



**Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSTRUCCIONES AVANZADAS

TESINA FINAL DE MÁSTER

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Autor: Ing. Yanill E. Guzmán Díaz

Directores: Prof. Dr. Ana María Lacasta Palacio Y Dr. Julià Coma

Convocatoria: Enero/Febrero 2018

RESUMEN

En este trabajo final de master, el cual tiene como finalidad evaluar las características principales de los diferentes tipos de fachada vegetal existentes en el mercado de hoy en día, para la implementación en un país tropical como lo es la República Dominicana. El objetivo principal es utilizar este sistema constructivo para mejorar el comportamiento térmico y acústico en las edificaciones unifamiliares de este país, tomando en cuenta el tipo de edificación unifamiliar más recurrente en la ciudad Santo Domingo hoy en día; por encima de la percepción existente de estos sistemas solo como elemento estético.

Después de evaluar los diferentes tipos de fachada vegetal, tomando en cuenta las recomendaciones, ventajas y desventajas que diferentes artículos, trabajos finales de masters y tesis doctoral, se ha seleccionado un sistema de fachada verde que debido a las características propias del mismo sea compatible con los objetivos que se pretende alcanzar. Además, de que se ha hecho una selección de plantas adecuadas y una evaluación del coste económico para el tipo de fachada escogido. Siempre tomando en consideración el clima, la estructura portante y el entorno al que el sistema será sometido y en el que el modelo de edificación escogido se encuentra. El sistema escogido fue la fachada verde hidropónica F+P.

ABSTRACT

In this master thesis, which aims to evaluate the main characteristics of the different types of green wall systems in today's market to be implemented in a tropical country such as the Dominican Republic. The main objective of this study is to use the selected construction system to improve the thermal and acoustic behavior of a common multi-family house of this country, taking into account the most recurrent type of multi-family building in the city Santo Domingo; above the perception of these systems only as an aesthetic element.

After evaluating the different types of green wall systems, taking into account the recommendations, advantages and disadvantages of different scientific articles, master thesis and PhD thesis, a *hydroponic green wall F + P* has been selected due to its own characteristics. Also, a selection of suitable plants has been selected and an evaluation of economic cost has been made, for the *hydroponic green wall F + P*. It accomplishes the main technical parameters defined in this master thesis; always taking into consideration the climate, the load-bearing structure and the environment in which the system will be subjected and in which the chosen building model is located.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	1
INDICE DE FIGURAS.....	4
INDICE DE TABLAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
Objetivos que se pretende alcanzar	7
I. ANTECEDENTES.....	8
1.1 BENEFICIOS ESPECIFICOS	9
1.2 Beneficios a escala urbana.....	10
1.2.1 Retención de CO2	10
1.2.2 Reducción de la escorrentía de aguas pluviales	10
1.2.3 Reducción del efecto isla de calor urbano.....	10
1.2.4 Retención de polvo, material en partículas y sustancias contaminantes.....	11
1.2.5 Confort térmico.....	12
1.2.6 Conservación de la naturaleza y biodiversidad urbana	13
1.2.7 Reducción de contaminación acústica.....	13
1.3 Beneficios en la edificación.....	15
1.3.1 Reducción de la temperatura	15
1.3.2 Aislamiento e inercia térmica	16
1.3.4 Reducción del ruido ambiental y la contaminación acústica.....	16
1.3.5 Mejora de la estética del edificio.....	17
1.4 Beneficios a escala social	18
1.4.1 Mejora de la salud y el bienestar	18
1.4.2 Beneficios económicos.....	18
1.5 Desventajas.....	20
II. Clasificación de fachadas	21
2.1 Fachadas Invasivas.....	22
2.1.1 Fachadas tradicionales.....	22
2.1.2 Hormigón vegetal.....	24
2.2 Fachadas de doble piel.....	26
2.2.1 Enrejados de cables trenzados.....	26
2.2.2 Enrejados modulares	28
2.2.3 Fachada invernadero verde	30
2.3 Fachadas modulares	32

**FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA**

2.3.1 Fachada de paneles verdes en cajas metálicas.....	32
2.3.2 Fachadas verdes tipo jardineras	34
2.3.3 Sistemas de celdas verdes drenantes	36
2.3.4 Fachadas verdes tipo Gaviones de metal	38
2.4 Sistemas hidropónicos	41
III. ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE FACHADA VERDE EN REPÚBLICA DOMINICANA	44
3.1 REPÚBLICA DOMINICANA	44
3.1.1 Perfil Climático de República Dominicana	45
3.2 Fachadas verdes en República dominicana	48
3.2.1 EDIFICIO CORPORATIVO DEL GRUPO PUNTACANA	48
3.2.2 ESTACIONAMIENTO JOSÉ REYES	49
3.2.3 RESTAURANTE GRAPPA.....	50
3.2.4 TORRE VALENTINA IV	50
3.2.5 TORRE PALO ALTO.....	51
3.3 SISTEMA ESCOGIDO	52
3.3.1 Comparación de las características principales entre las Fachadas modulares y Fachadas hidropónicas.....	54
3.4 Sistema F+P	56
3.4.1 Descripción del sistema	57
3.4.2 Instalación	58
3.4.3 Proceso de ejecución	58
3.4.4 Mantenimiento del Sistema.....	58
3.4.5 Costo	59
3.5 LAS PLANTAS ESCOGIDAS.....	60
3.5.1 Sedum verde (Sedum spurium 'Summer Glory')	60
3.5.2 Mondo Grass Enano (Ophiopogon Japonicus).....	61
3.5.3 Sansevieria trifasciata (“Lengua de vaca”).....	62
3.5.4 Ixora coccínea (Coralillo).....	63
3.5.5 Tradescantia spathacea (maguey morado).....	64
3.6 Edificio modelo	65
3.6.1 DESCRIPCION ARQUITECTONICA DEL PROYECTO	65
3.6.2 Ubicación.....	70
3.6.3 Fachada Verde de Sistema Hidropónico Implementado en Edificio Modelo	70
CONCLUSIÓN.....	74
Bibliografía	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Potencial de horas de confort al día en fachadas verdes en Barcelona.	12
Figura 2. Graficas de la absorción acústicas de las paredes verdes y absorción de la reverberación. Fuente: (Urrestarazu, 2015).....	13
Figura 3. Esquema de clasificación de las Fachadas Verdes	21
Figura 4. Casa con fachada verde invasiva cubierta de hiedra. Fuente: Escapada Rural	22
Figura 5. Fachada de hormigón vegetal. Fuente: Vilssa.....	24
Figura 6. Fachada de doble piel de cables trenzados en Lhemman College Day Care-Garrison Architects.	26
Figura 7. Fachada de enrejados modulares. Fuente: Inarquía.	28
Figura 8. Esquema de la Fachada de enrejados modular. Fuente: Signare.es.....	28
Figura 9. Esquema de las capas de la fachada tipo invernadero. Fuente: Signare.es	30
Figura 10. Esquema de Fachada de paneles verdes en cajas metálicas. Fuente: habitat.aq.upm.es ..	32
Figura 11. Fachada tipo jardinera de edificio Planeta de Barcelona. Fuente: cursosdesdecasa.com ..	34
Figura 12. Fachada tipo sistema de celdas verdes drenantes antes y después de la implantación de las plantas. Fuente: Drenaje Sostenible.....	36
Figura 13. Tipos de módulos de paneles vegetados de celdas Atlantis. Fuente: Drenaje sostenible..	36
Figura 14. Esquema de fachada tipo gaviones.....	38
Figura 15. Fachada de sistema hidropónico, edificio Quai Branli Museum, en Paris, hecho por Patrick Blanc.....	41
Figura 16. Esquema de sistema hidropónicas tipo F+P. Fuente: Alicante Forestal	42
Figura 17. Mapa de República Dominicana. Fuente: Dominicana online.org.....	44
Figura 18. Mapa de República Dominicana con sus límites máximos. Fuente: Marcano.com.....	44
Figura 19. Esquema de la población en República Dominicana. Fuente: ONE	45
Figura 20. Promedio de la velocidad del viento por hora. Fuente: (Weatherspark, 2018)	47
Figura 21. Grupo Puntana en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Maldonado, 2012) ..	48
Figura 22. Estacionamiento José Reyes en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Henríquez, 2013)	49
Figura 23. Restaurante Grappa, en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Espacios, 2013)	50
Figura 24. Torre Valentina IV en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (InvimansarRD, 2012)	50
Figura 25. Torre Palo Alto en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Diconfo, 2010)	51
Figura 26. consumo eléctrico por hora en el verano. Fuente: (Coma, J, 2016).....	52
Figura 27. Detalle Constructivo del Sistema F+P. Fuente: (Urbano P, Sistema F+P, Memoria técnica para la construcción de, 2017).....	56
Figura 28. Composición y Peso Total del Sistema F+P de Paisajismo Urbano	56
Figura 29. Datos técnicos de los materiales en el Sistema F+P de Paisajismo Urbano	57
Figura 30. Detalle del sistema de monitoreo. Fuente: Terapia Urbana.....	58
Figura 31. Elevación frontal del edificio escogido.....	65
Figura 32. Elevación Frontal del edificio modelo escogido.....	66
Figura 33. Planta arquitectónica del conjunto total del edificio modelo	67
Figura 34. Planta arquitectónica dimensionada del 1er piso del edificio modelo.....	68
Figura 35. Planta arquitectónica amueblada del 1er, 2do y 3er nivel del edificio modelo	69

**FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA**

Figura 36. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada en los primeros dos meses antes que florezcan las plantas de cara lateral..... 71

Figura 37. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada en los primeros dos meses antes que florezcan las plantas de cara frontal 71

Figura 38. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada después de florecer después de 3 meses de cara lateral 72

Figura 39. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada después de florecer después de 3 meses de cara frontal 72

Figura 40. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada. 73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los Beneficios a escala urbana, de la edificación y a escala social. Fuente: Juan Navarro 9

Tabla 2. Resumen de los ciclones y tormentas en República Dominicana. Fuente: (Toribio, 2013) . 46

Tabla 3. Promedio de horas diurnas por mes. Fuente: (Jmarcano, 2018) 46

Tabla 4. Promedio de las temperaturas y precipitaciones anuales de República Dominicana. 47

Tabla 5. Características principales entre las Fachadas modulares y Fachadas hidropónicas 54

Tabla 6. Costo por m2 de fachada verde de las empresas Green Paisajismo y Urbanaarbolismo 59

Tabla 7. Características de La Planta Sedum Verde 60

Tabla 8. Características de La Planta Mondo Grass Enano 61

Tabla 9. Características de La Planta Lengua de Vaca 62

Tabla 10. Características de La Planta Coralillo 63

Tabla 11. Características de La Planta Maguey Morado 64

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional la arquitectura se ha visto inmersa en grandes propuestas y proyectos de cubiertas y fachadas recubiertas de vegetación, en los ambientes urbanos más poblados. Las fachadas recubiertas de vegetación o fachadas verdes son llamativas por su cromatismo, sus sugestivos diseños de diversas especies de plantas y flores de gran resistencia y fácil adaptabilidad, estos murales naturales han sido presentados como tapices para la protección solar de edificaciones, obras de arte público verdes, o simplemente como dispositivos para hacer más eficientes las prestaciones ambientales de los edificios que las ostentan.

Este sistema de construcción se ha estado implementando en diversas formas y climas, tratando de mejorar la calidad medioambiental de las grandes ciudades. En la búsqueda de alternativas que proporcionen beneficios medioambientales que se encuentran carentes en las estas ciudades, y además, buscando suplir las necesidades de confort humano se comenzaron a implementar las cubiertas verdes, también conocidas como cubiertas vivientes, ecológicas, ajardinadas, techo o azoteas verdes; es aquella que tiene como mínimo el 30% de su espacio libre cubierto con vegetación y según (Integralgarden, 2017) es un tipo de cubierta invertida con la adición de un sustrato orgánico-mineral, plantas en su capa superior y un sistema de capas intermedias con diferentes funciones, tienen la particularidad de no requerir ninguna superficie conectada al suelo y representan por ello una opción óptima para zonas densificadas devolviéndole a la naturaleza un papel importante en la vida urbana del hombre, aportando una mejora significativa al clima polucionado.

Las fachadas vegetales o verdes, tienen un concepto similar al de las cubiertas ajardinadas, pero adaptadas a los muros. Teniendo como ventaja que las fachadas ocupan una superficie más amplia en las edificaciones, lo que conlleva que además de las bondades antes descritas para las cubiertas verdes de color y variedad además de los beneficios para la biodiversidad, eficiencia energética y mejoras en el entorno urbano; reduciendo la polución ambiental y absorbiendo ruido. Las fachadas verdes, permiten reducir la velocidad del viento en contacto con la fachada, evita su enfriamiento, el paso del agua de lluvia, la radiación solar; Evitando el deterioro de los materiales constructivos y aumentado por tanto su durabilidad. Esta es además considerada como un elemento aislante del calor adicional, y funcionan de manera diferente tanto en invierno como en verano.

Objetivos que se pretende alcanzar

Las fachadas ocupan una superficie importante en los edificios y en general, dependiendo de la orientación del edificio, estos son los paramentos que generan más calor en una vivienda al estar en constante exposición al sol, sobre todo en climas cálidos como los de República Dominicana.

El uso de fachadas vegetales ayudaría a compensar el efecto de “isla de calor” que se generan en las viviendas dominicanas debido a los materiales usados con regularidad en la construcción típica dominicana, además, disminuiría los picos de temperaturas en las edificaciones actuando como un aislamiento no solo térmico, sino acústico. El uso de plantas en las fachadas verdes introduciría color y variedad, a la vez que proporcionaría beneficios para la biodiversidad, la eficiencia energética de los edificios y mejora en el entorno urbano reduciendo la contaminación ambiental y absorbiendo ruidos.

Esta investigación tiene como meta la creación de una propuesta de fachada vegetal para ser implementada en las edificaciones unifamiliares de la República Dominicana, tomando en cuenta el tipo de edificación construido y condiciones climáticas.

Los objetivos específicos:

Como objetivo específico se pretende investigar como a través de un sistema de fachada verde, esta puede influenciar:

- Al edificio:

- **Reducción temperatura superficiales fachadas**, utilizando una fachada verde como aislante térmico, está bloquearía la radiación directa del sol y por lo tanto el calentamiento del concreto, en consecuencia, la temperatura al interior del Inmueble.
- **Menor consumo en sistemas de climatización**, disminuyendo el consumo eléctrico derivado del uso constante de sistemas de ventilación eléctricos en la República Dominicana
- **Mejora acústica al interior de las viviendas**, disminuyendo la contaminación acústica que se genera en la República Dominicana.

- Al entorno urbano:

- **Reducción del efecto isla de calor**, algo común, debido a los materiales usados en la construcción dominicana (la cual es predominantemente en concreto y los bloques de hormigón)
- **Mejoras visuales en la estética.**
- **Reducción de las partículas de CO₂**, como objetivo añadido, estos sistemas disminuyen de Dióxido de carbono que se genera debido a la actividad vehicular y humana en las ciudades.

I. ANTECEDENTES

Las fachadas verdes a través de varias investigaciones han demostrado que pueden contrarrestar los efectos negativos de la urbanización sobre el ecosistema local y el consumo de energía de las edificaciones. Se ha determinado que aumentan el aislamiento a la contaminación sonora y mejora la calidad del aire, reduce el efecto isla de calor y permite la integración de la biodiversidad en el entorno urbano. Hasta hace poco, han sido utilizadas más como elemento decorativo que como sistemas que proporcionen beneficios tales como la reducción de las contaminaciones presentes en los entornos urbanos de las grandes ciudades y a nivel de la edificación.

Al contrario que en las cubiertas verdes, las cuales han sido investigadas y en las que se continúa investigando, en las fachadas verdes según lo leído en la tesis doctoral de Julià Coma (Coma, J, 2016) en el que explica que existe cierta dispersión en la escasa literatura sobre la clasificación de las fachadas verdes, así como en su sistema de construcción, las especies de plantas utilizadas, la influencia climática y el rendimiento térmico cuando se implementa en los edificios. También éste explica la falta de su implementación podría atribuirse a los puntos de vista económicos debido a la costosa inversión inicial y los puntos técnicos, donde es posible que sea más fácil usar un espacio plano como la cubierta en comparación con una fachada verde, y finalmente debido a una falta de conocimiento sobre su desempeño y beneficios ambientales. Pero éste explica el potencial que este sistema puede proporcionar, ya que el entorno de los edificios es mayor que el área del techo y que si se trata de una edificación de gran altura la relación entre áreas podría ser de 20 veces mayor para la fachada que para el techo, lo que conllevaría a mayores beneficios. Además, Coma encontró una relación directa entre la radiación solar y el ahorro de energía que indica un mayor potencial de ahorro de energía en climas con alta irradiación.

Otro de las características que se debe seguir investigando sobre este tema es el comportamiento de las fachadas verdes en las diferentes estaciones del año, según el trabajo final de Javier Turrillo (Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016, p. 7) estas son las características en las dos estaciones pico verano e invierno:

VERANO: la fachada vertical actuaría como un aislamiento orgánico, protegiendo del sobre calentamiento los espacios, produciendo brisas frescas alrededor de las edificaciones y proporcionando una ventilación natural. Las especies vegetales interceptarían los rayos solares antes de que se generarán fluctuaciones de temperatura en el interior, bloquean la radiación directa sobre la fachada, actuando como elemento de sombra. De esta manera consiguen mantener la temperatura interior del edificio más baja, reduciendo hasta cinco grados esta temperatura.

INVIERNO: La fachada vertical se convertiría una óptima protección al viento, además de contribuir a mantener constantes las condiciones de temperatura en el entorno de las edificaciones. El flujo del calor se invierte respecto verano, ya que se produce de dentro hacia fuera. La fachada verde retiene este calor, evitando que se enfríe.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

En la tesis de Julià Coma (Coma, J, 2016) uno de Los principales beneficios resultantes relacionados con el rendimiento térmico de estos sistemas, es cuando se aplica como un sistema de enfriamiento pasivo. Pueden disminuir la temperatura de la superficie de la pared externa, que varía de 1 °C a 20.8 °C, dependiendo del sistema, la orientación, las especies de plantas y las condiciones climáticas, y por lo tanto el consumo de energía del edificio del 5 al 50%. Sin embargo, se encontró una falta de datos del rendimiento térmico durante los períodos de calefacción y durante todo un año (primavera, otoño e invierno) para todos los sistemas clasificados, que en este caso fueron “green wall” y “double-skin green facade”.

1.1 BENEFICIOS ESPECIFICOS

Las fachadas verdes impactan de manera gradual y escalada en tres tipos de entornos: el urbano, en la edificación y a un nivel social como se explica en la siguiente Tabla 1 resumen de los beneficios específicos que según varias investigaciones estas proporcionan. Por estos beneficios es que en la actualidad este sistema constructivo está en auge y cada día son solicitadas en las grandes ciudades urbanas.

Tabla 1. Resumen de los Beneficios a escala urbana, de la edificación y a escala social. Fuente: Juan Navarro

Beneficio a escala urbana	Beneficio en la edificación	Beneficio a escala social
Retención de CO ₂ .	Reducción de la temperatura	Beneficios psicológicos.
Reducción de la escorrentía de aguas pluviales.	Aislamiento e inercia térmica.	Mejora de la salud y el bienestar.
Reducción del efecto isla de calor urbano.	Variación de los efectos de la incidencia del viento sobre la edificación.	Beneficios económicos.
Retención de polvo, material en partículas y sustancias contaminantes.	Reducción del ruido ambiental y la contaminación acústica.	
Conservación de la naturaleza y biodiversidad urbana.	Mejora de la calidad del aire interior: Biofiltración.	
Recuperación de espacios autóctonos.	Mejora de la estética del edificio.	

Según el trabajo final de tesis de Juan Navarro (Navarro Portilla, 2013) estos son los beneficios a escala urbana, en la edificación y a escala social.

1.2 Beneficios a escala urbana

1.2.1 Retención de CO₂

Uno de los beneficios a escala urbana es la mejora de la calidad del aire, esto se debe a la fotosíntesis que realizan las plantas, absorben CO₂ (gases que están en la atmósfera) y la clorofila capta la energía solar. Gracias a las combinaciones de los diferentes factores, se producen glucosa y oxígeno (O₂), renovando el aire del entorno de la fachada. Según Investigaciones han calculado que una hectárea de vegetación típica puede absorber 7.500 kilogramos de CO₂ cada año. Un metro cuadrado de cobertura vegetal en un jardín vertical genera el oxígeno requerido por una persona al año.

La vegetación actúa sobre la contaminación debido a que en el sustrato o suelo que las mantiene se depositan partículas y metales pesados que son aprovechadas o metabolizadas por la micro-flora del suelo (hongos y bacterias) debido a que en las superficies foliares se precipitan esas partículas que la planta absorberá y fijará en sus tejidos, tomando así contaminantes como el plomo, el cadmio u otros metales pesados, que de otro modo permanecerían en suspensión en el aire.

Esto podría ayudar en la colaboración para calcular las toneladas de CO₂ fijadas por hectárea y año. Por tanto, las fachadas verdes pueden ser elementos importantes para la fijación de gases de efecto invernadero. Este hecho es un hecho reconocido, pero aún no cuantificado.

1.2.2 Reducción de la escorrentía de aguas pluviales

Según lo investigado aun no existen estudios donde indiquen la capacidad de retención de lluvias de los jardines verticales, pero se puede deducir que la vegetación de los mismos podría trabajar de manera análoga a las cubiertas ajardinadas ayudando al drenaje y retención de las lluvias. Incluso existen tipos de fachadas verdes que tienen sistemas de drenajes que captan el agua de la lluvia para redirigirlas como regadío para las plantas.

Además, la retención de agua en el sustrato de las cubiertas y fachadas verdes reduce la escorrentía del agua de lluvia. También, la actividad fisiológica de la vegetación mediante la evapotranspiración favorece el efecto refrigerante.

1.2.3 Reducción del efecto isla de calor urbano

El fenómeno de isla de calor se produce precisamente por las modificaciones que los factores climáticos, morfológicos y materiales del espacio urbano provocan sobre el clima. Medidas realizadas en diferentes entornos urbanizados muestran una diferencia térmica alrededor de 4°C entre las zonas rurales periféricas y las urbanas. Los factores que los diferencian son el aumento de la vegetación y la reducción de fuentes de emisión de calor.

Las ciudades hoy en día son grandes superficies asfaltadas (los cuales son de colores oscuros y opacos) y por su baja reflectividad, generan alta absorción de radiación solar, lo que conlleva al almacenamiento del calor generado por el sol en el tejido urbano; esto se debe a que las zonas altamente edificadas ofrecen una mayor superficie de absorción del calor generado por el sol en horas diurnas, el cual es irradiado lentamente durante el transcurso de la noche.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Otro de los factores que favorecen al fenómeno isla de calor urbano, es la altura de los edificios ya que genera el llamado efecto cañón, todo esto junto con la producción de CO₂ y calor provocado por los combustibles fósiles, producciones industriales, etc. contribuyen al incremento de este fenómeno.

En conjunto todo lo antes dicho con la falta de vegetación es otro factor que influye en la elevación de las temperaturas en las grandes ciudades. En los espacios urbanos, las masas apreciables de vegetación se encuentran concentradas en parques y espacios recreativos. La moderación del calor extremo en climas urbanos podría significar mejor sostenibilidad y también la posibilidad de evitar riesgos en la salud, causados por calor excesivo.

Otro aspecto que es de suma importancia es la relación de la vegetación con el microclima, ya que a diferencia de otros materiales las plantas inciden sobre el balance de calor sensible y de calor latente. Esto se debe a que los elementos vivos tienen unas características fisiológicas que dan respuestas diferentes en comparación con los materiales inertes. Las plantas interceptan la radiación solar directa a través de la superficie foliar, y convierten parte de esta energía solar en cadenas químicas mediante la fotosíntesis. Las hojas de una cubierta vegetal pueden absorber entre un 15 y un 35% de la energía luminosa reflejada durante horas de máxima insolación. La sustitución de materiales como el asfalto y el hormigón para superficies vegetadas permite disminuir las temperaturas superficiales y, por tanto, el total de radiación emitida. Por ejemplo, la diferencia térmica entre un pavimento de asfalto y un pavimento de césped puede ser de hasta 15°C (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015).

