas se clasifican en:

4.2.1 Cubiertas intensivas

Las cubiertas vegetales intensivas tienen un espesor mayor a los 15 centímetros, su cobertura vegetal es transitable con un uso para vehículos y mayoritariamente dirigido a las personas, presenta la mayor variedad vegetal respecto de las otras tipologías debido al espesor del sustrato.

Tabla N°3: Apartado técnico - intensiva

Peso saturado	Mayor que 245 kg/m ²
Mantención	Alta
Tipo de vegetación	Arbustos ornamentales y árboles pequeños

Fuente: recomendaciones técnicas cubiertas vegetales, CDT.

4.2.2 Cubiertas extensiva

Las cubiertas vegetales extensiva tienen un espesor menor a los 15 centímetros, su cobertura vegetal no es transitable por lo que su uso solo es ornamental, presenta una menor diversidad de vegetación respecto de las otras tipologías debido al espesor del sustrato.

Tabla N°4: Apartado técnico - extensiva

Peso saturado	Entre 50 y 170 kg/m ²
Mantención	Mínima, incluso puede diseñarse para no ser regado.
Tipo de vegetación	Rastreras

Fuente : recomendaciones técnicas cubiertas vegetales, CDT.

4.2.3 Cubiertas Semi-intensivo

Las cubiertas vegetales semi-intensivas tienen un espesor entre 10 y 20 centímetros, su cobertura vegetal es parcialmente transitable con un uso mayoritariamente dirigido a las personas pero no para vehículos, presenta una variada vegetación debido al espesor del sustrato.

Tabla N°5: Apartado técnico - semi intensivo

Peso saturado	Entre 150 y 250 kg/m ²
Mantención	Variable, dependiendo de la vegetación seleccionada para el proyecto
Tipo de vegetación	Arbustos ornamentales y pequeños

Fuente : recomendaciones técnicas cubiertas vegetales, CDT.

Existen dos metodologías para la instalación de una cubierta vegetal, independiente de su tipología.

1. In situ: requiere de mano de obra especializada debido a que los componentes básicos que necesita una cubierta vegetal se instalan por separado. Este tipo de sistema puede ser utilizado en los tres tipos de cubiertas antes descritas, principalmente en proyectos de gran envergadura.
2. Modular: al ser fabricados de forma modular ya cuentan con los componentes básicos para una cubierta vegetal. Este sistema puede ser utilizado en cubiertas extensivas y semi-intensivas, idealmente para proyectos de paisajismo.

5. Caso de estudio

5.1 Análisis paneles vegetados en remodelación Parque Arauco

En este capítulo se analizará la remodelación del Mall Parque Arauco Kennedy, ubicado entre la Avenida Kennedy 5413, Las Condes. Proyecto que significó una inversión de US\$221 millones y contempló la incorporación de un moderno hotel, centro de eventos, edificios de oficinas y una serie de nuevas modificaciones, tanto viales como comerciales. Dentro de estas modificaciones es donde nos encontramos con 800 m² de fachada vegetal.

La fachada vegetal se ubica en el acceso nororiente del centro comercial (imagen N°32), su diseño estuvo a cargo de Miryam Hirnheimer, directora de Plant Art. Este fue el primer gran proyecto de la empresa chilena y es 100% sustentable, gracias a que las plantas crecen sobre módulos revestidos con tela de algodón reciclada y unidos por un entramado plástico. Es precisamente por esto que se elige este proyecto como caso de estudio, su innovador sistema de módulos Telmadermi, el cual se asemeja al método tradicional descrito en el capítulo 4.1.3.1 Paneles vegetados en cajas metálicas, pero genera la innovación al cambiar las cajas metálicas por cajas de plástico totalmente reciclado. Su bajo impacto medioambiental se debe a la utilización de materiales de la zona, reciclados y fabricados 100% en Chile, volviéndolo un sistema más sustentable.



Imagen 32 Fachada nororiente Mall Parque Arauco
Recuperado de <https://paisajismodigital.com>

Para su construcción se contrató personal de la cárcel de mujeres, siendo un proyecto de gran impacto social, sobre todo en términos de inclusión. Hoy por hoy, Plant Art busca desarrollar proyectos con personal de Coanil siguiendo la misma línea de trabajo que tuvo en la remodelación del Parque Arauco Kennedy.

