



Soluciones para el Sobrecalentamiento de Edificios en Zonas Urbanas en Puerto Rico

Kasheyman Pabón Vázquez
801-14-5232

Contenido

4	Introducción
6	Islas de Calor
8	Hormi3n: Material Principal de Construcci3n
10	Material para Disminuir Temperaturas
11	Techos y Paredes Verdes
14	Tipos de Techos Verdes
15	“Retrofit”
16	Precedente en Puerto Rico
20	Precedentes Mundiales
26	Propuesta de Dise3no
32	Conclusiones
34	Referencias

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
Escuela de Arquitectura

PROGRAMA GRADUADO

Aprobación de Proyecto de Fin de Carrera
Grado de Maestría en Arquitectura

Candidato a grado: Kasheymar Pabón Vázquez
Fecha Jurado: 17 de mayo de 2022

Título del Proyecto de Fin de Carrera: Soluciones para el sobrecalentamiento de edificios en zonas urbanas en Puerto Rico

Decana	_____	_____
	Mayra O Jiménez Montano, Ph.D.	Fecha

Coordinadora Programa Graduado	_____	_____
	Blanquita Calzada Acosta	Fecha

Profesora	_____	_____
	Inés Penabad Peña	Fecha

Consejeros	_____	_____
	Juan C. Penabad Sánchez	Fecha

	_____	_____
	Omayra Rivera Crespo	Fecha

	_____	_____
	José Pagán Parés	Fecha

Los profesores a cargo del curso autorizan que el documento del Proyecto de Fin de Carrera para completar el grado de Maestría en Arquitectura, se incluya en el Repositorio Institucional de la Universidad de Puerto Rico.

Introducción

El aumento de construcción en los centros urbanos y el poco, o nulo uso de la vegetación en estas zonas ha provocado unas altas temperaturas. Esto ha impactado grandemente al clima e incluso a la climatización de los edificios. Las islas de calor son un fenómeno de origen térmico que se produce en áreas urbanas y que consiste en que existe una temperatura diferente, que tiende a ser más elevada especialmente durante la noche. Suele producirse en el centro de las ciudades, donde se suele construir masivamente.

Existen numerosos elementos que desprenden calor en el centro de las ciudades. Los sistemas de climatización, los autos y las luces, especialmente concentrados en los núcleos urbanos, calientan el aire de los centros urbanos mucho más

que en las afueras. Los materiales que se utilizan para construir en las ciudades, que son el concreto y el asfalto, entre otros, favorecen a las islas de calor. Por la noche estos materiales desprenden muy lentamente el calor que captan durante el día, y aumentan las temperaturas nocturnas. Esto no sucede en las áreas rurales que rodean las ciudades, donde abunda la tierra y la vegetación que tienen la capacidad de perder el calor más rápidamente.

La isla de calor afecta a las comunidades cercanas al aumentar la demanda de energía por el uso del aire acondicionado, sobre todo en verano. Por ende, aumenta la contaminación del aire, las tormentas por las emisiones de gases de efecto invernadero, y la mortalidad relacionadas con el calor. Los techos y

paredes verdes mitigan el efecto de las islas de calor. Las áreas de vegetación son más frescas ya que las plantas absorben la mayor parte de la energía recibida del sol. También reduce la contaminación del agua de lluvia, filtrándolas de forma natural a través de las plantas y por el substrato. Las superficies verdes también ayudan a reconstruir el paisaje natural, conserva la energía, mejorar la calidad de aire y reducir ruido. Otro beneficio ambiental es el aumento de la biodiversidad ya que los techos verdes crean nuevos hábitats naturales para las plantas, las aves y los insectos.

¿Qué produce el sobrecalentamiento de un edificio, y cómo el uso de techos y paredes verdes se podrían utilizar para disminuir el mismo?, se desarrolló como la pregunta de investigación. Como pregunta de investigación Como hipótesis se podría decir que si se utiliza vegetación en un edificio, como paredes o techos verdes, podría afectar positivamente al mismo.

Colocar vegetación en zonas de un edificio que reciben gran cantidad de luz solar durante el año, como el techo y las fachadas Sur, Este y Oeste, podría ayudar a que la temperatura baje y se pueda evitar el sobrecalentamiento.

Como objetivos es importante: determinar los beneficios del uso de paredes y techos verdes en edificaciones; determinar si utilizar vegetación en fachadas con mayor incidencia solar, es de beneficio para la temperatura interior de

un edificio; investigar qué tipo de vegetación es la recomendada para utilizar en lugares como el Caribe; por último, investigar de que otra manera promover mejorar el medio ambiente al utilizar las cubiertas vegetales.

Algunos temas a investigar serían las funciones y beneficios del uso de techos y paredes verdes. También los tipos de techos verdes y sus sistemas, los detalles de implementación de un techo verde, los costos, el mantenimiento y la vida útil. Finalmente es importante saber si la vegetación en techos y paredes resisten al clima del Caribe. En base al tema de investigación “El sobrecalentamiento de edificaciones en zonas urbanas”, estaría utilizando varios métodos de investigación. La Investigación Histórica, sería pertinente ya que se podría ver el trasfondo del uso de los techos verdes, desde cuando se comenzaron

a utilizar, cuál era el uso principal al colocar techos verdes y cómo con el paso del tiempo ha evolucionado y qué otras funciones le suelen brindar al mismo. Otro método sería el de la Investigación Cuantitativa y Correlacional, sería efectivo para poder comparar estudios o causas de los usos de los techos verdes y sus beneficios. Esta investigación implica también realizar encuestas, observaciones y algo que se estará utilizando es el uso de archivos. La última metodología de investigación sería la Investigación de la Teoría y la Argumentación. Un marco de referencia con respecto al tema de investigación podría ser útil en la investigación. Se puede establecer diversos puntos dentro del tema de techos verdes como, asociar o desasociar con temas relacionados, establecer una analogía, utilizando imágenes que apoyen lo expuesto.



Islas de Calor

Más de la mitad de la población mundial vive en ciudades. Las zonas urbanas ya consumen la mayor parte de la energía mundial y generan el grueso de los desechos, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero. El rango completo de impactos de la expansión incluye no sólo sobre los recursos ambientales y las áreas naturales y protegidas, sino también sobre los ambientes rurales, la salud y la calidad de vida así como socioeconómicos.

En el modelo de ciudad compacta, donde grandes cantidades de personas se concentran en áreas pequeñas hay ciertas ventajas en términos de desarrollo económico y social, y en algunos aspectos incluso puede ser beneficioso para el medio ambiente. Por ejemplo, el uso del suelo y el consumo de energía tienden a

ser menores en áreas urbanas compactas comparadas con áreas con población dispersa. La infraestructura de transporte impacta el paisaje en muchas formas. El sellado de suelos incrementa los efectos de inundaciones y la fragmentación de áreas naturales, que son solo dos de los problemas, sin olvidar los problemas de congestión, contaminación del aire, ruido, etc. Los cambios en el estilo de vida asociado con la expansión urbana contribuyen e incrementan el uso de recursos. Cada vez más gente vive en casas unifamiliares, lo que tiende a ser menos eficiente y requiere más recursos por capacidad que los edificios multifamiliares. El número de casas creció en un 11% entre 1990 y 2000, una tendencia que incrementa el uso del suelo y actúa como conductor para

la expansión de áreas urbanas.

La tendencia general es de un mayor consumo de recursos por capacidad con un crecimiento asociado de impacto ambiental. El consumo de suelo y reducciones en la densidad de población, al expandirse las ciudades conlleva un consumo creciente de energía, además de que una red de distribución de la energía a mayores distancias disminuye su eficiencia. En la mayoría de las ciudades compactas, las carencias desde el punto de vista de la biodiversidad aumentan con el tamaño. Por ejemplo, el efecto de isla de calor es mayor en las grandes ciudades.

El sobrecalentamiento se produce cuando un exceso de calor se acumula en el interior del edificio a partir de fuentes externas, como el sol, o a partir de fuentes inter-

“El mal clima es debido al excesivo incremento de las superficies selladas, es por esto que surgen en las zonas de aglomeración urbana. Esto podría mejorarse esencialmente a través de un aumento de superficies verdes, fundamentalmente enjardinando edificios y reduciendo las superficies pavimentadas.”

-André Camacho

nas como los electrodomésticos, en cualquier caso, que no se pueden eliminar rápida y fácilmente. La ubicación del edificio, cómo se orienta, cómo se construye, cómo se ventila, la forma en que se calienta, y cómo se utiliza, contribuyen al grado de cumplimiento de este papel “amortiguador”. Todos los edificios deberían actuar como un amortiguador físico entre el exterior y el interior para proteger a sus habitantes de los extremos del ambiente externo. El uso de ciertos materiales en la construcción de los edificios influye en la temperatura de estos. El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción de edificios en la zona urbana. Este material tiene gran masa térmica, por lo que suele calentar las estructuras tanto fuera como dentro.



Hormigón: Material Principal de Construcción

Durante el Imperio Romano el uso del hormigón como elemento constructivo tanto en grandes como en pequeñas estructuras e infraestructuras alcanzó un grado de tal satisfacción que no se volvió a utilizar de la misma forma hasta el siglo XIX. Esto se debió posiblemente a la gran habilidad constructiva de los romanos y a la facilidad de conseguir cerca de Roma arenas volcánicas con propiedades cementicias, con las que preparaban un mortero mezclando dichas arenas con piedras naturales. El hormigón armado estuvo muy ligado a la industrialización. Tuvo su punto de partida a comienzos del siglo XX, cuando llegaron las primeras patentes desde Francia e Inglaterra, se comenzó a producir el cemento Pórtland industrialmente y surgió en Guipúzcoa la necesidad de



“El clima de Puerto Rico siendo un húmedo tropical, a la hora de construir no se tiene en cuenta los materiales que son favorables para una estructura.”

-B. Cueto

crear nuevas construcciones a causa de la industrialización.

“En Puerto Rico, los morteros hidráulicos han sido utilizados para construir desde el siglo XVI, cuando, como colonia española, se heredaron las tradiciones edilicias ibéricas.” (Cueto, B. 2016.) Durante el siglo XIX y principios del siglo XX, las tradiciones constructivas en la Isla evolucionaron grandemente con el uso del polvo de ladrillo o cemento artificial, materiales necesarios para preparar mezclas hidráulicas. El cemento Portland genuino fue importado a la Isla desde de la década del 1850 procedente de Bélgica, Alemania y Dinamarca. Como consecuencia de la Guerra Hispanoamericana, el nuevo Gobierno insular emprendió un ambicioso plan de construcción de carreteras, puentes

y escuelas. Gran cantidad de los edificios institucionales y de vivienda de la época utilizaron cemento Portland como parte de la mezcla para el hormigón armado, imitando modelos introducidos por el Gobierno norteamericano, grupos religiosos protestantes y los militares. Como parte de estas iniciativas, en 1903 se construyó el primer puente en hormigón armado sobre el río Mavilla en Corozal. El hormigón tiene algunas características, como por ejemplo, ofrece una gran durabilidad ya que no es debilitado por la humedad, el moho o las plagas. El hormigón ofrece una gran versatilidad, a que puede encontrarse en construcciones como edificios, túneles, puentes, presas, pistas de aterrizaje, pavimentos de sistemas de alcantarillado y carreteras. El

mismo no requiere mucho esfuerzo en su mantenimiento, al ser un material inerte, compacto y no poroso. No pierde sus propiedades clave con el tiempo. Tiene gran resistencia al fuego, lo que convierte a este material en una de las mejores opciones a la hora de reforzar la protección anti-incendios de un edificio. También el hormigón tiene una gran masa térmica, por lo que retienen mejor las temperaturas. En el Caribe esta característica no es beneficiosa, ya que las temperaturas suelen ser muy altas y el hormigón absorbe todo el calor, el cual va desprendiendo durante horas de la noche. En Puerto Rico al construir la gran mayoría de las estructuras en hormigón en las zonas urbanas se comienza a crear el efecto de isla de calor, el cual hace elevar las temperaturas de esas áreas.