La integración de las fachadas verdes en zonas urbanas densamente construidas, ayudaría a reducir los impactos negativos del efecto isla, con el consiguiente ahorro de energía, la mejora del confort y una disminución en el riesgo de sufrir problemas de salud relacionados con el estrés de calor y las tasas de formación de ozono.

1.2.4 Retención de polvo, material en partículas y sustancias contaminantes

Las superficies vegetales pueden captar las partículas suspendidas en el aire en sus superficies vegetal (tales como las hojas, troncos y ramas) para que esto suceda, el rocío sobre las hojas de las plantas puede reforzar la captación de partículas. Por esto, las fachadas verdes, tienen la capacidad actuar como recolectores de polvo y partículas disueltas procedentes del entorno urbano, pero son raramente utilizadas con tal finalidad. Las plantas pueden ser un eficiente filtro biológico, el cual elimina grandes cantidades de contaminación por partículas en la atmósfera y el ambiente urbano.

Los gases que se encuentran presentes en la atmósfera se originan como parte secundario de las combustiones y por la circulación de vehículos motorizados. El efecto más nocivo asociado a las combustiones es el del carbono (CO, CO₂), el dióxido de azufre (SO₂), el óxido de nitrógeno (NO₂) y las partículas en suspensión. También en la atmósfera hay otros elementos como los microbios, y las esporas, que dependen principalmente del régimen de viento local y de la niebla, ya que estos, son un medio de transporte y disipación en suspensión de un

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

lugar a otro. En este régimen de transporte y dispersión también se incluyen las partículas en suspensión (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015).

Las plantas que interactúan con los agentes contaminantes pueden fijar las partículas disueltas en el medio ambiente mediante dos mecanismos: por sedimentación y por impacto. Esto se debe a que la velocidad del viento tiende a reducirse alrededor de las plantas, esto permite la sedimentación de las partículas más gruesas por efecto de la gravedad. Su dispersión es frenada por el impacto de estas partículas sobre las superficies de las plantas. Finalmente, la precipitación limpia las superficies foliares depositando las partículas en el suelo.

Las plantas, por su actividad fisiológica, fijan CO₂ y libera O₂. La tipología de la planta, el suelo, las condiciones ambientales (fotoperiodo, temperatura) condicionan las tasas de fijación de CO₂ y, por tanto, se aplican diferentes factores para calcular las toneladas de CO₂ fijado por hectárea y año (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015).

La vegetación también es eficiente al tomar del aire otras sustancias contaminantes tales como CO₂, NO_x (óxidos de nitrógeno) y SO₂ (dióxido de azufre).

1.2.5 Confort térmico

Según (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015) en cuanto a confort térmico:

La habilitación de fachadas verdes en la ciudad mejora el confort térmico al espacio público. A partir de un análisis hecho en la ciudad de Barcelona, se ha identificado la incidencia de los muros verdes sobre el balance térmico de una persona en la calle. Las calles más sensibles a los efectos de muros verdes son aquellos con un $h / d > 2$, es decir, secciones de calle donde la relación de la altura de los edificios (h) con respecto a la distancia entre fachadas (d) es mayor a 2, y especialmente las de orientación Norte-Sur. Considerando las ganancias y pérdidas de calor de una persona en relación a las condiciones de radiación, temperatura, humedad y viento a lo largo del día, se ha determinado el número de horas de confort térmico en calles con un 30% de las superficies de las fachadas con muros verdes.

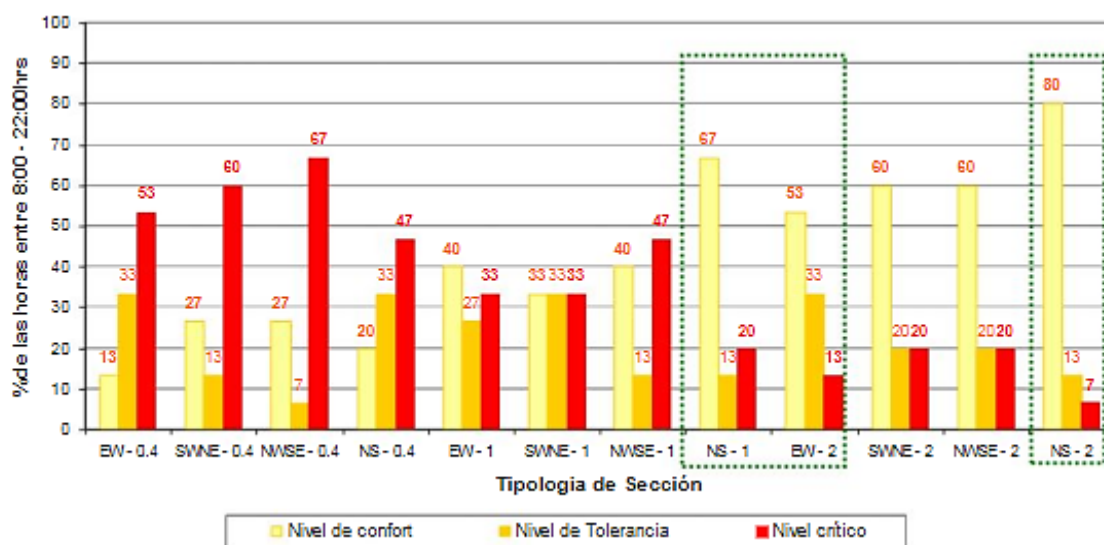


Figura 1. Potencial de horas de confort al día en fachadas verdes en Barcelona. Fuente: (Echave, 2007)

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Si se considera como franja útil del espacio público de las 8 h a las 22 h, los muros verdes pueden llegar a ofrecer hasta un 80% de ese tiempo bajo condiciones de confort en calles compacto. La Figura 1 muestra en color amarillo el porcentaje de horas de confort, en naranja el porcentaje de tolerancia y en rojo el porcentaje en niveles críticos.

1.2.6 Conservación de la naturaleza y biodiversidad urbana

Las plantas en los edificios a través de las fachadas verdes en las edificaciones pueden ser utilizadas como hábitat para aves e insectos, tanto de forma permanente, como de zona de paso entre grandes áreas verdes como parques y jardines. Esto podría mejorar cuantitativa y cualitativamente la biodiversidad urbana. Si incorporamos a nuestra fachada nidos para los pájaros autóctonos de la zona, podemos contribuir a la relación con el ecosistema y conocer de manera más cercana las diferentes especies de aves y las diferentes especies de flores implantadas (Navarro Portilla, 2013).

1.2.7 Reducción de contaminación acústica

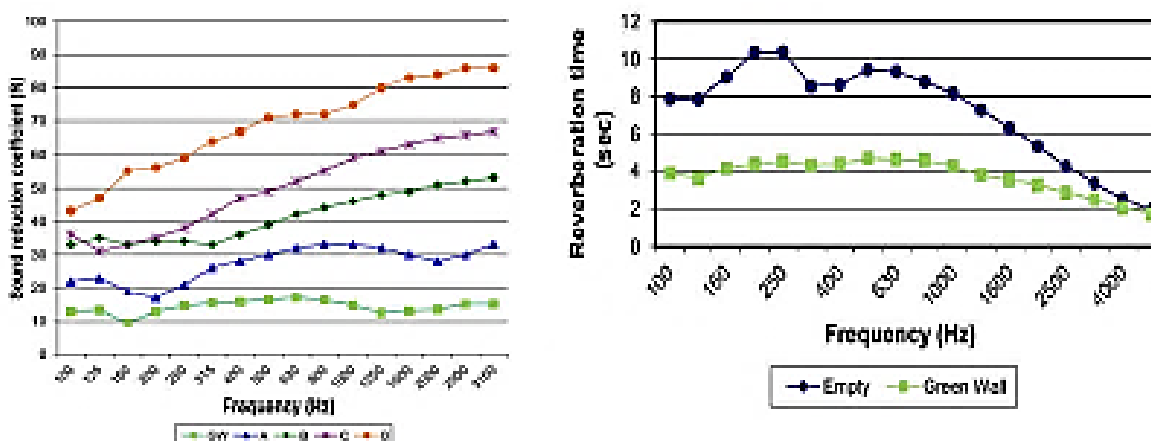


Figura 2. Graficas de la absorción acústicas de las paredes verdes y absorción de la reverberación. Fuente: (Urrestarazu, 2015)

El Investigador de la Universidad de Almería, Dr. Miguel Urrestarazu (Urrestarazu, 2015), con la colaboración del departamento de ingeniería térmica de la Universidad del País Vasco y de la Universidad Politécnica de Cataluña ha analizado por primera vez las fachadas vegetales como aislamiento acústico:

Para poder realizar las pruebas se construyó un muro verde de 2,50 x 2,50 metros, una muestra del que se podría construir en los muros laterales de una autovía. El muro está formado por varios módulos con unidades de cultivos hidropónicos.

La comparativa con otros materiales utilizados de forma general para la absorción del ruido muestra como las paredes vegetales, a pesar de disminuir con menos porcentaje que el resto de los aislantes que existen en el mercado, tiene propiedades de absorción del ruido. La gran diferencia puede ser debida a la baja densidad de la pared vegetal estudiada, siendo esta de 50 Kg / m² respecto a los 200 Kg / m² del ladrillo o los 280 Kg / m² de los bloques de hormigón. Otro factor positivo que puede ofrecer una pared vegetal es la absorción de la reverberación.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Se han tomado medidas en un cuarto habilitado, tomando en primera instancia con la cámara vacía y con la cámara incorporando la pared vegetal, obteniendo una reducción significativa de la reverberación del ruido, un dato muy interesante planteando la pared vegetal como reductora del ruido en la ciudad.

En una nueva investigación realizada por la Catedrática Ana M. Lacasta (Ana M. Lacasta, 2018), se destaca que una barrera sólida de mediana altura puede integrarse en una calle verde cubriéndose con vegetación, transformándola en una barrera verde y esto puede aumentar la reducción de ruido. También expone que las plantas pueden reducir el nivel de ruido del tráfico, especialmente en calles estrechas con fachadas duras. Si bien las reflexiones múltiples en los edificios conducen a una amplificación del ruido, la absorción acústica de las plantas, colocadas a lo largo de la calle o cubriendo fachadas y techos, evita tal amplificación.

1.3 Beneficios en la edificación

1.3.1 Reducción de la temperatura

Estudios realizados han tenido como resultado que la transmisión del flujo de calor hacia el interior del edificio es muy favorable en las fachadas verdes. Las condiciones ambientales en un clima mediterráneo continental son temperaturas más altas y humedad relativa más baja en invierno, y baja temperatura y una humedad más alta en verano. Este hecho corrobora que la fachada vegetal actúa como una barrera contra el viento y muestra el efecto de evapotranspiración de las plantas. El fenómeno de evapotranspiración engloba el total de vapor de agua contenido en el sustrato y en las hojas. Las plantas tienen una alta capacidad para regular su temperatura mediante la apertura y cierre de las estomas que controlan su proceso fisiológico de transpiración. Además de que la energía absorbida por la vegetación, a diferencia de las superficies inorgánicas, no produce calor, sino que esta se invierte en otra función la regulación térmica mediante, y esto se debe a este fenómeno.

En los climas cálidos, la presencia de vegetación puede llegar a refrescar la temperatura de 1 a 5°C. Se calcula que una reducción de 5°C de la temperatura exterior adyacente podría suponer ahorros en refrigeración de cerca de un 50 % (Navarro Portilla, 2013).

Mediante el efecto de sombreado se puede evitar el exceso de radiación solar directa en la edificación ya que las plantas tienen la capacidad de obstaculizar la radiación solar directa que llega a las superficies a través de su follaje. Como lo antes comentado en el apartado de reducción del efecto isla de calor urbano, más específicamente los datos expuestos en el trabajo final de E. Ramos y J. Girones (Ramos García & Gironès Pous, 2015) en este se explica que una cubierta vegetal absorbe entre 15-35% de energía luminosa en las horas picos de insolación; también explican que con la sustitución de materiales asfálticos y de hormigón por superficies con vegetación pueden disminuir las temperaturas superficiales. por otra parte, la retención de agua en el sustrato de las cubiertas y muros verdes reduce la escorrentía del agua de lluvia (Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016, p. 8). En este contexto una forma efectiva sería la de cubrir espacios demasiado soleados, mediante vegetación. Esto puede obstruir totalmente el flujo de radiación, logrando poca transmitancia, ya que el índice de absorbencia de la vegetación en general es muy alto.

El proceso fisiológico de las plantas hace que una pequeña parte de la radiación solar es utilizada por la planta para realizar la fotosíntesis, y el resto produce la evaporación del agua que de la planta como mecanismo de regulación de la temperatura. Este hecho produce que la vegetación bloquee de una forma efectiva la radiación solar, sin aumentar su temperatura.

Se llega a la conclusión de que la sombra directa es posiblemente unos de los beneficios más evidentes de las plantas. Las fachadas vegetadas ofrecen sombra capaz de reducir la temperatura de una superficie a través del sombreado. Si bien requieren un cierto mantenimiento, ofrecen similares efectos de sombra que otros sistemas artificiales, pero aportando además los beneficios del enfriamiento por evapotranspiración.

1.3.2 Aislamiento e inercia térmica

Las plantas pueden actuar como protecciones contra las ganancias excesivas de calor provocadas por los rayos solares, ya que la vegetación obstruye, filtra y refleja la radiación solar. En algunos casos se puede llegar a evitar del 50 al 90% de la radiación incidente. Algunos ejemplos son los de las parras y enredaderas sobre las paredes, que ofrecen sombra y disminuyen las ganancias de calor tanto por radiación como por conducción (Navarro Portilla, 2013).

Esto se debe a que las plantas evitan el impacto de la radiación solar y a la vez se reduce la temperatura del aire adyacente al muro.

En verano las paredes de fachadas y muros pueden alcanzar temperaturas muy elevadas debido a la incidencia de la radiación solar a lo largo del día, especialmente aquellas con orientación Sur y Oeste (donde más incide el sol en fachadas en Barcelona). Las altas temperaturas superficiales repercuten sobre la demanda de energía, por la activación de sistemas de climatización en el interior de los edificios. La temperatura superficial de un muro verde se puede reducir hasta 10°C si tiene una total cobertura de plantas y el sustrato es húmedo. Aunque los efectos de aislamiento no son equiparables a los de las cubiertas, el rendimiento dependerá sustancialmente de la orientación del muro, la latitud y otros factores del microclima (Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016, p. 8).

Cabe destacar que en el artículo (Coma, J & Pérez, G, 2017) en un clima mediterráneo continental se han observado una reducción de temperatura superficial de hasta 21°C.

Sin embargo en invierno, las plantas perennes pueden proteger los paramentos de las pérdidas de calor, y el efecto aislante podría llegar a ser de un 30 %.

En el invierno las plantas con hojas marchitas pueden proteger las ventanas o aberturas, las hojas que caen en el otoño convierten el alero en una estructura opaca, y pueden proveer de sombra, y al caer en invierno permiten el paso de la luz permitiendo así la obtención de energía solar, calentando el interior a través de las ventanas y calentando la superficie de las fachadas.

1.3.4 Reducción del ruido ambiental y la contaminación acústica

Dependiendo del grosor de la fachada verde y de las formaciones o barreras de las plantas pueden servir como amortiguador de ruido, actuando como pantallas acústicas, una cubierta verde puede aislar desde 8 dB a 20 dB gracias a la capacidad de absorción del sustrato vegetal y del resto de capas que la configuran.

Sin embargo, existe un efecto psicológico beneficioso, ya que actúa como pantalla visual entre la fuente de ruido y las personas afectadas. Según el artículo de la Catedrática Ana Lacasta (Ana M. Lacasta, 2018) la percepción de fuentes particulares de contaminación acústica, como el tráfico, se ve modificada por lo que las personas esperan escuchar y por el entorno visual donde se percibe. En este sentido, uno de los aspectos que afecta la percepción del ruido es la vegetación. Hace una diferencia considerable en la evaluación de las personas de un contexto urbano al mejorar sustancialmente, no solo la calidad visual, sino también en

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

muchos entornos, la calidad acústica esperada. La disponibilidad de árboles cercanos, paisajes verdes, jardines, lugares para caminar, etc., tiene influencia en el bienestar de los ciudadanos disminuyendo su estrés, incluyendo la molestia causada por un ruido incómodo.

En una investigación realizada por Yang (Yang, 2011) éste plantea que los paisajes de plantas son efectivas en la reducción de ruido. Estos estudios a través de encuestas muestran que el 90% de las personas que participaron en el, creían que las plantas contribuyen a la reducción del ruido y que el 55% sobreestimó la capacidad real de las plantas para atenuar el ruido (Ana M. Lacasta, 2018).

1.3.5 Mejora de la estética del edificio

Las fachadas verdes tienen un gran potencial como diseño estético, estas pueden servir para mejorar un proyecto arquitectónico y por lo tanto para elevar el precio de un proyecto. Pero también este tipo de fachada puede ser utilizada en el ámbito de la rehabilitación, ya que esta puede mejorar el aspecto de las antiguas fachadas y así modernizar de una manera más sostenible la panorámica de un edificio.

1.4 Beneficios a escala social

1.4.1 Mejora de la salud y el bienestar

Las fachadas verdes pueden proporcionar la oportunidad para transformar los espacios urbanos y descargar con la vegetación los entornos densos que se generan en las grandes ciudades, la inserción de paramentos verdes en la configuración urbana incide en la percepción de satisfacción de las personas. Los muros verdes pueden ofrecer grandes oportunidades para que los ciudadanos puedan conocer y apreciar de manera más cercana la flora y la fauna y, de este modo, favorecer la creación de espacios de esparcimiento satisfactorios.

Las plantas influyen en las propiedades físicas de los sonidos y también lo hace en la forma en que las personas perciben, evalúan y responden al sonido de los diferentes entornos urbanos. Esta influye significativamente en las evaluaciones de las personas sobre la calidad acústica del medio ambiente. Además, en función del espesor de la vegetación, las personas prevén menores niveles de ruido en los espacios naturales que en los barrios de las ciudades (Navarro Portilla, 2013).

Es de suma importancia para las personas poder disfrutar de espacios verdes ya sean de recreo o para relacionarse con los demás. La OMS La Organización Mundial de la Salud establece unos parámetros de al menos 10 m² de verde urbano en ámbitos consolidados, y hasta 15 m² por persona en zonas de nueva construcción. Estudios han relacionado la presencia de plantas para la mejora de la salud humana y el bienestar mental (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015).

Según (Navarro Portilla, 2013) los derivados de estos beneficios se pueden apreciar cambios físicos y de conducta, como:

1. Mejora de la atención.
2. Disminución del tiempo de recuperación de pacientes.
3. Reducción de la frecuencia cardiaca y la presión arterial.
4. Más facilidad para controlar el estrés.
5. Aumento del rendimiento laboral.

1.4.2 Beneficios económicos

La naturaleza y la escala de los beneficios económicos varían según el proyecto y las regulaciones y normativas en materia de edificación. Estas se reparten entre los propietarios de los edificios, los promotores y el público en general. Según la investigación elaborada por Juan Navarro (Navarro Portilla, 2013) entre los beneficios económicos para los propietarios de edificios que incluyen fachadas vegetales se pueden incluir:

- Aumento en el valor de resistencia térmica de la envolvente del edificio, lo que deriva en ahorro en los costos de energía relacionados con la calefacción y la refrigeración,

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

lo que conduce a su vez a una reducción de emisión de gases contaminantes. Disminución de la demanda energética. Diferentes estudios demuestran que una capa verde colocada en vertical puede contribuir a las actuaciones del revestimiento con la creación de una capa de aire estancado adicional que tiene un efecto aislante y reduce la demanda de energía para el aire acondicionado, hasta un 40 - 60% en climas mediterráneos(Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016).

- Protección del revestimiento de las fachadas, lo que implica un mayor período de la vida de los materiales, con la consiguiente disminución de mantenimiento y ahorros. Esto es así porque se ha observado que las fachadas vegetales protegen el revestimiento de las fachadas contra la radiación UV, las fluctuaciones extremas de temperatura y los daños físicos producidos por punzonamiento durante el uso o el mantenimiento de dichas superficies.
- La mejora en la gestión de las aguas pluviales puede compensar los costos del desarrollo de políticas de implantación de fachadas vegetales. Por ejemplo, al reducir la necesidad de gestión de las aguas residuales provenientes de edificios con sistemas vegetales, en los estanques de aguas pluviales, podría traducirse en la reducción de tasas aplicadas a los usuarios de dichos edificios. La mayoría de los residentes de ciudades europeas deben pagar una tasa, impuesto o cargo por la conexión al sistema de aguas pluviales. En Alemania, los residentes de edificios con cubiertas verdes reciben descuentos impositivos en las tasas.
- Aumento en el valor de la propiedad. Estudios americanos y británicos muestran que las cubiertas vegetales pueden aumentar el valor de un edificio entre un 6% y un 15%.
- Fachadas y cubiertas verdes ofrecen ventajas visuales. Este embellecimiento urbano puede tener un impacto en el turismo y empujar a más visitantes a ver y disfrutar la ciudad.
- La dotación de espacios recreativos al aire libre y una atractiva estética pueden aumentar directamente el valor y la comercialización de una propiedad.

En el estudio de Javier Turrillo (Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016) también se expone que en lo referido a los estudios sobre fachadas verdes y su coste de ciclo de vida, aún queda un amplio campo por investigar, más aún si se considera el potencial tan significativo de estos sistemas constructivos, considerando su mayor superficie de ocupación en edificios en altura que un cerramiento horizontal. Es importante ampliar su aplicación a la rehabilitación, tanto de edificios como de espacios exteriores, y llevar a cabo estudios referidos al coste-beneficio de este tipo de soluciones.

1.5 Desventajas

Como todo en la edificación, hay unas ventajas y contrariamente unas desventajas en la incorporación de un sistema de este tipo, en una manera general, y según la investigación de Javier Turrillo (Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016) los más importantes y destacados podrían ser:

- El coste varía mucho dependiendo del tipo de sistema utilizado. Si hablamos de sistemas sencillos como son cableados de acero o mallas, el sobre coste que supone la implantación final no es demasiado relevante, y si lo comparamos en relación a los beneficios ecológicos que proporciona son satisfactorios. Si hablamos de otros sistemas más complejos el sobre coste tanto como por diseño como por implantación se mucho mayor, pero los beneficios que proporciona a la fachada también son más importantes. Pueden proporcionar un aislamiento acústico, térmico y mejoras estéticas importantes; y como que actúan como una fachada ventilada eliminan puentes térmicos y condensaciones. De todos modos, se ha de estudiar cada caso y comprobar si podría ser viable o no.
- Los beneficios a la edificación y los beneficios económicos también ligados a qué tipología se ha implantado.
- En algunos casos, la estética del muro está limitada. Dependiendo del acabado final que queremos conseguir podemos elegir qué es lo que mejor se adapta a las características del edificio, en algunos casos tienen un aspecto muy geométrico y poco natural, o la sustitución de las plantas es complicada.
- El mantenimiento en algunos casos debe ser continuo. Dependiendo sobre todo de su ubicación y el fin por el que se ha realizado; con el propósito de mantener la fachada viva, limpia y con un control de los posibles problemas que puedan suceder, sobre todo de oxidación, es importante realizar un mantenimiento continuo tanto, como de la estructura de soporte como del jardín. Hay que vigilar también el sistema de riego monitorizado dependiendo de la estación del año en la que nos encontramos y vigilar las posibles plagas que podemos tener en nuestra plantación. Si en algunos casos queremos una fachada vegetal autosuficiente deberemos realizar un proyecto más complejo y diseñar un sistema que no necesite de ningún mantenimiento adicional, la problemática que tenemos es que para mantenerlo en un estado óptimo es por mucho, más complicado.
- El peso de los sistemas. Este punto también muy ligado al coste del sistema utilizado, ya que se deberá tener en cuenta si se ha planteado la vez de la realización del proyecto de diseño del edificio o posteriormente. Tanto si es uno o el otro el peso deberá tener en cuenta y calcular para hacer un muro vertical anclado a la fachada o con una estructura independiente del sistema inicial, en algunos casos, el peso puede llegar a ser muy elevado, y en otros, cualquier fachada lo podría soportar.
- Diversidad de la vegetación. En algunos sistemas o en los componentes que componen los sistemas la diversidad de vegetación puede ser limitada, ya que el sustrato limita la diferente selección de tipologías de especies vegetales interfiriendo a la vez con la estética del muro. Las plantas que se desarrollan mejor en altura son las plantas perennes, pero dejan algunas áreas con una menor densidad de follaje. Los valores del factor de luminosidad y la transmisión de la luz, así como las diferencias de temperaturas, confirman la capacidad de la piel vegetal para interceptar la radiación.