En cuanto al proceso constructivo, el primer paso es someter a un estudio de cálculo la estructura soportante para verificar el cumplimiento de los requerimientos mínimos de carga (40 kg/m^2), de no ser así es necesario considerar una estructura adyacente que cumpla con los requisitos mínimos.

El lugar de emplazamiento de la fachada vegetal debe disponer de un suministro de agua, esta será la fuente del riego tecnificado. El agua que escurra del muro deberá contar con un sector donde pueda acumularse para su reciclaje. En un principio el sistema de riego permitía racionar el agua sobre la capa vegetal y recolectar las aguas lluvias por medio de un estanque especial, esto se mejoró el año 2014 cuando se instaló un sistema automatizado por goteo que permitió mejorar la vitalidad de las plantas y su sostenibilidad, a través de periodos de regadío cortos durante el día y noche, todo en función de la necesidades de las plantas y condiciones climáticas. Esto se logró instalando tubos de polipropileno con goteros cada 20 cms. El tiempo de riego depende de las plantas usadas y de la época del año. Esto ayudó a reducir la cantidad de agua utilizada gracias a su sistema de captación y recirculación de aguas lluvias con más de 16.000 m^3 reciclados a la fecha, lo que fue validado por el reporte de sostenibilidad (Parque Arauco, 2018) de Parque Arauco.

Las especies vegetales que se utilizan para el proyecto fueron elegidas de acuerdo a la orientación y clima del lugar, para rellenar los 800 m^2 se necesitaron más de 100.000 plantas de especies rastreras y arbustos con una altura máxima de 40 cm. Los módulos que albergan las plantas fueron creados a partir de plástico 100% reciclado y fabricado en Chile, tienen una dimensión de 60x60 cms. El sustrato que compone el medio de crecimiento le entrega todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas instaladas.

La instalación se realizó sobre una estructura autosoportante ensamblada en omega estructural de 0,85 mm (imagen N°33), anclados mediante seis tornillos galvanizados de 2". Esta estructura está cubierta de polietileno para impermeabilizar y evitar la filtración del agua.

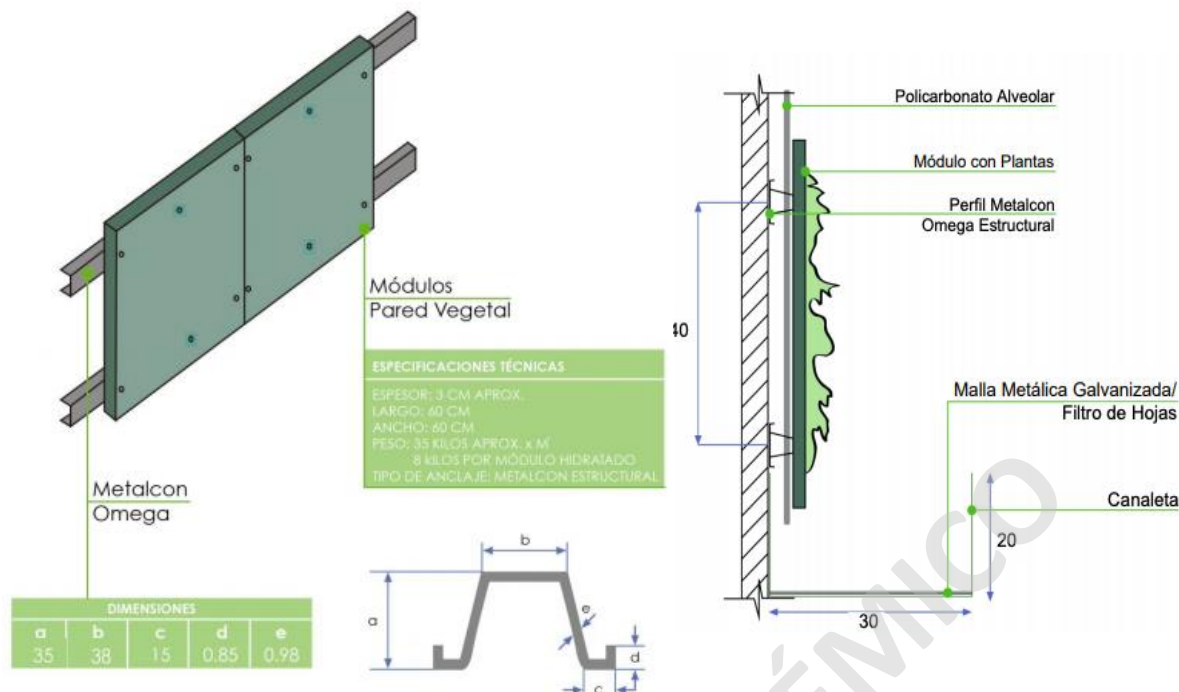


Imagen 33 Detalle constructivo sistema Telmadermi
Recuperado de <https://www.plantart.cl/muros-verdes-1>