Materiales para disminuir Temperaturas

Existen algunos materiales que tienen una serie de propiedades que les permiten actuar como un buen aislamiento frente al calor. Estos incluyen una buena conductividad térmica, capacidad de volver a liberar el enfriamiento pasivo, retraso térmico, transmisión lenta de calor, baja reflectividad, menor redistribución de calor y alta capacidad de calor volumétrico, capacidad elevada de almacenar calor.

Las viviendas de madera presentan un buen comportamiento térmico, un muro con estructura de madera de 100 mm de espesor, tiene una capacidad para resistir el calor 3.6 veces mayor que un muro de ladrillo de 140 mm de espesor; y 5,7 veces mayor que un muro de hormigón de 200 mm de espesor. Los techos blancos también conocidos como

“techos fríos”, es un proceso que está diseñado para reducir la absorción de radiación solar, lo que a su vez reduce el calor que se transfiere dentro del edificio. Una reflectancia solar elevada es la característica más importante de un techo frío ya que contribuye a reflejar la luz solar y el calor, y desviarlos de un edificio, reduciendo así la temperatura del techo. La masa térmica elevada también desempeña un papel importante, en particular, en climas cálidos y soleados. En conjunto, estas propiedades contribuyen a que los techos absorban menos calor y se mantengan más frescos que los materiales convencionales durante el clima pico de verano.

Tomando en cuenta lo mencionado por Pérez, otro material beneficioso para disminuir la temperatura de las

estructuras es el uso de vegetación, como paredes y techos verdes. Los techos y paredes verdes influyen en el mejoramiento del clima de la ciudad, optimizan la aislación térmica, el almacenamiento de calor en un edificio, y si aislación acústica. También el uso de estos es considerado a largo plazo, más económicos que las cubiertas convencionales. Utilizar techos enjardinados conduce, a una construcción ecológica y económica.

“Algunas de esas soluciones relativamente simples son el incremento de la cobertura de áreas verdes, las tecnologías sostenibles como la energía solar, los materiales de construcción que reflejan los rayos solares, la reutilización de aguas de lluvia, y el almacenamiento de agua y energía.” (Collante, G. 2012).

Techos y Paredes Verdes

Los techos verdes son conocidos hace siglos, tanto en los climas fríos, como en los climas cálidos. En la zona de climas fríos sirven para calentar, puesto que almacenan el calor de los ambientes interiores y en los climas cálidos enfrían, ya que mantienen aislados los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior. En estos techos, la vegetación junto con la tierra modera extraordinariamente las variaciones de temperatura en los ambientes de vivienda. La implementación de techos verdes surgió como una necesidad de los habitantes de algunos países de Europa y del Norte de América, donde se alcanzan temperaturas muy bajas, pues les ayudaba a conservar una confortable temperatura. El proceso de construcción constaba de 2 o 3 capas de

turba, apoyadas sobre ramas cubiertas por gruesos paneles de césped, asegurándose que el techo contara con la inclinación necesaria para cumplir la función de un impermeabilizante.

El implementar techos y paredes verdes en estructuras trae muchos beneficios, entre ellos ambientales y estéticos. Collante en su artículo menciona las ventajas y los beneficios ambientales como son el control del agua de lluvia y precipitaciones, reducción de la contaminación del agua de lluvia, reconstrucción del paisaje natural, conservación de energía, mejoramiento de la calidad del aire, reducción de ruido, mitigación de efecto de la isla de calor y el aumento de biodiversidad.

Dentro de los beneficios ambientales se encuentra el control de el agua

de lluvia y las precipitaciones. Los techos verdes tienen la capacidad de absorber el 40% de agua de lluvia, el restante 60% drena por las tuberías filtradas naturalmente por medio del crecimiento de las plantas. Así se reduce la presión en los sistemas de alcantarillado pluvial en las grandes ciudades y se permite una evaporación más rápida de la humedad acumulada, evitando el fenómeno de la isla de calor. También reduce la contaminación del agua de lluvia, filtrándolas de forma natural por las plantas y por el substrato, reduciendo su nivel de contaminación. Trabaja con la reconstitución del paisaje natural, la conservación de energía, el mejoramiento de la calidad de aire y la reducción de ruido. La profesora de diseño sostenible y biodiversidad urbana, Sian Moxon, menciona



“Los techos verdes además de influir en el mejoramiento del clima de la ciudad, también optimizan la aislación del calor del edificio, y su aislación acústica. Además, son considerados, a largo plazo, más económicos que las cubiertas convencionales.”

-Samuel Moxon

en el artículo Living Walls are the Key to Cooler Cities, “Implementar paredes y techos verdes ayuda a enfriar los interiores de los edificios y las calles a través del sombreado, el aislamiento y la evapotranspiración. Además de mejorar la salud y el bienestar de las personas, las paredes verdes impulsan la biodiversidad urbana, proporcionando un hábitat para las aves que anidan y los polinizadores para ayudar a abordar la crisis ecológica y climática. Las fachadas verdes sencillas y económicas, formadas a partir de plantas trepadoras cultivadas a nivel del suelo, son las más versátiles y requieren poco mantenimiento. Pero los sistemas complejos de muros vivientes pueden tener un mayor impacto en los proyectos comerciales. También existe la posibilidad

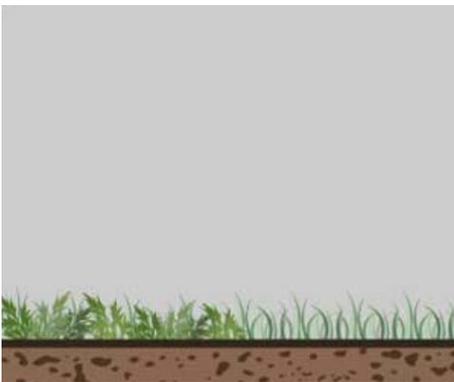
de que las fachadas bioactivas, construidas con materiales receptivos al crecimiento de algas y musgo, transformen las ciudades en el futuro.” (Moxon, S. 2021)

Otro beneficio ambiental es el aumento de la biodiversidad, los techos verdes crean nuevos hábitats naturales para las plantas, las aves, los insectos. Los techos verdes mitigan el efecto de las islas de calor, las áreas con masa de vegetación próximas son más frescas ya que las plantas absorben la mayor parte de la energía recibida del sol, el 2% es usado para la fotosíntesis, el 48% pasa a través de las hojas y es almacenado en la planta, el 35% es transformado en calor usado para la transpiración y sólo el 20% es reflejado. Implementar techos verdes también puede generar beneficios

económicos, mediante la creación de nuevos empleos en producción, diseño, instalación y otros servicios. El mayor beneficio financiero de un techo verde no es el dinero ahorrado en las facturas eléctricas, sino más bien no tener que reemplazar y mantener un techo regularmente. Debido a que los techos verdes extienden la vida útil de un techo entre 200 y 300 por ciento, los propietarios pueden ahorrar costos significativos a largo plazo. Actualmente existen cuatro tipos de techos verdes que se pueden implementar, techos verdes Intensivos, Semi-Intensivos, Extensivos y Biodiversos. Los techos verdes biodiversos son considerados una variación de las extensivas, pero con algunas diferencias estructurales que son capaces de soportar.

Techos Extensivos

El sistema de techos Extensivos es utilizado en tejados de difícil acceso o con gran pendiente. Se trata de un tipo de cubierta muy económico, ligero, ya que tiene un sustrato de espesor reducido y poca cantidad de nutrientes requeridos y requiere un mantenimiento mínimo. Las plantas más adecuadas para su instalación son las especies de sedum, plantas vivaces y gramíneas. En general, plantas ruderales resistentes, con poca necesidad de riego, fertilizantes o nutrientes más allá del sustrato natural que ya usan. Esta cubierta está diseñada específicamente para crear un hábitat que atraiga a unas especies particulares de plantas, insectos y pájaros, creando un hábitat similar al que existía en el lugar antes de la edificación.



Espesor de Tierra:
4" a 8"

Vegetación:
Sedums, Gramíneas, Musgos,
Herbáceas.

Mantenimiento:
Bajo

Techos Semi-Intensivos

El sistema de techos Semi-Intensivos es una combinación entre la cubierta verde intensiva y la cubierta verde extensiva. Este sistema es ideal para tejados finos que son parcialmente accesibles. Se suelen utilizar en azoteas con uso social o recreativo por lo que se le añaden elementos paisajísticos para hacerlas más llamativas. Estos sistemas se instalan sobre tejados de metal y de hormigón que puedan soportar el sobrepeso y la membrana impermeable. Un sistema semi-intensivo se caracteriza por una mayor variedad vegetal. Comparado con los sistemas extensivos, este puede sustentar plantas herbáceas, césped o pequeños matorrales y requiere de un mantenimiento moderado con riego esporádico.



Espesor de Tierra:
6" a 14"

Vegetación:
Gramíneas, Herbáceas, Arbustos.

Mantenimiento:
Bajo

Techos Intensivos

Los techos verdes Intensivos consisten en plantar un jardín doméstico en el techo de un edificio, a esto también se le conoce como cubiertas ajardinadas. Requieren de un mantenimiento periódico, con tareas habituales de jardinería como corte de césped, abonado, riego y drenaje, debido a que su variedad vegetal es superior a la que se puede desarrollarse en una cubierta extensiva. Este tipo de sistemas es el que mayor aislamiento proporciona, lo que supone una ventaja a la hora de reducir el consumo energético de un edificio. Además, filtran y purifican el aire urbano y el agua de lluvia, por lo que sus beneficios medioambientales son más que evidentes.



Espesor de Tierra:
16" a 40"

Vegetación:
Gramíneas, Herbáceas, Arbustos,
Árboles.

Mantenimiento:
Alto

“Retrofit”

En el tema de los edificios sustentables, existe el término en inglés retrofit, que en general se refiere a los cambios de sistemas dentro de un edificio existente que representan una mejora o renovación. Esto a su vez constituye un mejoramiento en la eficiencia del edificio mismo, es decir, mejorar el rendimiento del edificio, también conocido como reconversión.

Las remodelaciones de edificios pueden contribuir a la salud mental y física y el bienestar de los habitantes. Esto puede lograrse al aumentar la eficiencia e inteligencia de los edificios para mejorar el confort térmico, lumínico y de ruidos. Se ha encontrado una relación entre temperatura interior y mortalidad debido a enfermedades cardiovasculares y la incidencia de asma en

edificios con moho y humedad. Puede reducirse el nivel de emisiones contaminantes atmosféricas locales al reducir la necesidad de quemar tantos combustibles fósiles por medio de una reducción en el consumo energético de los edificios existentes. Esta reducción en la contaminación local puede traer beneficios para la salud, al contar con aire más limpio en las ciudades. Pueden lograrse ahorros de energía sustanciales al intervenir en los edificios existentes con el objetivo de mejorar su eficiencia. Esto permite a las empresas reducir sus costos operativos y mejorar su rentabilidad. Una transformación de los edificios existentes en la dirección de una mayor eficiencia puede permitir que los edificios a nivel de región utilicen menos energía y se desconges-

tionen las redes de energía eléctrica. También se reduce la necesidad de nuevas inversiones en la expansión de la generación eléctrica existente, minimizando riesgos de afectar la seguridad del suministro a todos los usuarios. Al implementar retrofits de edificios existentes y obtener ahorros en costos de operación y mantenimiento, es posible destinar más recursos a otros segmentos productivos de la economía. Puede reducirse el número de hogares en condiciones de pobreza energética mediante las remodelaciones de edificios, especialmente de vivienda social y multifamiliar, a través de una reducción significativa de costos de energía eléctrica y combustibles.