II. Clasificación de fachadas

En la actualidad no existe una clasificación estándar de las fachadas verdes, así como las cubiertas verdes tienen especificadas, aun así l'Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona, hace esta clasificación:

El muro verde: es un tipo de sistema constructivo semejante a la cubierta verde, en este caso, adaptado a la fachada. Los elementos que lo conforman: un material impermeabilizante, un sustrato de diferentes espesores. Un sistema de regadío y diversidad de especies vegetales. El muro verde es un sistema constructivo empotrado a la fachada o medianera que integra en su configuración la vegetación como un componente más.

El jardín vertical: es una estructura independiente a la fachada o medianera de un edificio. Se caracteriza por unas vegetaciones diversas en jardinerías y/o sistemas modulares que se despliegan sucesivamente y forman un muro verde (Barcelona, 2010).

Aun así, para poder delimitar de manera más claras los tipos de fachadas que se han investigado en este trabajo final de tesis, a través de diversas tesis doctorales y artículos científicos, y para no limitar ni tener confusiones con los términos de jardines verticales o vivos y fachadas verdes, he decidido denominarlos a todas como fachadas verdes y plantear las delimitaciones de la siguiente manera:

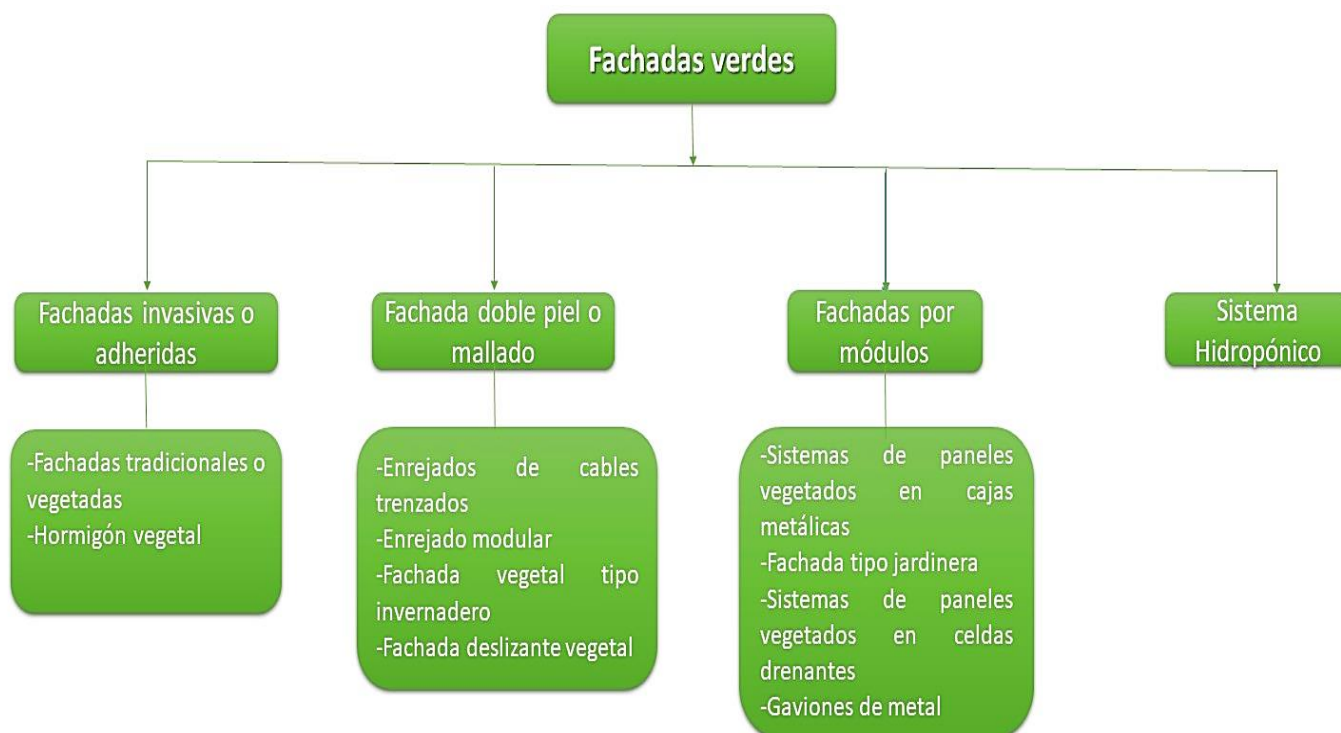


Figura 3. Esquema de clasificación de las Fachadas Verdes

2.1 Fachadas Invasivas

En este grupo se incluyen los diferentes sistemas en los que la vegetación forma parte de la fachada y los elementos para realizar esta tipología son, en algunos casos, relativamente sencillos. Las fachadas verdes de este tipo consisten en que las edificaciones sean cubiertas por plantas trepadoras, tipo hiedras las cuales han desarrollado mecanismos de sujeción y no requieren de apoyo adicional para poder cubrir los paramentos verticales de los edificios.

2.1.1 Fachadas tradicionales



Figura 4. Casa con fachada verde invasiva cubierta de hiedra. Fuente: Escapada Rural

Las fachadas ajardinadas tradicionales son aquellas que el apoyo de las enredaderas son la misma fachada. Las plantas trepadoras pueden secar a otras plantas o árboles si no se las poda adecuadamente, por lo tanto son plantas muy invasivas. Estos tipos de plantas suelen ser de rápido crecimiento, se pueden clasificar entre herbáceas o leñosas. (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015)

En este tipo de fachada se crea una homogeneización de las plantas que crecen desde el terreno y estas van trepando por los paramentos, ya que este, sirve como la estructura de apoyo. Los paramentos contienen los nutrientes necesarios y darán la forma adecuada, para que las plantas crezcan enroscadas a las paredes, esto crea un efecto de continuidad y adaptabilidad del medio y la estructura para las plantas, las cuales son invasivas.

Las especies de hiedras (*Hedera helix*) son las que comúnmente son elegidas en este tipo de fachada para envolver las edificaciones. Las hiedras tienen la facultad de apoyarse en los paramentos mediante sus raíces aéreas las cuales penetran en las grietas y juntas de la pared que trepan. Estas plantas trepadoras son agresivas sobre el paramento vertical, esto se debe a las enredaderas que se adhieren a la fachada, ya que pueden crear humedades o romper alguna parte del cierre.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Sombreamiento: La sombra que produce la vegetación de hojas caducas en las ventanas permite la entrada de luz en invierno al perder la hoja y por el contrario, reduce las cargas de refrigeración, al limitar la ganancia solar en el verano,

Mantenimiento: Requieren un mantenimiento bastante escaso, se basa simplemente en la poda regular de las hojas que crecen frente a las ventanas, por lo que el mantenimiento en si es poco costoso.

Costos e instalación: Esta es la principal ventaja de este tipo de fachadas es el costo y su instalación. En general, es el sistema más barato de fachada vegetal disponible y más fácil de implementar.

➤ DESVENTAJAS

Daños en las fachadas de los edificios: Algunas especies de hiedras se apoyan por raíces aéreas, las cuales pueden penetrar en fisuras, juntas o grietas existentes en la fachada acelerando el proceso de deterioro y degradación de una fachada en mal estado y provocando manchas y marcas en ellas.

Aislamiento térmico: Al tener una inercia térmica tan pequeña el efecto aislante es muy pequeño.

Protección de edificios: La protección contra los elementos atmosféricos es bastante escasa respecto a otros sistemas vegetales.

Evolución de la cobertura en la fachada: Es posible una de las mayores desventajas de dicho sistema puesto que para que se pueda cubrir por completo mediante plantas una fachada se necesitan un numero bastante elevado de años. Por lo que si una de estas plantas muriese, se necesitarían muchos años para llenar el vacío que ha dejado esa planta.

Protección de edificios: La protección contra los elementos atmosféricos es bastante bajo en este tipo de sistemas.

Estética: En este tipo de fachadas vegetal hay una importante limitación en lo que respecta a la libertad artística del proyectista por la limitación en el uso de diferentes especies de plantas para crear patrones y diseños.

2.1.2 Hormigón vegetal



Figura 5. Fachada de hormigón vegetal. Fuente: Vilssa

El hormigón vegetal tiene la capacidad permitir el crecimiento de organismos pigmentados de una manera natural y acelerada. El hormigón vegetal es considerado un hormigón biológico creado a partir de dos materiales a base de cemento. El primero es el hormigón convencional carbonatado (basado en cemento Portland), con el cual obtienen un material de un pH del entorno de 8. El segundo es un cemento de fosfato de magnesio (MPC, del inglés Magnesium-Phosphate Cement), de conglomerante hidráulico en el que no se reduce el pH, ya que es parcialmente ácido.

Este hormigón se comporta como un cimiento biológico natural que sirve para el crecimiento y desarrollo de organismos biológicos en especial algunas familias de microalgas, hongos, líquenes y musgos.

Este hormigón es un elemento multicapa, además de la capa estructural, a esta se le suman tres capas más:

La 1ra es una capa de impermeabilizante situada sobre la estructural, esta protege a la estructura ante el paso del agua.

La 2da capa es la biológica, esta permite la colonización y en su interior se acumulará el agua de las lluvias. Esta capa favorece la retención y dirige la expulsión de la humedad como una microestructura interna ya que facilita el desarrollo de los organismos biológicos.

La última capa sirve de revestimiento, esta tiene forma discontinua y funciona como impermeabilizante inversa; permitiendo la entrada y retención del agua de la lluvia y evitando su pérdida y así, redirigir el agua hacia donde se permite el crecimiento biológico.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Instalación: Este nuevo hormigón sería fácilmente de implementar puesto que es el propio hormigón estructural el que permite la aparición de vegetación.

Ligereza: Es el sistema más ligero puesto que es el propio hormigón el sustrato de la vegetación, no siendo necesaria la colocación de elementos auxiliares para la creación del jardín.

Aislamiento térmico: El hormigón biológico funciona no sólo como material aislante y regulador térmico, sino también como alternativa ornamental, de forma que sirve para decorar la fachada de edificios o la superficie de construcciones con diferentes acabados y tonalidades cromáticas; está pensado para colonizar áreas determinadas, sin necesidad de cubrir toda una misma superficie, y con variedad de colores. La idea es crear una pátina de materia como cobertura biológica o pintura “viva”

Comportamiento ambiental: permite absorber y, por lo tanto, reducir el CO₂ de la atmósfera, gracias al recubrimiento biológico. A la vez, tiene capacidad para captar la radiación solar, lo cual permite regular la conductividad térmica en el interior de los edificios en función de la temperatura lograda.

➤ DESVENTAJAS

Material en estudio por lo que aún se desconocen la permeabilidad, degradación, fisuras y grietas provocadas por las mismas en el hormigón, etc.

2.2 Fachadas de doble piel

La fachada de doble piel tiene como objetivo crear una fachada paralela a la envolvente del edificio, esta separación le permite obtener todos los beneficios que aporta un jardín vertical, y además se mantiene en perfecto estado la fachada original, permitiendo la circulación del aire entre las dos hojas que componen la fachada. (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015)

Este tipo de fachada utiliza como soporte estructural enrejado de acero galvanizado, alambres y mallas, los cuales sirven para el crecimiento de las plantas, de la que tampoco reciben ningún tipo de humedad y nutrientes de ella. El objetivo de este tipo fachadas, es crear una segunda piel o pantalla entre la piel del edificio y el ambiente exterior.

2.2.1 Enrejados de cables trenzados



*Figura 6. Fachada de doble piel de cables trenzados en Lheman College Day Care-Garrison Architects.
Fuente: Inhabitat*

Las fachadas de enrejados de cables trenzados utilizan los cables y varillas de acero inoxidable y piezas de accesorios, que los conforman, como apoyo a plantas trepadoras. Estos elementos modulares pueden ir sujetos a una estructura metálica de montantes verticales y horizontales o anclados a la fachada. O si la fachada no aguantara el peso, con una cimentación independiente. Conseguimos un recubrimiento vegetal continuo pero con piezas modulares.

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y (Navarro Portilla, 2013):

➤ **VENTAJAS**

Mantenimiento: Aunque hay que realizar podas periódicas de las enredaderas, este sistema comparado con otros sistemas el mantenimiento es relativamente barato. Los sistemas incorporan el riego por goteo vertical, sensores y monitorización remota, que permite el riego automáticamente cuando es necesario. Los cables y los accesorios al estar realizados en acero inoxidable son resistente a la intemperie, y cuentan con una larga vida útil, por lo que su mantenimiento a priori es bajo.

Instalación: Es un sistema fácil de instalar y montar. Dicho sistema se adapta a las medidas necesarias para la instalación en el sitio determinado. Bajo el peso propio del sistema. Sistema flexible y ajustable en lo que respecta a las diferentes especies de plantas y las cargas mecánicas previstas.

Costes de inversión: El coste de transporte e instalación es bajo. La relación entre el coste de implantación de dicho sistema comparado con los beneficios ecológicos que proporciona, son buenos.

Comportamiento ambiental: Los beneficios ecológicos son tales como reducción de temperatura ambiente gracias a la sombra que provoca y de evapotranspiración, la captura de contaminantes atmosféricos y gestión de aguas pluviales. En el caso que empleemos plantas de hoja caduca permite la entrada de luz diurna en invierno.

➤ **DESVENTAJAS**

Aislamiento térmico: Al igual que las fachadas vegetales tradicionales el efecto aislante y el incremento de inercia térmica es muy pequeño.

Protección de edificios: La protección contra los elementos atmosféricos no son tan pronunciados en este tipo de fachada verde

Evolución de la cobertura de las plantas: Estamos ante la mayor desventaja puesto que las plantas necesitan un elevado número de años para la conseguir una cobertura total de la fachada. Con el consiguiente problema que si una planta muere, se necesitan muchos años para llenar el vacío que ha dejado esa planta.

Estético: Existe una importante limitación en este tipo de fachadas vegetal en lo que respecta a la libertad artística y el uso de diferentes especies de plantas para crear patrones y diseños, puesto que las tipologías de las plantas están limitadas

2.2.2 Enrejados modulares



Figura 7. Fachada de enrejados modulares. Fuente: Inarquia.

Las fachadas de enrejados modulares, está basado en un sistema tridimensional a base de perfiles y chapa de acero inoxidable, tomando la forma del paramento al cual se le aplique acoplándose en altura y en anchura, anclándose al paramento. Es un sistemas que se basa en rejas rígidas atornilladas en el paramento y si el paramento no pudiera resistir el peso de la fachada verde se puede instalar independiente del paramento portante, esta se componen por estructuras malladas mediante barras de acero galvanizado.

Las plantas en este tipo de fachada son contenidas en un sistema que tienen forma de macetero flotante el cual se ancla al paramento del edificio.

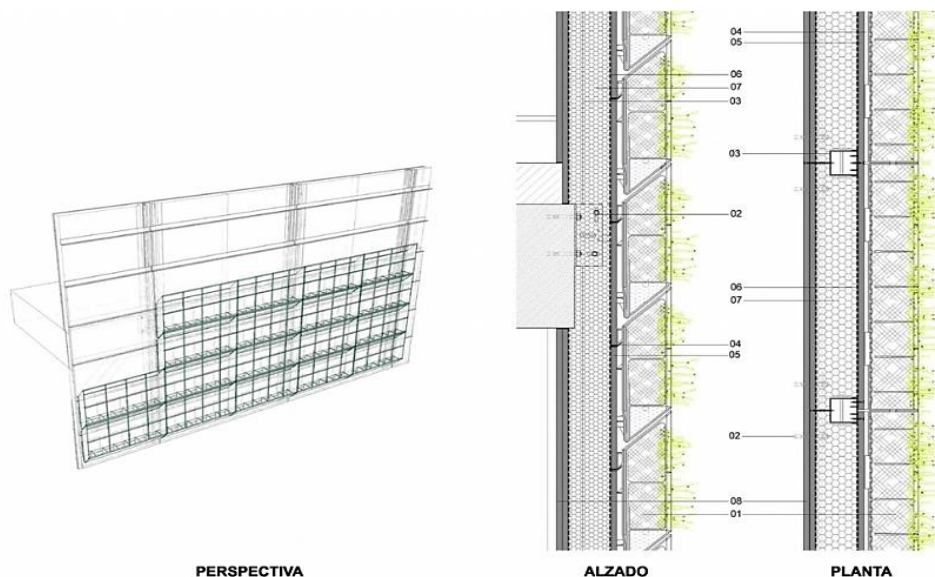


Figura 8. Esquema de la Fachada de enrejados modular. Fuente: Signare.es

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

En la tesis de (Navarro Portilla, 2013) expone que este sistema se compone de cinco elementos:

- **Contenedores:** Los tamaños de los mismos se pueden adaptar a cualquier tamaño o diseño.
- **Recipiente aislado:** son contenedores aislados provistos de cables que proporcionan calor para que el cepellón de la planta no muera por congelación.
- **Mantenimiento:** diseñado para el mantenimiento, los contenedores se pueden montar directamente en la pared o en una pasarela de mantenimiento en situaciones muy altas de instalación.
- **Monitoreo remoto de riego y fertilización:** sistema de riego por goteo computarizado vertical, con sensores de temperatura que permiten el monitoreo remoto de alta eficiencia 24/7 ya que solo se utiliza el agua necesaria.

Este tipo de fachada puede ser implementada en cualquier tipo de estructura ya sea hormigón, de madera, vigas de acero. En fachadas muy altas se puede utilizar un sistema de pasarela que permita la retirada de envases cuando estos se hayan estropeado.

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Mantenimiento: Aunque hay que realizar podas periódicas de las enredaderas, este sistema comparado con otros sistemas el mantenimiento es relativamente barato. Los sistemas incorporan el riego por goteo vertical, sensores y monitorización remota, que permite el riego automáticamente cuando es necesario. El sistema y los accesorios al estar realizados en materiales resistentes a la intemperie, y cuentan con una larga vida útil, por lo que su mantenimiento a priori es bajo.

Instalación: Las medidas de módulos pueden adaptar sus medidas por necesidades de diseño o tamaño. El sistema está diseñado para ser montado en estructuras de hormigón, madera o acero, permitiendo montar un sistema pasarelas en instalaciones a gran altura.

Permite la eliminación de contenedores para su inspección, según sea necesario. Como los contenedores ya llevan instaladas plantas pre-cultivadas y con un crecimiento ya avanzado no hay que esperar a que la planta crezca como en otros sistemas.

Costes de inversión: El coste de transporte e instalación es bajo. La relación entre el coste de implantación de dicho sistema comparado con los beneficios ecológicos que proporciona, son buenos.

Comportamiento ambiental: Los beneficios ecológicos son tales como reducción de temperatura ambiente gracias a la sombra que provoca y de evapotranspiración, la captura de contaminantes atmosféricos y gestión de aguas pluviales. En el caso que empleemos plantas de hoja caduca permite la entrada de luz diurna en invierno.

➤ **DESVENTAJAS**

Aislamiento térmico: Al igual que las fachadas vegetales tradicionales el efecto aislante y el incremento de inercia térmica es muy pequeño.

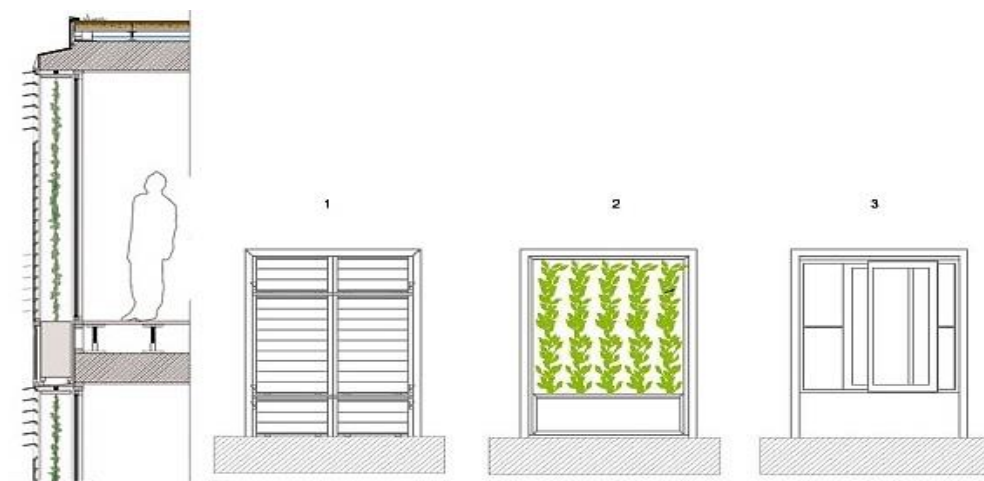
Protección de edificios: La protección contra los elementos atmosféricos no son tan pronunciados en este tipo de fachada verde

Evolución de la cobertura de las plantas: Estamos ante la mayor desventaja puesto que las plantas necesitan un elevado número de años para la conseguir una cobertura total de la fachada. Este sistema mejora la situación con respecto a las fachadas tradicionales puesto que este sistema implanta ya plantas crecidas aun así para llegar a una cobertura total han de pasar bastantes años para llenar el vacío que ha dejado esa planta.

Estético: Existe una importante limitación en este tipo de fachadas vegetal en lo que respecta a la libertad artística y el uso de diferentes especies de plantas para crear patrones y diseños, puesto que las tipologías de las plantas están limitadas.

2.2.3 Fachada invernadero verde

La fachada invernadero funciona como ventilación térmica y de protección al sol, y lo interesante de este sistema es la optimización de las cualidades de confort del edificio. En verano, debido a la densidad de las plantas se obstruye la radiación directa del sol lo que en consecuencia proporciona ahorro energético en la refrigeración de la edificación. En invierno, el accionar de las plantas al caer las hojas de estas, permitiendo así, una entrada más directa de radiación solar, lo que genera un mejor ambiente térmico interior.



- 01) Capa interior: ventana corredera
- 02) Capa intermedia: vegetal.
- 03) Capa exterior: sistema de lamas.

Figura 9. Esquema de las capas de la fachada tipo invernadero. Fuente: Signare.es

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Este sistema se compone de tres capas mediando entre el interior y el exterior:

Capa interior: Es una ventana corredera de dos hojas modelo Technal (1420 x 1410 mm) de carpintería metálica y acristalamiento doble de vidrio (espesor 14 mm) con cámara de aire (espesor 12 mm).

Capa intermedia vegetal: esta capa está compuesto por jardinera metálica (1,50 x 0,50 x 0,40 m) con sistema de riego automático por inmersión y control por temporizador, cableado de acero de desarrollo helicoidal como soporte de especies de plantas y bastidor metálico con ensamblajes mediante tornillería metálica. Las plantas crecen en módulos tipo cajas hechas con placas celulares rígidas de polipropileno (reciclado y reutilizable) donde se aloja el sustrato que nutre a las plantas.

Capa exterior: Es un cerramiento modelo Technal con un diseño en forma de entramado de lamas basculantes de policarbonato en masa de 5 mm de vidrio, adosadas a un bastidor de aluminio. Todo es manejado a través de un sistema domótico que se activa desde el interior de la vivienda.

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Comportamiento ambiental: La fachada vegetal puede proporcionar ventilación higiénica, ventilación térmica y protección solar.

En verano, la vegetación consigue una obstrucción de la radiación solar, con el consecuente ahorro en refrigeración.

El aire exterior atraviesa la lámina vegetal húmeda, enfriando unos grados el ambiente interior.