Además de mejorar la estética de la fachada del centro comercial, este proyecto aportó una superficie de 800 m² de área verde a la ciudad, según Plant Art esto se tradujo en un ahorro energético con la reducción del uso de aire acondicionado gracias a las funciones de aislante térmico de esta capa vegetal y la reducción de la carga acústica del sector en 10 decibeles. Producto del proceso natural de las plantas, la fachada mejora la calidad del aire reduciendo los agentes contaminantes. Cada m² de cobertura vegetal genera el oxígeno requerido por una persona en todo el año (Darlington et al., 2001). Por último, este muro de plantas precultivadas busca producir una sensación anti-stress en las personas que transitan por el sector.

5.2 Análisis cubierta semi-intensiva en hospital regional de Rancagua

Este caso de estudio es parte de una serie de cambios en la arquitectura hospitalaria que se ha generado en Chile, donde en los últimos años se han construido distintos centros de salud que consideran espacios enfocados en los pacientes y el personal médico, más que en la enfermedad. Lo anterior, se ve reflejado en la incorporación de diversos elementos que le otorgan un carácter humanitario a los espacios tales como una prioridad a la luz natural, una adecuada ventilación en los recintos, incorporación de diversos materiales y vegetación. Este último elemento, la vegetación, ha sido incorporada en el diseño arquitectónico y construcción de los centros de salud tanto en los espacios interiores como exteriores, por ejemplo, en patios interiores, terrazas, fachadas y cubiertas.

Las cubiertas vegetales, descritas anteriormente en el capítulo 4.2, contribuyen al ahorro energético y al medio ambiente donde están inmersas debido a sus múltiples beneficios. Por esta razón se ha puesto énfasis en su implementación en la construcción del Hospital Regional de Rancagua.

Este proyecto tiene una superficie de 90.000 m² construidos, de los cuales 10.000 m² corresponden a cubierta vegetal, su construcción tuvo lugar entre los años 2010 y 2015. Los profesionales encargados fueron: arquitecto Jaime Ignacio Saez, diseño de paisajismo Jaime Saez y Loreto Herrera y la asesoría en la elección de especies vegetales arquitecta paisajista Gabriela Bluhm. La construcción estuvo a cargo de Constructora Consorcio Hospital de Rancagua.

La cubierta del hospital fue construida por la empresa Zinco-Green Roof, dedicada a la instalación de cubiertas vegetales extensivas e intensivas, crearon un diagrama para detallar el proceso constructivo que se generaliza para las 1.3 hectáreas de cubierta vegetal en el hospital. Es importante destacar que el medio de crecimiento donde se desarrolla la vegetación es de producción local y varía entre los 14 y 35 cms. (imagen N°34).

Estructura del sistema

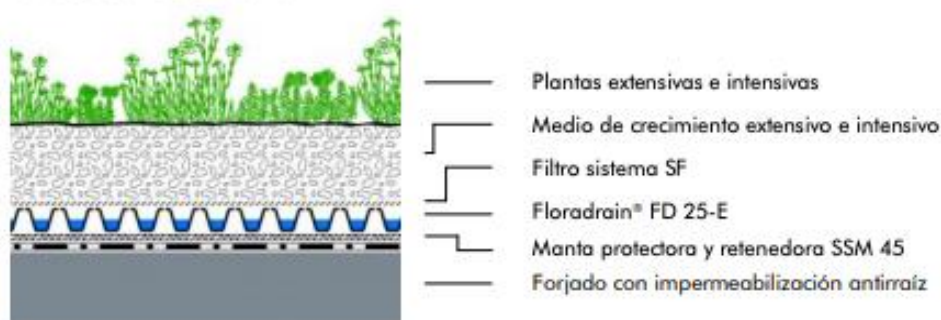


Imagen 34 Detalle constructivo cubierta vegetal Hospital Regional de Rancagua
Recuperado de <https://www.zinco-greenroof.cl/proyecto/hospital-regional-de-rancagua,-rancagua>