Precedentes en Puerto Rico

El Cuartel de Ballajá, ubicado en Viejo San Juan, es otro de los lugares donde han implementado el uso de techos verdes, en este caso se puede decir, que la implementación del mismo si fue con la función de tener un edificio sustentable y la mejora del sobrecalentamiento del mismo. Este importante recurso histórico construido con fines militares, ha ido evolucionando con el paso del tiempo convirtiéndose en un centro cultural, rindiendo tributo al rico patrimonio cultural de Puerto Rico. El Cuartel de Ballajá ocupa un espacio de 7.700 metros cuadrados, distribuidos en tres plantas alrededor de un amplio patio. El extenso techo verde fue parte de varios proyectos de “intervención verde” completados como modernizaciones de ahorro

de energía en el Cuartel de Ballajá, incluido un sistema fotovoltaico con 720 paneles solares. También el techo verde cuenta con varias áreas de descanso y miradores que fueron creados para apreciar la vista del Fuerte San Felipe del Morro y la Iglesia San José. Se construyó un gran humedal artificial de 1.800 pies cuadrados en el techo viviente para administrar cantidades más altas de agua de lluvia en su superficie, de forma que el agua se almacenara y se utilizara según sea necesario como sistema de riego suplementario. El techo verde también tiene un muro verde hidropónico diseñado a medida en dos lados de una de las estructuras del techo, que mide 6 x 80'. La pared tiene una tubería de goteo interna que se abastece de agua del humedal. El sistema de

riego tiene un sensor que, cuando el techo alcanza condiciones críticas de sequía, toma agua del humedal y la usa para riego. Los sistemas de circulación airean el agua y proporcionan riego para una pared viva plantada. La pared, a su vez, sirve como biofiltro para el lago, que está repleto de peces. El arquitecto Carlo Rubio en la revista 80 Grados comenta, “convertir el Recinto Ballajá en uno sustentable que no dependa de fondos públicos; si logramos eso no vamos a estar a merced de las crisis y vamos a mantener la puesta en el valor del Cuartel”. (Rubio, C. 2019.)



En San Juan, Puerto Rico existen aproximadamente tres edificios, dos públicos y uno privado, que cuentan con el uso de techos o paredes verdes. Sin embargo, no todos los han instalado con la función de reducir el sobrecalentamiento dentro de los edificios. Esto no implica que los mismos no estén haciendo la función de reducir las temperaturas en su interior. Uno de estos ejemplos es el estacionamiento del Conservatorio de Música en San Juan. El mismo es parte de un proyecto de retrofit, o reuso adaptado del edificio histórico de lo que solía ser un orfanato llamado Antigua Casa de Niñas. El Conservatorio de Música es una organización semi gubernamental sin fines de lucro. Según Vilma Blanco el propósito principal de este techo verde es estético y de ocio y completa el paisaje que rodea el edificio principal. Blanco comenta en el artículo de Nuevas tendencias

en la Arquitectura Paisajista “...En él se observa uno de los propósitos que tengo como profesional: la misión de que las personas que lo usen sientan paz. Lograr un ambiente que brinde tranquilidad y nos proporcione un espacio de sosiego en la ciudad”. (Blanco, V. 2015.) Aunque fue construido sobre un estacionamiento de tres pisos, parece estar a nivel del suelo debido al cambio de nivel del suelo. El objetivo principal es que los visitantes lo disfruten. El techo verde se compone principalmente de cinco canchales elevados con una pasarela pavimentada entre ellos. Algunas de estas pasarelas tienen escalones y una entrada para que los visitantes puedan caminar por ellas. Una de estas áreas tiene un anfiteatro para presentaciones en vivo y las plantaciones incluyen varios terraplenes para que la gente pueda recostarse en ellos para relajarse o escuchar un concierto en

curso. Tiene una gran vista al Océano Atlántico, incluida una vista del Fuerte San Geronimo. Este es el primer techo verde intensivo construido en Puerto Rico y, con ventaja, el techo verde más grande de la isla. El tamaño del área es de aproximadamente 40,000 pies cuadrados, incluyendo pasarelas pavimentadas. Las macetas tienen diferentes profundidades que varían desde 2 pies hasta 5 pies. Utilizaron materiales livianos disponibles localmente y llantas de caucho trituradas de aproximadamente 5/8 de pulgada de tamaño.





Otros proyectos donde se tomó en cuenta el uso de techos y paredes verdes y recolección de aguas para el mantenimiento del mismo en Puerto Rico, son los edificios del Banco Popular en la Milla de Oro, Hato Rey el BPPR Urban Hub y la Fundación Banco Popular. Es el resultado de una visión del Banco Popular de Puerto Rico para transformar un enorme lote vacío en el centro del distrito financiero de San Juan, en un lugar de actividad comercial y, de entretenimiento durante la noche, y de recreación y relajación durante el día, con un oasis verde. Agregaron elementos placenteros como muros verdes, fuentes de agua y un techo retráctil motorizado que proporciona sombra y protección contra la lluvia. Transformaron la azotea del Popular Center en una

Plaza Popular con un espacio al aire libre de 17,272 p², áreas de estanques, y espacios disponibles para diversidad de actividades. Crearon áreas recreativas pasivas, con escalones de hierba que funcionan como asientos públicos, o bancos, áreas con sombra de árboles y pérgolas de acero con techos de vidrio. El restaurante ahí ubicado cuenta con un techo verde en ángulo, que recibe el sol y la lluvia necesaria, para que se mantengan la vegetación. Implementaron el manejo de aguas pluviales mediante aplicación de infraestructuras verdes: El proyecto incluye múltiples bioswales, humedales, techos verdes, paredes verdes, tanques de recolección de agua de lluvia y charcas de retención. La Fundación de Banco Popular cuenta con una

pared verde en la fachada frontal y posterior, las mismas aíslan el interior de altas temperaturas, lo cual ayuda a reducir el consumo energético. También cuenta con un sistema de paneles fotovoltaicos, los cuales mitigan el consumo en un 70%, también cuenta con un sistema de recogida de agua de lluvia para riego y uso sanitario, aislación térmica sustancial, ventilación complementada por abanicos de alto volumen y baja velocidad, aire acondicionado tipo inverso y alta eficiencia e iluminación LED.

Precedentes Mundiales

Mundialmente existen muchos edificios donde han implementado el uso de techos y paredes verdes para contrarrestar el efecto de islas de calor, a su vez para trabajar con el sobrecalentamiento del interior del edificio y crear edificios sustentables. Uno de estos es el Acros Fukuoka Prefectural International Hall, ubicado en Japón. El diseño de ACROS Fukuoka propone una nueva y poderosa solución para un problema urbano común: reconciliar el deseo de un desarrollador de un uso rentable de un sitio con la necesidad del público de espacios verdes abiertos. El plan de Fukuoka satisface ambas necesidades en una estructura mediante la creación de un modelo agrourbano innovador. El arquitecto quería devolver a los ciudadanos de Fukuoka todo el ter-

reno que el edificio restaría a la ciudad. A lo largo del borde del parque, el edificio sube, piso por piso, en una estratificación de terrazas bajas ajardinadas. Cada piso de la terraza contiene una variedad de jardines para la meditación, la relajación y el escape de la congestión de la ciudad, mientras que la terraza superior se convierte en un gran mirador, brindando una vista incomparable de la bahía de Fukuoka y las montañas circundantes. Este elemento en forma de cuña también funciona como escape de ventilación para los pisos subterráneos debajo y como un escenario elevado para artistas escénicos. En septiembre de 2000, Takenaka Corporation, la Universidad de Kyushu y el Instituto de Tecnología Nippon llevaron a cabo conjuntamente un estudio de medición del am-

biente térmico en ACROS Fukuoka, demostrando que los jardines en las azoteas son efectivos para aliviar el fenómeno de las islas de calor urbano. El estudio encontró lo siguiente: una diferencia de 15 ° C entre las temperaturas de la superficie del concreto, llegando a la conclusión obvia de que la vegetación y el enverdecimiento suprimen un aumento en la temperatura del aire circundante. Linda Velazquez en el artículo de Featured Project: The Green Roofs menciona, “El estudio de medición del ambiente térmico se realizó en el jardín escalonado y se demostró que el fenómeno de la isla de calor se alivió con Rooftop Greening, Takenaka Corporation”. (Velazquez, L. 2020.)



Lakeside Village es la Vivienda Comunitaria de Estudiantes de Lakeside Village de la Universidad ubicado en Miami Florida, que se encuentra frente al lago Osceola, el núcleo y corazón del campus de Gables, lleno de un jardín tropical exuberante y nativo. El mismo fue diseñado por la firma de arquitectos paisajistas de ArquitectonicaGEO. Con plantaciones en tres niveles, Lakeside Village se compone de 25 edificios con techos verdes interconectados y una multitud de espacios al aire libre que incluyen un gran patio, lugares de estudio, espacios recreativos y terrazas al aire libre. La estructura demuestra algunos de los mejores aspectos de la sostenibilidad ambiental en el entorno construido, así como algunos de los escenarios más desafiantes. Con su ubicación en una cuenca costera sensible en una zona de huracanes, todos los aspectos de las operaciones de construcción deben ser responsables con el medio ambiente. Los 25 nuevos edificios incluyen enfriamiento solar pasivo, jardines de lluvia y una certificación LEED Gold. Cada techo está cubierto de vegetación a 10” de profundidad del medio de crecimiento, el primero de su tipo en Miami. La arquitecta Linda Velázquez menciona en el artículo Re-Featured Project: University of Miami Lakeside Village Student Community Housing de Green Roofs, “El objetivo principal de este proyecto es el mejorar la climatización del interior del edificio y sus plazas alrededores, mejorar la biodiversidad y la ecología en el nivel del suelo, crear jardines elevados, así como en los techos verdes de a aproximadamente 70 pies de altura.” (Velázquez, L. 2021.)