En invierno, la capa intermedia vegetal al ser caduca pierde las hojas, permitiendo la entrada de radiación solar, lo que aporta una mejora de las prestaciones térmicas del ambiente interior. Además, el conjunto puede funcionar como un invernadero, calentando el flujo de aire de forma pasiva, suponiendo en ambos casos, un ahorro energético.

Estético: Este sistema es un nuevo tipo de muro, que dota al edificio de una destacada y novedosa estética arquitectónica tanto desde el interior del edificio ya se producen unas agradables vistas como para el exterior mejorando el entorno del edificio.

Instalación: Estar basado en sistemas modulares permite una rápida instalación y estandarización facilitando la puesta en obra tratándose además de puesta en obra seca.

➤ DESVENTAJAS

Este sistema de fachada se encuentra todavía en fase de estudio y desarrollo habiéndose implantado en edificios donde se está estudiando dicho sistema.

2.3 Fachadas modulares

Las fachadas modulares son estructuras ligeras, ancladas a los paramentos de la edificación o estructura paralela en caso de que el paramento portante no pueda resistir el peso de la fachada modula.

Dichos paneles son carcasas de forma rectangular, en forma de malla, de caja acero, celdas de polietileno o poliresinas, según el fabricante y modelo. En cuyo interior se deposita los sustratos necesarios para la planta y se procede a la plantación de las mismas. Los sistema de riego, por goteo, se colocan por encima de cada panel confundiendo al final con el crecimiento de la planta (Navarro Portilla, 2013).

2.3.1 Fachada de paneles verdes en cajas metálicas

La fachada de paneles verdes en caja metálica es un sistema en forma modular. Los paneles tienen módulos de 60 x 60 cm en forma de cajas metálicas hechas de poliestireno extruido. Estos tipos de fachada están diseñados para desmontarse de manera fácil y rápida, esto es debido a la estructura metálica de anclaje, en conjunto con un soporte vertical alojado en el cerramiento. También, con una cámara de aire de 80 mm que se encuentra entre los paneles vegetales y la capa de aislante fijada en la superficie más exterior del muro, con esto se pretende lograr un mayor desempeño térmico y energético de la fachada.

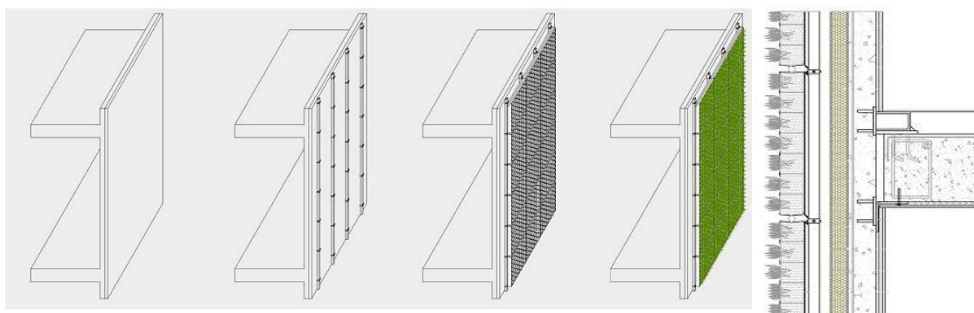


Figura 10. Esquema de Fachada de paneles verdes en cajas metálicas. Fuente: habitat.aq.upm.es

La caja metálica en su interior contiene el sustrato envuelto en un geotextil que permita el paso del agua e impida la pérdida de este, así las plantas se nutren. Las cajas al ser metálicas se les imprimen un tratamiento anticorrosivo para evitar, que por su exposición a la humedad generada por la evaporación del agua por parte de las plantas y del propio sistema, estas se estropeen con mayor facilidad.

Los paneles y el paramento del edificio se unen por medio de una estructura portante conformadas de montantes y travesaños. Detrás del panel vegetal se encuentran unos anclajes que se enganchan a una estructura horizontal secundaria dispuesta sobre la perfilera vertical. Las uniones tienen la capacidad de resistir los efectos del viento e impactos a esta.

En este tipo de fachas se utiliza riego por goteo y está constituido por tuberías de 16 mm ubicadas en la parte superior de cada panel vegetal.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Cubrición vegetal: Con este tipo de sistema se pueden utilizar plantas ya desarrolladas por lo que se pueden sustituir plantas muertas sin tener que esperar luego a que se desarrolle en la fachada.

Comportamiento ambiental: Este sistema presenta unos buenos beneficios ecológicos como son el aislamiento acústico y térmico, protección de edificios y gestión de aguas, son muy pronunciados. Es más, los hongos y bacterias incluidas en el sustrato actúan sobre la contaminación, ya estos se depositan las partículas y los metales pesados aprovechándolos o metabolizándolos.

Implantación: Al ser sistemas basados en sistemas modulares, permite altos niveles de estandarización de los diversos elementos constructivos que los componen, asimismo facilita la puesta en obra y el montaje del sistema. Los sistemas modulares son los más apropiados para instalaciones temporales. Las celdas al ser individuales son fáciles de instalar, reemplazar y eliminar.

Aislamiento térmico: Este tipo de sistemas funcionan de forma análoga a una fachada ventilada, obteniendo el aislamiento de las edificaciones eliminando puentes térmicos, así como, problemas de condensaciones, obteniendo de esta manera un magnífico comportamiento térmico.

Protección del edificio: Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones ultravioletas, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.

➤ DESVENTAJAS

Inversión inicial: Al tratarse de sistemas complejos puesto que lleva un sobrecoste en cuanto a diseño y montaje de la misma.

Peso: Este tipo de sistema tiene un hándicap del peso, estos sistemas pueden llegar a pesar 150 kg/m², por lo que hay que tener en cuenta a la hora de integrar este sistema en la fachada a tratar. Esta es una diferencia sustancial en comparación con los 30/35 kg/m² que alcanzan los sistemas hidropónicos.

Diversidad de la vegetación: En estos sistemas el principal problema es que el espacio disponible para el desarrollo de las raíces, el cual es muy limitado. Por lo que, sólo se pueden utilizar plantas de pequeño tamaño y arbustivo. Esto reduce la diversidad y el potencial para recrear ecosistemas naturales.

Mantenimiento: Al tratarse de sistemas complejos, los gastos de mantenimiento, este aspecto condiciona los gastos de mantenimiento, al requerir mayores esfuerzos y costes una vez implantado el sistema. Con frecuencia los paneles deben ser reemplazados, ya que algunas plantas no prosperan en estas condiciones, es más durante las tormentas y fuertes lluvias, pueden lavar el sustrato y dejar expuesta las raíces de las plantas.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Corrosión: Este sistema de cajas metálicas necesita un tratamiento para evitar la corrosión al estar continuamente expuesto a la humedad generada por el propio sistema de riego.

Estética: en general los sistemas que se componen de paneles tienden a tener un aspecto muy geométrico y artificial.

2.3.2 Fachadas verdes tipo jardineras



Figura 11. Fachada tipo jardinera de edificio Planeta de Barcelona. Fuente: cursosdesdecasa.com

Las fachadas ajardinadas son parte de la fachada del edificio, en esta se disponen jardineras continuas perimetrales en las que se plantan especies de porte colgado formando así una cortina verde en la fachada. Estas jardineras están incluidas normalmente dentro del diseño de todo el edificio ya que constituyen un peso importante.

Un ejemplo de este sistema es el edificio Planeta de la Avenida Diagonal. Consta de un pasillo de aproximadamente un metro que rodea en todo el edificio que es para realizar las tareas de mantenimiento. Esto facilita que la vegetación siempre esté en buen estado y se puedan sustituir de una manera fácil (Turrillo Elbal & Ruiz Daza, 2016).

Las jardineras están impermeabilizadas, estas tampoco están en contacto directo con el resto de los elementos que conforman los paramentos de cierre del edificio, evitando así problemas de humedades, corrosión, etc. de estos elementos.

La puesta en obra de las jardineras dependerá del diseño que se haya realizado del edificio. Los principales factores que se deben tener en cuenta son que sean totalmente impermeables y que no provoquen pérdidas de agua ni humedades. También se debe tener en cuenta los posibles refuerzos de la estructura por el sobrepeso que deberá soportar (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015).

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

➤ VENTAJAS

Cubrición vegetal: Con este tipo de sistema se pueden utilizar plantas ya desarrolladas por lo que se pueden sustituir plantas muertas sin tener que esperar luego a que se desarrolle en la fachada.

Estética: es un diseño elegante y con ideales decorativos hay más variedad de plantas en la fachada

Los sistemas constructivos con jardineras representan una manera económica para proyectar e incluir la vegetación en la arquitectura

Comportamiento térmico: Debido a las plantaciones extensas el impacto térmico es mitigado, además de que debido a la implementación de este, favorece la iluminación natural y la ventilación en todo el edificio. Y debido a que las plantas casi siempre son colgantes generan el efecto de sombra. Es un sistema que optimiza, recupera y produce energía, ayuda a la creación de un microclima y al filtrado de las partículas de polvo existentes en el entorno urbano ya que Milán es la ciudad de Europa con mayor contaminación ambiental. El riego casi siempre está pensado para que se realice a través del filtrado y la reutilización de las aguas negras generadas por el edificio

➤ DESVENTAJAS

La puesta en obra de las jardineras dependerá del diseño que se haya realizado del edificio.

Los principales factores a tener en cuenta son que sean totalmente impermeables y que no provoquen pérdidas de agua ni humedades.

También se debe tener en cuenta los posibles refuerzos de la estructura por el sobrepeso que deberá soportar.

Mantenimiento: Para el mantenimiento de este sistema se ha cuidado de los arbustos, regar continuamente, y hacer las podas y limpiezas que sean necesario. Hay que tener en cuenta cuando haya fuertes lluvias, ya que pueden lavar el sustrato y dejar expuesta las raíces de las plantas. Se aconseja que todos los materiales metálicos de los paneles sean en acero inoxidable o galvanizar para evitar la corrosión del sistema.

2.3.3 Sistemas de celdas verdes drenantes



Figura 12. Fachada tipo sistema de celdas verdes drenantes antes y después de la implantación de las plantas. Fuente: Drenaje Sostenible

Las fachadas verdes de celdas drenantes están hechos con celdas Atlantis de polipropileno, que contienen una porosidad del 90%. Los huecos contienen un sustrato previamente estudiado. El sistema se cubre con un fieltro de lana de 2 mm de espesor, con una densidad de 0,55 g/cm³. Este es de aspecto compacto en paralelo a la fachada, de forma que la cara amplia del sistema este a la vista. Sobre esta cara se hacen huecos en el fieltro para introducir las especies de plantas, que son irrigadas mediante un sistema de goteo; consiste en aplicar pequeñas cantidades de agua en zonas localizadas, en este caso, sobre cada panel.



Figura 13. Tipos de módulos de paneles vegetados de celdas Atlantis. Fuente: Drenaje sostenible

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Las características de este sistema son las celdas de sustrato que son muy parecidas a las de contenedores de sustrato, la única diferencia es que la apertura del sustrato en el exterior ofrece una mejor ventilación y aumenta las posibilidades del sistema riego. Los paneles vegetados en celdas drenantes están formados por celdas de polipropileno, con una porosidad del 90% (Ramos Garcia & Gironès Pous, 2015).

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Cubrición vegetal: Con este tipo de sistema se pueden utilizar plantas ya desarrolladas por lo que se pueden sustituir plantas muertas sin tener que esperar luego a que se desarrolle en la fachada.

Comportamiento ambiental: Este sistema presenta unos buenos beneficios ecológicos como son el aislamiento acústico y térmico, protección de edificios y gestión de aguas, son muy pronunciados. Es más los hongos y bacterias incluidas en el sustrato actúan sobre la contaminación, ya estos se depositan las partículas y los metales pesados aprovechándolos o metabolizándolos.

Implantación: Al ser sistemas basados en sistemas modulares, permite altos niveles de estandarización de los diversos elementos constructivos que los componen, asimismo facilita la puesta en obra y el montaje del sistema. Los sistemas modulares son los más apropiados para instalaciones temporales. Las celdas al ser individuales son fáciles de instalar, reemplazar y eliminar.

Aislamiento térmico: Este tipos de sistemas funcionan de forma análoga a una fachada ventilada, obteniendo el aislamiento de las edificaciones eliminando puentes térmicos, así como, problemas de condensaciones, obteniendo de esta manera un magnifico comportamiento térmico.

Protección del edificio: Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones solares, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.

Reciclaje: Los sistemas que utiliza celdas fabricadas con poliresinas polipropileno o polietileno se pueden recuperar, reciclar y reutilizar.

➤ DESVENTAJAS

Inversión inicial: Al tratarse de sistemas complejos puesto que lleva un sobrecoste en cuanto a diseño y montaje de la misma.

Peso: Este tipo de sistema tiene un hándicap del peso, estos sistemas pueden llegar a pesar 150 kg/m², por lo que hay que tener en cuenta a la hora de integrar este sistema en la fachada a tratar. Esta es una diferencia sustancial en comparación con los 30/35 kg/m² que alcanzan los sistemas hidropónicos.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Diversidad de la vegetación: En estos sistemas el principal problema es que el espacio disponible para el desarrollo de las raíces, el cual es muy limitado. Por lo que, sólo se pueden utilizar plantas de pequeño tamaño y arbustivo. Esto reduce la diversidad y el potencial para recrear ecosistemas naturales.

Mantenimiento: Al tratarse de sistemas complejos, los gastos de mantenimiento, al requerir mayores esfuerzos y costes una vez implantado el sistema. Con frecuencia los paneles deben ser reemplazados, ya que algunas plantas no prosperan en estas condiciones, es más durante las tormentas y fuertes lluvias, pueden lavar el sustrato y dejar expuesta las raíces de las plantas.

Corrosión: Este sistema de cajas metálicas necesita un tratamiento para evitar la corrosión al estar continuamente expuesto a la humedad generada por el propio sistema de riego.

Estética: en general los sistemas que se componen de paneles tienden a tener un aspecto muy geométrico y artificial.

2.3.4 Fachadas verdes tipo Gaviones de metal

Las fachadas tipo gaviones es una solución industrializada a partir de módulos, la cual consiste en módulos de 55 x 55 cm de malla electro soldada con piedras y los elementos que contribuyan al crecimiento y mantenimiento de las plantas que contengan. Su composición se basa

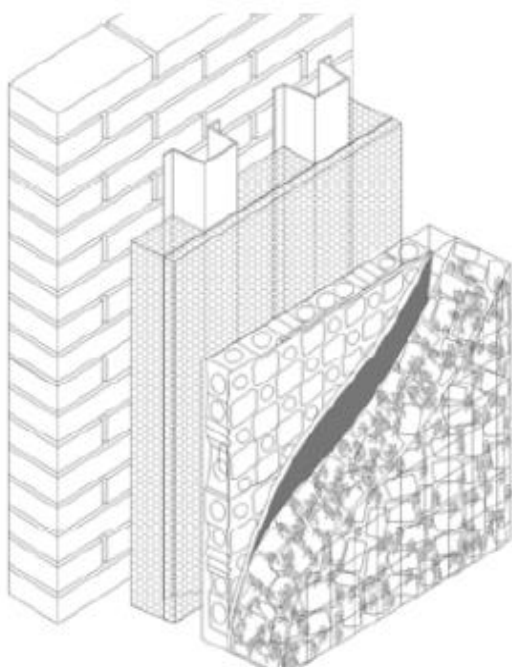


Figura 14. Esquema de fachada tipo gaviones.
Fuente: .i-ambiente.es

- Una malla metálica de acero inoxidable
- piedra
- celda de drenaje de polipropileno con sustrato
- vegetación
- aislamiento
- una estructura metálica galvanizada

Las piedras se encuentran dentro de la malla metálica. Estas para evitar el deterioramiento se le deben de imprimir un tratamiento anticorrosivo, de zinc y aluminio, para protegerla de la intemperie. Su abertura y su diámetro están condicionado a la resistencia del gavión, ya que si la abertura es mayor que la requerida, la resistencia por metro cuadrado será menor.

La malla tiene aberturas de 50 x 50 mm. Las caras del gavión están vinculadas a través de grapas de alambre de alta resistencia 3 mm de espesor con 255 g/m². Cada 20 cm hay que

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

colocar tensores de alambre galvanizado de 4 mm; estos tensores vinculan las caras, para así evitar deformaciones y también, proporcionan compacidad al gavión. Las grapas permiten ensamblar los paneles del gavión entre sí para conformar la pieza como una sola.

Se utilizan especies rupícolas (vegetación que crece entre las piedras) debido a que su incorporación mejora el comportamiento del muro, cambiando de aspecto con el curso de las temporadas, aumentando la humedad ambiental y disminuyendo la temperatura del aire. Por otro lado, la vegetación también actúa sobre la contaminación, siendo las partículas y los metales pesados depositados aprovechados o metabolizados por la micro-flora (hongos y bacterias) incluidas en el sustrato. La presencia de especies vegetales genera brisas que refrescan el ambiente alrededor de las viviendas: al refrescar la temperatura se genera un flujo de aire, ya que el desequilibrio entre pequeñas masas de aire a diferente temperatura y por tanto diferente densidad, genera esta circulación natural. En el caso de orientaciones muy expuestas a fuertes vientos reducen la velocidad del viento en la proximidad del muro (Navarro Portilla, 2013).

Para que las plantas crezcan y se mantengan, las raíces tienen que estar sumergida en el interior de un sustrato que contenga los nutrientes. Dentro del gavión se coloca una celda de drenaje tipo Atlantis (sustituible por una caja metálica) que posee huecos que permiten la introducción de humus, polímeros hidro-absorbentes de sales potásicas y vermiculita.

Los gaviones se colocan sobre el paramento de la edificación existente a través de una estructura auxiliar. Sobre la estructura porticada de las edificaciones se anclan químicamente unos perfiles verticales omega de acero galvanizado.

A esta fachada funcionar como a una fachada ventilada, hay un incremento en el aislamiento del edificio portante eliminando puentes térmicos y los problemas de condensaciones, dando como resultado un excelente comportamiento térmico.

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Cubrición vegetal: Con este tipo de sistema se pueden utilizar plantas ya desarrolladas por lo que se pueden sustituir plantas muertas sin tener que esperar luego a que se desarrolle en la fachada.

Comportamiento ambiental: Este sistema presenta unos buenos beneficios ecológicos como son el aislamiento acústico y térmico, protección de edificios y gestión de aguas, son muy pronunciados. Es más, los hongos y bacterias incluidas en el sustrato actúan sobre la contaminación, ya estos se depositan las partículas y los metales pesados aprovechándolos o metabolizándolos.

Implantación: Al ser sistemas basados en sistemas modulares, permite altos niveles de estandarización de los diversos elementos constructivos que los componen, asimismo facilita la puesta en obra y el montaje del sistema. Los sistemas modulares son los más apropiados para instalaciones temporales. Las celdas al ser individuales son fáciles de instalar, reemplazar y eliminar.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Aislamiento térmico: Estos tipos de sistemas funcionan de forma análoga a una fachada ventilada, obteniendo el aislamiento de las edificaciones eliminando puentes térmicos, así como, problemas de condensaciones, obteniendo de esta manera un magnifico comportamiento térmico.

Protección del edificio: Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones solares, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.

➤ DESVENTAJAS

Inversión inicial: Al tratarse de sistemas complejos puesto que lleva un sobre coste en cuanto a diseño y montaje de la misma.

Peso: Este tipo de sistema tiene un hándicap del peso, estos sistemas pueden llegar a pesar 150 kg/m², por lo que hay que tener en cuenta a la hora de integrar este sistema en la fachada a tratar. Esta es una diferencia sustancial en comparación con los 30/35 kg/m² que alcanzan los sistemas hidropónicos.

Diversidad de la vegetación: Solo utilizan especies rupícolas; vegetación que crece entre las piedras por lo que la elección de plantas está limitada

Corrosión: Este sistema de cajas metálicas necesita un tratamiento para evitar la corrosión al estar continuamente expuesto a la humedad generada por el propio sistema de riego.

Estética: en general los sistemas que se componen de paneles tienden a tener un aspecto muy geométrico y artificial.

2.4 Sistemas hidropónicos



*Figura 15. Fachada de sistema hidropónico, edificio Quai Branli Museum, en Paris, hecho por Patrick Blanc.
Fuente: i-ambiente.es*

El sistema hidropónico consiste en instalaciones de láminas que propician el crecimiento de las plantas y de un sistema de riego automatizado y con capacidad de recirculación de agua. El sistema de riego consiste en que el agua caerá desde la parte superior de la fachada verde e irá humedeciendo y escurriendo hasta una canaleta de recogida, la cual tendrá una cesta para recogida de impurezas y desde la canaleta conducirá el agua sobrante a un depósito enterrado desde donde un equipo de bombas recirculará el agua de riego a la plantación vertical (si se quiere). Mediante el proceso de recirculación las bombas peristálticas proporcionarán abono y fertilizante al agua de riego. El agua se repondrá debido a un depósito enterrado alimentado por un equipo de ósmosis inversa conectado mediante acometida a la red pública de agua.

El sistema está conformado por unas láminas, las cuales permiten el crecimiento de las plantas. Para la instalación de estas láminas será necesario un enrastrelado de aluminio de 40x20x2 mm sobre el paramento portante, el cual ha de ser previamente impermeabilizado.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

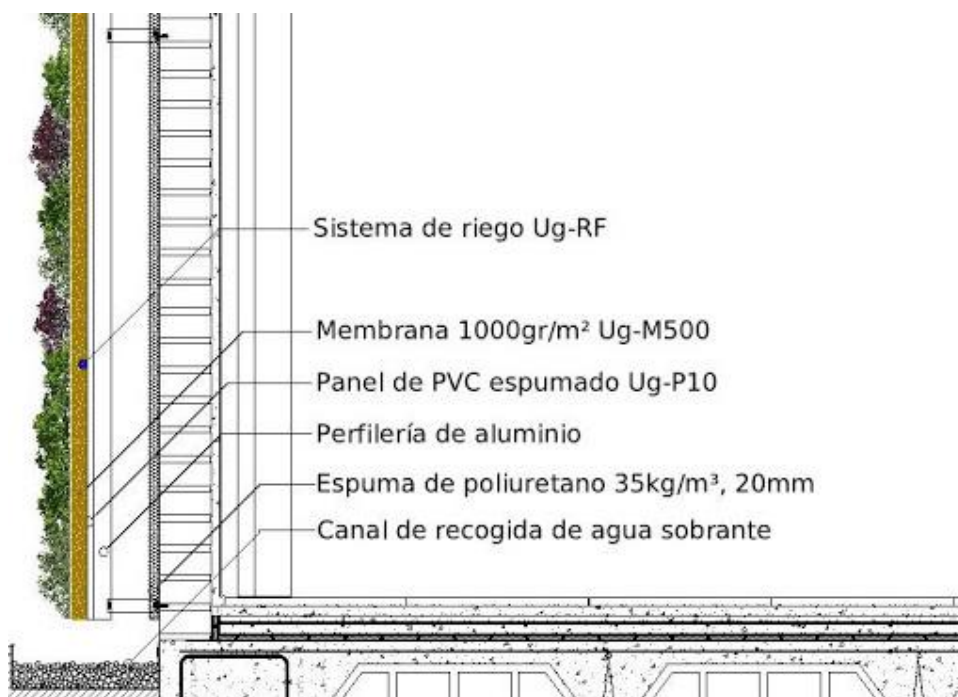


Figura 16. Esquema de sistema hidropónicas tipo F+P. Fuente: Alicante Forestal

El entrelastrelado está sujeto mediante tornillos galvanizados de 5 mm de área; posteriormente se le colocará una capa de panel aminoplástico P-URB 750 de 10 mm de espesor sujeto con remaches de aluminio de alta tracción cada 40 cm y capa superior de polifiltro fitogenerante pH P-URB 700 de 3 mm de espesor. Sobre todo este conjunto se realizará la plantación de especies acorde al lugar y climatología local.

Este tipo de fachada tiene las siguientes ventajas y desventajas (Navarro Portilla, 2013):

➤ VENTAJAS

Ligereza: Estos tipos de sistemas son los más ligeros del mercado, aproximadamente el peso por metro cuadrado terminado de jardín vertical es de 30Kg/m², frente a los 150 Kg/m² de los otros sistemas es un gran avance.