El primer paso, al igual que en la implementación de las fachadas vegetales es verificar mediante cálculo que la estructura, en este de hormigón armado, soportará el paquete vegetal con todos sus componentes. La capa de impermeabilización antirraíces se asemeja al hormigón biológico, ya que dentro de sus componentes se puede encontrar la protección anti-raíz que impide que las raíces generen grietas en la capa impermeabilizante. Sobre esta se instala la barrera protectora (raíz) y retenedora SSM 45, siguiendo con el modelo estándar de una cubierta vegetal, se instala el sistema de drenaje, que en el este caso es Floradrain FD 25-e, el cual fué usado como molde de soporte y conexión de drenaje en la separación entre superficies duras y ajardinadas (imagen N°34). La función de este filtro es prevenir que cualquier tipo de partícula bloquee el sistema de drenaje, una vez listo este paquete de componente básicos se debe verificar que los procesos de instalación estén correctamente ejecutados debido a que una mala instalación de cualquier componente puede resultar en filtraciones y por ende afectar la estructura con humedad. Finalmente se agrega la capa vegetal, o medio de crecimiento, que es el lugar donde se desarrollarán las plantas, la selección de estas está sujeta a las condiciones climáticas del lugar. Se privilegia la mezcla de perennes de sedum, gramíneas, vegetación alpina y bulbos pequeños alimentadas por un sistema de riego por goteo automatizado.

Dentro de los múltiples beneficios que nos traen el sistema de cubiertas vegetales en eficiencia energética, cuidado del medio ambiente, resaltar que a nivel de ciudad regulan el flujo de las aguas lluvias, controla el efecto de isla de calor, mejora la calidad del ambiente y ayuda a la biodiversidad, pero en este análisis queremos enfocarnos en los beneficios tanto sociales como psicológicos y salud mental en el hospital. Es por esto que se elige este proyecto, su gran extensión de áreas verdes en su cubierta, tanto extensivas como intensivas,

y diseño. Pero por sobre todo, por su propósito. La cubierta vegetal tiene como función aportar en el bienestar de los pacientes y funcionarios, ya que según un estudio, la recuperación de pacientes, demostró que aquellos que contaban con una vista natural se recuperaron más rápido pasando menos tiempo en el hospital, requieren menos analgésicos y tuvieron menos complicaciones post operatorias en comparación con aquellos que tuvieron vistas sin naturaleza (Ullrich, 1984). Se crearon diversas zonas en diferentes sectores del hospital como, por ejemplo, en el sector de psiquiatría adulto-joven donde se construyó una cubierta en la que es posible cultivar o la sección de oncología que cuenta con un patio calmo y de reflexión.

“Un “espacio vegetado” en los sectores de salud ayuda a mejorar el estado psíquico de las personas generando bienestar; la vegetación también estimula el uso de los sentidos; aporta espacios para socializar, contribuyendo en la integración física y social de los trabajadores; la incorporación de paisajes o jardines donde se tenga contacto con un espacio verde, logra disminuir notoriamente el estrés.” (Rojas, 2018)

6. Conclusión

Teniendo en consideración la evolución de estos sistemas constructivos a través del tiempo, cabe suponer que han tomado fuerza gracias a los avances tecnológico y la crisis ambiental en la que vivimos. Su aporte al medio ambiente y su comportamiento térmico y acústico suponen un ahorro energético considerable para las edificaciones donde se encuentren, compensando así su costo de implementación.

Basado en lo anterior es necesario que nuestro país cuente con normativas especializadas que regulen estos sistemas y no solo un manual como el de la Corporación del Desarrollo Tecnológico, ya que comparados con países de Europa como Alemania tenemos notorios años de retraso.

Luego de repasar las tipologías de los sistemas, podemos concluir que los beneficios de las fachadas y cubiertas vegetales están asociados a cualquiera de sus tipos, en mayor o menor grado. Dicho esto, los casos de estudios seleccionados son considerados por variables que van más allá de los beneficios que comparten todas las tipologías, como la innovación con la utilización de materiales reciclados en el caso de Parque Arauco y la finalidad del sistema con un énfasis en los usuarios como sucede en el hospital regional de Rancagua. Por lo tanto, el valor de estas soluciones no está solo en la superficialidad de agregar vegetación a las edificaciones, sino también, es necesario ir un poco más allá y ver el impacto que tienen en el planeta y las personas que habitan estos espacios.