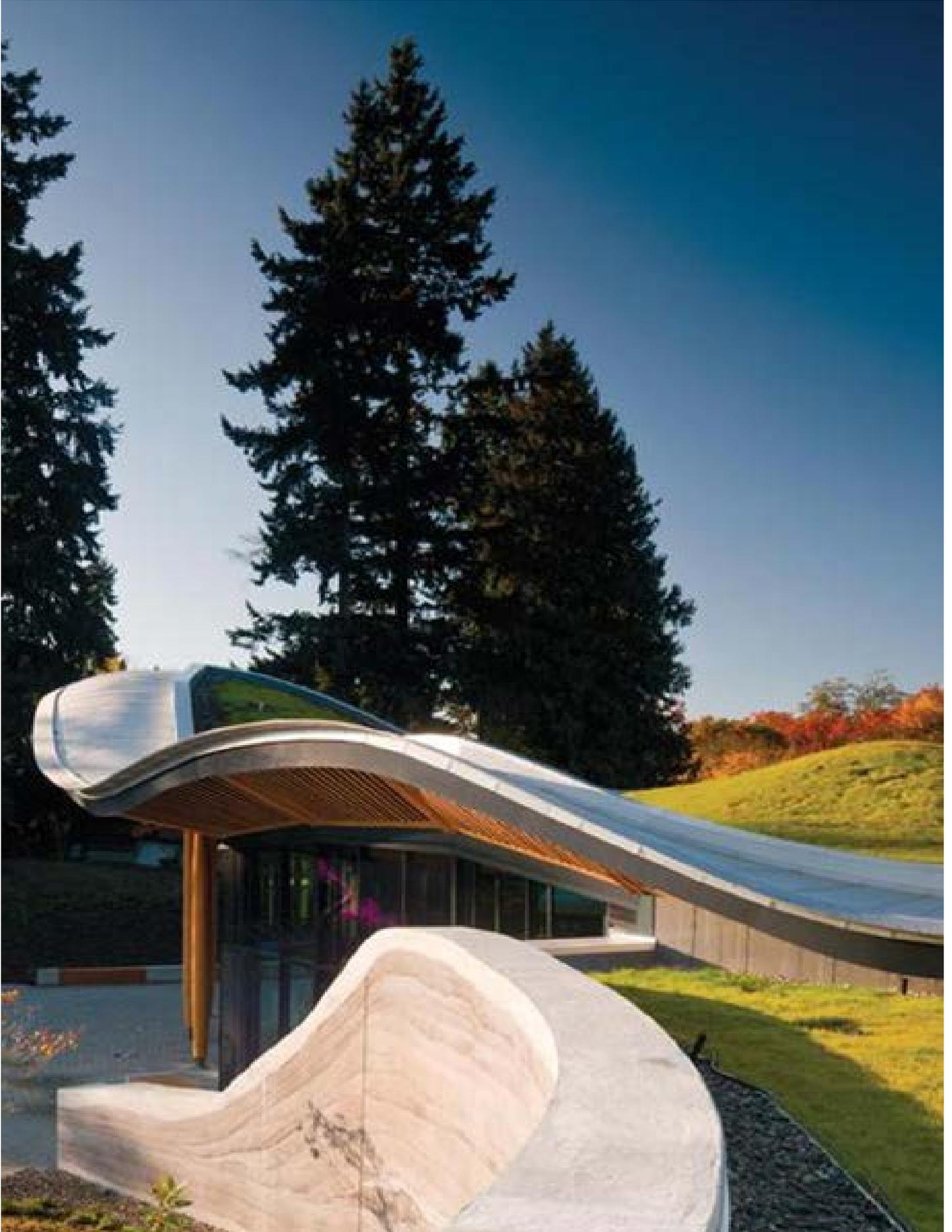




El Jardín Botánico VanDusen, ubicado en Vancouver, Canadá, tiene como objetivo inspirar la comprensión de la importancia vital de las plantas para toda la vida a través de la excelencia de nuestras colecciones, programas y prácticas botánicas. El edificio fue diseñado para cumplir con el “Living Building Challenge”, uno de los primeros edificios en Canadá en recibir esta certificación, y las características incluyen agua caliente solar, paneles fotovoltaicos, pozo geotérmico y un hermoso techo vivo. En el artículo de Green Roofs de Featured Project: VanDusen Botanical Garden Visitor Centre Ron Schwenger comenta, “El techo verde del Centro de visitantes de Vandusen tenía que cumplir con los estándares del Living Building Challenge, incluida la ausencia de

riego, y el techo verde ha sido notablemente resistente a lo largo de los años”. (Schwenger, R. 2021.) El Centro de visitantes del jardín botánico VanDusen con certificación LEED utiliza fuentes renovables que se encuentran en el sitio para cumplir con la energía neta cero anualmente. El material de construcción principal es la madera, que almacena dióxido de carbono durante la vida útil del edificio. La energía fotovoltaica en el techo genera electricidad para el centro, y el agua caliente es proporcionada por una caldera de biomasa alimentada por desechos de madera seca recuperados del área circundante. El 100% del uso del agua proviene de la precipitación capturada o del agua reutilizada: el agua de lluvia se filtra y se usa para los requisitos de aguas grises del Centro y el

100% de las aguas negras es tratada por el biorreactor, el primero de su tipo en Vancouver, y descargado a un nuevo campo de percolación en el jardín. Architek brindó asistencia en el diseño y la supervisión de la instalación para los complejos sistemas de techos verdes. VanDusen tiene tres secciones de techo verde distintas: el Landbridge, un área semi-intensiva relativamente plana; The Petals donde Architek empleó un sistema de techo verde diseñado en pendiente suave con barreras de corte; y The Oculus: un área de pendiente pronunciada en el centro que requirió que Architek empleara una barrera de corte y un diseño de erosión del suelo personalizados.





La Academia de Ciencias de California, ubicado en San Francisco, California, fue diseñado por Renzo Piano Building Workshop junto con una gran cantidad de otros profesionales, un solo edificio debajo del nuevo techo vivo de 2.5 acres mide 410,000 pies cuadrados y alberga los componentes de la academia que una vez se extendieron a lo largo de 12 estructuras. Rana Creek Living Architecture trabajó con Renzo Piano Building Workshop, Chong and Partners Architecture, SWA Group, ARUP Engineering y la Academia para diseñar el techo vivo con siete colinas dramáticas y cuatro cúpulas empinadas, replicando las colinas circundantes. Debido a que las colinas son tan empinadas como 60 grados en algunos puntos, se realizaron pruebas exhaustivas para garantizar

una paleta de siembra exitosa. Los montículos en el techo están salpicados de tragaluces circulares equipados con sensores de calor, y los tragaluces se abren para enfriar aún más el edificio cuando se alcanza una cierta temperatura. Las dos cúpulas principales cubren las exposiciones del planetario y la selva tropical. El techo verde mantiene la temperatura interior alrededor de 10 ° F más fría y reduce el ruido de baja frecuencia. La Academia de Ciencias de California para el artículo de Greenroofs.com Project of the Week June 5, 2017: California Academy of Sciences Living Roof, mencionó; “El techo proporciona un excelente aislamiento, manteniendo la temperatura interior unos 10 grados más fría que un techo estándar y reduciendo el ruido de baja

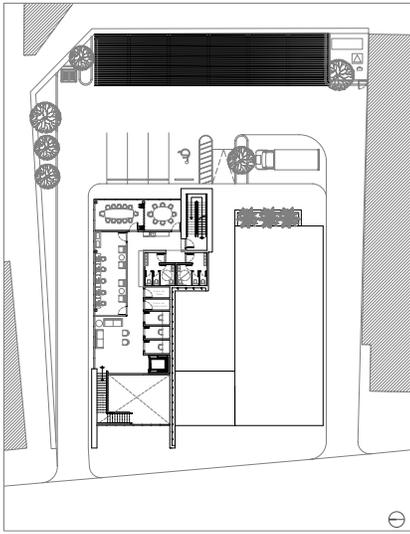
frecuencia en 40 decibelios. También disminuye el efecto de isla de calor urbano, manteniéndose unos 40 grados más frío que un techo estándar. Además, absorbe aproximadamente el 98% de todas las aguas pluviales, evitando que hasta 3.6 millones de galones de escorrentía lleven contaminantes al ecosistema cada año.” (Academia de Ciencias de California. 2017.) El techo se plantó con nueve especies de plantas nativas de la costa norte de California, y aproximadamente 1,7 millones de plantas cubrieron originalmente el techo vivo. La Academia de Ciencias de California es una obra maestra de arquitectura sostenible, se integra a la perfección en su entorno al tiempo que emplea una amplia variedad de funciones y operaciones innovadoras para minimizar su huella.

Propuesta de Diseño

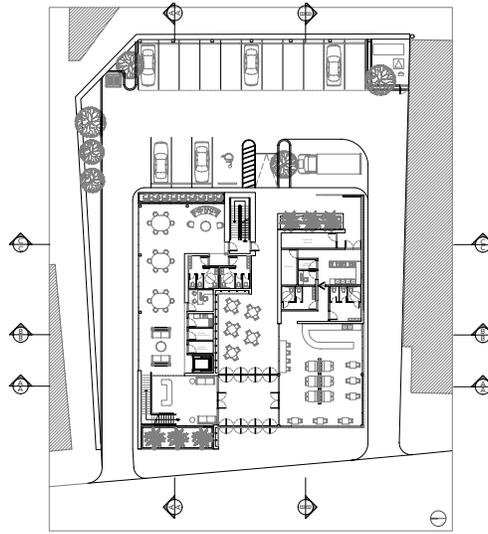
El site propuesto es un lote abandonado con una estructura de un puesto de gasolina en un estado de deterioro; además, es un espacio considerado como “Brownfield”, por lo que es propicio para revitalizarlo. El mismo está cerca de la Avenida Universidad, por lo que sería de gran provecho para los estudiantes universitarios. Se propone un lugar de comida rápida y café, que brinde comodidad para que el visitante pueda estar, platicar y realizar trabajos. Un espacio de oficinas con distintos cubículos que supla las necesidades de los estudiantes que deseen realizar trabajos en grupo. También para estudiantes que busquen un espacio tranquilo para poder concentrarse y estar a solas.