Sustitución de la vegetación: Una gran ventaja respecto a los otros sistemas ya que son plantas independientes cada una de ellas ubicadas en una especie de bolsitas creadas en el filtro permitiendo por tanto la sustitución individual de cada una.

Innovación: La innovación principal de este sistema consiste en usar el sistema de cultivo hidropónico el cual se elimina la tierra de las plantas ya que estas son alimentadas mediante fertilizantes incluidos dentro del riego. Así mismo se evitan la aparición de insectos mediante la inclusión en el goteo de productos naturales que evitan la aparición de los mismos

Comportamiento ambiental: Permite crear un entorno con gran similitud a entornos naturales. Gran efecto de aislamiento térmico en invierno. En verano reducen la temperatura ambiente a través de procesos de sombra y de evapotranspiración. Las hojas, las raíces y los microorganismos asociados a ellas limpiar el aire al capturar de contaminantes atmosféricos. Ayudan a la gestión de las aguas pluviales al transformar superficies impermeables creadas

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

por el hombre. Requieren menos agua que las plantas regadas por métodos tradicionales, ya que el riego se dirige directamente a las raíces de las plantas.

Protección del edificio: Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones solares, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.

Estética: Esta es una de las principales ventajas del sistema puesto que permite emplear numerosas tipologías de plantas. Esto es así porque las raíces de las plantas tienen libertad para crecer a lo largo del sistema y no en un espacio limitado, como los sistemas de cajas modulares. Tener acceso a esa variedad permite muchas posibilidades de diseño y libertad artística. Por lo que de cara al gran público, tiene un mayor atractivo estético.

➤ **DESVENTAJAS**

Instalación: Requiere una cuidadosa instalación por parte de personal cualificado

Inversión inicial: Este tipo de sistemas tienen un alto coste de implantación al ser sistemas bastante complejos que necesitan equipos de riego, depósitos, equipos de osmosis bombas de impulsión, etc.

Mantenimiento: Estos sistemas requieren de mucho mantenimiento. Las plantas al alimentarse mediante cultivo hidropónico necesitan estar monitorizadas contralando los niveles del PH y la conductividad para que permanezcan en equilibrio. El problema de estos sistemas es que si se produce un fallo eléctrico el sistema de goteo deja de funcionar siendo la vida útil de las plantas si estar alimentadas mediante el goteo de aproximadamente dos días. Lo que implica el mantenimiento de una empresa especializada que sea capaz de actuar en estos

III. ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE FACHADA VERDE EN REPÚBLICA DOMINICANA

3.1 REPÚBLICA DOMINICANA

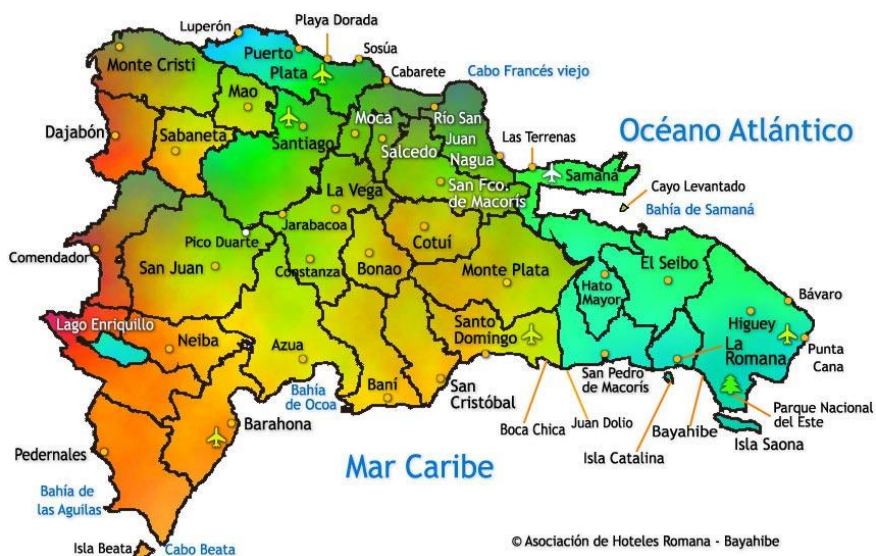


Figura 17. Mapa de República Dominicana. Fuente: Dominicana online.org

República Dominicana es un país del Caribe que comparte la isla La Española (denominada así por el Almirante Cristóbal Colón en 1492) con Haití. Está ubicado en la zona central de las Antillas; este es uno de los trece países que forman la América Insular, Antillas o Islas del mar Caribe y uno de los treinta y cinco del continente americano.



Figura 18. Mapa de República Dominicana con sus límites máximos. Fuente: Marcano.com

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Su capital y ciudad más poblada es Santo Domingo. Limita al norte con el océano Atlántico, al este con el Canal de la Mona, que lo separa de Puerto Rico, al sur con el mar Caribe, y al oeste con Haití. De los 76,480 km² que tiene la isla; la República Dominicana ocupa 48,730 km², lo que equivale a dos tercios de la isla. Con un perímetro de 1,963 km (1,575 km de costa y 488 km de frontera con Haití). Según el portal del estado Dominicano (Dominican. Gob, 2018) como cifras de longitud y anchura:

- La primera, del Cabo Engaño al extremo más occidental de la línea fronteriza (Las Cajas) a 390 kilómetros.
- Del cabo Isabela al cabo Beata es de 265 kilómetros; y además 390 kilómetros de la línea fronteriza, que con 1,576 kilómetros de costa, completan las medidas de contorno, longitud y anchura de nuestro territorio.

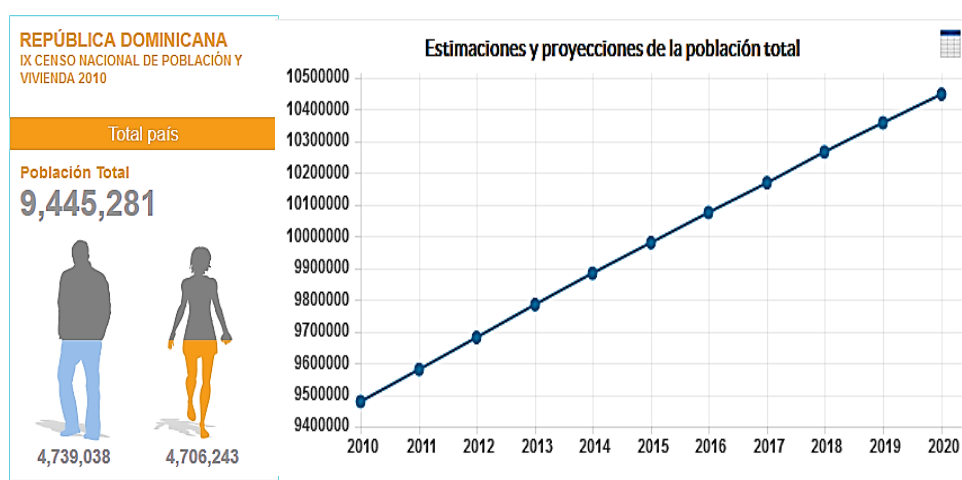


Figura 19. Esquema de la población en República Dominicana. Fuente: ONE

Según la Oficina Nacional de Estadísticas (Estadística(ONE), 2012) esta tiene una población de 9,445,281, de las cuales 49.83% son mujeres y 50.17% son hombres, como pueden observar en la Figura 19. El 74.4% de la población está concentrada en zona urbana y el 25.6% de la población vive en la zona rural.

3.1.1 Perfil Climático de República Dominicana

Debido a su ubicación geográfica la República Dominicana tiene un clima predominantemente tropical y donde las lluvias son abundantes, una temperatura media entre los 25–30°C, pues las cálidas aguas del mar Caribe y el océano Atlántico la rodean y le proporcionan moderadas temperaturas y precipitaciones durante todo el año. Las variaciones climáticas oscilan desde semiárido a muy húmedo. Su latitud y los sistemas de presión prevaecientes, influidos por el sistema del Atlántico medio, que tiene altas presiones, hacen su clima similar al de las otras Antillas Mayores (Cuba, Jamaica, Puerto Rico).

Existen normalmente dos estaciones de lluvias: la de abril a junio y la de septiembre a noviembre. Generalmente el período de diciembre a marzo es el menos lluvioso. El país se encuentra en una región caracterizada por tormentas tropicales y, entre los meses de agosto y noviembre, puede experimentar daños ocasionados por fuertes vientos, lluvias y mareas altas. Los meses más frescos

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

son Enero y Febrero y el más cálido es Agosto. En cuanto los meses más secos (los comprendidos entre noviembre y abril); donde se registran menos precipitaciones, son los considerados de temperaturas más frescas.

Tabla 2. Resumen de los ciclones y tormentas en República Dominicana. Fuente: (Toribio, 2013)

Ciclón Tropical	Categoría	Vientos máximos
San Zenón	H4	248 Km/h
David	H5	280 Km/h
George	H3	200 Km/h
Noel	Tormenta Tropical	111 Km/h
Olga	Tormenta Tropical	93 Km/h

El paso de huracanes en promedio ocurre uno cada 7–8 años y una tormenta tropical cada 4 años e inundaciones. Su temporada comprende desde a partir del 1 de junio y hasta finales del mes de noviembre (aunque ha habido casos extraordinarios que han pasado en diciembre). Según la NOAA (Administration), 2017), la temporada de huracanes tiene de 9 a 12 tormentas, de las cuales de 5 a 7 alcanzan la fuerza de Huracán.

Según (Jmarcano, 2018) la duración del día (tiempo que permanece el sol sobre el horizonte) oscila entre 11 y 13 horas, dada nuestra latitud o cercanía al Ecuador. El siguiente cuadro muestra la duración promedio del día para cada mes, en los paralelos 18, 19 y 20 de latitud Norte.

Tabla 3. Promedio de horas diurnas por mes. Fuente: (Jmarcano, 2018)

Promedio de Horas diurnas por mes												
Latitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
18°	11.10	11.34	12.02	12.33	12.54	13.13	13.06	12.45	12.14	11.45	11.17	11.04
19°	11.12	11.53	12.02	12.57	13.02	13.27	13.17	12.78	12.25	11.72	11.25	11.00
20°	11.03	11.30	12.01	12.36	13.05	13.20	13.14	12.49	12.16	11.42	11.11	10.56

La insolación (número de horas con sol brillante) oscila entre 6 horas, para diciembre-enero, a 7 horas, para marzo-agosto. Y la insolación media anual es de un 50% de la posible.

Según la Comisión Nacional de Energía de República Dominicana (CNE, 2015) la radiación solar global (radiación solar promedio sobre una superficie horizontal) varía entre 5.25 y 5.50 kWh/m²/día en la mitad oriental del país y 5.50 y 5.75 a 6.00 kWh/m²/día en la segunda mitad occidental. En el 2017 según (Weatherspark, 2018) los meses de mayor radiación solar fueron desde comienzos de marcos a principios de mayo, siendo el 14 de abril día mayor radiación solar con 6,9 kWh; y los de menor fueron desde septiembre a enero, siendo el 6 de octubre con menor radiación solar con 4,6 kWh.

Según la Oficina Nacional de Meteorología de República Dominicana la temperatura del año 2017 oscilo (Meteorologia), 2017) con temperaturas máxima entre 28°C y 32°C y mínima entre 20°C y 22°C.

Debido a las características geográficas ya explicadas, la República Dominicana se ha beneficiado de los vientos alisios que provienen del noroeste, para mitigar los efectos del calor que provienen del sol tropical y de la humedad durante todo el año. El promedio de la velocidad del viento anual es de 10.7 Km/h (Figura 20).

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

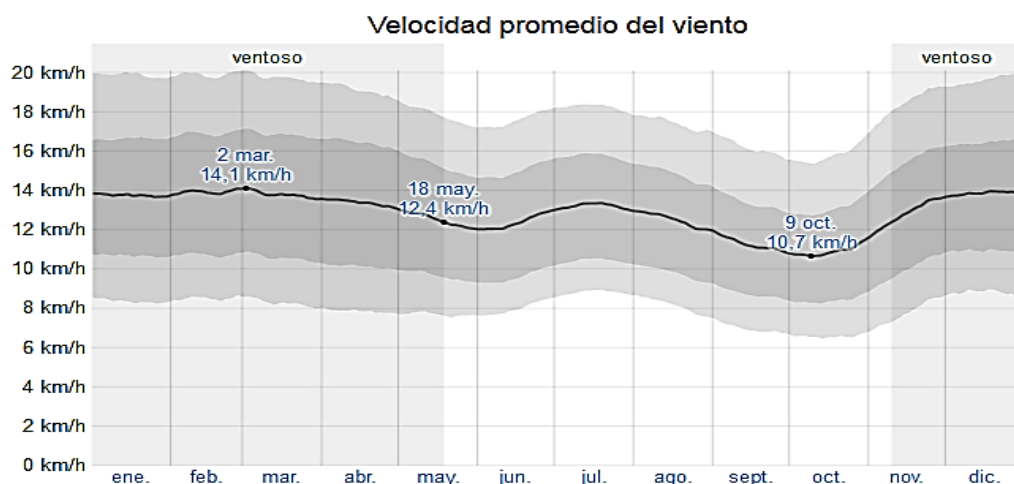
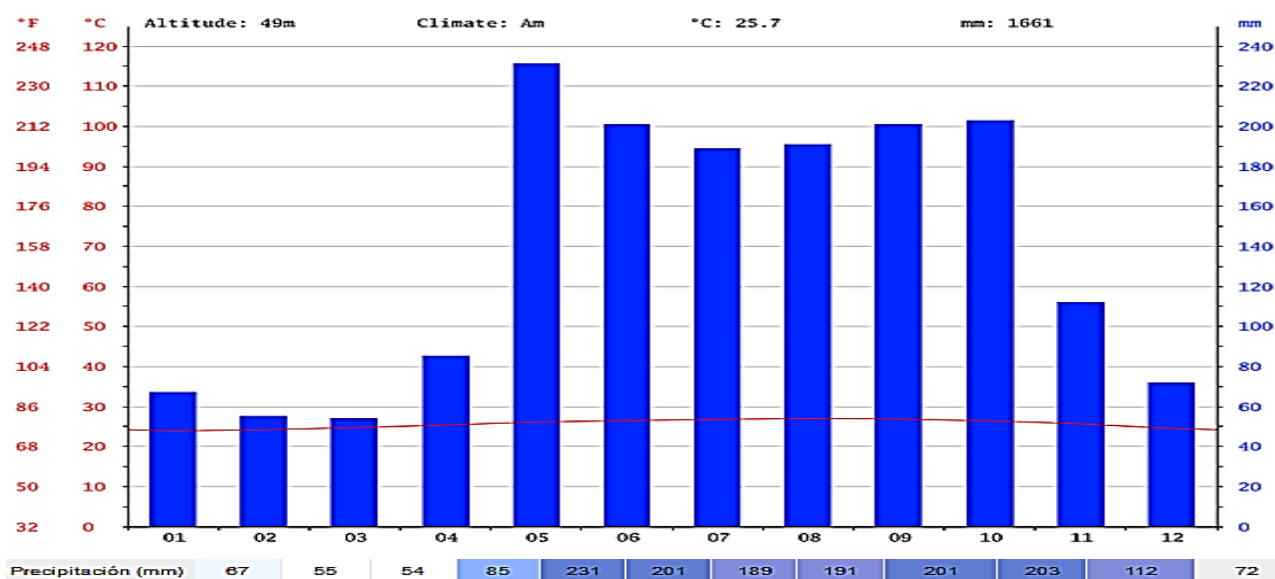


Figura 20. Promedio de la velocidad del viento por hora. Fuente: (Weatherspark, 2018)

Tabla 4. Promedio de las temperaturas y precipitaciones anuales de República Dominicana.

Fuente: (TemperatureWeather, 2018) y (Climate-Data.org, 2018)



	Temperatura mínima	Temperatura Máxima	Temperatura del agua	Horas de sol	Probabilidad de Lluvia	Humedad
Enero	21°C 70°F	29°C 84°F	27°C 81°F	8	35%	83%
Febrero	21°C 70°F	30°C 86°F	26°C 79°F	8	32%	82%
Marzo	22°C 72°F	30°C 86°F	25°C 77°F	8	23%	81%
Abril	23°C 73°F	31°C 88°F	26°C 79°F	8	31%	79%
Mayo	24°C 75°F	31°C 88°F	27°C 81°F	8	36%	82%
Junio	24°C 75°F	32°C 90°F	27°C 81°F	9	38%	83%
Julio	25°C 77°F	32°C 90°F	27°C 81°F	7	39%	82%
Agosto	25°C 77°F	32°C 90°F	28°C 82°F	8	37%	83%
Septiembre	25°C 77°F	32°C 90°F	28°C 82°F	6	47%	84%
Octubre	24°C 75°F	32°C 90°F	29°C 84°F	7	43%	85%
Noviembre	23°C 73°F	31°C 88°F	28°C 82°F	8	31%	83%
Diciembre	22°C 72°F	30°C 86°F	27°C 81°F	7	42%	84%

3.2 Fachadas verdes en República dominicana

En República dominicana, existen grandes ejemplos de jardines naturales, uno de ellos es la vegetación de los acantilados de los cayos de la bahía de San Lorenzo (ubicado en la bahía de Samaná) y el parque nacional de los Haitisis. Un ejemplo de jardín vertical creado por la naturaleza en la isla, son las ramas de árboles tropicales cubiertas por plantas epifitas, estas son aquellas que viven sobre otra planta sin alimentarse de esta, de esta clase en el país se encuentran los musgos, los líquenes, los helechos, las orquídeas, las bromelias y las peperomias. En el Parque nacional de Santo Domingo se encuentra otro ejemplo de jardines verticales naturales; alelís de flores blancas, palmas guanos con troncos que se recuestan, doblan y parecen dar vueltas, orquídeas en el suelo y en los árboles, busunucos y sus vibrantes visitantes alados, los zumbados. Bromelias, helechos cuya presencia parece desafiar al mar, enredaderas y decenas de especies de plantas componen vistoso jardines.

Los jardines verticales o Fachadas verdes, llegaron a la ciudad de Santo Domingo con gran variedad de plantas. Cuatro edificios y un restaurante son los portadores de estos sistemas de construcción orientados al estilo paisajista. Cada jardín fue realizado con un método diferente y con ello con las ventajas propias de cada sistema así como sus debilidades.

Según el Biólogo y Paisajista Adolph Gottschalk (Gottschalk, 2013)

3.2.1 EDIFICIO CORPORATIVO DEL GRUPO PUNTACANA

- Ubicación: Av. Abraham Lincoln 960, Santo Domingo
- Método con sustrato y módulos plásticos
- Diseño e instalación: Carla Quiñones

Inaugurado en Junio del 2012, Diseñado e instalado por la arquitecta urbanista Carla Quiñones y sus colaboradores Franklyn y Jose Then; Utilizando el sistema producido por ELT (Easygreen Living Wall System), el cual consta de módulos rectangulares de 30 cm x 30 cm, con diez celdas inclinadas a 45 grados donde se coloca el sustrato (sin tierra) y se siembra las plantas. Estos módulos se interconectan (con un sistema machihembrado) de manera tal que el agua de riego por goteo desciende por gravedad y pasa de un módulo a otro, y solo es necesaria irrigar el modulo superior y el agua se escurre hacia abajo hasta la bandeja inferior, recolectora de agua. Este mismo sistema se va a utilizar para nutrir las plantas de fertilizante y pesticida, en caso que sea necesario. Este sistema usa rieles de metal que lo fijan a la pared.



Figura 21. Grupo Puntana en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Maldonado, 2012)

Se utilizaron 12 tipos de especies de plantas resistentes, con frutos comestibles y de bajo mantenimiento, que reducen hasta 10 grados Celsius la temperatura del interior del edificio

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

con respecto a la del exterior (según el Grupo Puntacana); se instaló un sistema modular prefabricado que permite tener vegetación de forma vertical a través de paneles plásticos y, un sistema de irrigación por goteo y recolección de agua.

Entre las plantas seleccionadas para este jardín se pueden mencionar: son Sansevieria trifasciata “lengua de vaca”, Sansevieria trifasciata laurentii “lengua de vaca amarilla”, Russelia equisetiformis “cola de caballo”, Tradescantia spathacea “maguey morado”, Bromelia ophiopogon japonicus “mondo grass”, Ophiopogon japonicus dwarf “mondo grass enana”, Trachelospermum, sedum verde, Sedum amarillo y Liriope muscari.

3.2.2 ESTACIONAMIENTO JOSÉ REYES



Figura 22. Estacionamiento José Reyes en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Henríquez, 2013)

- Ubicación: calle El Conde esq. Jose Reyes, Santo Domingo.
- Método Gottschalk, con adaptación con sistema hidropónico *ebb and flow* (inundación y drenaje)
- Diseño e instalación: Adolph Gottschalk.

Este jardín fue diseñado e instalado por el paisajista y biólogo Adolph Gottschalk. Este jardín vertical se propone reproducir la variedad y exuberancia del trópico y busca reducir los costos adaptando un sistema hidropónico. Está plantado en tubos de PVC fijados a la pared con ganchos metálicos, se utilizó una solución de fertilizantes para alimentar las plantas. Este jardín vertical es una adaptación del sistema hidropónico ebb and flow (inundación y drenaje), es un sistema de irrigación cerrado por goteo, el agua drena por gravedad, se filtra y se recoge en un tinaco, se repone el agua perdida, se ajusta la concentración del fertilizante y se puede volver a irrigar. Las especies vegetales que forman parte de la fachada son: Maguellitos, Yuquilla, Filodendros, Coralillos enanos, dos especies de Callisia, tope-tope, bambusillo, Fu-Kientea, Cintica, Flor del sur, Jazmín asiática, y mano poderosa.

3.2.3 RESTAURANTE GRAPPA

- Ubicación: calle Gustavo Mejía Ricart, Santo Domingo
- Método hidropónico similar de Patrick Blanc
- Diseño e instalación: Natalia y Alejandro Franch



Figura 23. Restaurante Grappa, en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Espacios, 2013)

Esta fachada está inspirada en el método de Patrick Blanc, las plantas utilizadas son varias especies de Bromelias, Calateas y Helechos, Malamadres, Aglaonemas, Mano poderosa y Syngonium. Los hermanos Franch diseñaron e instalaron este jardín vertical; no utilizaron un circuito cerrado y el agua con fertilizantes es utilizada para irrigar un jardín cercano. En esta fachada se usaron monstera, helechos de varias especies, begonias, filodendros, Homalonemas.

3.2.4 TORRE VALENTINA IV

- UBICACIÓN: Av. Enriquillo, Los Cacicazgos, Santo Domingo.
- Método: adaptación de sustrato en una envoltura de felpa de irrigación, sostenido por una estructura metálica.
- Diseño e instalación; Manolito Mejía.

El método usado por Mejía es una alfombra gruesa compuesta de fieltro de irrigación y sustrato que esta sostenida por una estructura metálica con un sistema de irrigación por goteo. Las especies vegetales usadas son lengua de vaca, mondo grass y césped. La disposición de esta fachada, desde una esquina, crea un punto focal que llama la atención de todos los transeúntes.



Figura 24. Torre Valentina IV en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (InvimansarRD, 2012)

3.2.5 TORRE PALO ALTO

- Ubicación: Av. Enriquillo, Santo Domingo
- Método Then, adaptación de módulos de PVC con sustratos y una estructura metálica que sostiene los módulos.
- Diseño e instalación: Franklyn y Jose Then.



Figura 25. Torre Palo Alto en Santo Domingo, República Dominicana. Fuente: (Diconfo, 2010)

El método usado fue creado por el equipo Then, el cual consiste en piezas modulares de PVC que usa sustrato para cultivar las plantas, en esta fachada se usa riego por goteo y un inyector de fertilizante para abar con cierta regularidad. Las especies de plantas usadas son sedum, mondo grass y liriope.