A lo largo de esta investigación queda en evidencia la existencia de diferentes empresas que se dedican a la fabricación de cubiertas o fachadas vegetales, sin embargo aún hay un déficit de profesionales especializados en esta área. También es alarmante el excesivo consumo de energía, por ejemplo, al usar climatizadores. Basándose en los casos de estudio, es correcto afirmar que estos sistemas vegetales son una solución real y concreta al problema del consumo de energía de las edificaciones. El encuentro variables inesperadas en esta investigación abre nuevas vías de estudio y trabajo con alternativas como los humedales en cubiertas que se encuentran en fase experimental a modo de alternativa para el caso de las cubiertas vegetales y la integración social con la contratación de personal de la cárcel de mujeres que tuvo el proyecto de Parque Arauco que es una manera más de seguir mejorando como sociedad desde nuestra profesión.

8. Referencias bibliográficas

AARQHOS. (2019). Hospital Parque beneficios y rol frente al cambio climático.

<https://www.aarqhos.cl/wp-content/uploads/2019/12/HOSPITAL-PARQUE-Beneficios-y-rol-frente-a-cambio-clim%C3%A1tico.pdf>

Canales Gálvez, M. I. (2014). Efectos del uso de techos y fachadas vegetales en el comportamiento térmico de edificios.

http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130298/cf-canales_mg.pdf;EFECTOS

Chanampa, M. (2009). 14 SISTEMAS VEGETALES QUE MEJORAN LA CALIDAD DE LAS CIUDADES.

<http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/viewFile/1071/1092>

Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2010). Recomendaciones técnicas para proyectos de cubiertas vegetales. *<https://www.cdt.cl/2010/01/recomendaciones-tecnicas-para-proyectos-de-cubiertas-vegetales/>*

Darlington, A. B., Dat, J. F., & Dixon, M. A. (2001). The Biofiltration of Indoor Air: Air Flux and Temperature Influences the Removal of Toluene, Ethylbenzene, and Xylene.

docplayer. (2017). Estudio y aplicación de las fachadas verdes para mejorar la eficiencia energética en edificación. *<https://docplayer.es/74261891-Estudio-y-aplicacion-de-las-fachadas-verdes-para-mejorar-la-eficiencia-energetica-en-edificacion.html>*

FACHADAS VERDES: Sistema de cables trenzados. (2019).

<https://blog.laminasyaceros.com/blog/fachadas-verdes-sistema-de-cables-trenzados>

García Romero, D. (2017). Estudio de creación de una cubierta verde en los edificios de la EPSG. *<http://hdl.handle.net/10251/96882>*

Inarquia. (2019, Septiembre 16). Fachadas Vegetales, principales sistemas constructivos al detalle. Inarquia. <https://inarquia.es/fachadas-vegetales-sistemas-constructivos>

jakob. (n.d.). https://www.jakob.com/ch-en/applications/details/greening?utm_medium=website&utm_source=plataformaarquitectura.cl

Jardines verticales. (n.d.). Arquitectura sostenible en la ciudad gracias a las cubiertas vegetales y azoteas verdes. <https://www.jardinesverticales.es/cubierta-vegetal/>

Magill, J. D., Midden, K., Groninger, J., & Therrell, M. (2011). A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. https://opensiuc.lib.siu.edu/gs_rp/91/

minvu. (n.d.). DDU-ESP-051-07. <https://www.minvu.cl/wp-content/uploads/2019/06/DDU-ESP-051-07.pdf>

minvu. (n.d.). normas urbanísticas. <https://www.minvu.cl/wp-content/uploads/2019/06/CIR168.pdf>

MUROXS. (n.d.). Muro de gaviones vegetado. <https://www.gaviones.es/proyectos/mur-de-gabions-vegetal/>

Navarro, J. (2013). LOS JARDINES VERTICALES EN LA EDIFICACIÓN. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