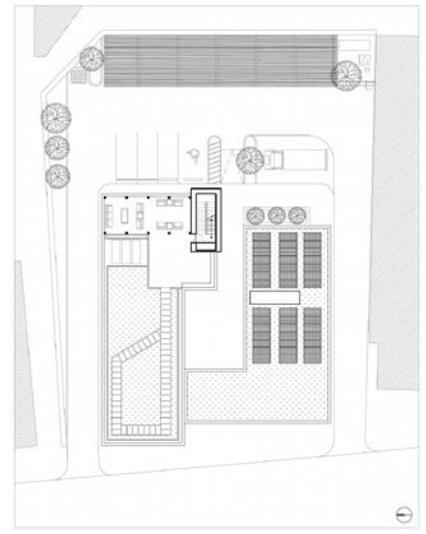




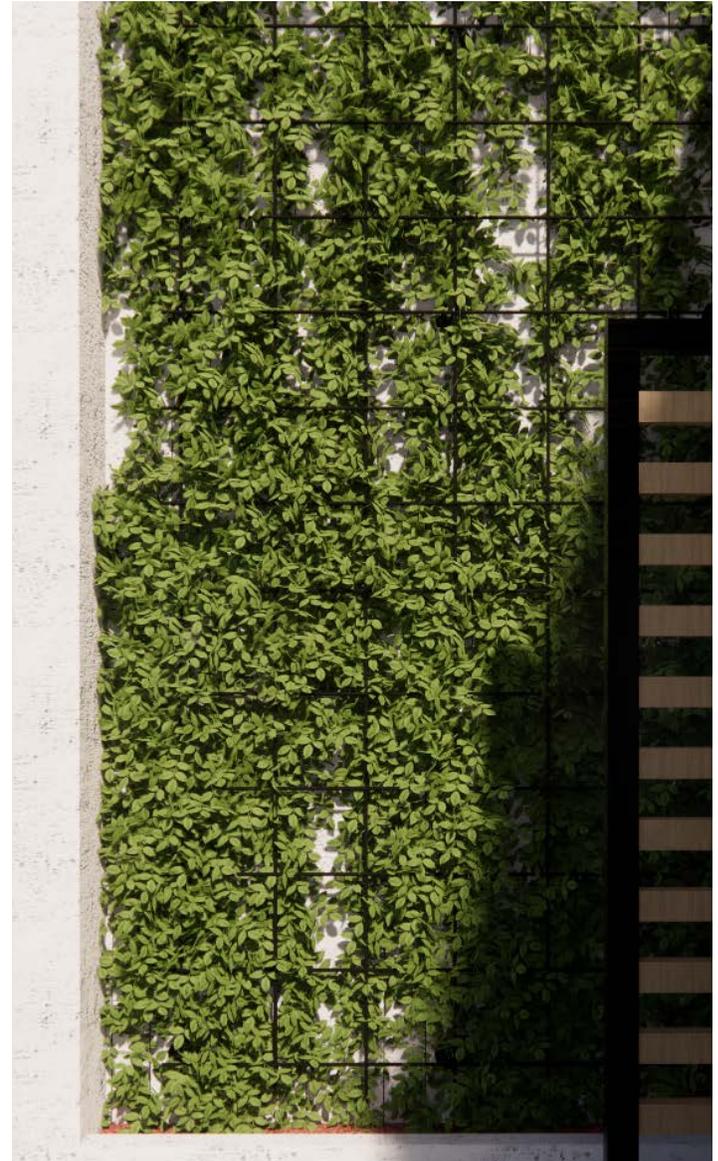
PRIMERA PLANTA

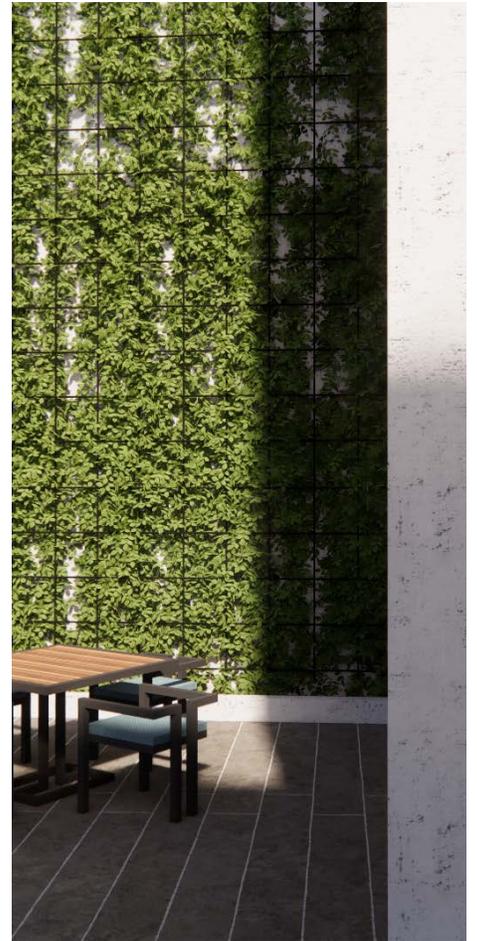


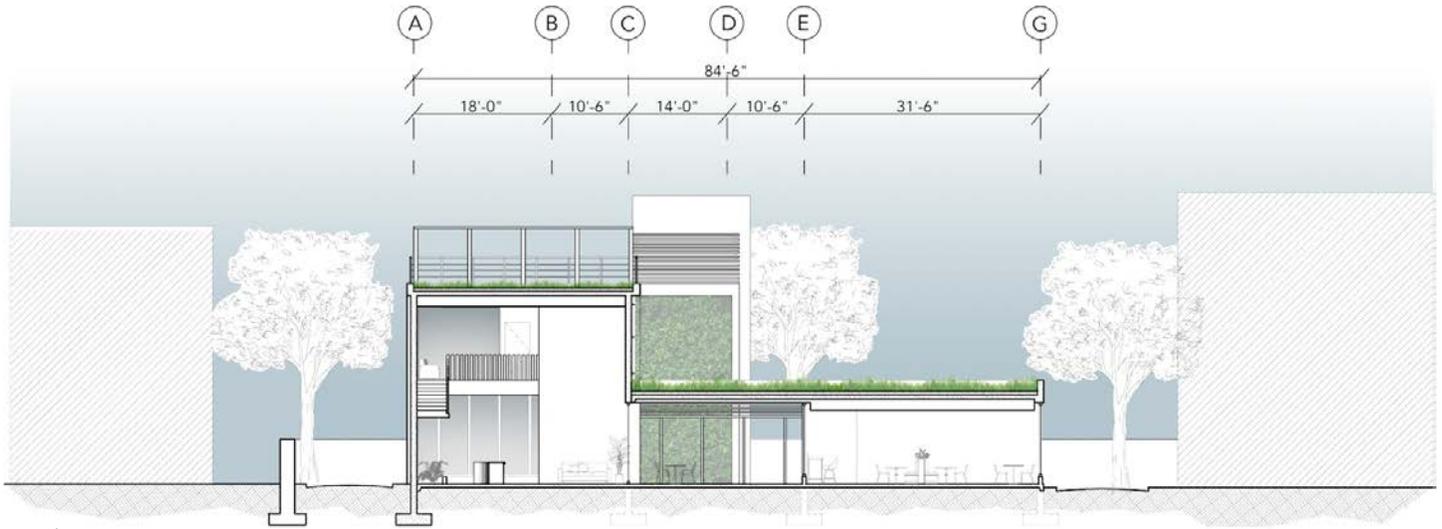
SEGUNDA PLANTA



TERCERA PLANTA



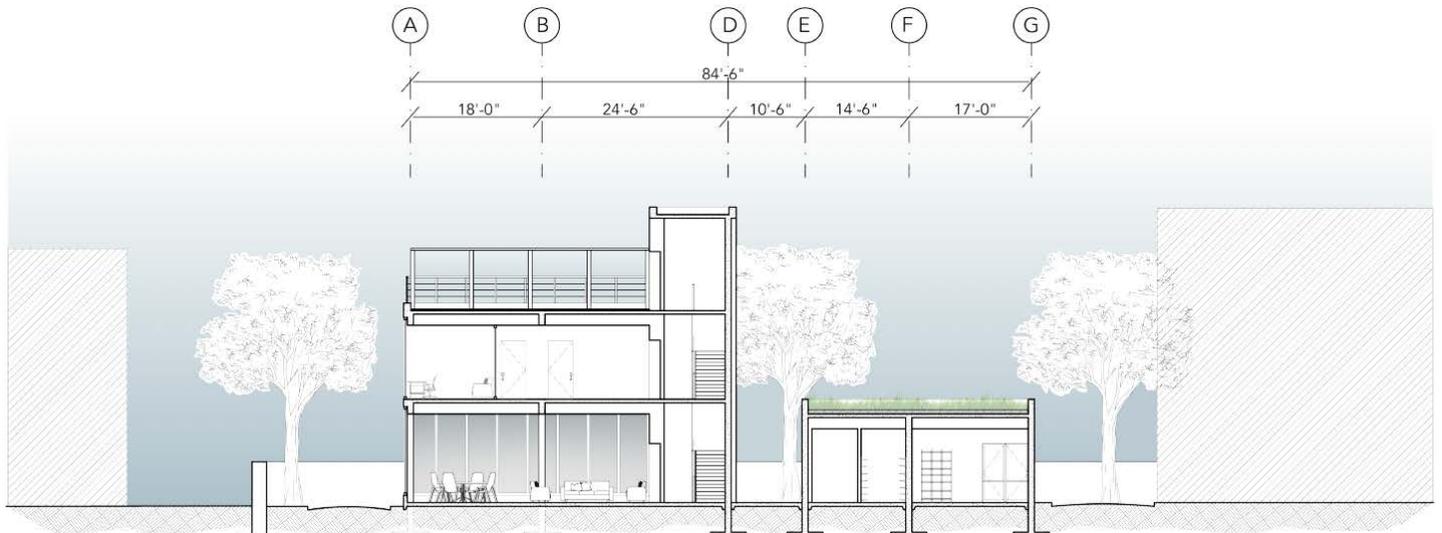