3.3 SISTEMA ESCOGIDO

Los 4 tipos de fachadas verdes: fachadas invasivas o adheridas, fachadas de doble piel o mallado, fachadas por módulos y las fachadas hidropónicas; son viables de realizar en la República Dominicana y podrían cumplir hasta cierto punto como un sistema que mejore las características térmicas y acústicas de los paramentos en las edificaciones Dominicanas, pero debido a las especificaciones de las fachadas invasivas o adheridas y las fachadas de doble piel o mallado estas tienen unas desventajas que disminuirían ya sean las facultades de la fachada portante o simplemente alrededor del año no podrían cumplir con lo se quiere alcanzar en esta investigación

Las fachadas invasivas, como su nombre indica y se ha explicado con anterioridad, utilizan la estructura de la fachada del edificio portante como soporte, estas se sostienen mediante raíces que pueden penetrar en grietas y juntas, y ya que las plantas usadas son trepantes y de rápido crecimiento, a pesar que según lo leído el coste de esta es bajo, para su instalación y su mantenimiento es escaso y poco costoso, esta puede causar serios daños al paramento portante ya que al penetrar en las fisuras aceleran el proceso de deterioro y degradación del paramento además de que disminuye capacidad estructural del edificio.

Como aislante térmico las fachadas invasivas, contiene una inercia térmica muy pequeña para ser considerado como tal, además de que este sistema no cubre el paramento completamente por lo que tampoco podrían generar estas características a través del sombreado al paramento. También se tiene que tomar en consideración la gran cantidad de incidencia del sol a la fachada en República Dominicana y que durante el año se disminuirá la cantidad de involucramiento debido a las estaciones, lo que hace que este sistema sea poco eficiente en lo que respecta a mejora térmica. Por esto, este tipo de fachada fue descartado tomando en cuenta las características del modelo al que se implementará la fachada verde y los objetivos a alcanzar.

Las fachadas de doble piel o mallado, es en esencia una fachada paralela a la envolvente del edificio, estas tienen las mismas características anteriormente explicadas, como funciona a través de enrejado de cables trenzados o enrejado modular (aunque este es más pesado que el anterior), estos sistemas suelen tener un mantenimiento continuo y pesado, ya que el modular funciona como si fuese un macetero flotante, aunque es barato y el enrejado tiene problemas similares al adherido ya que es con plantas trepadoras, por lo que como envolvente y protector a la incidencia del sol contendrá el mismo problema. La fachada de doble piel de cables trenzados y la modulares, como aislante térmico dependerá de la inercia térmica que estos puedan tener, en el caso del enrejado por cable trenzado la inercia térmica es muy baja para mejorar la capacidad térmica deseada en la edificación.

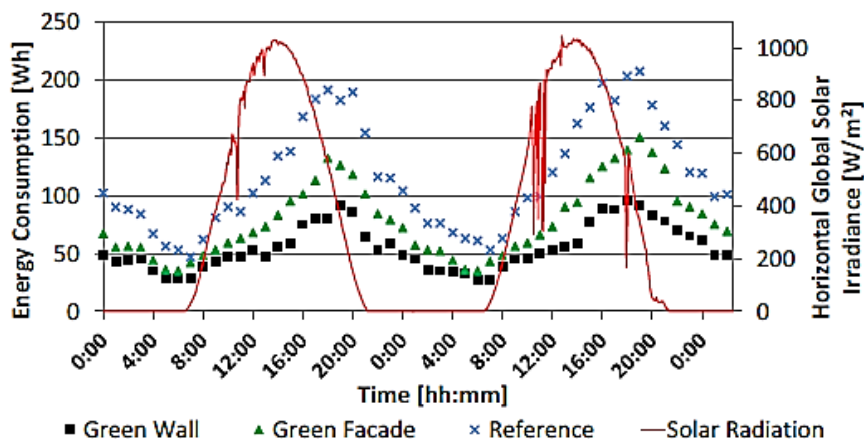


Figura 26. consumo eléctrico por hora en el verano. Fuente: (Coma, J, 2016)

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

En el caso de la fachada de doble piel según (Coma, J, 2016) si se tiene una gran inercia. Debido al efecto de sombreado, este tipo de fachada puede tener un ahorro energético de 33.83% y pueden reducir la temperatura hasta un 13.9 °C en la cara de mayor incidencia del sol debido al efecto de sombra para los paramentos, comparado con el sistema de jardín vertical (con características a la clasificación de fachada modular expuesta en este trabajo final de master) obtuvo 58.94% de ahorro energético y 21.5 °C en la más incidencia del sol debido al efecto de sombra para los paramentos, todo esto comparándolo con un modelo con las mismas características en cuanto a tamaño y material de paramento portante, todo esto durante el verano del 2015 con una temperatura interna controlada de 24 °C.

En esta tesis doctoral de Coma (Coma, J, 2016), este destaca que durante el invierno en la ciudad de Lleida en España las fachadas de doble piel no tienen ningún efecto como interceptores de la incidencia del sol debido a la falta de follaje durante este periodo, mientras que el sistema de jardín vertical (fachada modular) durante este periodo continuo funcionando ya que redujo 4.2% de la demanda energética.

En cuanto a las propiedades acústicas la tesis doctoral de Coma, resaltó la importancia tanto del sustrato como de las celdas y membranas de la que se sustenta la planta en los sistemas de fachadas modulares, ya que esta con respecto a la de doble piel obtuvo una mejor atenuación del ruido y el perfil de ruido fue constantes durante el espectro de frecuencia en los periodos medidos con respecto al caso de la fachada de doble piel en el cual mostro un perfil más irregular.

Aunque Coma en su tesis destaca que cuando se tiene un follaje de 20-30 cm en la fachada de doble piel, la capacidad de aislamiento acústico a bajas frecuencias (≤ 315 Hz, aeronaves, tráfico urbano, tráfico ferroviario a bajas velocidades, música disco o ciertos ruidos industriales), es mejor ya que en su experimentación obtuvo 43 dB, mientras que la de fachada modular obtuvo un aislamiento acústico menor de 41 dB. La fachada de doble piel en el estudio realizado (Coma, J, 2016) obtuvo un mejor aislamiento acústico al ruido de trafico obteniendo un aumento de 1dB con respecto a la de fachada modular, ya que la fachada modular obtuvo un aumento 2dB de aislamiento acústico y la de doble piel 3 dB.

Aunque las salvedades que tienen las fachadas de doble piel son muchas, cabe destacar que para el edificio modelo al cual tendrá que proporcionar una mejora térmica y acústica, debido a lo antes expuesto no creo que proporcionaría los efectos esperados a lo largo del año en la República Dominicana, aunque en un edificio de menor altura considero que sería más factible económicamente, y tendría una mejor respuesta tanto térmica como acústicamente y podría reducir la demanda energética.

He elegido las fachadas modulares y de sistemas hidropónicos debido a que considero que las bondades de estas para el edificio modelo podrían proporcionar mayores beneficios tanto como aislantes térmicos y acústicos, además de que tienen mayor capacidad para proteger como envolvente del edificio contra la radiación solar, son más fáciles con respecto a la implantación de las plantas, ya que se pueden utilizar plantas ya desarrolladas, se pueden llevar a más alturas y en el caso de lo los hidropónicos hay menos posibilidades de encontrar bacterias, parásitos y hongos en las plantas, además de que es más ligero que el anterior señalado.

Para elegir cuál de los dos será el implementado en el edificio modelo escogido, se compararon las características principales de estas dos tipos de fachadas y tomando en cuenta el objetivo de esta tesina.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

3.3.1 Comparación de las características principales entre las Fachadas modulares y Fachadas hidropónicas

Tabla 5. Características principales entre las Fachadas modulares y Fachadas hidropónicas

	Fachada Modular	Fachada Hidropónica
Capa vegetal	Fácil implantación de plantas desarrolladas por celdas.	Fácil implantación de plantas desarrolladas por unidad, debido a la bolsa creada por el filtro.
	Fácil sustitución de plantas muertas por celdas.	Fácil sustitución de plantas muertas por unidad.
Diversidad vegetal	Debido al poco espacio para el desarrollo de las raíces solo se pueden utilizar plantas de pequeño tamaño lo que reduce la diversidad.	Debido a que las raíces tienen libertad de crecer en el sistema, tiene una gran diversidad de plantas.
Estética	Tienen un aspecto muy geométrico y en algunos casos artificial.	Una de las ventajas de este sistema es la capacidad de variedad de plantas lo que permite libertad de diseño.
Deterioro	Al usar sustrato para darles nutrientes a las plantas, el sustrato se deteriora y hay que cambiarlo con regularidad.	No existe sustrato en este sistema, lo que elimina la posibilidad de deterioro de la tierra que proporcionan los nutrientes y se evitan la aparición de insectos.
	Perdida de estructura de sustrato debido al constante riego.	Al ser un sistema que alimentan las plantas mediante fertilizantes incluidos en el riego.
	Corrosión de las cajas metálicas al estar expuesto a la humedad generada por el riego, por lo que se necesita un tratamiento para evitar esto.	Según lo leído el material usado tiene una gran capacidad de durabilidad y resistencia a los cambios climáticos.
	Este sistema puede sufrir de putrefacción de las plantas y de las raíces de estas pero esto es de fácil sustitución debido al sistema modular.	Hay que evitar la putrefacción de las raíces, La putrefacción se puede dar si el agua no se oxigena correctamente, si en un período entre 2 y 4 días las raíces no reciben el agua correctamente oxigenada comenzarán a tener síntomas de pérdida de hojas, decoloración de las hojas y amarilleo de éstas.
	Durante Inclemencias los paneles deben de ser reemplazados, por que algunas plantas se deterioran en esta condición y se puede lavar el sustrato y dejar expuesta la raíz.	Este sistema esta preparado para las condiciones climáticas adversas, como cambios de temperatura, exposición prolongada al sol o vientos fuertes.
Peso	Estos sistemas pueden ser bastante pesados, pueden llegar a pesar 150 kg/m ² .	Estos sistemas suelen ser ligeros comparados con los demás sistemas de jardines verticales su peso es de alrededor 30 kg/m ² .
Comportamiento térmico	Debido a que funcionan de manera similar a una fachada ventilada, estos aíslan eliminando los puentes térmicos	Tienen un gran comportamiento térmico en verana e invierno, en verano pueden reducir la temperatura a través del proceso de sombra y evo transpiración.
Capacidad envolvente	Tiene una gran capacidad de cerramiento protector, evita el deterioro de la fachada por las inclemencias del clima y evita los daños por la incidencia del sol	Tiene una gran capacidad de cerramiento protector, evita el deterioro de la fachada por las inclemencias del clima y evita los daños por la incidencia del sol.
Mantenimiento	Este sistema necesita un continuo mantenimiento debido al deterioro de las plantas y sustratos, además de que se deben de cambiar los módulos cada cierto tiempo debido ya sea a la corrosión o por que la planta no prospera con este	Este sistema tiene un mantenimiento continuo por que se debe controlar el pH del sistema por lo que siempre ha de estar en funcionamiento el sistema de irrigación, ya que después de 4 días sin este la planta se muere, pero hoy en día esto se ha cambiado por un sistema monitorizado por telecontrol.
Gestión de agua	No requiere circulación continua para que las plantas sobrevivan.	Requieren menos agua que las plantas regadas por métodos tradicionales, ya que el riego se dirige directamente a las raíces de las plantas. Aun así necesita riego regular.
	Este sistema tiene la capacidad de sobrevivir sin aportación de nutrientes a través de fertirrigación.	Las plantas no sobrevivirían por mas de 4 días sin el sistema de riego ya que las plantas sobreviven por los nutrientes que les proporciona el sistema de riego.
Coste	El costo inicial alto	coste inicial alto
	Coste de mantenimiento alto.	Coste de mantenimiento alto sino se realiza con una monitorización de telecontrol, en lo que este costo seria parte del inicial.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Los dos sistemas tienen muchas características similares con respecto al comportamiento térmico y como anteriormente he mencionado el comportamiento acústico del sistema modular es más como absorbente que como aislante acústico y el del sistema hidropónico ha de ser similar al modular por lo que en estas dos características, sin estudio de campo que demuestre lo contrario, en el hidropónico no hay gran diferencia.

Aunque no hayan grandes diferencias en el mantenimiento de los sistemas de fachadas en la Tabla 5, ya que las dos tienen un mantenimiento riguroso, en el caso de la fachada hidropónica, si el sistema es supervisado a través de un sistema monitorizado remoto por telecableado, el mantenimiento es mínimo y este dará aviso cualquier intervención en caso de que haya algún inconveniente, ya sea con el ajuste en el riego o bien en la composición de la solución de los nutrientes. Este factor es de suma importancia ya que investigando en la República Dominicana algunas fachadas verdes se han deteriorado o han desaparecido totalmente debido al constante mantenimiento que se debe de desempeñar.

Según ha investigado el biólogo y paisajista Adolph Gottschalk el control del pH con respecto al mantenimiento, es algo de suma importancia, pero esto no es un proceso dificultoso y es algo que se debería monitorear y realizar una vez al mes, siempre y cuando el sistema de irrigación sea cerrado, es decir, se reutilice el agua con los nutrientes. Esto se debe a que el pH varía con el tiempo debido a que las mismas plantas lo van a variar, la descomposición de la materia orgánica, las bacterias que se van a crear (las cuales son deseables y necesarias para la supervivencia de las plantas).

Como en cualquier sistema vivo tener una fachada hidropónica conlleva un mantenimiento, y según lo entendido cada sistema de fachadas tiene el propio, en el caso de que elijas un sistema hidropónico cerrado, pues se tendrá que acidificar de manera asidua cada mes y según lo explicado por Gottschalk, esto no es dificultoso, debido a que existen pH-metro dentro de los sistemas de control que hacen esta tarea más sencilla. Pero, si elijas un sistema abierto, es decir el agua se va al sub-suelo pues este tipo de mantenimiento no sería necesario, ahora dado en el mundo en que vivimos en vez de desperdiciar este líquido tal vez el agua se pueda reutilizar de alguna otra manera, que no implique volver al sistema de regadío de la planta, pero esto sería otro tema de TFM a investigar.

Con respecto a las características de deterioro, en el que el del sistema modular es mayor que en el del hidropónico, ya que este no utiliza sustrato por lo que no se compromete el sistema con la corrosión tan fácilmente como en el modular.

Otro factor importante es el peso, en este caso el del sistema hidropónico es muchísimo más ligero que el modular por lo que no comprometería la capacidad estructural de la fachada, aunque como el paramento está hecho de hormigón armado este puede soportar la carga que estos sistemas aportan al paramento, pero aun así el peso que el sistema modular proporcionaría al paramento, podría comprometer la estructura si con el tiempo esta va perdiendo su capacidad portante o por algún movimiento en sus cimientos.

Todo lo antes evaluado nos lleva a la conclusión que el sistema hidropónico es el más adecuado para el edificio modelo en el que implementare la fachada, todo esto tomando en cuenta que ha sido evaluado a través de recomendaciones y evaluaciones de diferentes investigaciones y las empresas productoras de estos sistemas.

3.4 Sistema F+P

Dentro de la República Dominicana solo una empresa trabaja con sistema hidropónico y esta es **Green paisajismo**, la cual trabajan la cual trabajan con el sistema patentado por la empresa **Paisajismo Urbano** el sistema F+P el cual es la única propietaria de la patente de este sistema a nivel mundial (Patente Internacional WO 2011/148011).

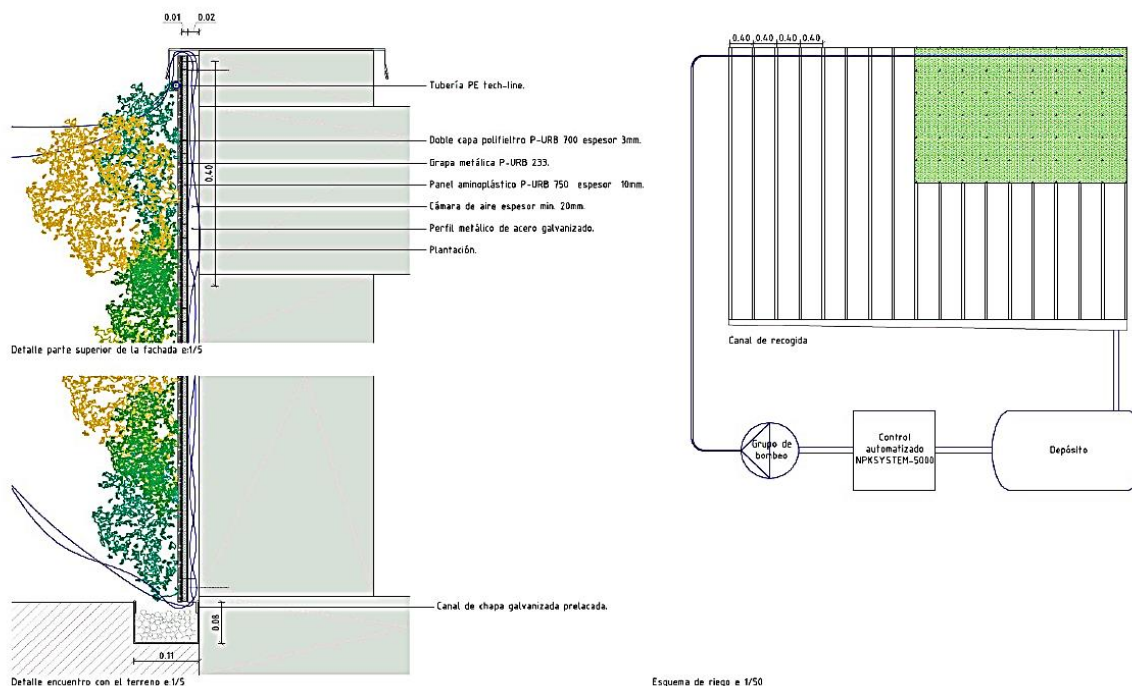



Figura 27. Detalle Constructivo del Sistema F+P. Fuente: (Urbano P, Sistema F+P, Memoria técnica para la construcción de, 2017)



F+P

Composición del sistema (en mm)

Capa 0: Rastrelado de perfiles metálicos. Dimensiones según solicitaciones de carga a viento y estado del soporte.

Capa 1: Panel amioplástico P-URB 750, Paisajismo Urbano, espesor 10 mm.

Capa 2: Polifiltro fitogenerante P-URB 700, Paisajismo Urbano, espesor 3mm.

Capa 3: Cobertura vegetal de especies seleccionadas según las características de la fachada.

Grosor total: 20 mm.

Peso total del sistema (en kg/m²)

Capas 1 y 2: 15 kg
 Capa 3 (cobertura vegetal): de 10 a 15 kg
 Cantidad de agua almacenada: 5 litros/m².

Peso total saturado: 30-35 kg/m²

Figura 28. Composición y Peso Total del Sistema F+P de Paisajismo Urbano

3.4.1 Descripción del sistema

Según la empresa Paisajismo Urbano una de las principales innovaciones del sistema F+P es el anclaje que emplea para disponer los ejemplares de plantas, el cual está dispuesto en cuatro capas. La primera capa está formada por un rastrelado metálico, sobre el que se disponen los paneles impermeables que conforman la segunda. A este panelado va fijada una doble capa de material textil sintético, el cual sirve de soporte y de sustrato hidropónico para la última capa, que corresponde a la cobertura vegetal. (Urbano, Sistema F+P para Jardines Verticales, 2017)

En la capa textil se sitúa también el sistema de riego, lo cual permite acceder fácilmente a él en el caso de que fuera necesario algún ajuste. Esta disposición por capas, entre las que se encuentran cámaras de aire, permite crear una estructura muy ligera, con un peso promedio de 35 kg/m². La pendientes en la que se colocan las plantas es comprendidas entre 30º y 90º. Una vez las plantas están situadas en la estructura, este sistema favorece su crecimiento sin que estas entren en contacto con la fachada en ningún momento, ya que en este caso correrían el peligro de arraigar en ella y deteriorar el edificio. (Urbano, Sistema F+P para Jardines Verticales, 2017)

Los materiales que se emplean en la instalación del sistema hidropónico F+P, según el catálogo de Paisajismo Urbano son duraderos y de alta calidad. Ellos estiman que el sistema puede mantenerse en perfecto estado durante más de 50 años. Este está preparado para soportar condiciones climáticas adversas, como cambios de temperatura, exposición prolongada al sol o vientos fuertes.



Figura 29. Datos técnicos de los materiales en el Sistema F+P de Paisajismo Urbano

3.4.2 Instalación

Estas son las consideraciones que se deben de tener en cuenta para instalar el sistema según la empresa (Urbano P. , Sistema F+P, Memoria técnica para la construcción de, 2017):

- La primera consideración a lugar, es consultar Reglamento para el análisis y diseño sísmico estructuras de República Dominicana.
- Es necesario que la zona en la que va a estar ubicada la fachada cuente con una toma de agua funcional para el montaje del sistema de riego, así como unas canaletas que puedan conducir los líquidos.
- También, se debe de tener en cuenta que cuando el soporte sea de hormigón, hormigón celular, mortero de cemento o mortero de áridos ligeros su superficie deberá estar fraguada y seca, sin huecos ni resaltes mayores que el 20% del espesor de la membrana impermeabilizante prevista.
- Antes de la instalación del sistema se debe impermeabilizar y después se debe instalar los elementos de desagüe, así como depósitos de recogida y acometidas.
- Por último, el lugar en el que vaya a estar situado el puesto de control deberá estar resguardado.

3.4.3 Proceso de ejecución

1. Replanteo de los paneles
2. Colocación del remate inferior de la fachada
3. Colocación de juntas
4. Colocación y fijación de paneles
5. Colocación y fijación de láminas de polifieltro
6. Remates
7. Plantación
8. Realización de pruebas de servicio

El tiempo aproximado de construcción para 100 metros cuadrados son 20 días laborables.

3.4.4 Mantenimiento del Sistema



Figura 30. Detalle del sistema de monitoreo.
Fuente: Terapia Urbana

Según el catálogo técnico de Paisajismo Urbano sistema hidropónico garantiza que el mantenimiento necesario para que el sistema suscita será mínimo, y que, si hay que sustituir plantas o alguna de las piezas, este proceso será muy sencillo. Entre las ventajas está la monitorización del sistema en todo momento por medio de telecontrol. El cual garantiza el regadío mediante un circuito controlado, que monitoriza la humedad, la temperatura y la calidad del agua, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Además, el control a distancia permite además intervenir en el caso de que haya algún problema, ya sea con ajustes en el riego o en la composición de la solución de nutrientes. Cuando las condiciones son óptimas, el crecimiento y desarrollo de las plantas es el máximo que cada especie puede alcanzar. Este

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

sistema favorece la interacción entre ellas, potenciando que las nuevas especies que se introduzcan puedan adaptarse al entorno de forma inmediata. Para ello, es indispensable ser eficaz en el proceso de selección de especies, de gran importancia cuando se utiliza este sistema. Por este motivo, se realiza de forma personalizada para cada proyecto, teniendo en cuenta factores como el clima en el que se va a situar la fachada, la orientación de esta, la vegetación autóctona de la zona o la cantidad de luz y humedad que las plantas puedan precisar. (Urbano P. , Sistema f+p para Jardines Verticales, 2017)

3.4.5 Costo

-Green Paisajismo: Esta es una compañía de República Dominicana, Según lo contestado el sistema completo e instalación (estos tienen licencia de Paisajismo Urbano) el sistema saldría a 500 \$USD/m² equivalente a 407.76€ (con una tasa de 1€=1,226USD) con impuestos incluidos.

-Urbanarbolismo: Esta es una compañía española, según lo contestado, el sistema completo saldría en 106 €/m² con asesoramiento a distancia, no incluye portes (aproximadamente 2400€) y sin instalación.

Tabla 6. Costo por m² de fachada verde de las empresas Green Paisajismo y Urbanarbolismo

	Costo x m ²	Costo de envío	m ² de fachada verde	Costo total
Green Paisajismo:	407.76 €	- €	138.5	56,474.76 €
Urbanarbolismo:	106.00 €	2,400.00 €	138.5	17,081.00 €

3.5 LAS PLANTAS ESCOGIDAS

Las plantas a usar fueron escogidas explícitamente tomando en cuenta el clima de República Dominicana, y las recomendaciones del paisajista y biólogo Adolph Gottschalk, el cual tiene experiencia diseñando y realizando jardines verticales en el país. Las recomendaciones fueron tomadas teniendo en consideración que el sistema escogido es hidropónico, la altura del edificio modelo, la cantidad de exposición al sol a las cuales va estar sometidas y sobre todo que el mantenimiento que estas requieran sean mínimo.