Ojembarrena, J. A., Chanampa, M., Vidal Rivas, P., Guerra Aragones, R., Olivieri, F., Neila Gonzalez, F. J., & Bedoya Frutos, C. (2009). Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html#fntext-6>

paisajismodigital. (n.d.). Los JARDINES VERTICALES del Parque Arauco de Chile. <https://paisajismodigital.com/blog/los-jardines-verticales-del-parque-arauco-de-chile/>

paisajismodigital. (n.d.). PATRICK BLANC: pionero y creador de los jardines verticales. <https://paisajismodigital.com/blog/patrick-blanc/>

Parque Arauco. (2018). Memoria integrada 2018. https://www.parauco.com/wp-content/uploads/2019/09/PA_Memoria2018.pdf

Plant art. (n.d.). Muros verdes. <https://www.plantart.cl/muros-verdes>

Plant art. (n.d.). Presupuesto y propuesta técnica para áreas verdes.

[https://86664b3f-4ad4-4934-a81b-](https://86664b3f-4ad4-4934-a81b-89bce5a75037.filesusr.com/ugd/e455dd_db7e82a7d421408484cfef5377d0f283.pdf)

[89bce5a75037.filesusr.com/ugd/e455dd_db7e82a7d421408484cfef5377d0f283.pdf](https://86664b3f-4ad4-4934-a81b-89bce5a75037.filesusr.com/ugd/e455dd_db7e82a7d421408484cfef5377d0f283.pdf)

plataformaarquitectura. (n.d.). Creando jardines verticales y fachadas verdes con cables de acero. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/933853/creando-jardines-verticales-y-fachadas-verdes-con-cables-de-acero>

prezi. (2014, enero). fachadas verdes en chile. <https://prezi.com/nyic-yqiyt-0/fachadas-verdes-en-chile/>

registrocdt. (n.d.). cubiertas documentos relacionas.

<http://www.registrocdt.cl/registrocdt/uploads/Referencias%20Gu%C3%ADa%20EETT/Cubiertas%20Tejas%20y%20Planchas%20DR.pdf>

repositorio.usm. (n.d.). memomria.

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47060/3560900251241UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Revista InVitro. (2018). 8H: Áreas verdes en recintos de salud ayudan a la recuperación del paciente. In Vitro Magazine.

<https://revistainvitro.cl/actualidad/8h-areas-verdes-en-recintos-de-salud-ayudan-a-la-recuperacion-del-paciente/>

Rojas, V. (2018, Julio 6). TECHOS VERDES EN RECINTOS HOSPITALARIOS.

AARQHOS. Retrieved Noviembre 15, 2020, from

<https://www.aarqhos.cl/2018/07/06/techos-verdes-en-recintos-hospitalarios/>

Seguel Canessa, V. P. (2018). METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FACHADA VERDE DOBLE PIEL EN EDIFICIOS.

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47060/3560900251241UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

sempergreen. (n.d.). cubiertas-vegetales.

<https://www.sempergreen.com/es/soluciones/cubiertas-vegetales/preguntas-frecuentes/que-es-una-cubierta-vegetal>

<https://www.sempergreen.com/es/soluciones/cubiertas-vegetales/preguntas-frecuentes/que-es-una-cubierta-vegetal>

singulargreen. (n.d.). Cubierta vegetal Fitum en Alicante.

<https://www.singulargreen.com/cubierta-vegetal-fitum-alicante/>

Singular green. (n.d.). Evolución de las cubiertas vegetales.

<https://www.singulargreen.com/evolucion-de-las-cubiertas-vegetales/>

Torres, M. (n.d.). Fachada vegetal. F3.

<https://www.f3arquitectura.es/envolventes/fachada-vegetal/>

Ullrich, R. S. (1984, abril 27). View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. Science, 224(4647), 420-421. 10.1126/science.6143402

Universidad Politécnica de Valencia. (n.d.). fachadas verdes, arquitectura alternativa y sostenible.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77879/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

urbanarbolismo. (n.d.). Fachada vegetal. Sistemas constructivos.

<https://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

verticalgardenpatrickblanc. (n.d.). Inspiration.

<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/inspiration>

women-talk. (n.d.). MujerInnovadora: la creadora del pulmón verde en la ciudad.

<https://www.women-talk.com/news/mujerinnovadora-la-creadora-del-pulmon-verde-en-la-ciudad>

ZinCo. (n.d.). Sistemas para cubiertas vegetales | ZinCo. https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas_cubiertas/index.php