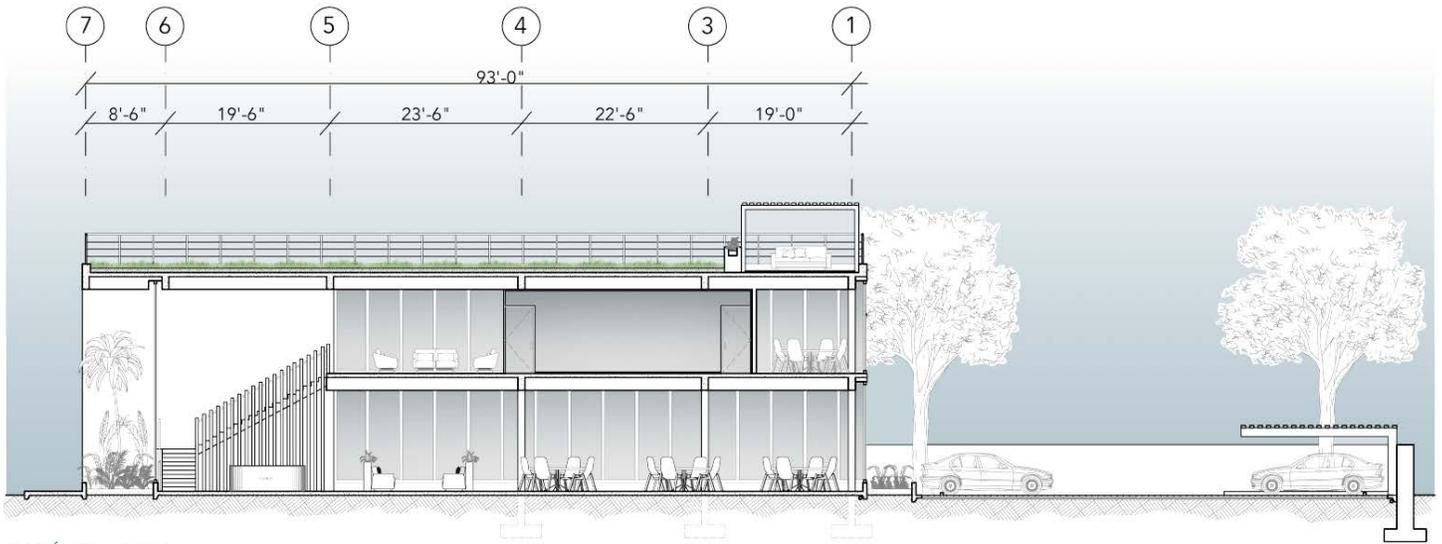
SECCIÓN LONGITUDINAL A-A



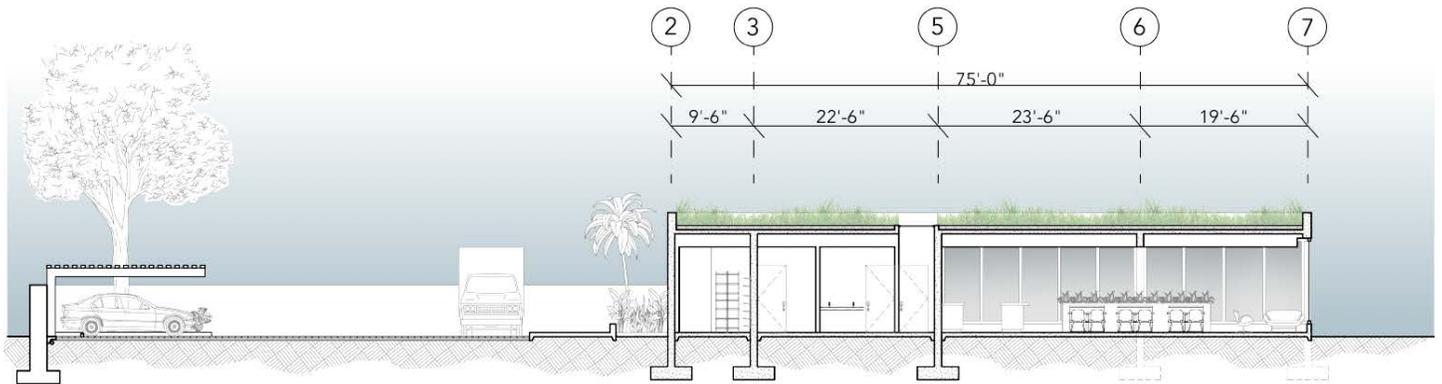
SECCIÓN LONGITUDINAL B-B



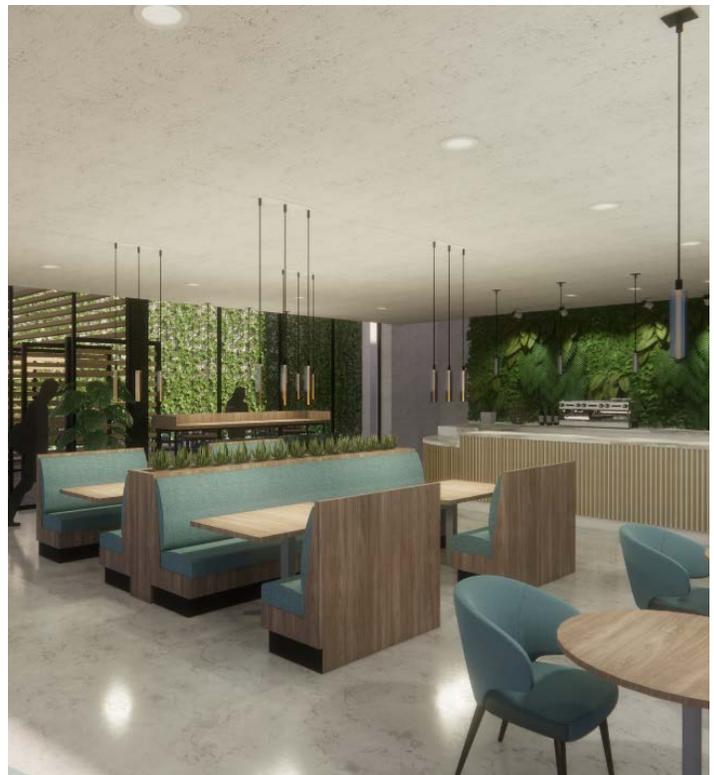
SECCIÓN LONGITUDINAL C-C

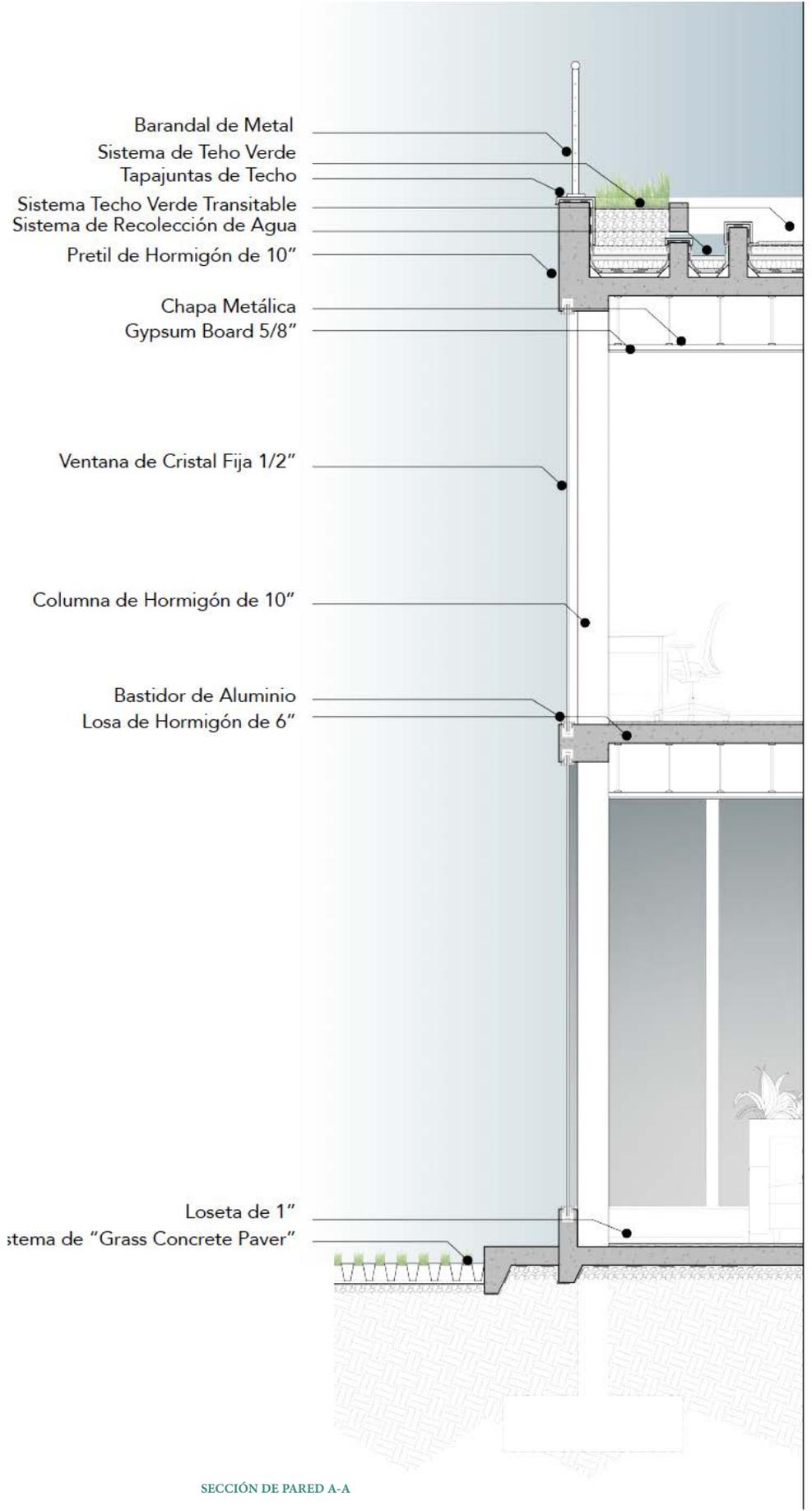
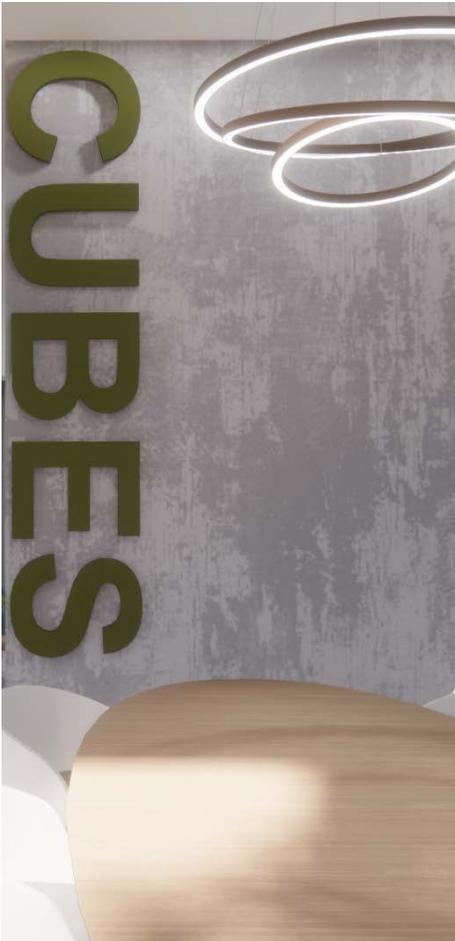