3.5.1 Sedum verde (Sedum spurium 'Summer Glory')

Tabla 7. Características de La Planta Sedum Verde



SEDUM VERDE	
Epoca de Floracion	sedum de california
Nombre Científico	Sedum Spurium Summer Glory
Origen	California, Estados Unidos
Familia	Crassulaceae
Altura Maxima	20 cm
Necesidad de Agua	Bajo
Necesidad de Sol	Alto
Crecimiento	Rápido
Tipo de Hoja	Perenne
Color de Follaje	Verde
Color de Flor	Rosa

Es una planta herbácea de fácil cultivo comúnmente utilizada en jardinería como cubre-suelo, en rocallas, macetas y en jardineras. Es una planta que tolera la semi-sombra y resistente a la sequía por su capacidad de almacenar agua. Es una planta perenne muy resistente que raramente puede alcanzar los 10-20

cm de altura, pues tiende a crecer en horizontal, emitiendo raíces adventicias. Estas plantas con el tiempo las hojas tienden a colorearse en tonos rojizos. Posee hojas suculentas de forma oval de entre 2 y 3 cm de longitud que se agrupan en roseta. Las flores, como todas las del género, tienen 5 pétalos y 5 estambres (Francisco, 2017).

De procedencia caucásica, esta planta es apta para cultivos exteriores, vegeta bien en exposiciones soleadas y requiere poca agua. Su abundante floración se extiende de junio a agosto.

El metabolismo del Sedum difiere de otras plantas. Por la noche, el dióxido de carbono se absorbe a través de las estomas y se convierte en ácido málico. Durante el día, bajo la influencia de la luz solar, el ácido málico se descompone y da lugar a la fotosíntesis. Por esta razón, las estomas de las hojas están abiertos solamente durante la noche. Así, durante las horas calientes y secas del día, puede mantener cerrados las estomas y la pérdida de humedad se minimiza (Amich, 2018).

3.5.2 Mondo Grass Enano (*Ophiopogon Japonicus*)

Tabla 8. Características de La Planta Mondo Grass Enano



OPHIPOGON JAPONICUS	
Epoca de Floracion	Ophiopogon
Nombre Científico	Ophiopogon japonicus dwarf mondo grass
Origen	Nativa de Corea, China y Japón
Familia	Aspargaceae antes clasificado en las Liliáceas
Altura Maxima	10-20 cm
Necesidad de Agua	Bajo
Necesidad de Sol	Alto/parcial
Crecimiento	Rápido
Tipo de Hoja	Perenne
Color de Follaje	Verde
Color de Flor	Rosa
Suelo PH	Acido, Neutral

Es una planta de hoja perenne, cespitosa. Las hojas son lineales de 20-40 cm de largo. Las flores son de color blanco a lila pálido, que se producen en un corto racimo en un tallo de 5-10 cm. Esta hierba se utiliza comúnmente para yardas paisaje y

césped. Se trata de una alternativa popular a la hierba del césped, ya que es más resistente a la sequía y requiere menos cuidados para crecer. Crece en grupos, de entre tres y seis pulgadas de alto, y es de color verde oscuro. El Mondo Grass enano es siempre verde. No tiene grandes plagas y requiere cortar el césped sólo una vez al año (Wikipedia, *Ophiopogon japonicus*, 2016).

Se cultiva como planta ornamental, proporcionando una excelente cubierta vegetal, como cubre-suelo, para bordes, canteros, macetas, rocallas y entre lasjas. Se emplea para estabilizar suelos y controlar su erosión. Requiere sombra o semi-sombra, suelos arenosos o limosos, húmedos. Tolera diferentes tipos de sustratos, desde los anegadizos hasta los más secos, si se mantiene a la sombra. Es resistente a las heladas. Aunque resistente a temperaturas de aproximadamente -20 °C en estado latente en invierno al aire libre y en el suelo normal, cuando se mantienen totalmente sumergidas requieren temperaturas del agua de 18-25 °C. Crece bien a pleno sol o sombra parcial. La propagación se hace a partir de brotes laterales.

3.5.3 Sansevieria trifasciata (“Lengua de vaca”)

Tabla 9. Características de La Planta Lengua de Vaca



LENGUA DE VACA	
Epoca de Floracion	no
Nombre Científico	Sansevieria Trifasciata
Origen	África tropical.
Familia	Asparagaceae
Altura Maxima	50 cm
Necesidad de Agua	Bajo
Necesidad de Sol	Alto/parcial
Crecimiento	Rápido
Tipo de Hoja	Perenne
Color de Follaje	Verde
Color de Flor	no
Suelo PH	Acido, Alcalino

También conocida como espada de San Jorge, lengua de vaca, cola de lagarto o planta de la serpiente es una especie de la familia Sansevieria trifasciata, una planta originaria del oeste de África tropical hasta Nigeria y al este de República Democrática del Congo. Esta es una planta del género de

herbáceas, perennes y rozomatosas que son parte de la familia de Asparagaceae (PRODUCCIONES, 2015).

La lengua de vaca se caracteriza por sus hojas duras y punzantes. La lengua de vaca es una planta ornamental para interiores y también al exterior en zonas templadas que permite purificar el aire pues transforma el dióxido de carbono en oxígeno; y es una especie muy resistente a condiciones ambientales desfavorables. En cultivo de exterior puede tolerar temperaturas cercanas a los 40º de máxima y -5º de mínima siempre que esas temperaturas no sean constantes. La NASA ha catalogado esta planta como una especie purificadora del aire, eliminando tóxicos como el benceno y el formaldehído.

La lengua de vaca es de naturaleza casi indestructible, Aguantar la atmósfera seca y caliente de las habitaciones, la luz pobre, el olvido del riego, años sin trasplantar, las plagas y enfermedades, etc. Resulta perfecta porque es de bajo mantenimiento. (Planthogar, 2018). También puede soportar el sol directo. Para que aguante bien el sol directo debemos someter a la planta a un período de adaptación. Si la trasladamos del interior al exterior en verano y durante muchas horas, podemos quemar las hojas. Este proceso es recomendable hacerlo paulatinamente (Sansevieria trifasciata 'Laurentii', 2017).

3.5.4 *Ixora coccínea* (Coralillo)

Tabla 10. Características de La Planta Coralillo



CORALILLO	
Epoca de Floracion	no
Nombre Científico	<i>Ixora Coccinea</i>
Origen	India, Malasia, China y Sri Lanka
Familia	Rubiaceae
Altura Maxima	1-3 m
Necesidad de Agua	Normal
Necesidad de Sol	Alto/parcial
Crecimiento	Rápido
Tipo de Hoja	Perenne
Color de Follaje	Verde
Color de Flor	rojo, blanco, rosa
Suelo PH	Acido

La *Ixora coccínea*, se le conoce comúnmente como coralillo, Santa Rita, Geranio de la Jungla, Llama de los bosques, Morir Amando, Exora, coralito, Cruz de Malta. En República Dominicana se le conoce como Coralillo. Es un arbusto natural de las zonas tropicales de Asia. Su origen se ubica en Tailandia, India, Sri Lanka y Vietnam. Se propaga muy fácilmente en los climas tropicales y se ha extendido por toda América. Es utilizada

frecuentemente para decorar parques y bordes de carretera; además se utiliza para formar cercas naturales en muchos jardines (PERALTA, *Ixora* o Coralillo, 2015).

Forma plantas ramificadas que alcanzan alrededor de 1 m o más de altura, hasta un máximo de más de 3 m en algunas variedades, con numerosos racimos de flores con un aspecto redondeado y que se extienden a veces con un diámetro que puede sobrepasar la altura. Sus hojas siempre verdes son oblongas, brillantes, de bordes lisos y llegan a alcanzar unos 10 cm de longitud. Las flores son tubulares y varían de color según distintas variedades, siendo las más comunes las de color escarlata, y en ocasiones, amarillas y blancas (Wikipedea, *Ixora coccinea*, 2017).

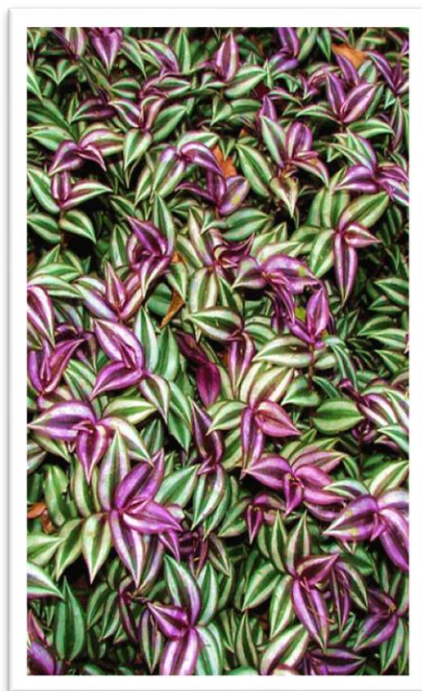
Su Inflorescencias (semejantes a las de las hortensias) es en forma de esfera, de alrededor 8 cm de diámetro. Las flores son tubulares y de colores diversos según la variedad, entre las que se encuentran de colores rojos, rosados, naranjas, amarillas y blancas. Florece principalmente durante el verano, aunque también lo hará con menor incidencia durante el resto del año si se encuentra bajo condiciones óptimas (Mascotas, 2012).

Se multiplica por semillas y por esquejes. Especie poco difundida como ornamental. Requiere mucho sol y poca agua, florece profusamente durante la época de las lluvias. Más tarde, cuando las hojas y tallos se secan, debe someterse la planta a una buena poda. Abonándola y podándola en marzo florecerá abundantemente en verano. La temperatura deberá ser más bien alta (25-30 °C) y no bajar de los 16 °C en invierno.

Ixora coccínea es una planta resistente y necesita pocos cuidados. Debe crecer en sitios muy iluminados o a pleno sol (agradece algunas horas de sombra al día).

3.5.5 Tradescantia spathacea (maguey morado)

Tabla 11. Características de La Planta Maguey Morado



MAGUEY MORADO	
Epoca de Floracion	no
Nombre Científico	Tradescantia spathacea
Origen	Regiones tropicales
Familia	Commelináceas,
Altura Maxima	30 cm
Necesidad de Agua	Normal
Necesidad de Sol	Alto/parcial
Crecimiento	Rápido
Tipo de Hoja	Perenne
Color de Follaje	Verde/Morado
Color de Flor	Blanca
Suelo PH	Neutro

Tradescantia spathacea, llamada popularmente maguey morado es una especie herbácea perteneciente a la familia de las commelináceas, nativa de México y Centroamérica, y naturalizada en Florida, Texas, Hawái y varias islas oceánicas. En Cuba es comúnmente conocida como Cordobán. En ingles, su nombre común

es Oysterplant. Pero tiene más nombres: boatlily, Moses in the cradle, Moses in a boat, Moses in the bulrushes, men in a boat (Wikipedia, Tradescantia spathacea, 2017).

Es una planta herbácea muy resistente, perenne. Posee tallos muy cortos y hojas largas lanceoladas que miden unos 30 centímetros de longitud y 7 cm de ancho, dirigidas hacia arriba, pudiendo llegar, en condiciones especiales, hasta casi un metro. Sus hojas son ligeramente cóncavas crecen con una disposición oblicua, agrupadas y superpuestas formando una especie de roseta en la base; son de color verde oliva por el haz y violeta o morado púrpura (más o menos oscuro) por el envés. Dentro de la diversa variedad en el colorido de esta planta, podemos hallarla con las hojas en color verde en su totalidad o marcadas con franjas de color crema o amarillo cremoso como la variedad 'Vittata' (PERALTA, Maguey Morado, 2016).

Sus flores son pequeñas, color blanco y se encuentran rodeadas por unas brácteas u hojas modificadas en forma de bolsa o barco que se encuentran en las axilas de las hojas inferiores. Las inflorescencias consisten en pequeñas flores con tres pétalos blancos que surgen de las axilas; son efímeras y están rodeadas de dos brácteas de color violeta y de forma cóncava, que se semi-cierran en el momento de la floración. Los tallos que sostienen las flores son cortos y gruesos. Al crecer la planta, se pierden las hojas más inferiores y los entrenudos se alargan formando un tallo desnudo. Toda la planta es venenosa (Foroplantas, 2010).

3.6 Edificio modelo

Con motivo de poner en perspectiva el modelo escogido se ha establecido un edificio modelo existente y de características comunes en la ciudad de República Dominicana, Santo Domingo.



Figura 31. Elevación frontal del edificio escogido

3.6.1 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROYECTO

El proyecto arquitectónico fue diseñado por la arquitecta Mercedes Dietsch en el 2006 y está ubicado en Alma Rosa en la Avenida Presidente Vázquez con calle Aruba. Es un edificio unifamiliar de 4 niveles con una geometría de planta rectangular. Posee dos escaleras: la principal y la escalera de servicio. En cuanto a la parte estructural está diseñada para ser construida en bloques, con dos columnas frontales. Es un edificio con un diseño simple tropicalizado de barcones y ventanales en todas sus áreas como pueden ver en la Figura 31.

El edificio consta 220 mts², dos apartamentos por nivel, cada uno de 96 mts².

Cada apartamento está conformado de: sala, comedor, dos dormitorios, cocina, área de lavado, dos baños y un balcón, un parqueo por apartamento. Todo en terminación de primera: Closets en caoba, piso de mármol pulido y cornisas. Consta de intercomunicador, cisterna y tinacos.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

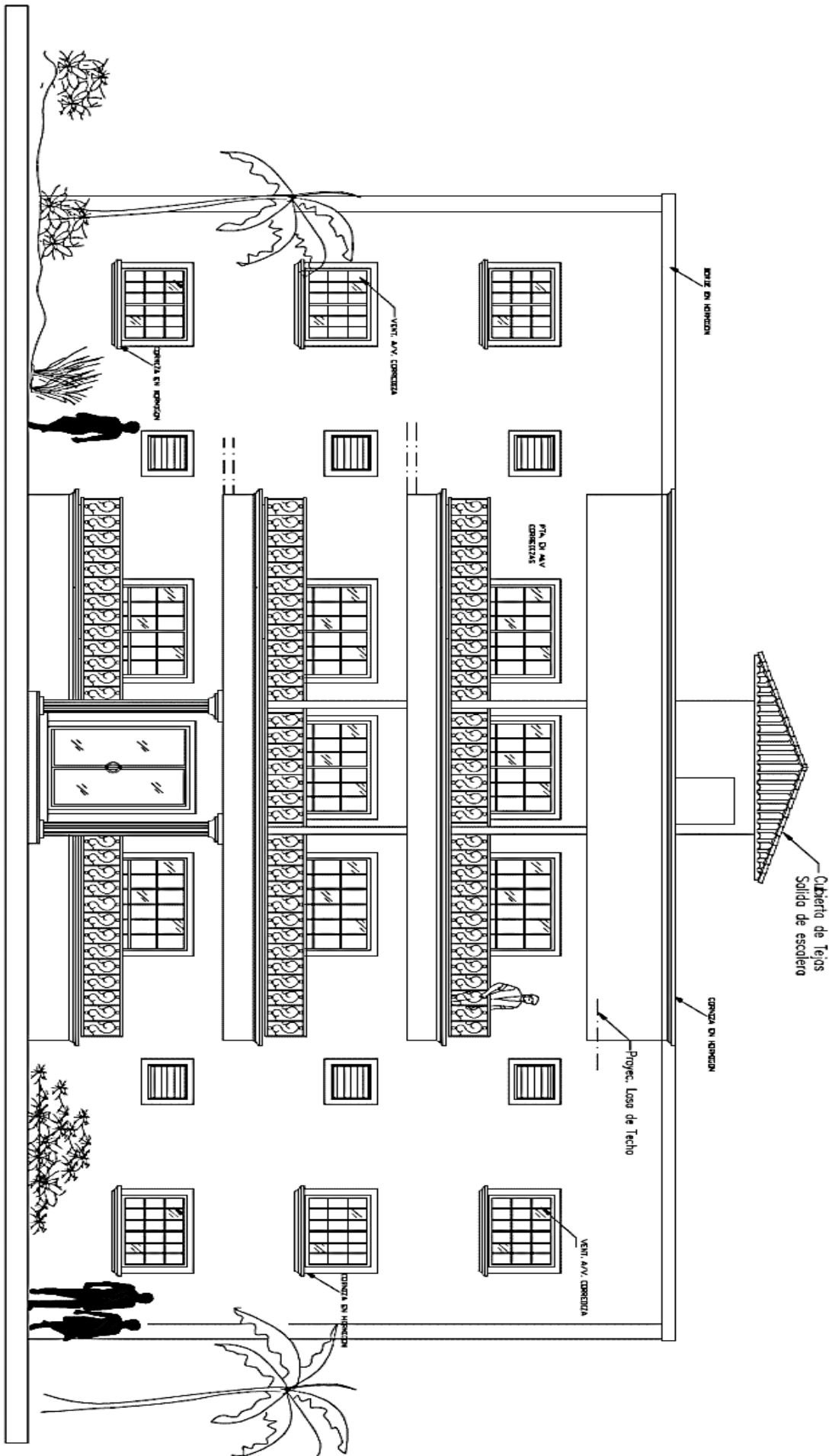


Figura 32. Elevación Frontal del edificio modelo escogido

**FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA**

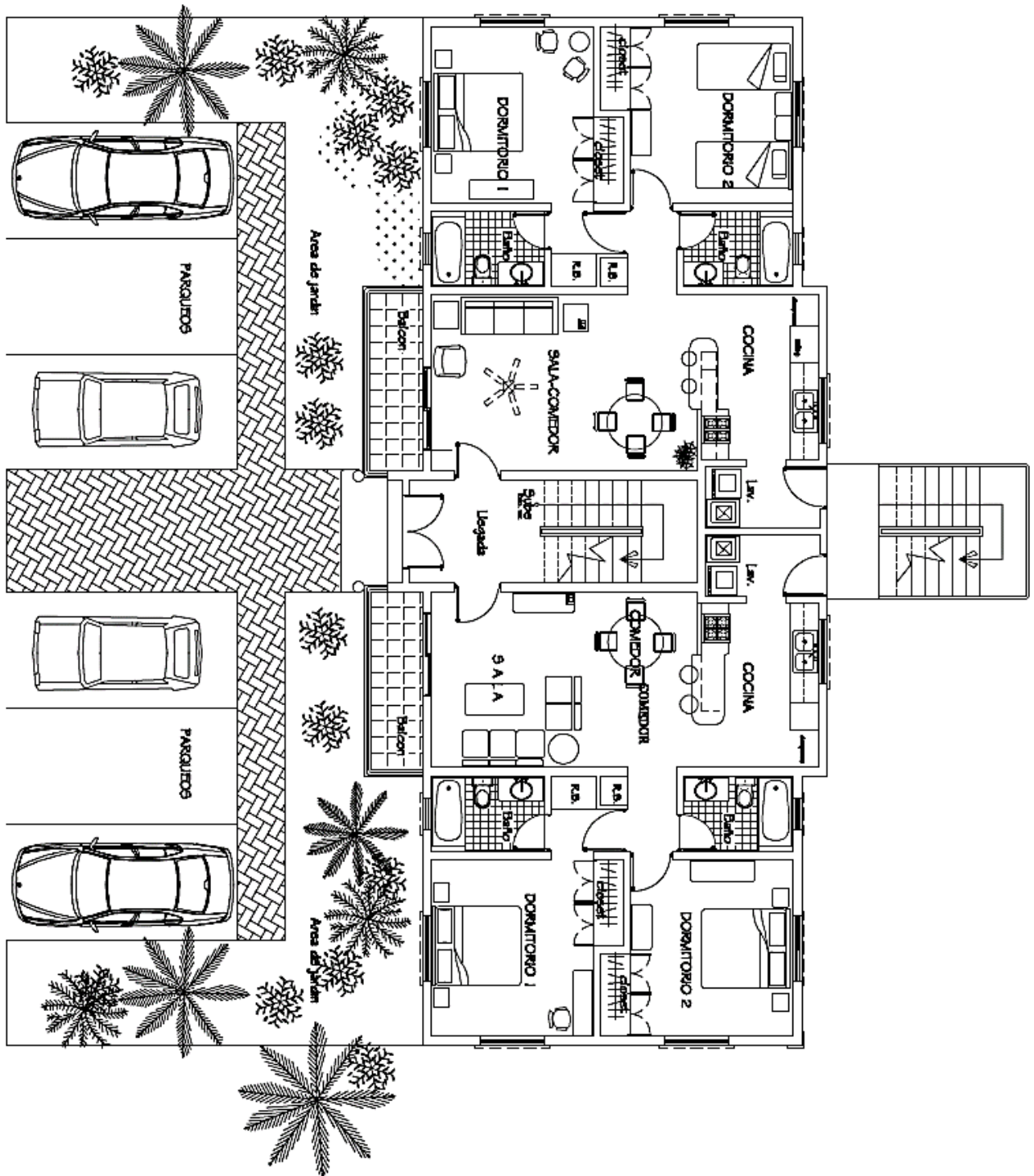


Figura 33. Planta arquitectónica del conjunto total del edificio modelo

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

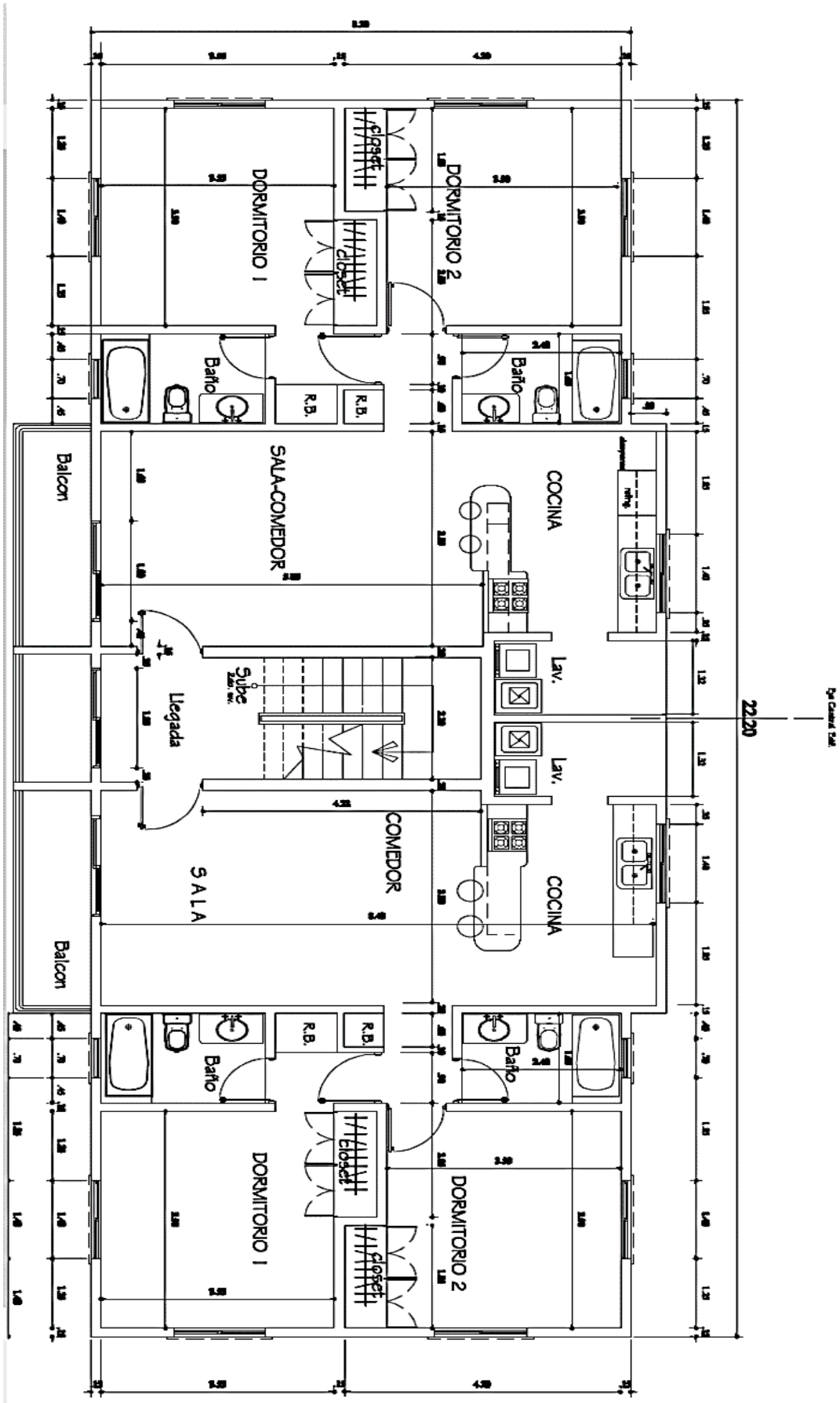


Figura 34. Planta arquitectónica dimensionada del 1er piso del edificio modelo

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

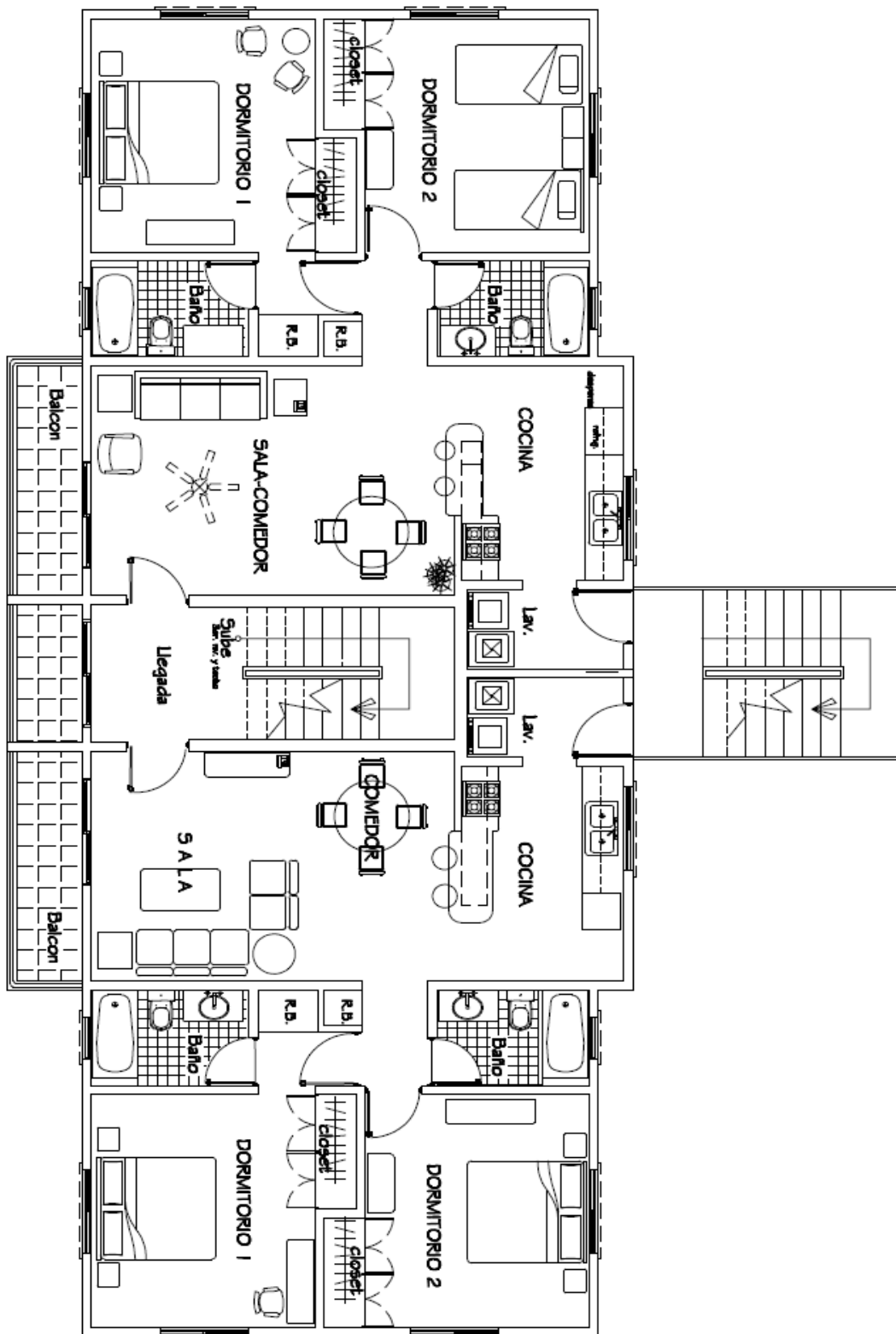


Figura 35. Planta arquitectónica amueblada del 1er, 2do y 3er nivel del edificio modelo

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

3.6.2 Ubicación

El edificio modelo se encuentra ubicado en la Av. Presidente Vásquez con calle Aruba de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana, la fachada está orientada hacia la avenida presidente Vásquez.



3.6.3 Fachada Verde de Sistema Hidropónico Implementado en Edificio

Modelo

Para que la fachada vegetal cumpla con los objetivos de mejorar el comportamiento térmico y acústico en el edificio modelo y cumpla con las ventajas inherentes que el sistema hidropónico aporta; los paramentos portantes del sistema deben de ser los que reciban la mayor incidencia de sol alrededor del día, y dado que no hay cambios bruscos de temperatura, clima y de incidencia solar alrededor del año en República Dominicana, se podría argumentar que si se implementan en estos paramentos, cumplirá térmicamente con el objetivo de mejorar en lo que térmicamente se refiere. También se debe de ubicar el sistema en las caras donde haya más actividad vehicular y peatonal para que cumpla con el objetivo de mejorar en lo que acústica se refiere.

Como norma general los arquitectos orientan la fachada en la cara donde se recibe la mayor cantidad de sol en el día, permitiendo así la entrada de luz en los salones principales de la casa. Debido a la orientación del edificio, el paramento lateral derecho que da cara a la calle Aruba es uno de los que más incidencia del sol recibe en conjunto con la fachada del edificio la cual se encuentra orientada a la Av. Presidente Vásquez. Además, debido a que el edificio está ubicado en una esquina de considerable movimiento vehicular, donde se interceptan una calle primaria y una avenida, en estas dos caras son las que se ven más afectadas la contaminación acústica. Por esto los paramentos a la cual se le implementaran el sistema hidropónico F+P son a la fachada principal y al paramento del lateral derecho. Las demás caras tienen edificaciones colindantes y prácticamente no hay incidencia solar.

**FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA**



Figura 37. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada en los primeros dos meses antes que florezcan las plantas de cara frontal



Figura 36. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada en los primeros dos meses antes que florezcan las plantas de cara lateral

**FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA**



Figura 39. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada después de florecer después de 3 meses de cara frontal



Figura 38. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada después de florecer después de 3 meses de cara lateral

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA



Figura 40. Edificio modelo con fachada verde hidropónica implementada.

CONCLUSIÓN

Este trabajo final de master, se ha enfocado en la evaluación de las características principales, recomendaciones e investigaciones pertinentes sobre fachadas vegetales de diferentes artículos científicos, informes técnicos, trabajos finales de master y tesis doctorales, se ha seleccionado un sistema de fachada verde, en este caso el sistema hidropónico F+P para implementarlo en el edificio modelo escogido con la finalidad de mejorar el comportamiento térmico y acústico de las edificaciones unifamiliares en República Dominicana.

Conclusiones obtenidas en este trabajo final son:

- En lo que respecta a la reducción de la temperatura en la superficies de la fachada como aislante térmico de estas , a pesar de que no existen estudios de esta índole sobre el sistema hidropónico, según los diferentes estudios que se han realizado sobre fachada vegetal con características similares, esta puede alcanzar reducciones de temperatura considerables, pero cabe destacar que el sistema en si no es un aislante térmico, pero en climas como el de República Dominicana puede actuar como si fuese uno, ya que no hay grandes fluctuaciones en la temperatura y la incidencia del sol es prácticamente constante, en comparación con los climas del Mediterráneo Continental (en los que la fachada tienen un comportamiento diferente en verano e invierno). Debido a estas características la fachada vegetal puede tener un comportamiento similar al de un aislante térmico en la superficie (que en este caso es de hormigón armado), ya que obstaculiza la incidencia directa del sol, generando un efecto de sombreado sobre el paramento, impidiendo así que en este se acumule calor, que la temperatura aumente en el interior y que siga irradiando en las noches.
- Todo lo anterior dicho influye en la disminución del consumo eléctrico en sistema de climatización, aunque no haya estudios en lo que respecta al sistema hidropónico y la influencia de este para disminuir el consumo eléctrico por aparatos climatizadores(en el caso de la República Dominicana que generen frio), estudios han concretado que en el verano para un clima Mediterráneo continental, a un sistema (similar al hidropónico) expuesto a una temperatura constante de 24°C, la cual se encuentra en el rango de la temperaturas media del país (21°C-32°C), se ha ahorrado alrededor del 58% del consumo eléctrico.
- En lo que se refiere a la mejora acústica, que el sistema de fachada verde hidropónica, de nuevo no hay estudios en lo que esto respecta, y tampoco existe mucho material de información de los diferentes sistemas. El comportamiento de las fachadas vegetales en lo que respecta a la contaminación acústica es de atenuador y absorbente del ruido más que de aislante, ya que estas pueden atenuar hasta 2-3 dB del ruido de tráfico en fachadas con características similares a la aquí evaluada, pero se destaca que mientras más inercia de follaje se tiene talvez este podría aumentar un poco más. Cabe destacar que desde el punto de vista psicológicos estudios han concretado que el ser humano percibe una disminución de ruido solo por la presencia de las plantas.
- La fachada vegetal tiene la capacidad de reducir el efecto isla de calor, ya que por lo

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

antes comentado, proporcionan un efecto de sombra sobre los paramentos de hormigón (material con una gran capacidad de absorción y retención de calor) impidiendo así la incidencia sol en este, y las plantas utilizarían esta radiación solar para generar la fotosíntesis. Y por lo tanto reduciendo el efecto de isla de calor local en la edificación, y si hubiese más edificaciones con este sistema tal vez podría reducir este fenómeno a escala urbana. Cabe señalar que no existen estudios que proporcionen evaluaciones concretas del impacto de las fachadas verdes hidropónicas o similares en la disminución de efecto isla de calor.

- Debido al aporte de oxígeno de las plantas y la absorción de CO₂, a través de la fotosíntesis, las plantas tienen la facultad de disminuir las partículas de CO₂, pero hoy en día aún no ha sido cuantificado la cantidad de CO₂ por m² o hectáreas que un sistema de fachada vegetal (de cualquier tipo) podría reducir, aunque es reconocido que con este sistema se reducirían estas partículas.
- Estéticamente las fachadas verdes hidropónicas, tienen la facultad de elevar el aspecto de la fachada de un edificio. Además, debido a las características propias del sistema hidropónico F+P permite un aspecto más natural, menos artificial y poco geométrico con respecto a otros sistemas, ya que puedes utilizar una mayor variedad de plantas y estas permiten un mayor crecimiento de follaje.
- República Dominicana tiene una gran variedad de plantas que podrían ser utilizadas en sistemas de fachada vegetal. Se ha hecho un estado del arte de una amplia variedad de plantas autóctonas que sirven para ser implementadas en un sistema hidropónico como el seleccionado. Con el criterio del Dr. Adolph Gottschalk (Botánico y Paisajista), las más recomendadas para ser instaladas en el sistema serían las siguientes: *Sedum vede*, *Ophiopogon Japonicus*, *Sansevieria trifasciata*, *Ixora coccínea*, *Tradescantia spathacea*. Debido a las características propias del sistema, las fachadas hidropónicas permiten la implantación de una gran variedad de plantas sin tener que tomar en consideración el tipo de raíz que tengan. Las plantas escogidas fueron seleccionadas, debido a que estas sobrevivirían con un mantenimiento mínimo. Aun así, con este sistema el mantenimiento de las plantas es menor que en los demás sistemas existentes.
- El costo de implementación del sistema hidropónico en la República Dominicana, en obra nueva, no sería un impedimento para un edificio unifamiliar, sobre todo para la clase media alta de la sociedad dominicana y para edificios comerciales (bancos, oficinas, etc.), pero no sería un proyecto viable para rehabilitación, sobretodo en edificio unifamiliares, ya que aún no hay datos cuantificados de amortización en la implementación del sistema en el país. Además, de que no son conocidos los beneficios y las mejoras térmicas y acústicas que las fachadas vegetales pueden proporcionar.
- La viabilidad de uso de las fachadas vegetales en la República dominicana en edificios unifamiliares, son escasas, sobre todo con las características que queremos que proporcione el sistema (mejora térmica y acústica), tal vez podría ser implementada en menor medida como se puede apreciar en las fachadas existente, en donde tienen un objetivo estético. Por otro lado, en edificios comerciales, los cuales podrían ver de manera más clara la posible amortización de la implementación del sistema, la

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

viabilidad es mayor y si el estado Dominicano promociona, reduce los impuestos o propone tasas especiales por la construcción de fachadas vegetales, pues habría un mayor impulso para los empresarios, constructores y propietarios para implementar el sistema.

Recomendaciones para futuras investigaciones

A lo largo de esta investigación sobre fachada vegetal, su clasificación, sus aportes como sistema sostenible, ventajas y desventajas de cada clasificación y de su comportamiento para la mejora térmica y acústica en climas tropicales, caben destacar las siguientes recomendaciones.

- Se deben de realizar más investigaciones sobre el sistema de fachada vegetal hidropónica ya que no existe mucho material de investigación de este sistema.
- Se debe de evaluar el comportamiento de las fachadas vegetales en general en climas tropicales, para tener datos cuantificados de su comportamiento térmico y acústico en este entorno.
- Se debe de tener en consideración que el coste de los sistemas hidropónicos es alto, sobre todo el inicial y este es incluso mayor si viene con un sistema de monitoreo. Aunque cabe destacar que los beneficios podrían ser sustanciales.
- Se debe de evaluar cuanto ahorro de consumo eléctrico se economizaría con la implementación de un sistema de fachada vegetal hidropónica, y sí es posible amortizar con este ahorro la implementación del sistema.
- Se recomienda realizar un sistema de fachada vegetal con materiales autóctonos del país en el que se va a implementar, para evaluar si el costo final de implementación se disminuye, además de que transportar estos sistemas desde países extranjeros conlleva un consumo energético excesivo y mayor impacto ambiental.
- Se debe de realizar análisis de ciclo de vida (ACV) de estos sistemas para evaluar el impacto ambiental de estos, sobre todo cuando son productos exportados.
- Una de las grandes problemáticas de estos sistemas (fachadas vegetales en general) en la República dominicana, es el mantenimiento, se deben de buscar soluciones que hagan estos sistemas más auto-sostenibles y menos rigurosos.

Bibliografía

- Administration), N. N. (2017). Obtenido de <http://www.noaa.gov/index.html>
- Amich, T. (2018). *Todo sobre el Sedum*. Obtenido de Sempergreen: <https://www.sempergreen.com/es/soluciones/cubiertas-vegetales/todo-sobre-el-sedum>
- Ana M. Lacasta, A. P. (2018). *Green Streets for Noise Reduction*. Barcelona.
- Barcelona, L. d. (2010). *Cobertes I Murs Verdes a Barcelona*. Barcelon, España : Agencia d' Ecologia Urbana de Barcelona.
- Climate-Data.org. (2018). *Clima:Republica Dominicana*. Obtenido de Climate-Data.org: <https://es.climate-data.org/location/3882/>
- CNE, C. N. (Noviembre de 2015). *GERENCIA DE FUENTES ALTERNAS Y USO RACIONAL DE ENERGÍA*. Obtenido de ENERGÍA SOLAR: <http://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2015/11/potencial-solar.pdf>
- Coma, J & Pérez, G. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *ScienceDirect*, 228-237.
- Coma, J. (2016). *Green roofs and vertical greenery systems as passive tools for energy efficiency in buildings*. Lérida: Universitat de Lleida.
- Diconfo. (2010). *Torre Palo Alto*. Obtenido de Diconfo: <http://www.diconfo.com/index.php/proyectos/apartamentos/torre-palo-alto>
- Dominican.Gob. (Enero de 2018). *Geografía y Clima de la República Dominicana*. Obtenido de Dominican.Gob: <http://www.gob.do/index.php/pais/2014-12-16-20-31-30>
- Echave, C. (2007). *Ver des de la ciudad, Potencial de habitabilidad termica en espacios urbanos*. Obtenido de issuu.com: https://issuu.com/cynthiaechave/docs/ver-des-de-la-ciudad_cynthia_echave
- Espacios. (08 de 10 de 2013). *Santo Domingo ecológico... ¡De paredes a techo!* Obtenido de Diario Libre: <https://www.diariolibre.com/estilos/espacios/santo-domingo-ecologico-de-paredes-a-techo-MMDL405485>
- Estadística(ONE), O. N. (2012). *IX CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA*. Republica Dominicana: Informe general: volumen I.
- Foroplantas. (2010). *Ficha de la Tradescantia spathacea variegata*. Obtenido de Foroplantas: http://foroplantas.facilísimo.com/foros/plantas-y-flores/ficha-de-la-tradescantia-spathacea-variegata_559313.html
- Francisco, J. S. (Julio de 2017). *Sedum Verde*. Obtenido de Jardin San Francisco: <http://www.jardinsanfrancisco.cl/index.php/sedumverde.html>
- Gardenia. (2018). *Ophiopogon japonicus Mondo Grass*. Obtenido de Gardenia: <https://www.gardenia.net/plant/Ophiopogon-japonicus-Mondo-Grass>
- Gottschalk, A. (2013). Jardines verticales en Santo Domingo. *Arquitexto*, 47-51.

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

- Henríquez, P. (01 de 03 de 2013). *Un jardín vertical en la calle El Conde*. Obtenido de Listin Diario: <https://www.listindiario.com/la-vida/2013/03/01/267788/un-jardin-vertical-en-la-calle-el-conde>
- Infojardin. (2017). *Sansevieria, Rabo de tigre, Lengua de suegra, Sansevieras, Lengua de tigre, Espada de San Jorge*. Obtenido de Infojardin: <http://fichas.infojardin.com/crasas/sansevieria-trifasciata-rabo-tigre-lengua-suegra-sansevieras.htm>
- Integralgarden. (26 de 11 de 2017). *cubiertas vegetales* . Obtenido de Integralgarden: <http://www.integralgarden.com/index.php/cubiertas-vegetales>
- InvimansarRD. (2012). *Torre Valentina IV*. Obtenido de InvimansarRD: <http://invimansard.com/Propiedades/torre-valentina-iv/>
- Jmarcano. (2018). *Temperatura*. Obtenido de Jmarcano: <http://www.jmarcano.com/mipais/geografia/clima/clima2.html>
- Maldonado, F. (06 de 10 de 2012). *Grupo Puntacana inaugura Pared Verde, será modelo a implementar en otros proyectos*. Obtenido de Musicacinetv: <https://musicacinetv.wordpress.com/2012/06/10/grupo-puntacana-inaugura-pared-verde-sera-modelo-a-implementar-en-otros-proyectos/>
- Mascotas, P. y. (2012). *ixora enana (ixora coccinea compacta)*. Obtenido de Plantas y Mascotas: <http://www.plantasymascotas.com/ixora-enana-ixora-coccinea-compacta.html>
- Meteorología, O. N. (2017). *Climatología Nacional*. Obtenido de ONAMET(Oficina Nacional De Meteorología): <http://onamet.gov.do/m/pdto/08w-wprono/01w-wpronostico-general.php>
- Navarro Portilla, J. (Septiembre de 2013). *LOS JARDINES VERTICALES EN LA EDIFICACIÓN*. Obtenido de Riunet: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>
- PERALTA, M. (2015). *Ixora o Coralillo*. Obtenido de Arboles y flores marilin: <https://arbolesyfloresmarilin.wordpress.com/2015/12/07/ixora-o-coralillo/>
- PERALTA, M. (2016). *Maguey Morado*. Obtenido de Arboles y Flores Marilin: <https://arbolesyfloresmarilin.wordpress.com/2016/03/08/maguey-morado/>
- Planthogar. (2018). *Sansevieria, Espada de San Jorge*. Obtenido de Planthogar: <http://www.planthogar.net/enciclopedia/fichas/138/sansevieria-espada-de-san-jorge-sansevieria-trifasciata.html>
- PRODUCCIONES, A. (2015). *Planta Lengua de Suegra: Beneficios, Propiedades y Cuidados*. Obtenido de Blogichics: <https://www.blogichics.com/2015/09/03/propiedades-medicinales-de-la-planta-lengua-de-suegra/>
- Ramos Garcia, E. (Abril de 2015). *Estudi mediambiental dels murs verds i anàlisi dels sistemes constructius aplicats a un projecte d'implantació a Barcelona*. Obtenido de UPCommons: <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/76700>
- Rosa, C. R. (02 de 2015). *"CUBIERTAS VEGETALES EN LA REGIÓN DEL CARIBE" Caso de estudio: viviendas sociales de la República Dominicana*. Obtenido de UPCommons: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25659/memoria.pdf?sequence=1>

FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA

Ruiz Daza, Elena & Turrillo Elba, Javier. (s.f.).

Sansevieria trifasciata 'Laurentii'. (2017). Obtenido de Jardinitis:

<https://www.jardinitis.com/productos/plantas-y-semillas/plantes/plantas-de-interior/sansevieria-trifasciata-laurentii-1>

TemperatureWeather. (2018). *Promedio mensual de datos meteorológicos para la región de Santo Domingo en República Dominicana*. Obtenido de TemperatureWeather:

<http://www.temperatureweather.com/caribic/tiempo/es-tiempo-en-republicadominicana-santodomingo.htm>

Tena, M. P. (Diciembre 2014). *Determinación de la conductividad térmica en la industria cerámica por el método modificado de la fuente plana transitoria*. Catellón, España: Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE).

Toni, L. H. (Dirección). (2013). *Como Preparar La Mesa De Cultivo || Huerto Urbano* [Película].

Toribio, Y. M. (2013). *Aplicabilidad del sistema Stell-Frame en viviendas economicas de Republica Dominicana*. Barcelona, España: UPCommons.

Urbano, J. (2015). *Sustratos para Jardines Verticales*. Obtenido de JardinesVerticales.pe:

<http://www.jardinesverticales.pe/sustratos-para-jardines-verticales-332-n.html>

Urbano, P. (Diciembre de 2017). *Sistema f+p para Jardines Verticales*. Obtenido de Paisajismo Urbano:

<http://www.paisajismourbano.com/sistema-f-p>

Urbano, P. (Diciembre de 2017). *Sistema F+P, Memoria técnica para la construcción de*. Obtenido de Paisajismo Urbano:

<http://www.paisajismourbano.com/uploads/documentos/MemoriapliegoFP.pdf>

Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of Green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 46-56.

Weatherspark. (2018). *El clima promedio en Santo Domingo República Dominicana 2017*. Obtenido de Weatherspark: <https://es.weatherspark.com/y/27168/Clima-promedio-en-Santo-Domingo-Rep%C3%BAblica-Dominicana-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Web, J. V. (Diciembre de 2017). *Jardines Verticales -Diseños, Plantas y Consejos*. Obtenido de <http://www.jardinesverticalesweb.com/>

Wikipedia. (2017). *Ixora coccinea*. Obtenido de Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Ixora_coccinea

Wikipedia. (2017). *Sansevieria trifasciata*. Obtenido de Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Sansevieria_trifasciata

Wikipedia. (2017). *Tradescantia spathacea*. Obtenido de Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Tradescantia_spathacea

Wikipedia. (2015). *Sedum spurium*. Obtenido de Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Sedum_spurium

Wikipedia. (2016). *Ophiopogon japonicus*. Obtenido de Wikipedia:

https://es.wikipedia.org/wiki/Ophiopogon_japonicus

**FACHADA VEGETAL PARA LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y ACÚSTICO
DE EDIFICACIONES UNIFAMILIARES EN REPÚBLICA DOMINICANA**

Yang, F. B. (2011). An assessment of psychological noise reduction by landscape. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 1032-1048.