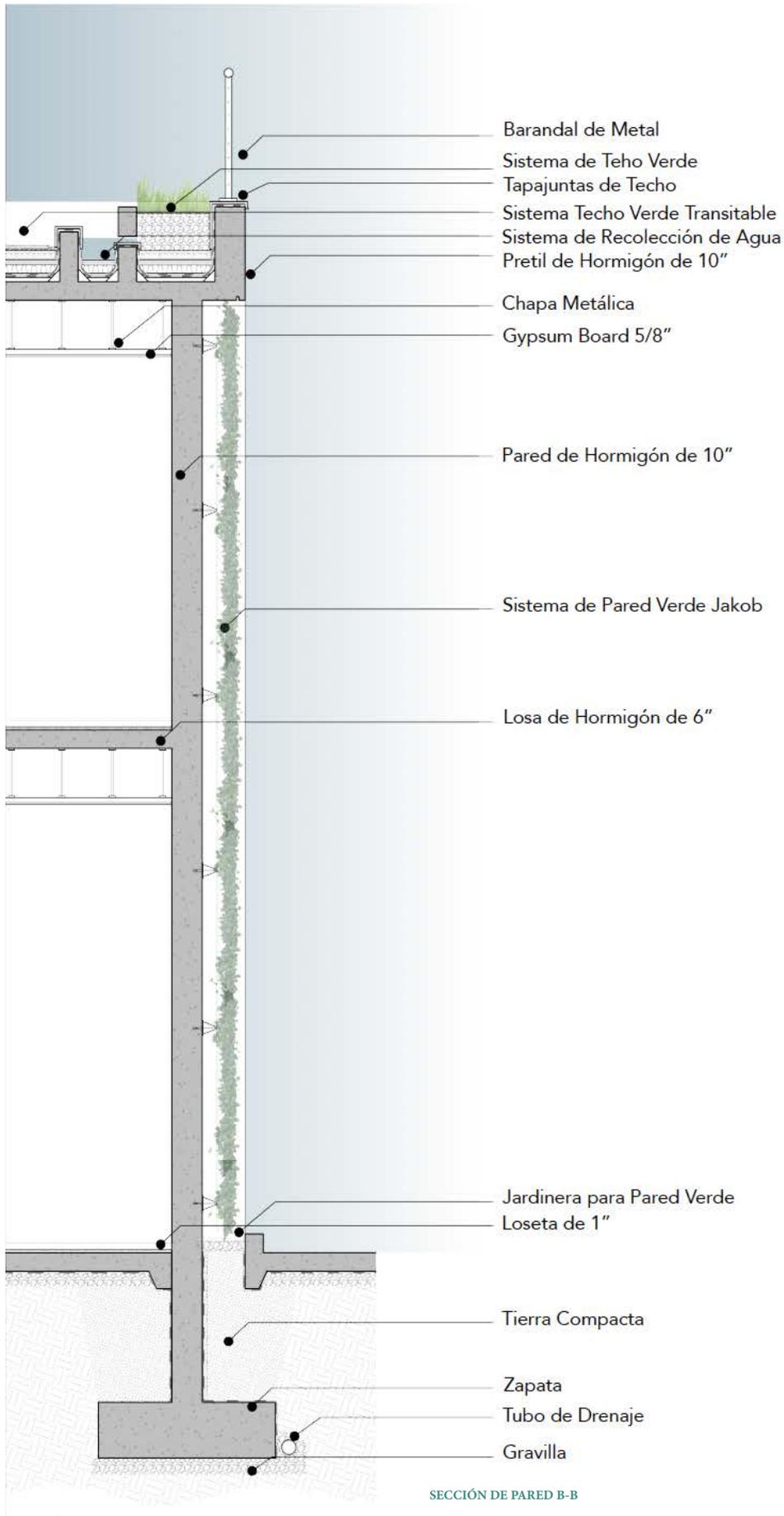
SECCIÓN TRANSVERSAL A-A



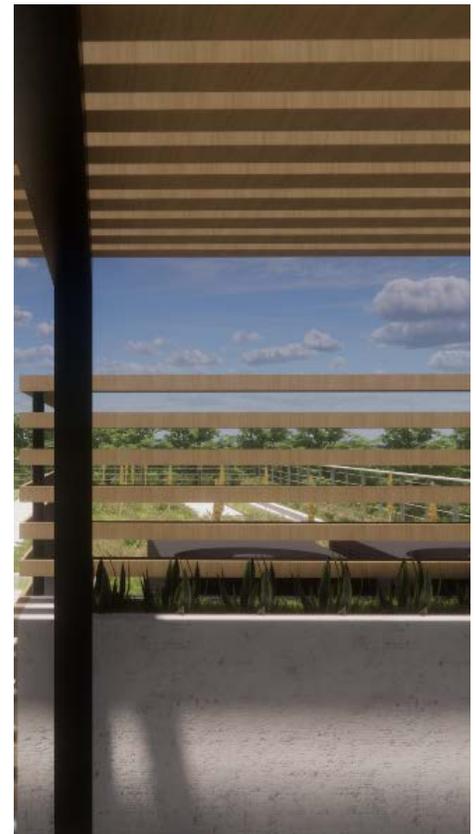
SECCIÓN TRANSVERSAL B-B

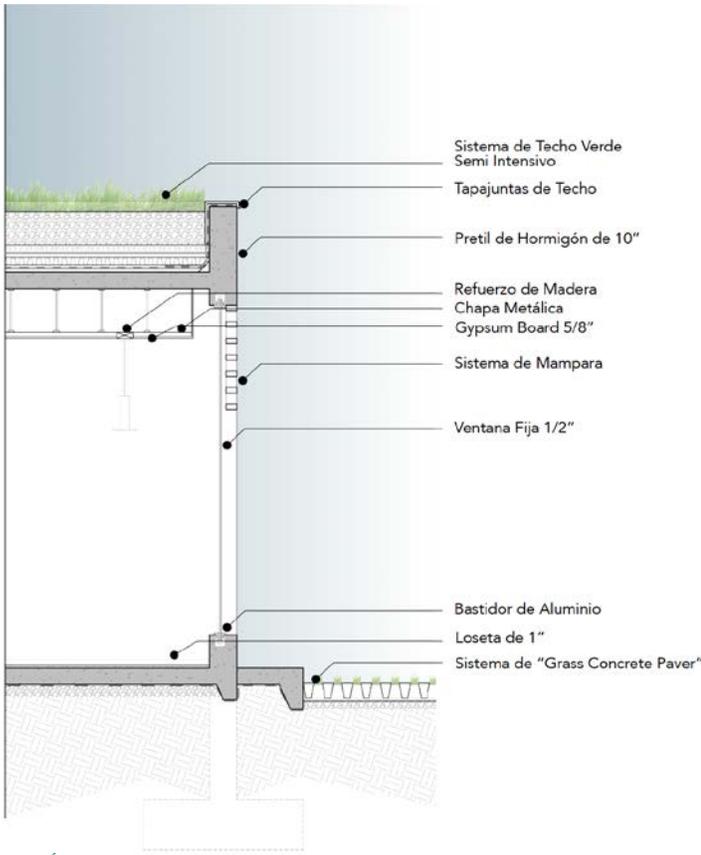




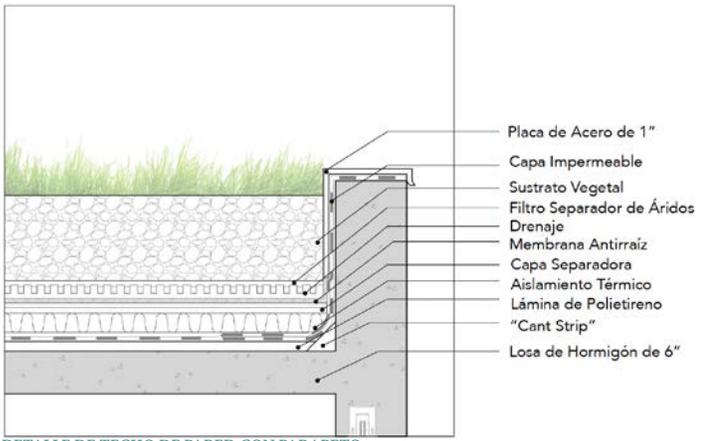


SECCIÓN DE PARED B-B

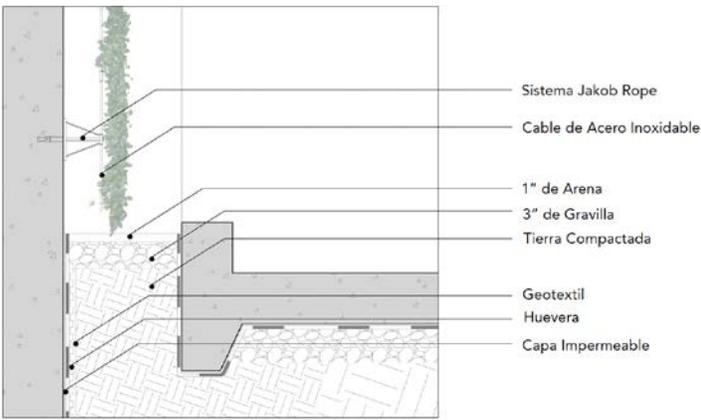




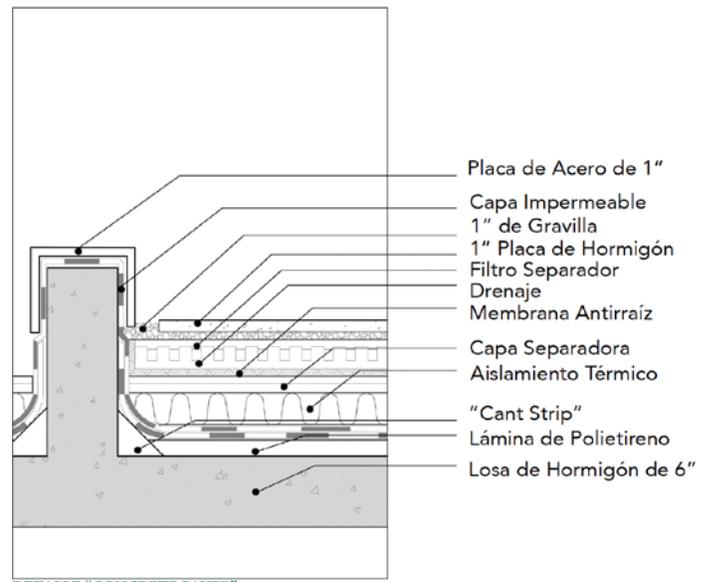
SECCIÓN DE PARED C-C



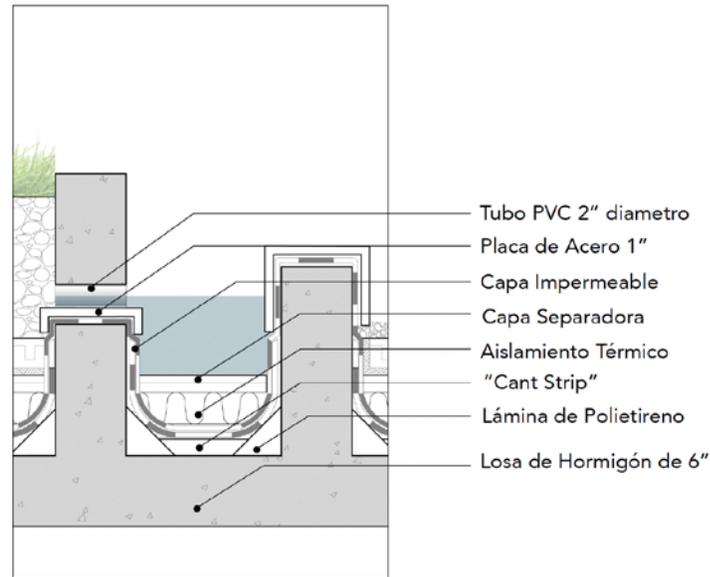
DETALLE DE TECHO DE PARED CON PARAPETO



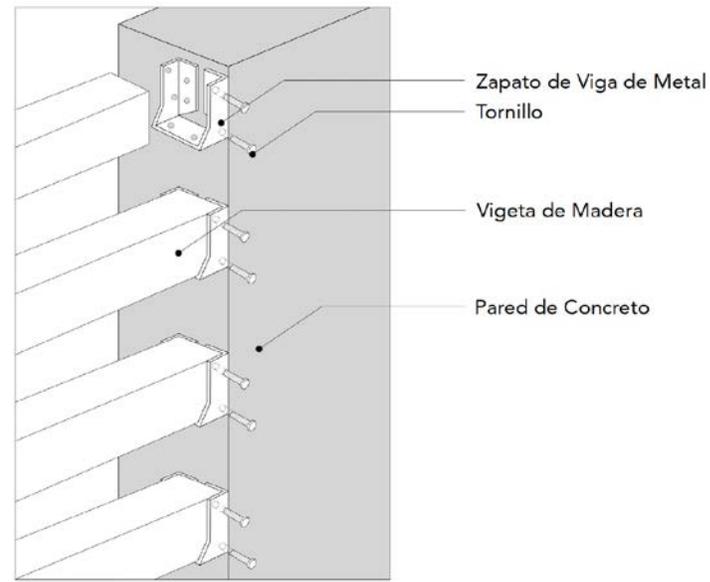
DETALLE DE JARDINERA PARA PARED VERDE



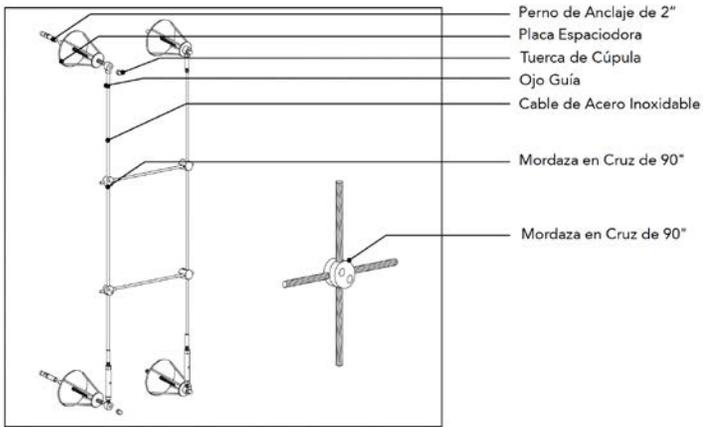
DETALLE "CONCRETE PAVER"



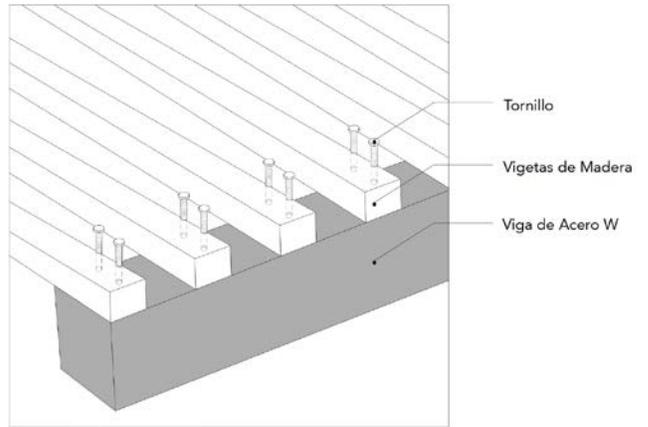
DETALLE RECOLECCIÓN DE AGUA



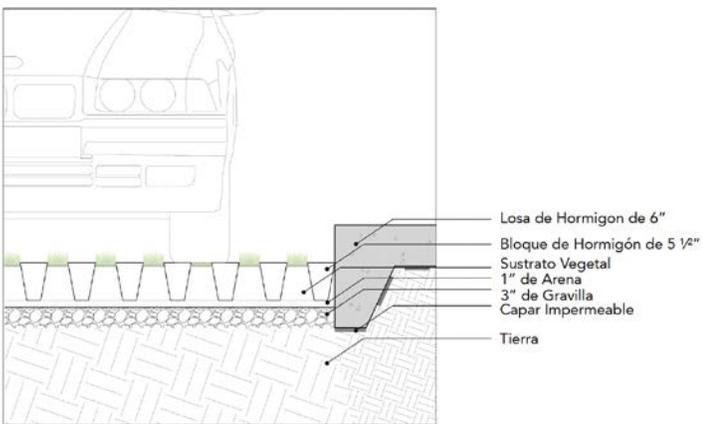
DETALLE DE MAMPARA



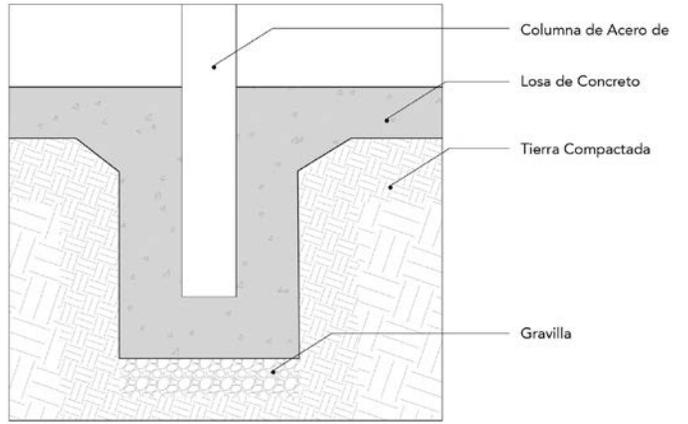
DETALLE DE PARED "JACKOB ROPES"



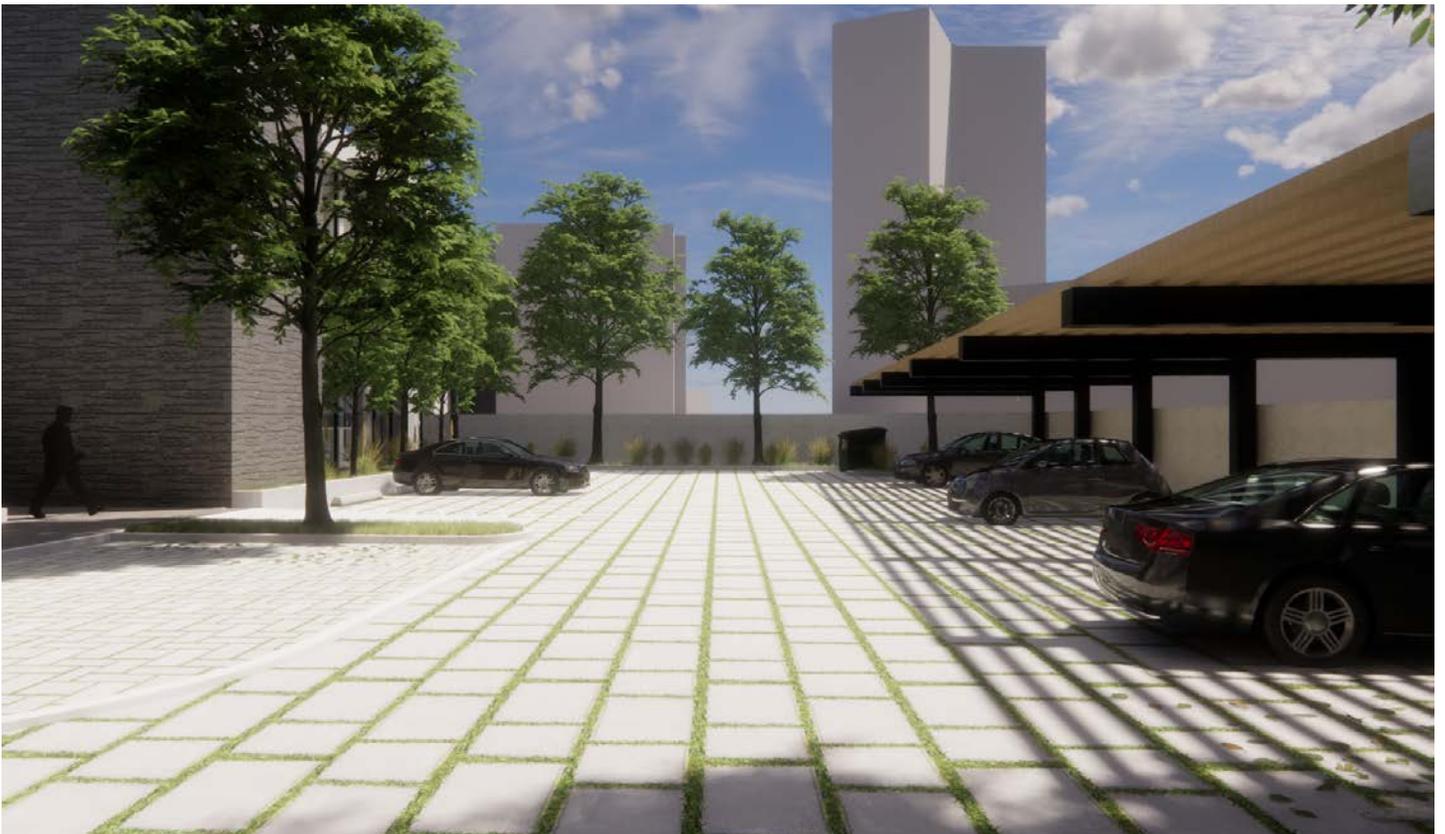
DETALLE DE PÉRGOLA



DETALLE DE "GRASS CONCRETE PAVER"



DETALLE ZAPATA DE PÉRGOLA



Conclusiones

Los techos verdes han funcionado como una estrategia para contribuir con el desarrollo sustentable, pues a través de esta tecnología verde es posible obtener beneficios ambientales como la disminución de la contaminación y temperatura del ambiente, beneficios sociales como la reducción de enfermedades y porcentajes de mortandad en la población y beneficios económicos como el ahorro por la disminución del consumo de energía. Es un sistema de aislamiento eficiente, tanto de la temperatura como de vibraciones telúricas, etc. Por esta razón el confort en una habitación mejora de manera significativa, y esto podría ser de gran beneficio en lugares cálidos como Puerto Rico, tomando en cuenta las altas temperaturas y las fallas telúricas cercanas. Los

mismos pueden ser instalados como “Retrofit”, de edificios existentes. Solo es necesario añadir elementos aislantes de humedad y considerar el clima, los fenómenos meteorológicos; la velocidad del aire, el rocío, la presión atmosférica, entre otros factores. De esta manera se crea un sistema de tecnología aplicada a la conservación del confort térmico dentro de los edificios, y sin necesidad de un mantenimiento estricto, reduciendo el consumo de energía. Mediante la reducción de la temperatura en climas cálidos y la conservación del calor en climas fríos, los techos verdes actúan como una capa inteligente que regula las variaciones de la temperatura para que el interior del edificio sea más cómodo que el exterior y que los edificios con techos sin vegetación.

Mediante el análisis de datos de los estudios de casos de edificios con techos y paredes verdes se pudo comprobar que el uso de los mismos le brindan grandes beneficios a las estructuras y a sus alrededores. Como bien ya se mencionó el material principal de construcción en Puerto Rico es el hormigón y es una de las razones por las que existen las islas de calor en las zonas urbanas de la Isla. Sin embargo, Puerto Rico al estar ubicado en el Caribe y con un clima húmedo-tropical es propicio para implementar este método constructivo. Es por esta razón que se debe aprovechar el excelente clima y posición geográfica en la que nos encontramos para utilizar este recurso, mitigando así las islas de calor y el efecto de invernadero que se está produciendo con mayor seve-



ridad en las zonas urbanas. Otro beneficio de los techos verdes es que no es necesario construir un edificio nuevo para instalarlos, y puedan integrarse a los edificios existentes. En base al tema de investigación, Soluciones para el sobrecalentamiento de edificios en zonas urbanas en Puerto Rico se escogió un site que fuera propicio para implementar y desarrollar el tema de investigación. Se realizó un estudio de luz y sombras según la propuesta y ubicación del edificio para identificar las áreas que eran más impactadas con luz solar. Luego de un largo estudio de distintos métodos que se podían implementar para minimizar la incidencia solar y las altas temperaturas dentro de un edificio, se eligieron: el uso de vegetación como techos y paredes verdes, mamparas o quiebra soles, pérgolas y también

el uso de “grasscrete” para suplantar el pavimento, entre otros. Según el estudio de luz y sombras las partes donde mayor luz solar reciben son: las paredes en la fachada sur, los techos y el área de estacionamiento, fue en esas áreas donde se intervino en gran manera. La fachada sur es la que recibe mayor luz, en esa se decidió realizar la pared verde con un sistema bastante sencillo y efectivo, el sistema de Jakob Ropes. En algunas fachadas como la oeste, donde la entrada de luz no es tan concurrida y teniendo en cuenta que es la fachada principal del edificio, se implementaron métodos pasivos como recesar las ventanas y el uso de mamparas. En los techos se decidió implementar el sistema de techo verde semi intensivo, el cual provee mayor cobertura. Se decidió que uno de los techos fuera habitable, para seguir

mitigando la incidencia solar, en el techo habitable, tanto para el edificio como para las personas que usen el mismo, se utilizó el sistema de pérgolas, “Grass Concrete Paver”, canaletas de agua, entre otros. Finalmente, se estuvo interviniendo el área del estacionamiento, ya que es un lugar que recibe mucha luz solar y absorbe mucho calor, por lo que se utilizó un sistema de “Grass Concrete Paver” en lugar de asfalto y al igual que en el techo habitable, se utilizó una pérgola para beneficio de aquellos usuarios que utilicen el estacionamiento. En conclusión, la propuesta de diseño utiliza distintos métodos de mitigación solar y los implementa de manera correcta para que la temperatura del edificio no fuera tan elevada como suele ser en una isla tropical al usar el material del concreto.

Referencias

Aquino, L. “Fernando Abruña: Profundo como el Planeta.” 90 Grados: Tablado Digital de Diseño. 2016.

Aquino, L. “Fernando Abruña: Gana el concurso de diseño <Mi casa resistente>.” 90 Grados: Tablado Digital de Diseño. 2018.

Collante, G. Martínez, A. Velázquez, P. “Techos Verdes: Una Herramienta Viable Para La Gestión Ambiental En El Sector Hotelero Del Rodadero, Santa Marta.” 2012.

Correa, D. “Valoración del Costo- Beneficio de la Implementación de Techos Verdes: Aplicación a un caso de la ciudad de Bogotá” 2013.

Giobellina, B; Medina, S; Pomezán, S. Infraestructuras verdes: desde el territorio a la cubierta habitable. Córdoba, España. Editorial Córdoba libros. 2020.

González, D. Párraga, V. Jiménez, F. “Resiliencia Urbana y Ambiente Térmico En La Vivienda Urban Resilience and Housing Thermal Environment.” *Arquitectura y Urbanismo* XXXVI (2): 63–73. 2016.

Minke, G. Techos Verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos. Alemania. Editorial Fin de Siglo. 2015.

Palumbo Fernandez, M; Avellaneda, J. Cubiertas vegetales en la región del Caribe. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25659/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 2015.

Pérez, C. López, O. Lara, P. “Arquitectura Y Urbanismo Bioclimatico: Presente Y Futuro Para El Habitat Del Hombre Contemporaneo.” *Scientia Et Technica* 17 (46): 236–40. . 2010. <https://doi.org/10.22517/23447214.239>.
Soto, M; Bárbaro, L; Coviella, M; Stancanelli, S. Catálogo de plantas para techos verdes. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/243750755/INTA-Catalogo-de-plantas-para-techos-verdes-pdf>. 2014.

Rojas, F. Calentamiento y Ventilación de Edificios: Memoria Premiada por al Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en el Curso Público de 1867. Madrid, España. Editorial Nabu Press. 2011.

Velázquez, A. Green Walls Can Reduce Heat Lost by Buildings by Over 30%, Study Shows. *Green Roof: Connecting the Plannet + Living Architecture*. 2021. Recuperado de: <https://www.greenroofs.com/2021/11/29/green-walls-can-reduce-heat-lost-by-buildings-by-over-30-study-shows/>

Velázquez, L. Project of the Week June 5, 2017: California Academy of Sciences Living Roof. *Green Roof: Connecting the Plannet + Living Architecture*. 2017. Recuperado de: <https://www.greenroofs.com/2017/06/05/green-roofs-com-project-week-june-5-2017-california-academy-sciences-living-roof/>

Velázquez, L. Re-Featured Project: University of Miami Lakeside Village Student Community Housing. *Green Roof: Connecting the Plannet + Living Architecture*. 2021. Recuperado de: <https://www.greenroofs.com/2021/08/24/re-featured-project-university-of-miami-lakeside-village-student-community-housing/>

Velázquez, L. Featured Project: VanDusen Botanical Garden Visitor Centre. *Green Roof: Connecting the Plannet + Living Architecture*. 2021. Recuperado de: <https://www.greenroofs.com/2021/08/10/featured-project-vandusen-botanical-garden-visitor-centre/>

Velázquez, L. Featured Project: ACROS Fukuoka Prefectural International Hall. *Green Roof: Connecting the Plannet + Living Architecture*. 2020. Recuperado de: <https://www.greenroofs.com/2020/08/17/featured-project-acros-fukuoka-prefectural-international-hall/>